

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Diseño de explotación minera a cielo abierto para materiales de construcción”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Minas

Presentado por:

José Carlos Gencón Torres

GUAYAQUIL - ECUADOR

2020

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de graduación a mi esposa, hijas, padres y hermanos por ser mi fuente de inspiración y apoyo emocional.

José Carlos Gencón Torres

AGRADECIMIENTO

A mis excelentes maestros de Escuela Superior Politécnica Del Litoral quienes contribuyeron en gran parte a mi formación académica.

A mi tutor y directora del proyecto, familiares y amigos que colaboraron para culminar con éxito mi carrera.

José Carlos Gencón Torres

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; José Carlos Gencón Torres doy mi consentimiento para que la ESPOI realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”.

José Carlos Gencón Torres

EVALUADORES

MSc. Samantha Jiménez Oyola
PROFESOR DE LA MATERIA

MSc. Jesús Crespo Quintero
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Este proyecto tiene como finalidad colaborar con la comunidad y asociación “San Rafael”, quienes son mineros artesanales ubicados en la parroquia “Chanduy”, provincia de Santa Elena.

La explotación de finos, arenas y, gravas que realizan desde hace más de 55 años, influye directamente en la economía de la comunidad “San Rafael”, por lo que, los objetivos de este trabajo permitirán cuantificar las reservas con las que cuenta el área minera, lo que conllevará a conocer el tiempo de vida de explotación de los materiales de construcción al ritmo actual conforme la demanda, también se podrá establecer la ubicación y delimitación exacta de la concesión y evitar inconvenientes como internación.

En el desarrollo del proyecto, se detectó la necesidad de un diseño para la explotación minera por debajo de la cota promedio de la vía E-40, vía que atraviesa el yacimiento, cota donde comienzan las reservas probables, realizar este diseño contribuye en no afectar la estabilidad, drenaje de la vía o construcciones cercanas.

Las consideraciones técnicas, económicas, operativas, ambientales y legales permiten proponer un diseño de explotación acorde a la realidad que viven los mineros artesanales y concluir con el objetivo principal de este proyecto.

Palabras clave: ortomosaico, internación, diseño de explotación minera y minería artesanal.

ABSTRACT

The purpose of this project is to collaborate with the “San Rafael” community and association, who are handmade miners located in the “Chanduy” town, Santa Elena state.

The mining of fines, sands and gravels, have been performed for more than 55 years, it affect directly in the economy of the “San Rafael” community, therefore, the objectives of this work will allow to quantify the reserves of the area, which will lead to knowing the life time of exploitation at the current rate according to demand, as well, it will be possible to establish the exact location and delimitation of the concession and avoid inconveniences such as extractive interference.

The need of a design for mining exploitation below the average elevation of the E -40 road was detected during the development stage of the project, the road that crosses the deposit, the elevation where the probable reserves begin, making this design contributes in not affecting stability, drainage of the road or nearby constructions.

Technical, economic, operational, environmental and legal considerations allow us to propose an exploitation design according to the reality that handmade miners live and conclude with the main objective of this project.

Keywords: *orthomosaic, extractive interference, design of mining, handmade mining.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Justificación del problema	2
1.3 Objetivos	2
1.4 Diseño metodológico.....	3
CAPÍTULO 2.....	5
2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	5
2.1 Ubicación del área de estudio	5
2.2 Geología Local	7
CAPÍTULO 3.....	10
3. METODOLOGÍA	10
3.1 Generación del modelo geométrico del yacimiento.....	10
3.2 Levantamiento de campo.....	11
3.3 Procesamiento de la información y diseño del sistema de explotación minera 15	
3.4 Procesamiento aerofotogramétrico para generación de ortomosaico	17
3.5 Cálculo de reservas	19
3.6 Reservas en función del material comercializado y su vida útil.....	21

CAPÍTULO 4.....	23
4. RESULTADOS Y DISEÑO DEL PLAN DE EXPLOTACIÓN	23
4.1 Verificación de límites, Modelamiento, Cálculo de Reserva y Diseño de Sistema de Explotación.....	23
4.2 Delimitación y georreferenciación del área de estudio	23
4.3 Criterios técnicos para el diseño	25
4.3.1 Modelo del yacimiento	25
4.3.2 Reservas disponibles	25
4.3.3 Cotas de diseño	26
4.3.4 Potencia yacimiento y capa de estéril	27
4.3.5 Ángulos de reposo o de fricción del material	28
4.4 Criterios financieros para el diseño	29
4.4.1 Costo de mano de obra.....	29
4.4.2 Costos de equipos, herramientas y maquinaria.	29
4.4.3 Costo de energía.....	29
4.4.4 Costo de patentes de conservación, regalías, capacitación, mantenimiento y restauración del medio ambiente.....	29
4.5 Criterios operativos para el diseño.....	31
4.5.1 Ritmos de explotación y herramientas disponibles	31
4.5.2 Productos a comercializar y estimado de producción	31
4.5.3 Frentes de explotación y zonas de acopio	32
4.6 Criterios ambientales para el diseño	32
4.7 Criterios legales para el diseño	33
4.8 Diseño de explotación	34
CAPÍTULO 5.....	39
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
5.1 Conclusiones.....	39
5.2 Recomendaciones	40

BIBLIOGRAFÍA.....	41
ANEXOS.....	42

ABREVIATURAS

ARCOM	Agencia de Regulación y Control Minero
EGM	Earth Gravitational Model
GNSS	Global Navigation Satellite System
GLONASS	Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GPS	Global Positioning System
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
msnm	Metros sobre el nivel del mar
PCT	Puntos de Control en Tierra
PDOP	Position dilution of precision
RMS	Root Mean Square
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS	World Geodetic System

SIMBOLOGÍA

#	Número
%	Porcentaje
cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
Ha	Hectárea
Km	Kilómetro
Km ²	Kilómetro cuadrado
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
t	Tonelada

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Plan metodológico.	3
Figura 2.1 Mapa de ubicación del área de estudio base.	6
Figura 2.2 Mapa base del área de estudio.	7
Figura 2.3 Frente de explotación, material de interés, estéril y capa vegetal.	8
Figura 2.4 Modelo Tridimensional de la concesión San Rafael.	9
Figura 3.1 Esquema de enlace de entre receptores GNSS y satélites.	11
Figura 3.2 Planes de vuelo.	12
Figura 3.3 Puntos de control concesión minera San Rafael.	13
Figura 3.4 Equipo utilizado en el sobrevuelo.	14
Figura 3.5 Plan de vuelo.	14
Figura 3.6 Enlace entre puntos en la concesión minera San Rafael.	16
Figura 3.7 Ajuste de imágenes de las zonas de vuelo.	17
Figura 3.8 Ortomosaico generado.	18
Figura 3.9 Curvas de nivel de la concesión contiene abscisado, modelo de interpolación y líneas de muestreo cada 50 m.	20
Figura 3.10 Perfil Longitudinal en la mitad de la concesión.	21
Figura 3.11 Perfil transversal ampliado, abscisa 0 + 300.00.	21
Figura 4.1 Montaje de ortomosaico y límites de concesiones mineras.	23
Figura 4.2 Áreas de los límites de la concesión.	24
Figura 4.3 Modelo tridimensional geométrico del yacimiento.	25
Figura 4.4 Perfil Longitudinal del yacimiento.	27
Figura 4.5 Perfil transversal de la cota 0 + 600, potencia de reserva probable, probada, estéril y capa vegetal.	27
Figura 4.6 Frente de explotación, potencia de reserva probada, estéril y capa vegetal.	28
Figura 4.7 Zonas a considerar explotar en el yacimiento “San Rafael”.	33
Figura 4.8 Ancho de vía 50 m, zona de servidumbre o amortiguamiento de 50m de cada lado.	34
Figura 4.9 Primera fase de explotación.	35
Figura 4.10 Segunda fase de explotación.	36

Figura 4.11 Tercera fase de explotación.	37
Figura 4.12 Perfil longitudinal de avance de la explotación.	38
Figura 4.13 Perfil longitudinal del diseño de explotación en la cota de la vía.	38
Figura 5.1 Perfil Longitudinal en la mitad de la concesión.	44
Figura 5.2 Perfil transversal cota 0 + 600.00.	44
Figura 5.3 Curvas de nivel de la concesión contiene abscisado, modelo de interpolación "Breakline" y líneas de muestreo cada 20 m.	46
Figura 5.4 Perfil transversal cota 0+050.00.	47
Figura 5.5 Perfil transversal cota 0+100.00.	47
Figura 5.6 Perfil transversal cota 0+150.00.	47
Figura 5.7 Perfil transversal cota 0+200.00.	47
Figura 5.8 Perfil transversal cota 0+250.00.	48
Figura 5.9 Perfil transversal cota 0+300.00.	48
Figura 5.10 Perfil transversal cota 0+350.00.	48
Figura 5.11 Perfil transversal cota 0+400.00.	48
Figura 5.12 Perfil transversal cota 0+450.00.	48
Figura 5.13 Perfil transversal cota 0+500.00.	49
Figura 5.14 Perfil transversal cota 0+550.00.	49
Figura 5.15 Perfil transversal cota 0+600.00.	49
Figura 5.16 Perfil transversal cota 0+650.00.	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Ubicación en coordenadas UTM del área minera San Rafael.	5
Tabla 3.1. Coordenadas geodésicas de puntos.	16
Tabla 3.2. Observaciones de calidad GPS Topcon Tools.	17
Tabla 3.3. Cálculo de reservas.	19
Tabla 4.1. Reservas.	26
Tabla 4.2. Peso unitario y ángulo de fricción interno de algunos tipos de suelo.	28
Tabla 4.3. Costo de producción anual en la concesión “San Rafael”.	30
Tabla 4.4. Reservas en función del material comercializado.	31
Tabla 5.1. Reservas por segundo método.	43
Tabla 5.2. Cálculo de reservas por método de perfiles transversales con estratos de espesor uniforme.	45
Tabla 5.3. Productos comercializados por la asociación “San Rafael”.	50
Tabla 5.4. Distribución porcentual del material en el yacimiento.	50
Tabla 5.5. Coeficiente de contracción y esponjamiento.	50
Tabla 5.6. Características físico-mecánicas del yacimiento “San Rafael”.	51

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La comuna San Rafael, de la parroquia Chanduy, en el cantón Santa Elena, cuenta con una tradición minera de aproximadamente 55 años, siendo esta actividad la principal fuente de ingresos para su población. En la actualidad, la actividad extractiva es ejecutada por la “Asociación de mineros artesanales San Rafael”, la misma que explota a cielo abierto materiales de construcción.

La Asociación minera está conformada por los habitantes de la comuna rural, quienes carecen de formación técnica y recursos financieros para implementar procesos con tecnología y equipos adecuados que permitan cumplir con los requerimientos ambientales y legales.

En la zona de estudio, la actividad extractiva es el principal sustento de los habitantes, ya que, por cuestiones topográficas, climáticas y de ubicación, no se han desarrollado otras actividades económicas como la agricultura o ganadería, de allí que, la actividad minera sea la principal y posiblemente la única fuente de ingreso familiar.

1.1 Descripción del problema

El método extractivo que utiliza la Asociación minera es de forma manual con el uso de maquinaria temporal durante la preparación. La productividad es baja de aproximadamente 12 m³/día, carente de un diseño y planificación para la explotación minera, tampoco se cuenta con tecnificación en sus diferentes procesos, lo que impide a corto, mediano y largo plazo programar su producción, optimizar sus procesos y maximizar los réditos para la comuna.

La Asociación al tener una explotación básica puede tener inconvenientes como el mal manejo de estériles, desestabilización de la vía principal E-40 cuando opten

por explotar por debajo de la cota de esta carretera e interferencia extractiva en los límites con concesiones aledañas.

El conocimiento de los límites de una concesión minera y su identificación en sitio permiten establecer con exactitud hasta dónde se puede explotar, de manera que no exista internación en las concesiones contiguas o explotación en áreas no concesionadas.

1.2 Justificación del problema

La alta incidencia de la minería artesanal en la economía de la comuna San Rafael, así como su frágil como deficiente sistema de explotación, demandan de una optimización de sus procesos para así aumentar la producción, disminuir costos operativos e impactar positivamente en las condiciones socioeconómicas del sector.

Por otra parte, en caso de existir internación, la comuna podría verse afectada, razón por la cual, con el proyecto se verifica la existencia o no, de interferencia extractiva en los límites de la concesión minera, mediante la realización del análisis aerofotogramétrico y topográfico.

En este contexto, con este proyecto, pretende proporcionar información relevante para quienes integran la Asociación de mineros artesanales San Rafael, con diseño extractivo considerando la estabilización de la vía E-40 y propuestas de mejora para la actividad extractiva.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo principal

Proponer un diseño de explotación minera usando herramientas geomáticas y criterios técnicos, económicos, operativos, ambientales y legales.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar un levantamiento aerofotogramétrico para verificar los límites de la concesión y reservas probadas como probables.

- Estimar la producción del yacimiento para un período de cinco años.
- Diseñar la explotación del reservorio tomando como referencia la cota de la carretera E40, vía que une a Guayaquil con Salinas.

1.4 Diseño metodológico

El plan metodológico que se va a seguir se presenta en el siguiente esquema:

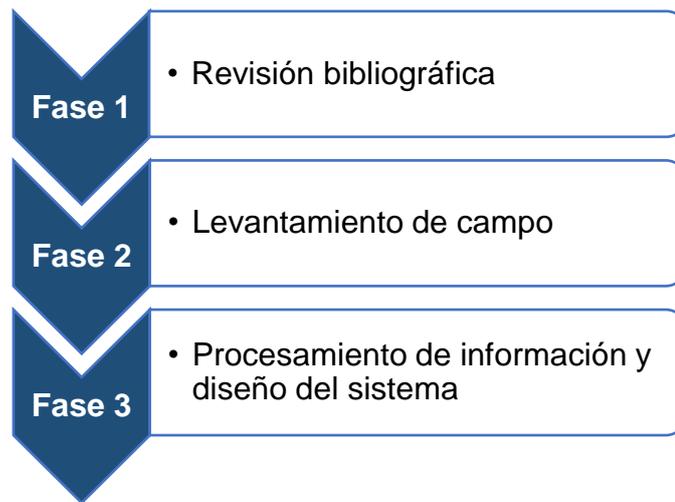


Figura 1.1 Plan metodológico.

Fuente: Gencón, J., 2020.

En la fase 1 se realiza la revisión bibliográfica de manuales de diseño, publicaciones, estudios de impacto ambiental, expedientes de la concesión minera, leyes y reglamentos vigentes para el control de la explotación.

