

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**INTEGRACIÓN DEL PLAN DE CIERRE DE MINA EN EL DESARROLLO
DE LA EXPLOTACIÓN DEL FRENTE 1 DE LA CONCESIÓN MINERA
LOS VIEJOS, MUNICIPIO PUERTO CABELLO, ESTADO CARABOBO**

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Pedro Arturo Soler Solorzano
para optar al Título de Ingeniero de Minas**

Caracas, mayo de 2019

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

INTEGRACIÓN DEL PLAN DE CIERRE DE MINA EN EL DESARROLLO DE LA EXPLOTACIÓN DEL FRENTE 1 DE LA CONCESIÓN MINERA LOS VIEJOS, MUNICIPIO PUERTO CABELLO, ESTADO CARABOBO

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Miguel Castillejo

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Pedro Arturo Soler Solorzano
para optar al Título de Ingeniero de Minas**

Caracas, mayo de 2019

Caracas, mayo de 2019

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Pedro Arturo Soler Solorzano, titulado:

**“INTEGRACIÓN DEL PLAN DE CIERRE DE MINA EN EL DESARROLLO DE LA
EXPLOTACIÓN DEL FRENTE 1 DE LA CONCESIÓN MINERA LOS VIEJOS, MUNICIPIO
PUERTO CABELLO, ESTADO CARABOBO”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Minas, sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.


Profa. Alba Castillo
Jurado


Prof. Omar Márquez
Jurado


Prof. Miguel Castillejo
Tutor Académico

DEDICATORIA

A mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela, la casa que vence la sombra.

Al Prof. Miguel Castillejo, tutor académico, por toda la ayuda y aprendizaje recibido durante la investigación.

Agradezco a mi padre, madre y hermana por su apoyo y soporte durante toda la vida universitaria.

A todos los profesionales que conocí y me ayudaron durante esta etapa, especialmente al Ing. Cristian Sánchez, Ing. Ángel Mercado, Prof. Diego Marchan y la Ing. Dubraska.

A todos los profesores de la Facultad de Ingeniería por su profesionalismo y dedicación.

A los trabajadores que hacen vida dentro de la concesión minera Los Viejos.

A los compañeros de la Residencia Rebe.

A todos mis amigos, que brindaron su amistad durante múltiples experiencias.

Al Prof. Franklin Becerra porque me enseñó que nada es tan grande como para no intentarlo.

También reconozco el esfuerzo a los científicos de la misión TRMM y LANSAT, el personal asociado de la NASA por la producción de datos utilizados en la investigación.

Soler S., Pedro A.

INTEGRACIÓN DEL PLAN DE CIERRE DE MINA EN EL DESARROLLO DE LA EXPLOTACIÓN DEL FRENTE 1 DE LA CONCESIÓN MINERA LOS VIEJOS, MUNICIPIO PUERTO CABELLO, ESTADO CARABOBO

Tutor Académico: Prof. Miguel Castillejo

**Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología. Minas y Geofísica.
Año 2019. 122 p.**

Palabras clave: Cierre de Mina, Estabilidad de Taludes, Evaluación ambiental y socio-cultural, Erosión hídrica.

RESUMEN

Toda actividad minera genera impactos vinculados a la explotación de yacimientos minerales. El plan de cierre de mina se encarga de establecer las directrices de acuerdo a los impactos producidos por la misma. Para ello, se plantea integrar el plan de cierre de mina en el desarrollo de la explotación del Frente 1 de la concesión minera Los Viejos, ubicada en el sector Mar Azul, municipio Puerto Cabello, estado Carabobo. Se estudiaron en campo las características del macizo rocoso en los taludes del Frente 1 y se ensayaron seis muestras de roca en laboratorio para determinar las características geomecánicas de la roca y poder analizar las condiciones de estabilidad del macizo, obteniendo factores de seguridad entre 0,55 y 1,17 en uno de los taludes. Se evaluaron de manera semicualitativa 10 impactos ambientales y dos socio-culturales tomando observaciones directas en el terreno, estudiando impactos sociales a través de la aplicación de un cuestionario a 45 habitantes del poblado de Gañango y con el uso de imágenes satelitales junto al sistema de información geográfica (SIG) se modelaron de manera conceptual las tasas de erosión hídrica del Frente 1. Posteriormente, se plantearon un conjunto de medidas de prevención, mitigación y corrección de los impactos sobre el medio físico natural y social. Se presenta un programa revegetación donde se recomienda el uso de siete especies leñosas y una arbustiva que se encuentran dentro de la concesión. Así como el diseño de canales de drenajes de sección trapezoidal para garantizar el control de las aguas de escorrentía en los 12 años de vida útil del frente. Se planificó un plan de acción para la reubicación de la maquinaria minera que se encuentra dentro de concesión. Finalmente, se planificaron un conjunto de actividades que deben ser realizadas en distintos periodos de tiempo para darle seguimiento y control a las medidas establecidas.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1 Planteamiento del Problema	2
1.2 Objetivos de la investigación	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Justificación de la investigación.....	3
1.4 Alcances y limitaciones	4
CAPÍTULO II. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO	5
2.1 Ubicación Geográfica	5
2.1.1 Concesión minera Los Viejos	5
2.1.2 Área de explotación Frente 1.....	6
2.2 Descripción general del ámbito físico-natural.....	6
2.2.1 Relieve.....	6
2.2.2 Clima	7
2.2.3 Hidrografía	7
2.2.4 Vegetación	7
2.2.5 Parque Nacional San Esteban	7
2.2.6 Geología de la zona de estudio.....	10
2.3 Laboreo minero.....	13
2.3.1 Volumen de material aprovechable	13
2.3.2 Método de explotación.....	14
2.3.3 Procesamiento mineral.....	15
2.4 Actividad económica de Gañango	16
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO	17
3.1 Antecedentes de la Investigación	17
3.2 Bases Teóricas.....	18
3.2.1 Fundamento del cierre de minas.....	18
3.2.2 Compromiso social y el cierre de minas	18
3.2.3 Cierre de minas y su planificación	18
3.2.4 Evaluación de Impacto Ambiental y Sociocultural.....	19
3.2.5 Principales impactos de la minería	22
3.2.6 Remediación ambiental	23
3.2.7 Caracterización estructural de taludes	23
3.2.8 Parámetros del macizo rocoso.....	24
3.2.9 Clasificación de Bieniawski (Rock Mass Rating - RMR).....	25