En la fase 2, correspondiente a la información de campo, se realiza lo siguiente:

- Levantamiento aerofotogramétrico / topográfico y verificación de los límites de áreas colindantes.
- Se aplicó el método de diseño del pensamiento, conocido como design thinking, con la finalidad de establecer las razones por la que propuestas de diseños previos no han sido aplicados a la concesión. Además, este método nos permitirá validar la aceptación de la propuesta y transmitir de forma correcta la información referente al diseño planteado, acorde a los requerimientos de los usuarios. De

esta manera se busca que los resultados del proyecto puedan ser aplicados eficazmente.

En la fase 3, se realizó el procesamiento de la información y el diseño del sistema de explotación minera. Para esto, se utiliza los recursos informáticos: Drondeploy, Google Earth, Topcon Tools, Agisoft, QGIS y Civil 3D.

- Drondeploy, fue el programa principal utilizado para el planeamiento, ejecución del vuelo del dron y para la exportación de aerofotografías.
- Google Earth permitió la visualización inicial del posicionamiento del área de estudio, límites de la concesión y ubicación de los puntos de control.
- Con Topcon Tools se obtuvo las coordenadas de los geocontroles con un grado alto de precisión empleando más de trece satélites en cada punto y la información procesada por un modelo matemático que es el EGM2008.
- Mediante Agisoft se procesó las aerofotografías, considerando para la georreferenciación la posición de los puntos de control de alta precisión dando como resultado el ortomosaico requerido.
- QGIS, permitió la visualización clara y georeferenciada del ortomosaico superpuesto con puntos de control y límites de la concesión, para identificar la existencia de internación.
- Civil 3D se utilizó, para el modelamiento, cálculo de reserva y diseño de explotación minera.

Con los recursos informáticos descritos, se realizó el tratamiento y análisis de los datos, donde se obtuvo la topografía, el modelo del terreno, determinación de reservas del yacimiento, planteamiento del diseño de explotación minera y optimización de los procesos.

CAPÍTULO 2

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Ubicación del área de estudio

La concesión minera San Rafael se encuentra ubicada en la provincia de Santa Elena, cantón Santa Elena, parroquia Chanduy (figura 2.1). De acuerdo con la base geográfica de ARCOM las coordenadas UTM son: X 540.100 y Y 9.743.900, código catastral 700340, con un área asignada de 28 hectáreas, explotando arenas, ripio, grava, gravilla, piedras base y cascajo; colinda con la concesión minera Camilo 1 con código catastral 700231, de coordenadas UTM en X: 540.500 y Y: 9.744.000 (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Ubicación en coordenadas UTM del área minera San Rafael.

Concesión Minera "San Rafael"		
Coordenadas UTM, Datum PSAD 56, Zona 17 Sur		
Vértices	Coordenadas X	Coordenadas Y
P. P	540 500	9 744 600
1	540 500	9 743 900
2	540 100	9 743 900
3	540 100	9 744 600

Fuente: Catastro Minero, 2017.

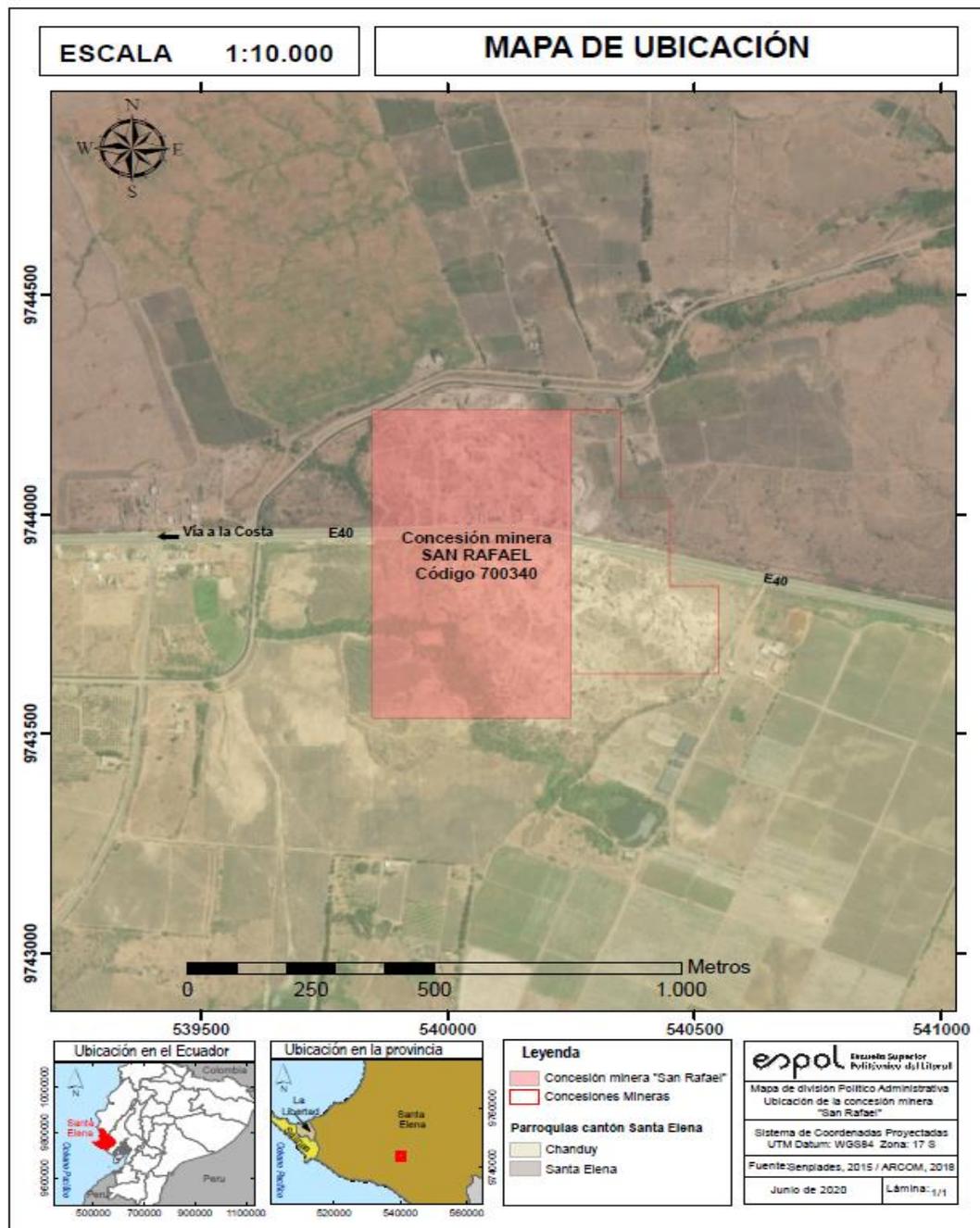


Figura 2.1 Mapa de ubicación del área de estudio base.

Fuente: SENPLADES, 2015 y ARCOM, 2018.

La concesión se ubica a 100 Km de la ciudad de Guayaquil, y se encuentra atravesada por la autopista principal E40, que comunica a la ciudad de Guayaquil con Santa Elena. Por el Norte se encuentra el canal de trasvase de Guayaquil, en dirección noroeste a suroeste se encuentra atravesada por una quebrada en dirección noroeste a suroeste, la misma que es de época invernal, se encuentra

en zona plana con elevaciones de cota máxima en promedio de 40 metros con ligeras elevaciones (figura 2.2).

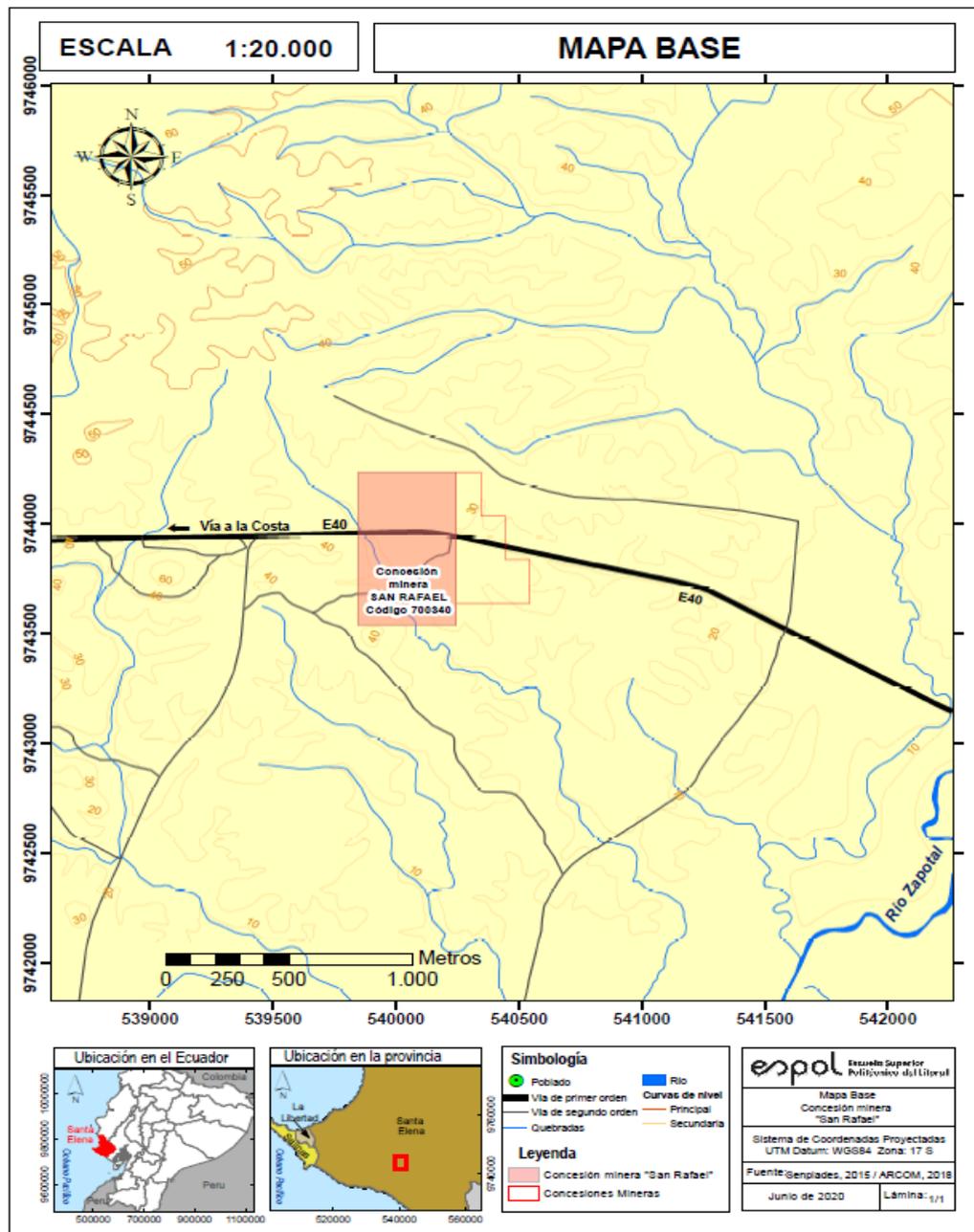


Figura 2.2 Mapa base del área de estudio.
Fuente: SEMPLADES, 2015 y ARCOM, 2018.

2.2 Geología Local

La Cuenca Progreso, en la cual se asienta San Rafael, está limitada al Norte por la Cordillera de Chongón Colonche, al Oeste y al Sur por el Horst de Playas Azúcar y abierta al Este sobre la zona baja del delta del Guayas. Como parte de esta cuenca,

la zona de San Rafael forma parte de una depositación de material detrítico, que se encuentra ubicado sobre la Formación Tablazos (Según Hoja Geológica Zapotal, Proyecto ORSTOMESPOL, Escala 1:50.000, 1987).

La Formación Tablazos, se encuentra tanto en la baja Cuenca del Guayas, como a lo largo de la línea de la costa. Fue originada por movimientos epirogénicos producidos en el Cuaternario, los cuales provocaron la formación de terrazas bioclásticas marinas escalonadas atribuidas al Pleistoceno, bien desarrolladas en las áreas de Manta, Santa Elena e Isla Puná (Baldock, 1982).

El yacimiento de la concesión “San Rafael” tiene una cobertura vegetal de aproximadamente 30 cm de espesor, material estéril compuesto por arcillas de hasta 80 cm de espesor y el material de interés constituido por arenas y gravas con ligeras intercalaciones de arcilla en un estrato de 1.4 m hasta 2.9 m en promedio, dando un estrato total cercano a 4 m (figuras 2.3 y 2.4).



Figura 2.3 Frente de explotación, material de interés, estéril y capa vegetal.
Fuente: Gencón, J., 2020.



Figura 2.4 Modelo Tridimensional de la concesión San Rafael.
Fuente: Gencón, J., 2020.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

3.1 Generación del modelo geométrico del yacimiento

3.1.1 Georreferenciación de ortofotos con geocontroles

3.1.1.1 Georreferenciación de puntos de control para ajustes de ortofotos

Para la georreferenciación se utilizaron receptores GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) de doble frecuencia marca Topcon, modelo Hiper II. Los posicionadores de doble frecuencia a más de trabajar con la onda portadora L1 de la señal GPS, también se agrega la medición de fase de la portadora L2, lo que les otorga la posibilidad de disminuir la incidencia de errores sistemáticos, particularmente los debidos a la propagación de la señal en la ionósfera, lo que permite alcanzar las más altas precisiones posibles con GNSS.

3.1.1.2 Medición con Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS)

En este proyecto se empleó el método estático que consiste en realizar observaciones con dos o más receptores estacionados en los puntos, de los cuales se quiere conocer las coordenadas. Normalmente se utiliza este método en distancias largas y para obtener una elevada precisión. A partir de esas observaciones se obtienen posicionamientos relativos entre las estaciones, de manera que si se consideran conocidas las coordenadas absolutas de una de ellas se determinan las coordenadas de las demás.

El objetivo de éste método se basa en que durante la observación, los receptores han de realizar registros continuos de fase portadora con un mínimo de trece satélites (incluyendo las constelaciones GPS y GLONASS). Los receptores deben registrar datos durante un cierto periodo de tiempo y hay que tener en cuenta factores como la longitud de la línea base (a mayor distancia entre vértices se necesita mayor tiempo de observación para procesar las líneas base), hay que tener en cuenta el número de satélites y la geometría (figura 3.1).

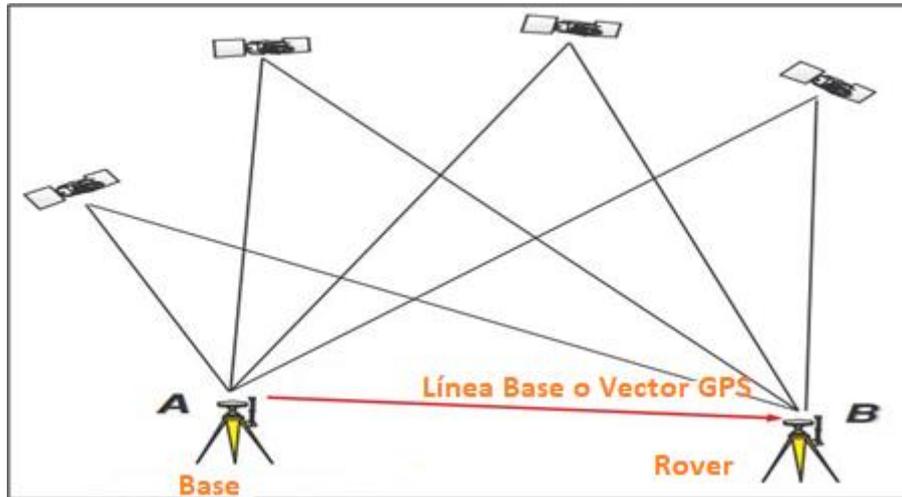


Figura 3.1 Esquema de enlace de entre receptores GNSS y satélites.

Fuente: Modificado por Gencón, J., 2020.

3.2 Levantamiento de campo

3.2.1 Levantamiento aerofotogramétrico

Para el levantamiento aerofotogramétrico se procede con los siguientes pasos:

- Delimitación y georreferenciación del área de estudio.
- Planificación de la instalación de la red de puntos de control en tierra.
- Planificación del sobrevuelo en software.
- Instalación de puntos de control en tierra.
- Ejecución del sobrevuelo.

3.2.2 Delimitación y georreferenciación del área de estudio

Una vez que se tiene las referencias de los planos en formato CAD, se procede a identificar estas zonas en una aplicación que permita la ubicación georreferenciada, para lo cual se utiliza Google Earth.

3.2.3 Planificación de la instalación de la red de puntos de control en tierra

Los puntos de control son inicialmente planificados en función de la extensión del área de trabajo, de la precisión a obtener, de la geometría del polígono, del acceso a los puntos en campo y demás factores. Para este estudio se

trabajó con cinco puntos de control, de los cuales uno es Base y los otros cuatro son los que se enlazan a esta Base.

3.2.4 Planificación del sobrevuelo en software

El plan de vuelo del área de estudio se realiza a partir de la delimitación previa del área de estudio, que consiste en la Concesión minera San Rafael y el área de la concesión San Camilo. De igual manera, se cubre un borde adicional, por lo que los parámetros del vuelo planificado son los siguientes (figura 3.2):

- Tiempo de vuelo: 46.07 minutos.
- Número de imágenes: 957.
- Altura de vuelo: 75.0 metros.
- Área cubierta: 53 hectáreas.
- Dirección de vuelo 1: Norte – Sur.
- Dirección de vuelo 2: Este - Oeste.

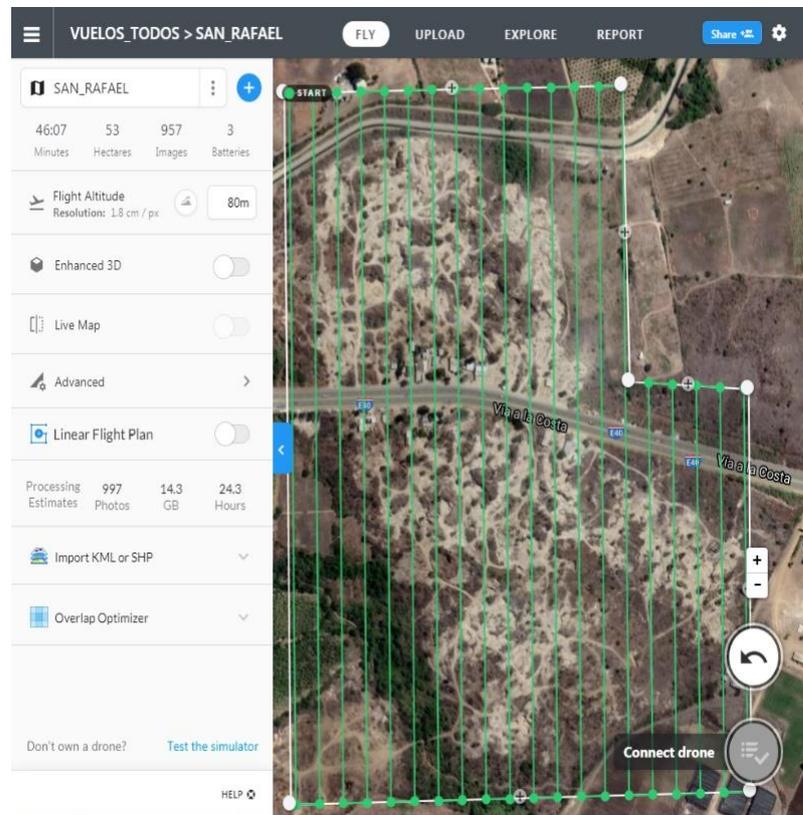


Figura 3.2 Planes de vuelo.
Fuente: Procesamiento en DroneDeploy. Gencón, J., 2020.

3.2.5 Instalación de puntos de control en tierra

En este paso se realiza la identificación de los puntos a colocar los geocontroles, instalación de punto base, equipos GNSS en cada punto de control y lectura, marcado en tierra de los puntos de control.

A continuación las imágenes de los puntos georreferenciados.

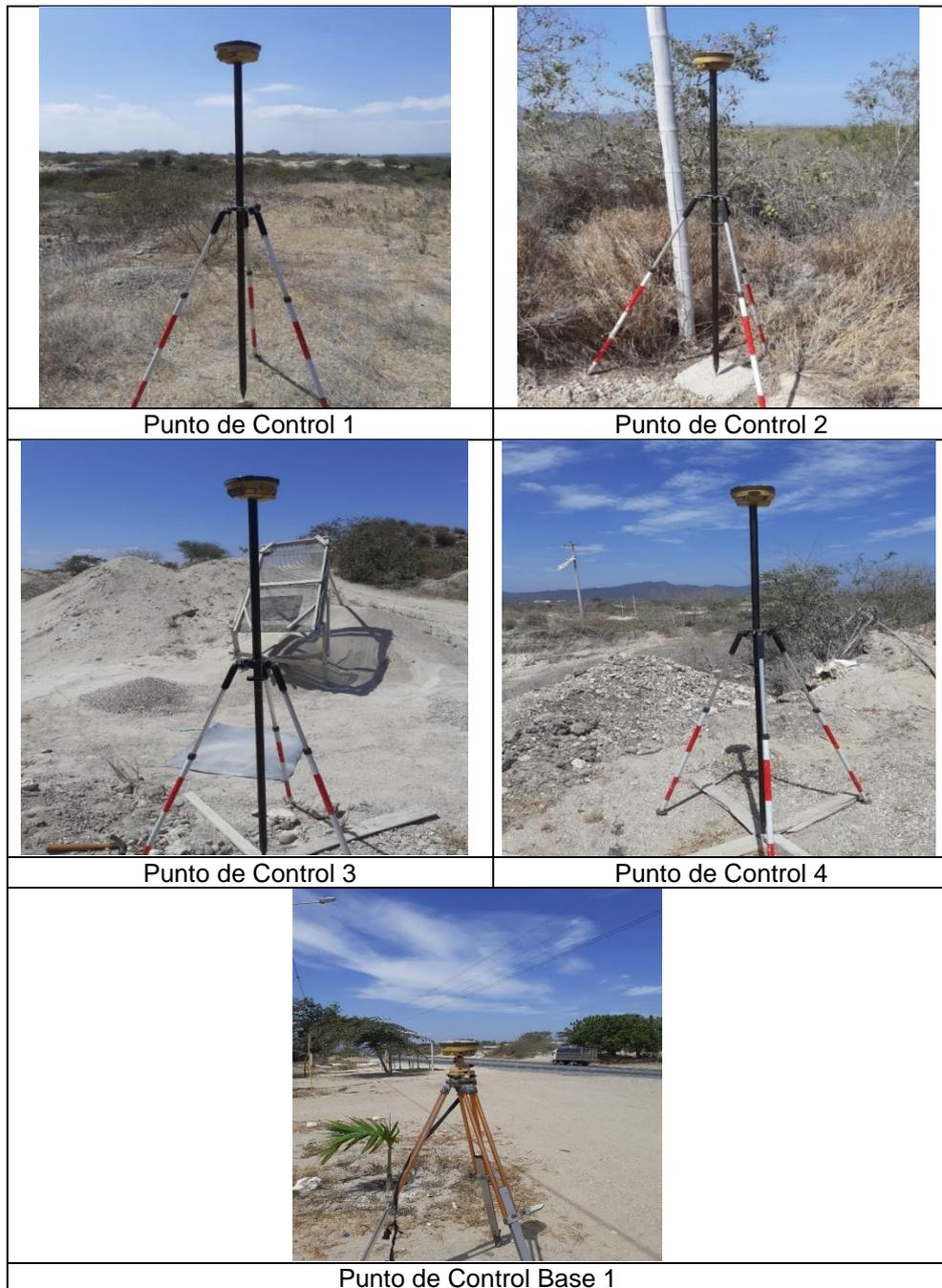


Figura 3.3 Puntos de control concesión minera San Rafael.

Fuente: Gencón, J., 2020.

3.2.6 Ejecución del sobrevuelo con Dron

El equipo utilizado es el que se observa en la figura 3.4, cuyas características son las siguientes:

- Dron DJI Phantom 4 Obsidian.
- Cámara de 20 megapíxeles.



Figura 3.4 Equipo utilizado en el sobrevuelo.
Fuente: Gencón, J., 2020.

El vuelo se realizó según el plan de vuelo y las evidencias del mismo se observan en la siguiente figura.

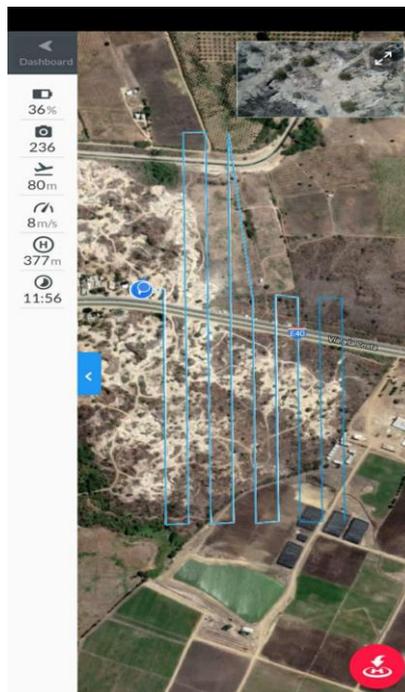


Figura 3.5 Plan de vuelo.
Fuente: Procesamiento en Drondeploy, Gencón, J., 2020.

3.3 Procesamiento de la información y diseño del sistema de explotación minera

3.3.1 Procedimiento la generación de ortomosaico

El procedimiento para la generación del ortomosaico consta de los siguientes puntos:

- Procesamiento de datos de puntos de control leídos con GNSS.
- Obtención de coordenadas X, Y, Z con precisión milimétrica.
- Aplicación de técnicas de aerofotogrametría para ajuste de imágenes con puntos de control.
- Parámetros del procesamiento aerofotogramétrico.
- Generación de ortomosaico a partir del ajuste con puntos de control.
- Generación de informe de procesamiento.

3.3.2 Procesamiento de datos de puntos de control leídos con GNSS

Usando el software Topcon Tools se procede a realizar el post-proceso de los datos obtenidos en campo. A partir del punto fijo (base), se obtiene las coordenadas de las estaciones que permitieron georreferenciar el levantamiento planimétrico y verificar el altimétrico.

Los parámetros para considerar para este tipo de proceso son los siguientes:
Tiempo de observación: dependiendo de la separación entre los vértices, pero no deberá ser menor a 30 minutos.

- Intervalo de captura máximo: 10 segundos
- Angulo de elevación máximo: 15 grados
- PDOP máximo: 4
- Cantidad mínima de satélites: 13 entre las dos constelaciones
- Exactitud: La exactitud de la red al 95% de confiabilidad debe ser mejor o igual a ± 2 centímetros.

Los datos obtenidos de los receptores son procesados usando el Datum WGS-84 que es equivalente al SIRGAS; y la proyección Universal Transverse

Mercator en la zona 17M en el hemisferio sur. El modelo gravimétrico de la Tierra utilizado para el proceso de datos es el EGM2008 (Spectra/Geospacial, 2008), que consiste en el más completo y preciso obtenido hasta el momento.

El enlace entre puntos y el tiempo monitoreado por los puntos de control se muestran en la figura 3.6.

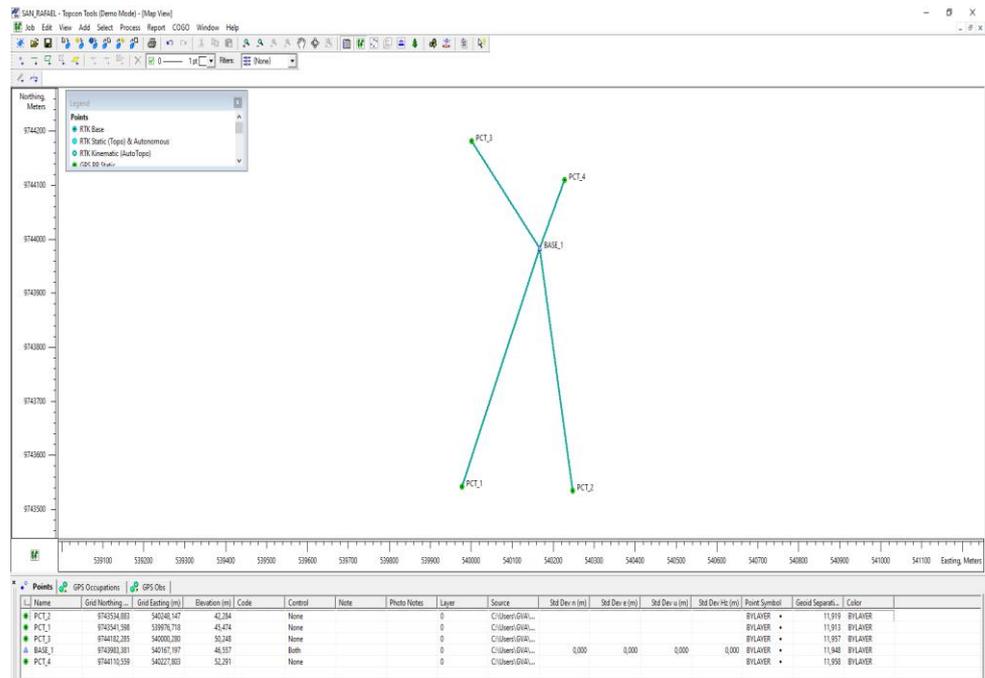


Figura 3.6 Enlace entre puntos en la concesión minera San Rafael.

Fuente: Procesamiento con TOPCON TOOLS Gencón, J., 2020.

La siguiente tabla muestra las coordenadas geodésicas correspondientes a los puntos georreferenciados.

Tabla 3.1. Coordenadas geodésicas de puntos.

Nombre	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)
BASE_1	9743983,381	540167,197	46,557
PCT_1	9743541,598	539976,718	45,474
PCT_2	9743534,883	540248,147	42,286
PCT_3	9744182,285	540000,28	50,248
PCT_4	9744110,559	540227,803	52,291

Fuente: Procesamiento con TOPCON TOOLS Gencón, J., 2020.

El reporte de la calidad del proceso realizado en Topcon Tools se detalla en la tabla III.

Tabla 3.2. Observaciones de calidad GPS Topcon Tools.

Nombre	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
BASE_1-PCT_1	-441,783	-190,479	-1,118	0,001	0,002
BASE_1-PCT_2	-448,498	80,95	-4,3	0,001	0,002
BASE_1-PCT_3	198,903	-166,917	3,7	0,001	0,002
BASE_1-PCT_4	127,178	60,606	5,743	0,001	0,003

Fuente: Procesamiento con TOPCON TOOLS Gencón, J., 2020.

3.4 Procesamiento aerofotogramétrico para generación de ortomosaico

3.4.1 Ajuste de imágenes con puntos de control

Una vez realizado el sobrevuelo, que para este caso se realizó doble recorrido cruzado en cada sector para garantizar un mayor ajuste, se realiza el alineamiento de imágenes.

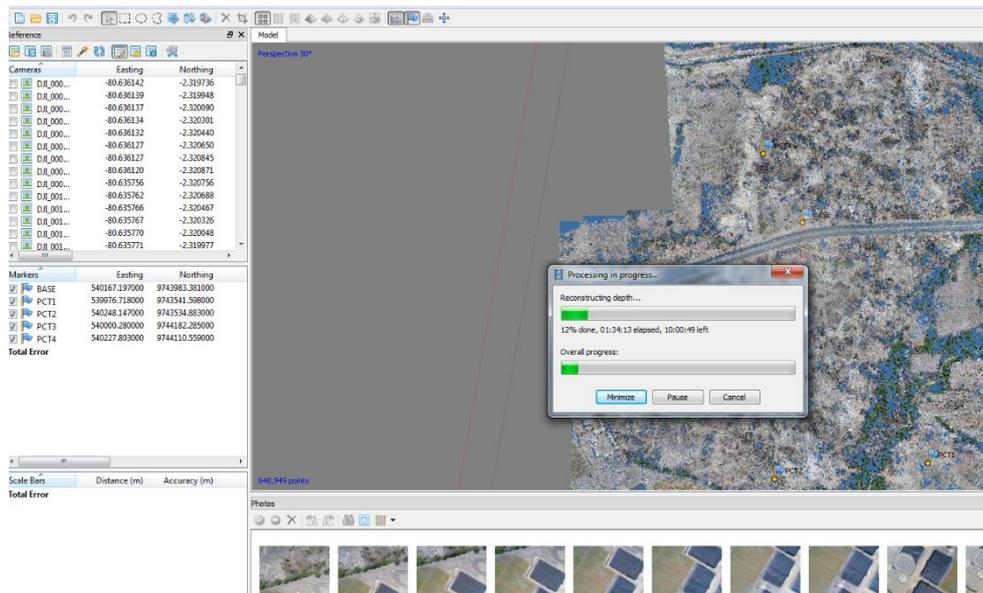


Figura 3.7 Ajuste de imágenes de las zonas de vuelo.

Fuente: Procesamiento con AGISOFT Gencón, J., 2020.

Posteriormente, para efectos del ajuste definitivo y georreferenciación de precisión enlazados a la red de control, se procede a insertar los puntos de control tomados en el área, para esto se necesita ajustar el sistema de referencia, cargar el archivo con extensión txt o xls donde se encuentra los puntos de control con coordenadas norte, este y altura. Posteriormente se procede a identificar cada punto de control en las imágenes tomadas por el dron para lo cual es necesario que cada punto pueda ser identificado en las fotos.

El resultado fotogramétrico lo realiza procesando las imágenes tomadas a una altura efectiva de vuelo de 80 metros y una resolución espacial de 2.01 cm/pixel para el área de estudio, con lo cual se procede a realizar el ensamble total.

Una vez que se realizan estos procesos, se procede a generar el ortomosaico u ortofoto que consiste en el ensamble de todas las fotografías tomadas en un solo archivo formato tiff y georreferenciado, cuyo resultado se observa en la figura 3.8.



Figura 3.8 Ortomosaico generado.

Fuente: Procesamiento con AGISOFT Gencón, J., 2020.

Una vez realizado el ortomosaico se procede a generar el modelo digital de elevaciones, generación de archivos las o nubes de puntos, los mismos que serán usados en la fase de modelamiento.

3.5 Cálculo de reservas

Para obtener el cálculo de reservas se empleó una herramienta informática de CAD (Dibujo asistido por computadora), donde:

- Se cargó las curvas de nivel de la concesión.
- Se implantó los límites y se procedió a trazar una línea recta a través de la mitad de la concesión con dirección Sur a Norte, tomando mencionada línea para realizar el abscisado.
- Se trazó líneas de muestro cada 50 m y con rango de estudio a la izquierda y derecha de 200 m (figura 3.9).
- Se graficó 13 perfiles, en cada uno se traza una línea en la cota máxima del perfil que es donde se encuentra el tope de la capa vegetal con un espesor de 30 cm, se traza la capa de estéril de 80 cm, la capa de reservas probadas de 1.4 m y la capa de reservas probables de 1.5 m, dando un total de 4 m de espesor de estrato (figura 3.10 y 3.11).
- Se realizó el tramado de cada capa en cada perfil y se registra el valor de área de cada capa.
- Se realiza el cálculo de reservas considerando los valores obtenidos previamente.

Valores obtenidos que se demuestran en la tabla siguiente:

Tabla 3.3. Cálculo de reservas.

Estación	Área (m ²)				Volumen (m ³)			
	Capa Vegetal	Estéril	Reserva probada	Reserva probable	Capa Vegetal	Estéril	Reserva probada	Reserva probable
0+050	1,71	6,88	93,13	57,21	85,25	344,15	4656,25	2860,60
0+100	0,84	5,07	153,11	104,29	63,53	298,80	6155,88	4037,48
0+150	0,93	12,60	132,67	82,90	44,03	441,70	7144,40	4679,63
0+200	1,24	7,86	70,24	172,12	54,20	511,40	5072,68	6375,33

Estación	Área (m ²)				Volumen (m ³)			
	Capa Vegetal	Estéril	Reserva probada	Reserva probable	Capa Vegetal	Estéril	Reserva probada	Reserva probable
0+250	1,12	13,41	104,19	228,14	59,00	531,65	4360,73	10006,33
0+300	0,97	6,24	115,38	1041,05	52,15	491,18	5489,08	31729,75
0+350	0,60	10,79	161,61	337,74	39,15	425,73	6924,58	34469,80
0+400	0,54	3,87	99,15	319,04	28,53	366,50	6519,03	16419,53
0+450	17,71	123,13	351,24	522,23	456,30	3175,03	11259,73	21031,68
0+500	0,62	23,02	145,48	371,72	458,25	3653,75	12417,98	22348,73
0+550	2,89	18,91	93,43	182,87	87,90	1048,18	5972,90	13864,80
0+600	0,99	5,13	29,36	100,86	97,00	600,88	3069,90	7093,20
0+650	1,16	5,33	35,59	102,67	53,60	261,33	1623,73	5088,25
0+700	1,07	5,23	32,48	101,77	55,75	263,85	1701,53	5110,90
				Total	1634,63	12414,10	82368,35	185115,98

Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019. Gencón, J., 2020.

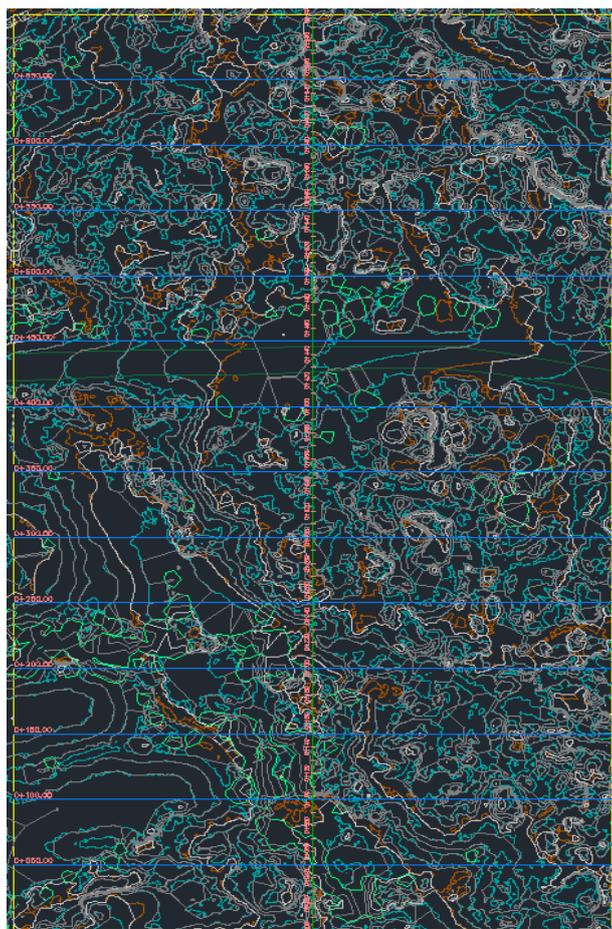


Figura 3.9 Curvas de nivel de la concesión contiene abscisado, modelo de interpolación y líneas de muestreo cada 50 m.

Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019. Gencón, J., 2020.



Figura 3.10 Perfil Longitudinal en la mitad de la concesión.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019.Gencón, J., 2020.



Figura 3.11 Perfil transversal ampliado, abscisa 0 + 300.00.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019.Gencón, J., 2020.

3.6 Reservas en función del material comercializado y su vida útil

Para obtener esta información se toma en cuenta el coeficiente de contracción y esponjamiento de los materiales, un 10% de incremento productivo anual y para el tiempo de vida de producción de cada material se emplea la formula siguiente (Barros Núñez, 2018):

$$n = \frac{\ln\left(1 + \left(Rp * \frac{\Delta}{P1} - 1\right)\right)}{\ln\left(\frac{\Delta}{\rightarrow}\right)}$$

Donde:

n = Número de años

Rp = Reservas totales de cada producto

$\frac{\Delta}{\rightarrow}$ = Razón de incremento anual en la producción

$P1$ = Producción para el año 1 de cada material

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS Y DISEÑO DEL PLAN DE EXPLOTACIÓN

4.1 Verificación de límites, Modelamiento, Cálculo de Reserva y Diseño de Sistema de Explotación

Se empleó el software Qgis y Civil 3D 2019 para el procesamiento y análisis del ortomosaico, puntos de control, límites de las concesiones mineras, modelamiento, cálculo de reservas y diseño de explotación del yacimiento.

4.2 Delimitación y georreferenciación del área de estudio

Se cargó en una capa diferente, los límites de la concesión San Rafael y la concesión contigua. La superposición de las capas de la “ortofoto” y los polígonos de las concesiones mineras se muestra en la figura 4.1.



Figura 4.1 Montaje de ortomosaico y límites de concesiones mineras.

Fuente: Procesamiento en QGIS. Gencón, J., 2020.

Se implantó el límite de las concesiones mineras en el ortomosaico y se observa al norte, sur y este de la concesión San Rafael que existen actividades que podrían estar fuera de los límites del título minero como se muestra en figura 4.2.



Figura 4.2 Áreas de los límites de la concesión.
Fuente: Procesamiento en QGIS. Gencón, J., 2020.

El cálculo del área da como resultado 28 Ha. para la concesión “San Rafael”, 12 Ha. para la concesión “Camilo 1”, coincidiendo con la información que se encuentra en el geoportal de ARCOM.

Para el diseño de la explotación se usan los siguientes parámetros:

1. Técnicos.
2. Financieros: costo de mano de obra, equipos, herramientas y maquinaria, energía.
3. Operativos: ritmos de explotación, herramientas disponible, productos a comercializar, frentes de explotación, zonas de acopio (vía central junto a la oficina) y costos del producto.
4. Ambientales: cobertura vegetal, presencia de quebradas, escombreras, emisiones generadas.
5. Legales: Régimen minero, límites de la concesión, tiempo de vida de la concesión.

4.3 Criterios técnicos para el diseño

Los criterios consisten del modelo geométrico del yacimiento, las reservas disponibles, cotas de diseño, espesor de cubrecarga y, ángulos de reposo o de fricción del material.

4.3.1 Modelo del yacimiento

El yacimiento consiste de un estrato cuasi horizontal, de potencia uniforme con un espesor de 1.5 metros en promedio a una profundidad de no más de 1 metro, cuya cubrecarga es de suelo y un estrato sedimentario.

El modelo tridimensional geométrico del yacimiento lo podemos apreciar en la figura 4.3.



Figura 4.3 Modelo tridimensional geométrico del yacimiento.

Fuente: Gencón, J., 2020.

4.3.2 Reservas disponibles

Para obtener las reservas probadas y probables se usó el método de perfiles transversales (López Aburto, 2013), discriminando la cota de la carretera (47

m) y zonas donde se pierde el horizonte productivo, los valores obtenidos se muestran en la Tabla V:

Tabla 4.1. Reservas.

Descripción	Volumen
Volumen total de material a extraer (m ³)	281.533,050
Reservas probadas (m ³)	82.368,350
Reservas probables (m ³)	185.115,975
Volumen total de estéril (m ³)	12.414,100
Volumen total de capa vegetal (m ³)	1.634,625

Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019. Gencon, J., 2020.

Se realizó un segundo método para calcular las reservas disponibles basado en el método de perfiles transversales en estratos de espesor uniforme que se detalla en el Anexo A, pero que es más aplicado a estratos de potencia mayor, por lo que el método anterior aplica de mejor forma a la potencia del yacimiento “San Rafael”.

4.3.3 Cotas de diseño

La cota más baja del yacimiento es de 39.178 m, la cota más alta es de 54 m, la cota promedio de la vía es de 47 m, la superficie de diseño va desde la cota máxima que se encuentra en cada uno de los diferentes perfiles transversales desde donde se toma el tope de la capa vegetal, continuando con la capa de esteril, reservas probadas y probables, se descarta la explotación por debajo de 47 m que es el nivel de la carretera y donde en todos los perfiles no se ve afectación en las reservas probadas (figura 4.4).

Se planteará posteriormente un diseño de explotación por debajo de la cota de la carretera, considerando el ángulo de fricción, drenaje y construcciones cercanas a la vía E-40.

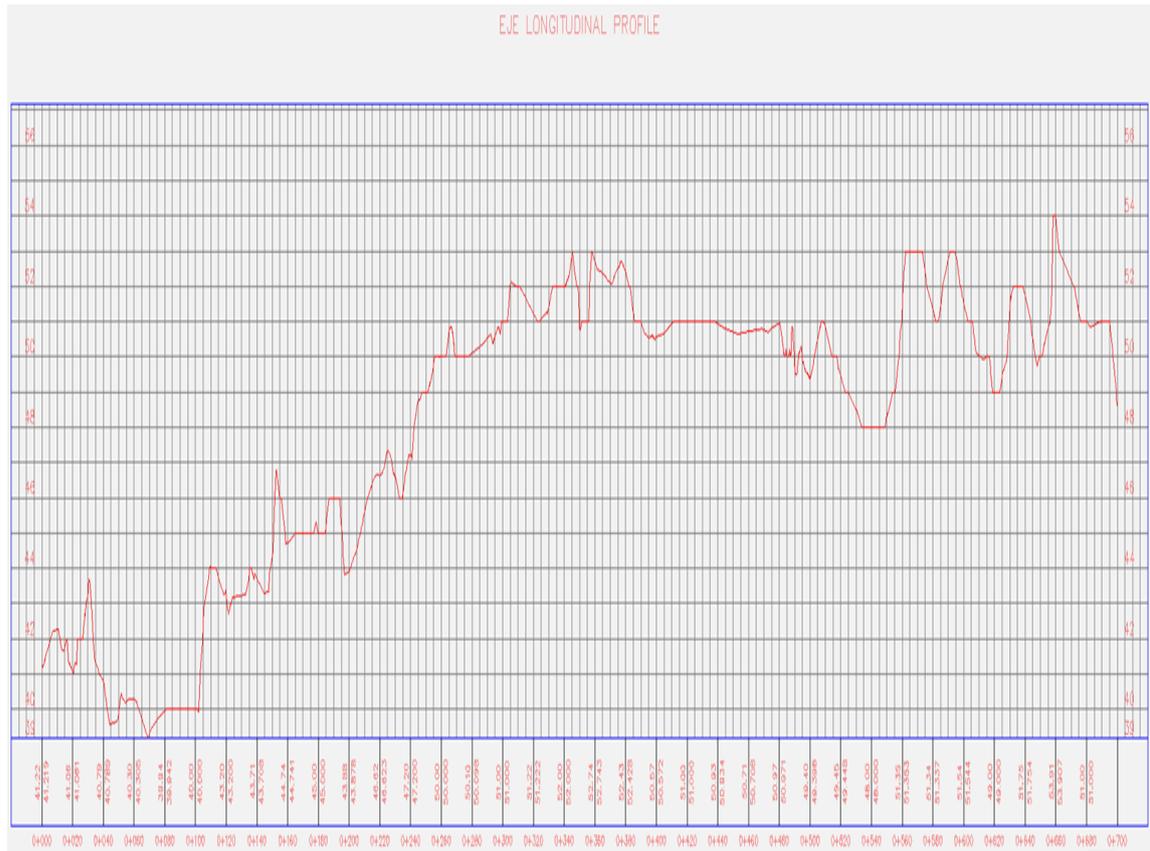


Figura 4.4 Perfil Longitudinal del yacimiento.
Fuente: Procesado en Civil 3D 2019. Gencón, J., 2020.

4.3.4 Potencia yacimiento y capa de estéril

El banco productor en la concesión “San Rafael” está compuesto en promedio por 30 cm de capa vegetal, 80 cm de estéril, una potencia de 1.4 m de reservas probadas y se estima una potencia promedio de 1.5 m de reservas probables, conforme se puede observar en la figura 4.5 y figura 4.6.

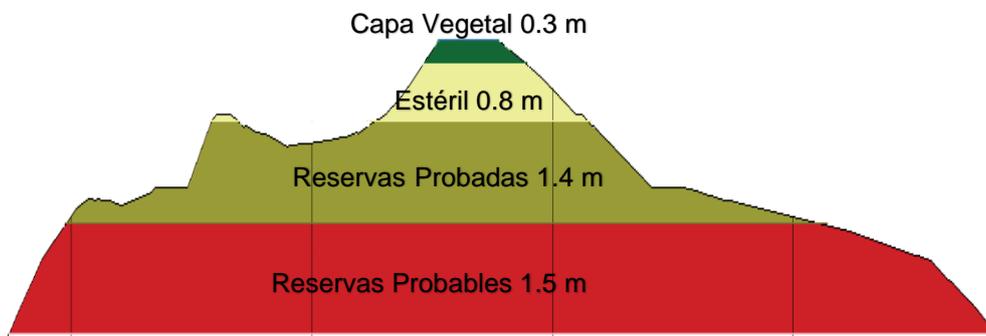


Figura 4.5 Perfil transversal de la cota 0 + 600, potencia de reserva probable, probada, estéril y capa vegetal.
Fuente: Gencón, J., 2020.

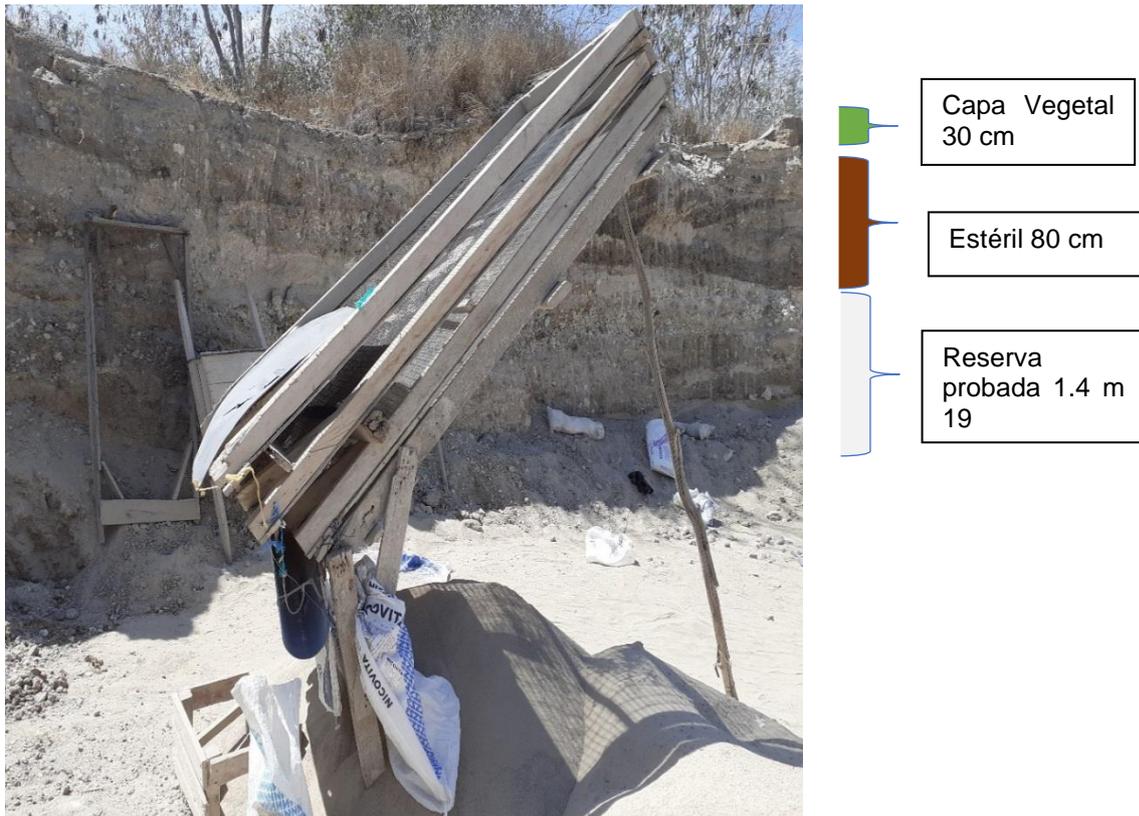


Figura 4.6 Frente de explotación, potencia de reserva probada, estéril y capa vegetal.
 Fuente: Gencón, J., 2020.

4.3.5 Ángulos de reposo o de fricción del material

El ángulo de fricción interno de la grava y arena del yacimiento “San Rafael” es de 30° conforme la tabla VI.

Tabla 4.2. Peso unitario y ángulo de fricción interno de algunos tipos de suelo.

Tipo de terreno	W (kg/m ³)	φ (°)
Arcilla suave	1440 a 1920	0° a 15°
Arcilla media	1600 a 1920	15° a 30°
Limo seco y suelto	1600 a 1920	27° a 30°
Limo denso	1760 a 1920	30° a 35°
Arena suelta y grava	1600 a 2100	30° a 40°
Arena densa y grava	1920 a 2100	25° a 35°
Arena suelta, seca y bien graduada	1840 a 2100	33° a 35°
Arena densa, seca y bien graduada	1920 a 2100	42° a 46°

Fuente: (Osorio, 2012).

Para el yacimiento, considerando que se trata de arena suelta y grava, se tomó como ángulo de fricción el valor de 30° que es el usado para la definición de pendientes de los taludes, cuando se tenga que diseñar estos elementos.

4.4 Criterios financieros para el diseño

4.4.1 Costo de mano de obra

El costo de mano de obra incluye beneficios de ley y consta de: seis mineros artesanales con un sueldo de \$ 400 mensuales, un asesor técnico de \$ 500 mensuales, un auditor para los informes de producción y ya que se realizan 2 informes anuales con un costo de \$ 500 cada uno y soporte de seguridad por un valor mensual de \$ 400.

4.4.2 Costos de equipos, herramientas y maquinaria.

Incluye en este rubro: transporte del material y personal por un valor diario de \$ 8; equipo de protección personal lo compone botas de punta de acero por un valor unitario de \$100 que deben ser cambiadas cada seis meses, guantes para mitigar impactos \$ 15 mensuales, mascarillas \$ 9 mensuales, gafas \$5 mensuales, casco tipo safari \$ 50 anuales, lo que resulta en un total anual de \$ 1794; en herramientas se debe invertir \$ 90 anuales para reposición de pala, pico, barreta y carretilla; las mallas para la zaranda tiene un costo de \$ 50 cada 4 meses; el valor unitario de cada saco es de 16 centavos, considerando la producción de 160 sacos diarios nos lleva a un costo anual de \$9344 y en refrigerios se tiene un gasto de \$ 10 semanales.

4.4.3 Costo de energía.

En planillas de servicio básico mensual de energía eléctrica y agua potable se estima en promedio \$10 usd por rubro.

4.4.4 Costo de patentes de conservación, regalías, capacitación, mantenimiento y restauración del medio ambiente.

Conforme el marco legal vigente para patente de conservación se tiene \$224 anuales ya que son 28 hectáreas y es el 2% del salario básico unificado por hectárea y en regalías \$ 1669.67 que resultan del 3% del costo total de producción que es \$ 55655.56; para cubrir los costos de restauración del medio ambiente anualmente se estima destinar \$ 4610.39 y en capacitación

se prevé una inversión del 5% del costo total de producción y en mantenimiento 2% del costo total de producción.

Tomando en cuenta los rubros anteriores se tiene como resultado la siguiente tabla:

Tabla 4.3. Costo de producción anual en la concesión “San Rafael”.

Descripción	Valor \$ USD
Transporte	2.920,00
Servicios Básicos	240,00
Asesor Técnico	7.514,25
Minero Artesanal (6)	36.548,40
Informe de producción (2)	1.000,00
Herramientas	90,00
Mallas para zaranda	150,00
Sacos	9.344,00
Refrigerios	480,00
Seguridad	6.091,40
Restauración medio ambiente	6.437,81
Capacitación	2.225,25
Mantenimiento	1.287,56
Equipo de protección personal	1.794,00
Patente de conservación	224,00
Regalías	2.283,68
Total	78.630,35
Costo diario	215,43
Costo por saco	1,35

Fuente: Gencon, J., 2020.

Del análisis económico que precede, se obtiene el costo total unitario por saco de USD \$1.35, considerando la producción diaria de 160 sacos, compuesta por el 50% de finos que se comercializan en USD \$3 cada saco y USD \$2.5 por saco el resto de material, se tiene una venta diaria de USD \$240 en finos y USD \$200 en las demás presentaciones; obteniendo la ganancia para los mineros artesanales y concesión de USD \$224.57 por día.

4.5 Criterios operativos para el diseño

4.5.1 Ritmos de explotación y herramientas disponibles

Se considera dos cuadrillas de artesanos mineros con turno de siete días de trabajo y siete de descanso, cada cuadrilla estará compuesta por tres operadores, quienes trabajarán con herramientas manuales y con el debido equipo de protección personal (guantes anti-impactos, cascos, botas con punta de acero, gafas y mascarillas).

No se considera el empleo de maquinaria hidráulica puesto que la producción que maneja la asociación de mineros artesanales está acorde a la demanda del material y al ser material no consolidado la pueden manejar con los turnos de artesanos mineros propuestos, beneficiándose seis familias con ingresos directos y no dos en el caso de optar por equipo pesado.

4.5.2 Productos a comercializar y estimado de producción

Considerando las tablas ubicadas en el anexo C: tabla XI Productos comercializados por la asociación “San Rafael” de (Becerra, 2003), tabla XII Distribución porcentual del material en el yacimiento y tabla XIII Coeficiente de contracción y esponjamiento de (Barros Núñez, 2018) se propone en este proyecto las siguientes reservas en función del material comercializado considerando también un estimado de producción por año hasta el quinto para las reservas probadas y el tiempo de producción de cada producto tanto para las reservas probadas como probables.

Tabla 4.4. Reservas en función del material comercializado.

Tipo de material	Piedra 5, 4 (10%)	Piedra 3 (17%)	Piedra 2 (23%)	Fino (50 %)
Reservas probadas (m³)	8236,8	14002,6	18944,7	41184,2
Reservas con contracción (m³)	7413,2	12602,4	17050,2	39125,0
Tiempo de vida (años)	10,4	10,4	10,4	10,8
Producción año 1	438,0	744,6	1007,4	2190,0
Producción año 2	481,8	819,1	1108,1	2409,0
Producción año 3	530,0	901,0	1219,0	2649,9
Producción año 4	583,0	991,1	1340,8	2914,9
Producción año 5	641,3	1090,2	1474,9	3206,4

Reservas probables (m³)	18511,6	31469,7	42576,7	92558,0
Reservas con contracción (m³)	16660,4	28322,7	38319,0	87930,1
Tiempo de vida (años)	16,5	16,5	16,5	16,9
Producción año 1	438	744,6	1007,4	2190

Fuente: Gencon, J., 2020.

4.5.3 Frentes de explotación y zonas de acopio

Se propone dos frentes de explotación, uno al norte del yacimiento y otro al sur, los cuales van a tener su propia escombrera tanto para el material estéril como para la capa vegetal que posteriormente se emplearan según el plan de manejo ambiental. La zona de acopio será en la vía central E-40 junto a la oficina de la asociación de mineros artesanales “San Rafael”.

4.6 Criterios ambientales para el diseño

Para el diseño a proponer se considera la protección de la quebrada, la zona cultivada al Suroeste, la vía E-40 con su ancho de vía de 50 m y 50 m adicionales a cada lado de la vía por edificaciones, amortiguamiento y servidumbre, como se muestra en la figura 4.7.

Se deberá realizar una escombrera para los estériles del proceso de clasificación del material de interés, material estéril que va a ser empleado para el relleno del frente de explotación formando la capa base de sostén de la capa vegetal a colocar, así como también se deberá construir una escombrera para la capa vegetal, para luego reponerla en el frente de explotación y proceder con el plan de remediación y restauración ambiental; estas dos escombreras para estéril y capa vegetal se contarán tanto en el frente norte como sur del yacimiento.

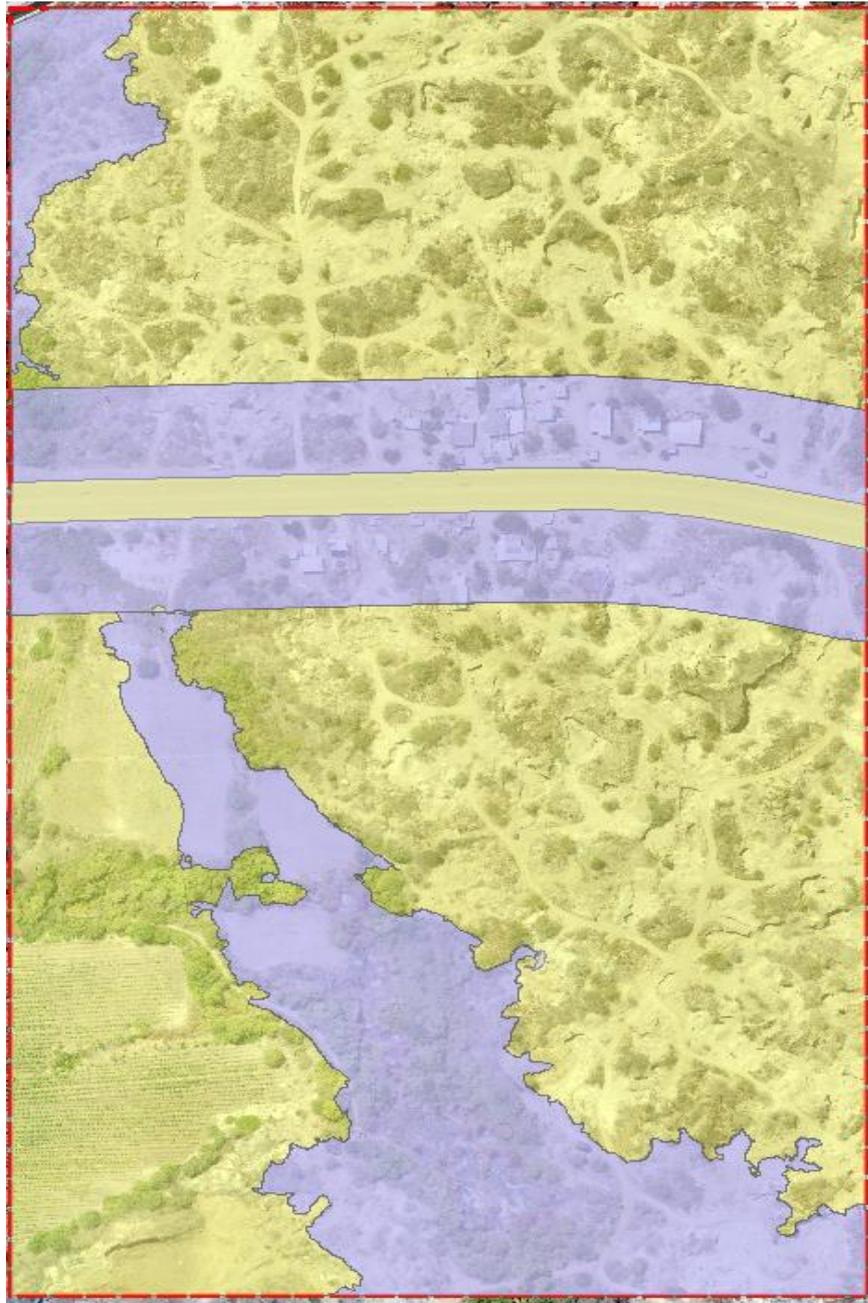


Figura 4.7 Zonas a considerar explotar en el yacimiento “San Rafael”.
Fuente: Gencón, J., 2020.

4.7 Criterios legales para el diseño

La explotación de la asociación de mineros “San Rafael” se enmarca en “pequeña minería” por tener una concesión de 28 hectáreas y una producción diaria de 12 m³/día.

El reglamento general a la ley de minería contempla que, se puede realizar trabajos de exploración y explotación simultáneo con respecto a impuestos: patente de conservación es de 2% el salario básico unificado por hectárea y que las regalías de no metálicos, áridos y pétreos es del 3% del costo de producción (Enriquez, 2020).

La concesión “San Rafael” fue otorgada a la comunidad del mismo nombre en el año 2001 por un periodo de 20 años, por lo que deben renovar la concesión en el 2021.

4.8 Diseño de explotación

Con las consideraciones técnicas, financieras, operativas, ambientales y legales expuestas, se propone el siguiente diseño de explotación de la concesión “San Rafael”:

1. Ancho de vía de 50 m, servidumbre o zona de amortiguamiento de 50 m a cada lado, tanto por la vía como por la ubicación de edificaciones (figura 4.8).



Figura 4.8 Ancho de vía 50 m, zona de servidumbre o amortiguamiento de 50m de cada lado.

Fuente: Gencón, J., 2020.

2. Primera fase de explotación: con banco de 2.5 m para destape de capa vegetal y estéril, cota inferior de primer banco a 50 m. Se toman dos frentes, uno en la parte norte y uno en la parte sur. El área se muestra marcado en verde en la figura 4.9.



Figura 4.9 Primera fase de explotación.

Fuente: Gencón, J., 2020.

3. Segunda fase de explotación: con banco de 2.5 metros para destape de capa con contenido de arena y estéril, cota inferior del segundo banco a 47.50 metros. Se toman dos frentes, uno en la parte Norte y uno en la parte sur. El área se muestra marcado en naranja en la figura 4.10.



Figura 4.10 Segunda fase de explotación.
Fuente: Gencón, J., 2020.

4. Tercera fase de explotación: con banco de 2.5 metros para destape de capa con contenido de arena y estéril, cota inferior del tercer banco a 45.00 metros. Se toman dos frentes, uno en la parte Norte y uno en la parte sur. El área se muestra marcado en amarillo en la figura 4.11. Este es el límite inferior de explotación y que quedaría como superficie de abandono.

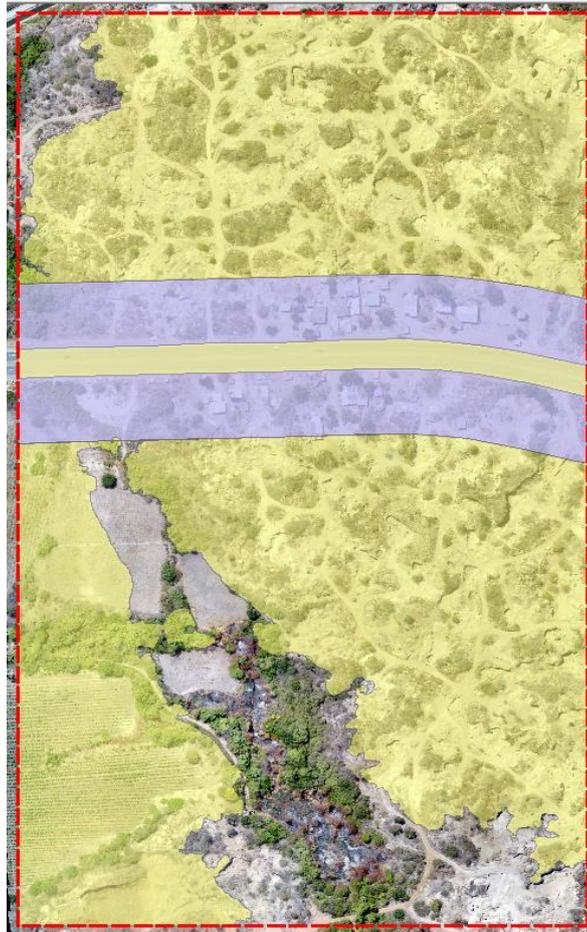


Figura 4.11 Tercera fase de explotación.
Fuente: Gencón, J., 2020.

5. Se propone un diseño de explotación por debajo de la cota de la carretera E40 considerando el ancho de vía, servidumbre o amortiguamiento y las zonas de edificaciones junto a la carretera, por lo que deberán tener 50 m de cada lado adicionales al ancho de vía, por lo que el talud tendrá un ángulo máximo de 5.7° con respecto a la horizontal y se mantiene el drenaje original de la vía. Este ángulo está definido en función del ángulo de reposo del material. A continuación, se presenta el corte o vistas en perfil longitudinal del proceso de avance de la explotación, desde la capa superior hasta la inferior. Se nota el acotado de la vía, así como la servidumbre o área de influencia en las figuras 4.12 y 4.13.

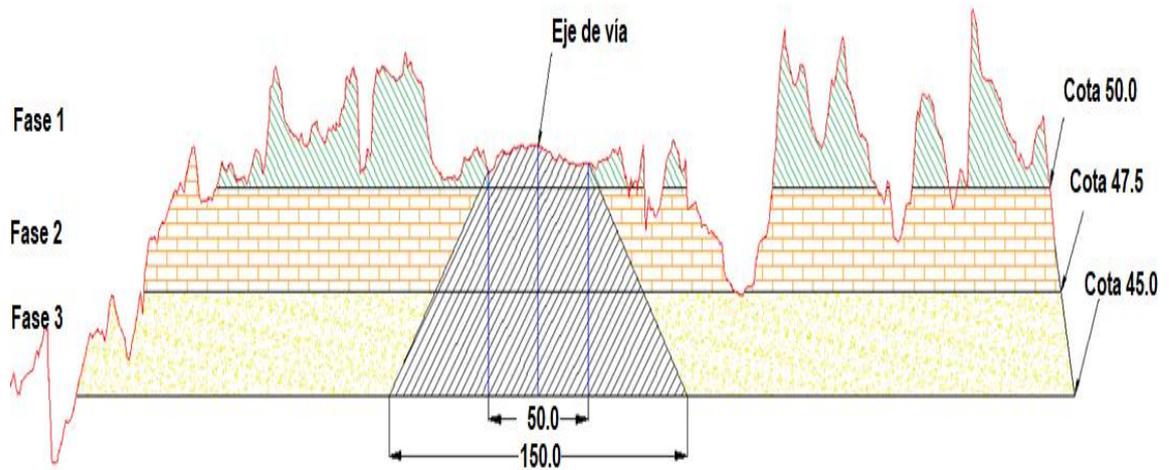


Figura 4.12 Perfil longitudinal de avance de la explotación.
Fuente: Gencón, J., 2020.

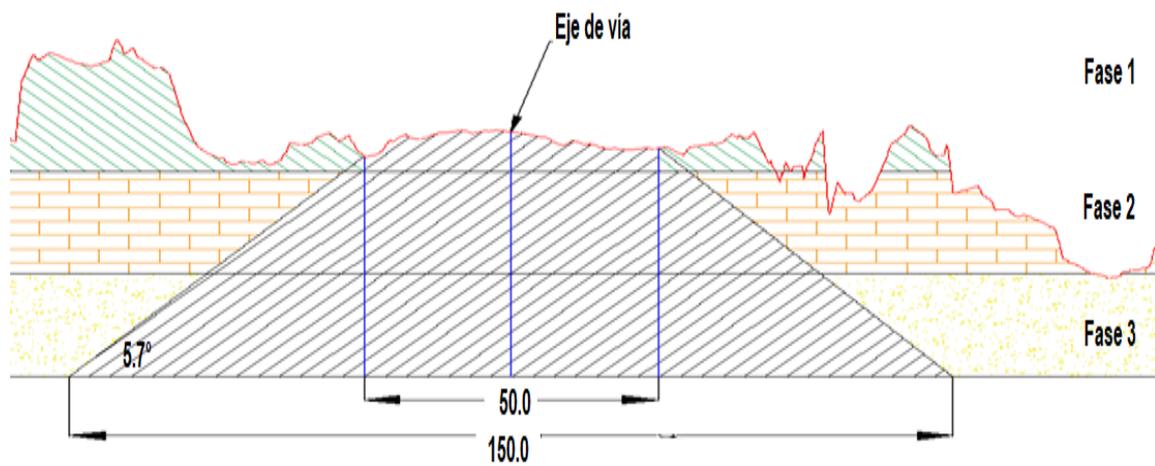


Figura 4.13 Perfil longitudinal del diseño de explotación en la cota de la vía.
Fuente: Gencón, J., 2020.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se obtuvo el ortomosaico generado en el programa Agisoft, alimentado por las fotos tomadas por el dron, georreferenciadas con 4 puntos de control y una base fija.
- Se implantó el límite de las concesiones mineras en el ortomosaico y se observó que, al norte, sur y este de la concesión San Rafael existen actividades que podrían estar fuera de los límites del título minero.
- Se encontró la cantidad de reservas probadas y probables con el método de perfiles transversales discriminando la cota de la carretera y zonas donde se pierde el horizonte productivo, las cuales son: 82,368 m³ y 185,115 m³ respectivamente.
- Se estimó la producción de las reservas probadas para un periodo de 5 años, considerando un incremento anual de producción del 10%, alcanzando a producir el primer año 12 m³/día, segundo año 13.2 m³/día, tercer año 14.5 m³/día, cuarto año 16 m³/día y quinto año 17.6 m³/día.
- Se realizó un diseño de explotación compuesto por dos frentes uno al norte y otro al sur del yacimiento y tres fases con bancos de 2.5 m: la primera fase de explotación para destape de capa vegetal y estéril, con cota inferior a 50 m; la segunda y tercera fase para destape de arena y estéril, con cota inferior a 47.50 metros y a 45.00 metros, respectivamente. El límite inferior de explotación quedaría como superficie de abandono.

- En la cota inferior a la carretera E40 se estableció un diseño de explotación considerando el ancho de vía, servidumbre o amortiguamiento y las zonas de edificaciones junto a la carretera, por lo que deberán tener 50 m de cada lado adicionales al ancho de vía, alcanzando un ángulo máximo de 5.7° con respecto a la horizontal, inferior a los 30° de ángulo de fricción del material “arenas y gravas”, evitando inconvenientes de desestabilización o caída de materiales; manteniendo el drenaje original de la vía, lo que facilita la aplicación para los mineros artesanales.

5.2 Recomendaciones

- Realizar al menos 2 calicatas al norte y 2 calicatas al sur de 2 a 4 metros de profundidad para definir el horizonte de material de interés y confirmar las reservas posibles.
- Colocar hitos o referencias para los límites de la concesión San Rafael, de tal forma que no se explote fuera de los mismos.
- Crear una zona de acopio comunal del material a comercializar, sugerencia podría ser cerca de las instalaciones de la oficina principal de la asociación de mineros.
- Realizar una escombrera para la capa vegetal, para luego reponerla en el frente de explotación y proceder con el plan de remediación y restauración ambiental.
- Realizar una escombrera para los estériles del proceso de clasificación del material de interés, material estéril que va a ser empleado para el relleno del frente de explotación formando la capa base de sostén de la capa vegetal a colocar y así cumplir con el plan de remediación y restauración ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- Baldock, J. W. (1982). Geología del Ecuador: boletín de la explicación del mapa geológico de la República del Ecuador, escala 1:1,000.000 (R. U. I. de C. G. Ecuador. Dirección General de Geología y Minas (ed.); IGM, 1982).
- Barros Núñez, D. R. (Escuela S. P. del L. (2018). Diseño de explotación minera del yacimiento San Rafael y propuesta de elaboración de baldosas hidráulicas, Santa Elena. Escuela Superior Politécnica del Litoral (Ecuador).
- Becerra, A. (2003). Proyecto de Explotación del Yacimiento San Rafael (Vol. 7, Issue 0). ESPOL.
- Enriquez, A. I. (2020). Regímenes Mineros. Instituto de Investigación Geológico y Energético Ecuador, 19.
- López Aburto, V. M. (2013). Diseño de Operaciones Mineras a Cielo Abierto. In Universidad nacional autónoma de México. <https://doi.org/10.22201/fi.9786070265969e.2013>
- Osorio, S. (2012). Peso unitario y ángulo de fricción interno de algunos tipos de suelo. <http://geotecnia-sor.blogspot.com/2012/01/historia-de-la-geotecnia-precursores-de.html>
- Spectra/Geospatial. (2008). Geoid EGM2008. <https://resources.ashtech.com/geoids/maps.htm>
- Topcon tools. Procesamiento de geocontroles. <https://topcon-tools.updatestar.com/es>
- Dronedeploy. Plan y ejecución de vuelo. <https://www.dronedeploy.com/>
- Agisoft. Procesamiento ortomosaico. <https://www.agisoft.com>
- Qgis 64bit. Análisis de límites de la concesión. <https://www.qgis.org/es/site/forusers/download.html>
- Civil 3D 2019. Cálculo de reservas y diseño de explotación. <https://www.autodesk.com/solutions/3d-cad-software>

ANEXOS

ANEXO A

Segundo método para cálculo de reservas

La cantidad de reservas probadas y probables con el método de perfiles transversales en estratos de espesor uniforme son las siguientes:

Tabla 5.1. Reservas por segundo método.

Descripción	Volumen m ³
Volumen total de material a extraer	1.088.000
Reservas probadas	380.800
Reservas probables	408.000
Volumen total de estéril	217.600
Volumen total de capa vegetal	81.600

Fuente: Gencon, J., 2020.

Para obtener el cálculo de reservas se empleó el programa Civil 3D 2019, donde:

- I. Se cargó las curvas de nivel de la concesión.
- II. Se implantó los límites y se procedió a trazar una línea recta a través de la mitad de la concesión con dirección Sur a Norte, tomando mencionada línea para realizar el abscisado.
- III. Se utilizó el modelo de interpolación "Breakline" con líneas de contorno cada metro.
- IV. Se creó la capa vegetal de 30 cm, la capa de estéril de 80 cm, la capa de reservas probadas de 1.4 m y la capa de reservas probables de 1.5 m, dando un total de 4 m de espesor de estrato.
- V. Se trazó líneas de muestro cada 20 m y con rango de estudio a la izquierda y derecha de 200 m.
- VI. Se graficó 34 perfiles y se calculó el volumen de cada material como se puede observar en las figuras 0.28 a 0.30.
- VII. Se exportó el reporte del cálculo de reservas de cada capa (tabla X).



Figura 5.1 Perfil Longitudinal en la mitad de la concesión.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019.Gencón, J., 2020.

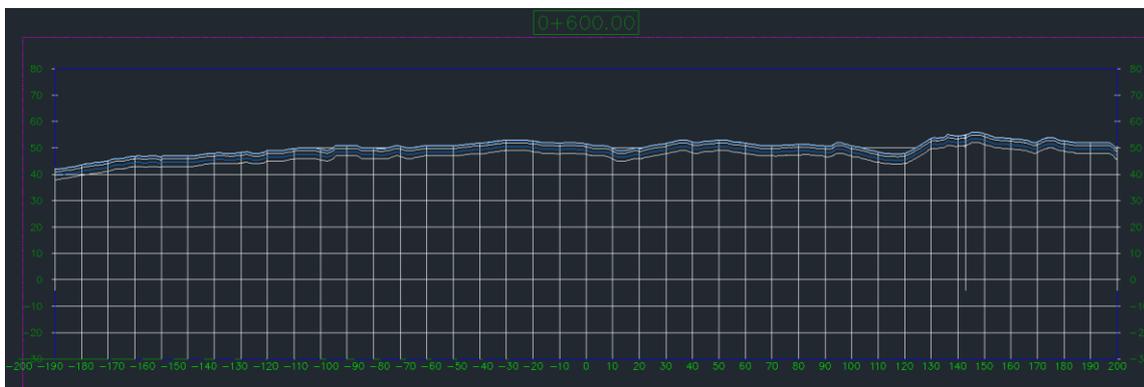


Figura 5.2 Perfil transversal cota 0 + 600.00.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019.Gencón, J.,2020.

Tabla 5.2. Cálculo de reservas por método de perfiles transversales con estratos de espesor uniforme.

Estación	Área (m ²)				Volumen (m ³)			
	Capa vegetal	Estéril	Reserva probada	Reserva probable	Capa vegetal	Estéril	Reserva probada	Reserva probable
0+020	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+040	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+060	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+080	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+100	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+120	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+140	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+160	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+180	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+200	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+220	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+240	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+260	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+280	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+300	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+320	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+340	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+360	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+380	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+400	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+420	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+440	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+460	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+480	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+500	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+520	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+540	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+560	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+580	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+600	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+620	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+640	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+660	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
0+680	120	320	560	600	2400	6400	11200	12000
				Total	81600	217600	380800	408000

Fuente: Gencón J., 2020.

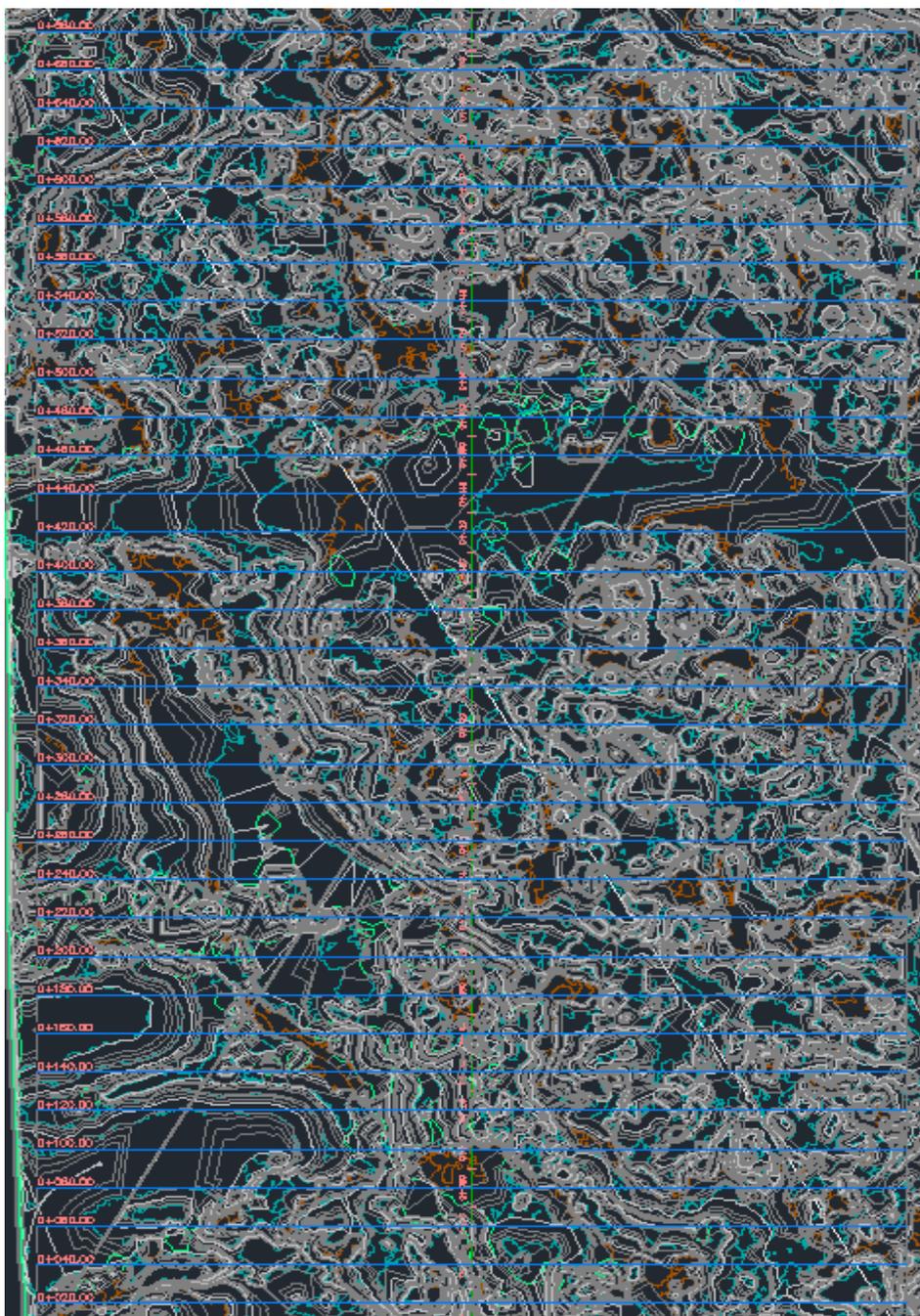


Figura 5.3 Curvas de nivel de la concesión contiene abscisado, modelo de interpolación “Breakline” y líneas de muestreo cada 20 m.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019. Gencón, J., 2020.

ANEXO B

Perfiles transversales para el cálculo de reservas

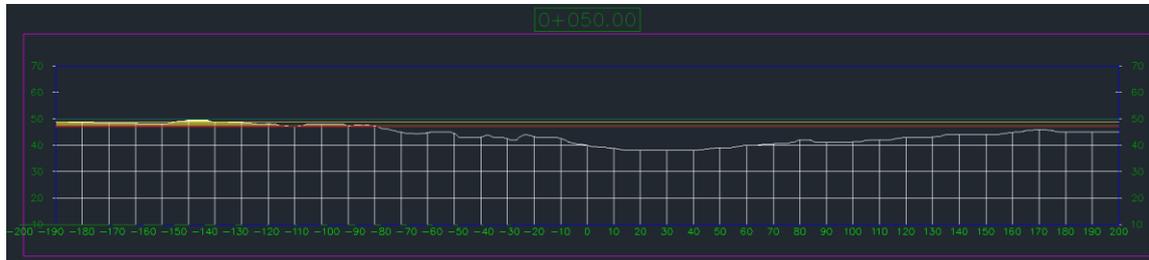


Figura 5.4 Perfil transversal cota 0+050.00.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019.Gencón, J.,2020.

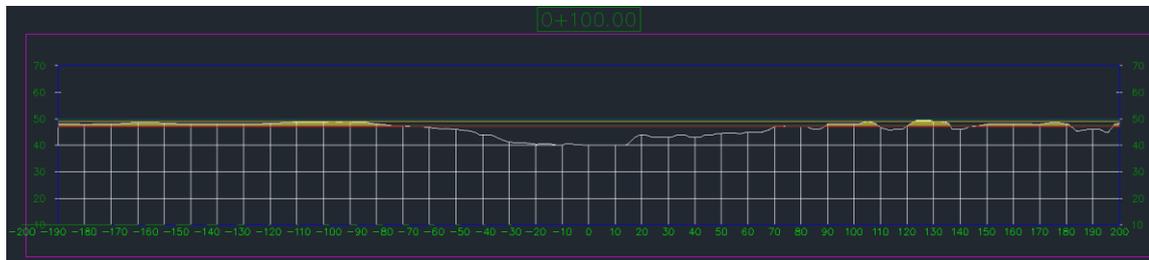


Figura 5.5 Perfil transversal cota 0+100.00.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019.Gencón, J.,2020.

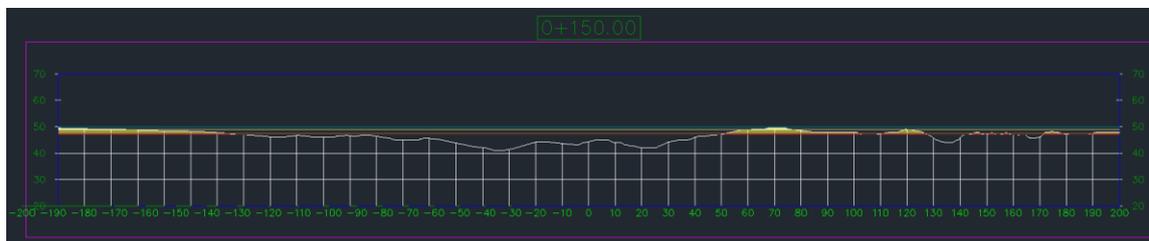


Figura 5.6 Perfil transversal cota 0+150.00.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019.Gencón, J.,2020.

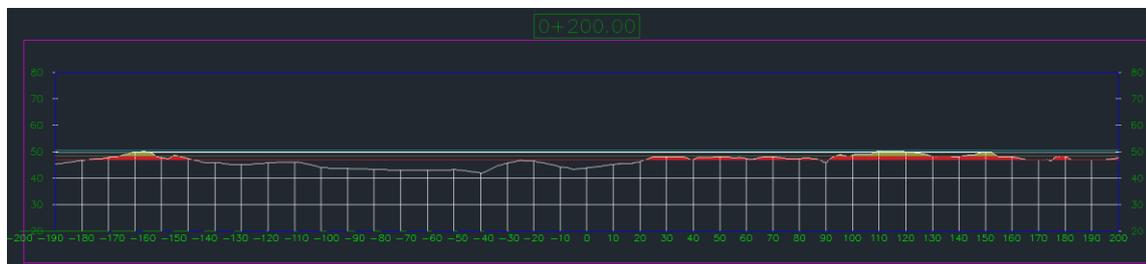


Figura 5.7 Perfil transversal cota 0+200.00.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019.Gencón, J.,2020.

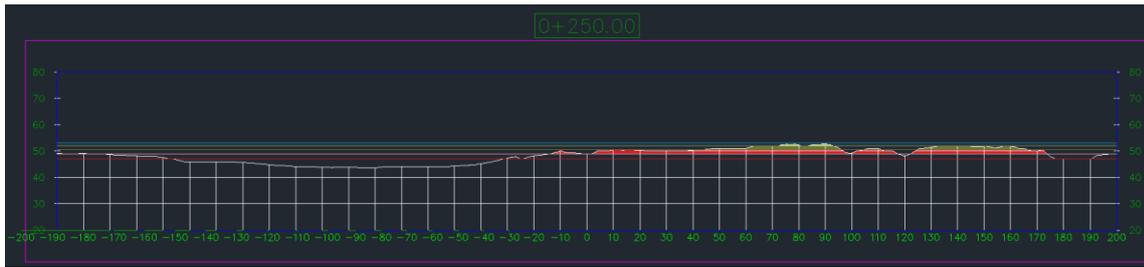


Figura 5.8 Perfil transversal cota 0+250.00.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019.Gencón, J.,2020.

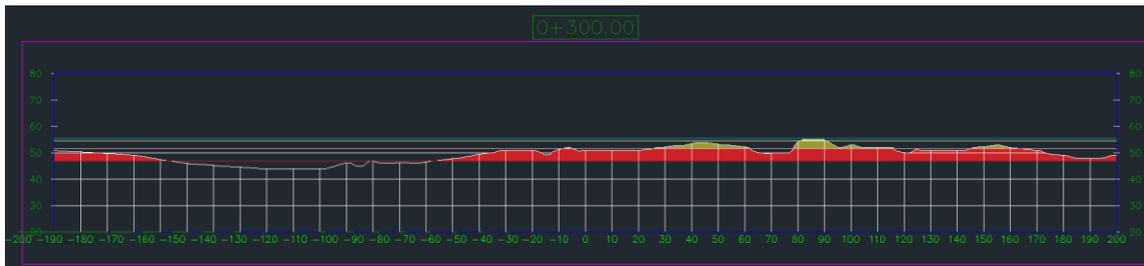


Figura 5.9 Perfil transversal cota 0+300.00.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019.Gencón, J.,2020.

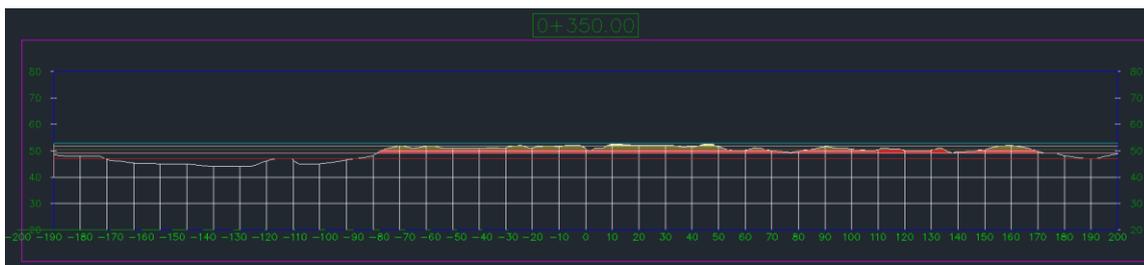


Figura 5.10 Perfil transversal cota 0+350.00.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019.Gencón, J.,2020.

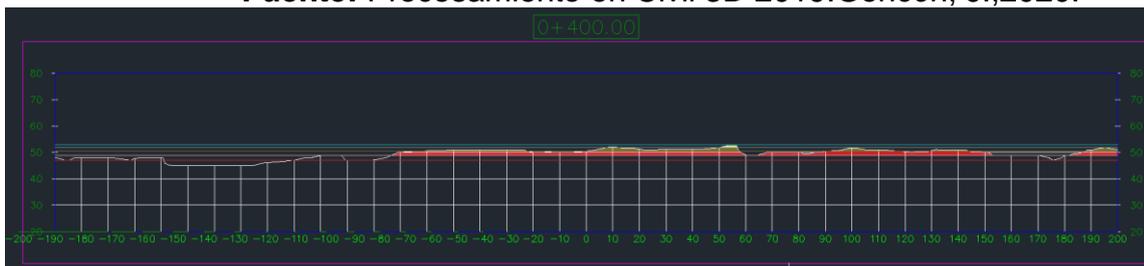


Figura 5.11 Perfil transversal cota 0+400.00.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019.Gencón, J.,2020.

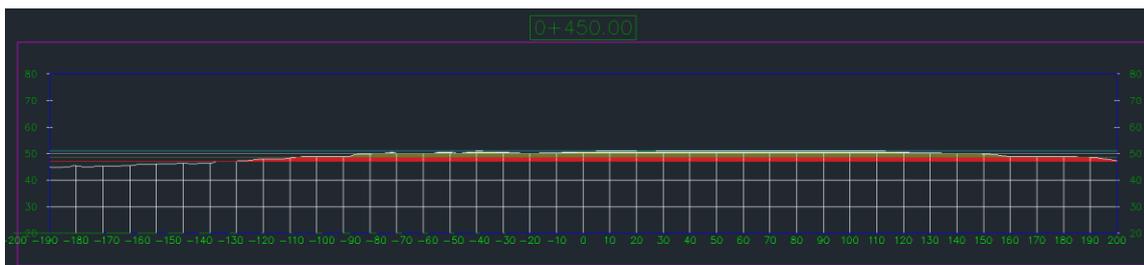


Figura 5.12 Perfil transversal cota 0+450.00.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019.Gencón, J.,2020.

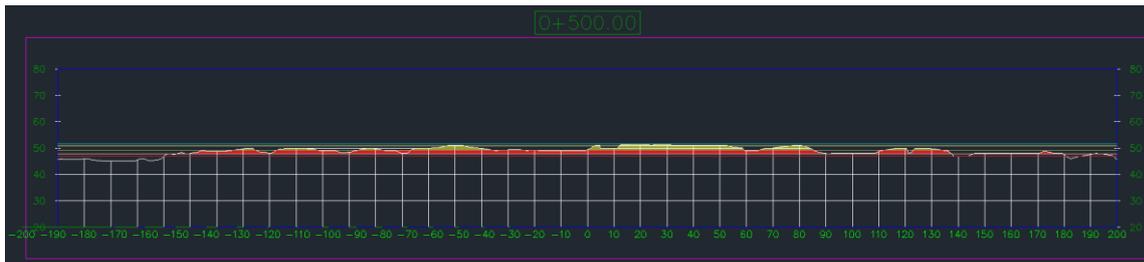


Figura 5.13 Perfil transversal cota 0+500.00.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019.Gencón, J.,2020.

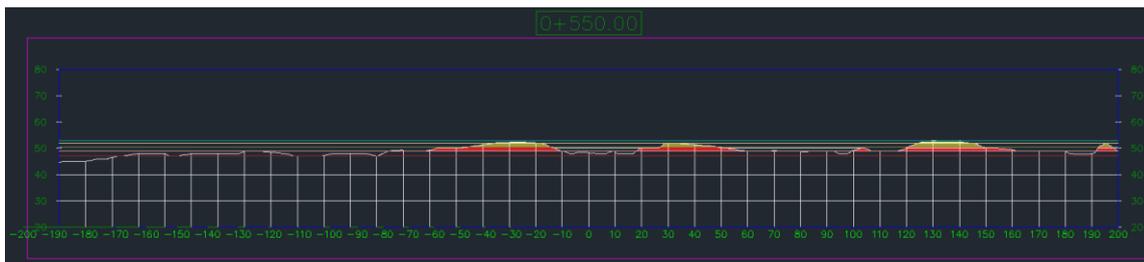


Figura 5.14 Perfil transversal cota 0+550.00.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019.Gencón, J.,2020.

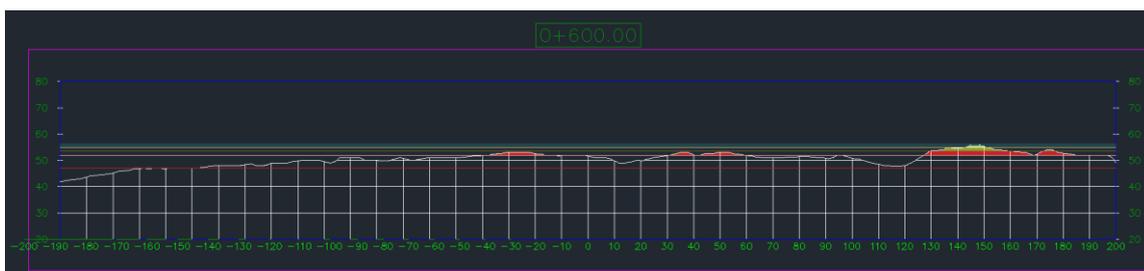


Figura 5.15 Perfil transversal cota 0+600.00.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019.Gencón, J.,2020.

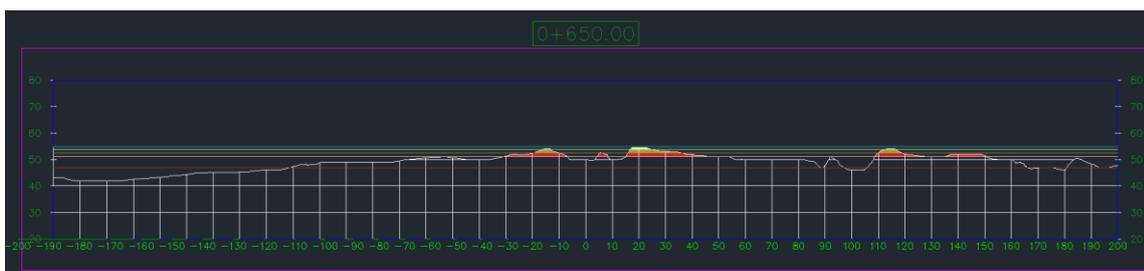


Figura 5.16 Perfil transversal cota 0+650.00.
Fuente: Procesamiento en Civil 3D 2019.Gencón, J.,2020.

ANEXO C

Tablas previas para el diseño de explotación

Tabla 5.3. Productos comercializados por la asociación “San Rafael”.

Nombre comercial	D80 (mm)	Aplicaciones
Polvo	0,1	Fundición
Arena	0,5	Fundición y filtros
Piedra # 1	1,2	Abrasivo
Piedra # 2	1,8	Acabados de pisos y paredes
Piedra # 3	2,8	Acabados de pisos
Piedra # 4	5	Recubrimiento de pozos
Piedra # 5	5,9	Recubrimientos y peceras

Fuente: (Becerra, 2003).

Tabla 5.4. Distribución porcentual del material en el yacimiento.

Material	Distribución en el yacimiento (%)
Piedra # 5 y # 4	10
Piedra # 3	17
Piedra # 2 y # 1	23
Fino	50

Fuente: (Barros Núñez, 2018).

Tabla 5.5. Coeficiente de contracción y esponjamiento.

Material	Esponjamiento $1 + e$ (m ³ S)	Contracción $1 - e$ (m ³ C)
Arena y grava limpia seca	1,07 a 1,15	0,93 a 0,87
Tierra y grava limpia mojada	1,09 a 1,18	0,92 a 0,85
Capa vegetal	1,11 a 1,20	0,90 a 0,84
Tierra común	1,2	0,84
Marga arenosa	1,18	0,83
Marga arcillosa	1,25	0,8
Tierra margosa	1,2	0,84
Lodo	1,24 a 1,35	0,81 a 0,74

Material	Esponjamiento 1 + e (m³S)	Contracción 1- e (m³C)
Arcilla con arena y grava	1,30 a 1,45	0,77 a 0,69

Fuente: (Barros Núñez, 2018).

Tabla 5.6. Características físico-mecánicas del yacimiento “San Rafael”.

Propiedades físico-mecánicas	Valores
Densidad aparente	2,65 t/m ³
Cohesión	<0,5 Kg/cm ²
Angulo de rozamiento interno	35°
Resistencia a la compresión simple	0,2-6 MN/m ²

Fuente: (Becerra, 2003).