3.2.10	Clasificación de Romana – Índice SMR	27
3.2.11	Estabilidad de taludes	29
3.2.12	Análisis de roturas en macizos rocosos.....	29
3.2.13	Riesgo de erosión hídrica	32
3.2.14	Diseño de obras de drenajes superficiales.....	35
3.3	Bases Legales.....	36
3.3.1	Constitución de la República Bolivariana de Venezuela 1999 (Gaceta Oficial N°36.860, 1999)	37
3.3.2	Ley Orgánica del Ambiente (Gaceta Oficial N°5.833, 2006)	37
3.3.3	Ley de Minas (Gaceta Oficial N°36.687, 1999)	38
3.3.4	Ley de minerales no metálicos del estado Carabobo (Gaceta Oficial N°3.394, 2011)	38
3.3.5	Decretos	38
CAPÍTULO IV.	MARCO METODOLÓGICO	39
4.1	Tipo de investigación	39
4.2	Diseño de la investigación.....	39
4.3	Sujeto de estudio	39
4.4	Instrumentos de recolección de datos.....	39
4.5	Procedimiento experimental	41
4.5.1	Análisis de las condiciones de estabilidad del macizo rocoso	42
4.5.2	Evaluación de los impactos ambientales y socio-culturales	42
4.5.3	Establecimiento de medidas de prevención, mitigación y corrección de los impactos ambientales y socio-culturales.....	43
4.5.4	Propuesta de un plan de acción para la reubicación de la maquinaria en desuso	43
4.5.5	Elaboración de un plan de cierre para el seguimiento y control de las medidas establecidas	43
CAPÍTULO V.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	44
5.1	Parámetros geotécnicos de la zona de estudio	44
5.1.1	Sectorización del Frente 1.....	44
5.1.2	Ensayos mecánicos del macizo rocoso.....	45
5.2	Análisis de estabilidad de taludes	46
5.2.1	Talud 1, N36E85S (126,85)	46
5.2.2	Talud 2, N40W85N (50,85).....	50
5.2.3	Talud 3, N55E85N (325,85)	54
5.3	Evaluación de impactos ambientales – socioculturales.....	60
5.3.1	Cuestionario de la comunidad de Gañango	60
5.3.2	Evaluación del riesgo de la erosión hídrica	62
5.3.3	Identificación de los impactos ambientales.....	66

5.4	Medidas de prevención, mitigación y corrección de los impactos ambientales y socio-culturales	74
5.4.1	Medidas referentes a la estabilidad de los taludes	75
5.4.2	Medidas referentes al medio atmosférico	75
5.4.3	Medidas referentes al medio hídrico.....	76
5.4.4	Medidas referentes a la recuperación y protección del suelo	77
5.4.5	Medidas referentes a la comunidad	77
5.4.6	Programa de revegetación.....	78
5.4.7	Control de aguas de escorrentía	80
5.5	Propuesta de plan de acción para la reubicación de la maquinaria	82
5.6	Plan de cierre para el seguimiento y control de las medidas ambientales y socioculturales	87
	CONCLUSIONES.....	89
	RECOMENDACIONES	92
	BIBLIOGRAFÍA.....	93
	ANEXOS.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación relativa de la concesión Los Viejos, Puerto Cabello, estado Carabobo	5
Figura 2.	Ubicación relativa del Frente 1 y el Parque San Esteban	8
Figura 3.	Afloramiento de la Formación Antímamo.....	10
Figura 4.	Afloramiento del yacimiento en el Frente 1	13
Figura 5.	A) Configuración del talud final. B) Topografía actual	14
Figura 6.	Flujograma del procesamiento mineral en la Cantera	15
Figura 7.	Esquema de la falla plana.....	30
Figura 8.	Falla de cuña, característica y configuración estereográfica	31
Figura 9.	Falla circular y configuración estereográfica.....	31
Figura 10.	Falla por volcamiento y configuración estereográfica	32
Figura 11.	Modelo de cuestionario a ser implementado	41
Figura 12.	Procedimiento experimental seguido.	42
Figura 13.	Ubicación relativa de los estudios del macizo rocoso	44
Figura 14.	Ajuste lineal de los resultados obtenidos en el ensayo de corte directo....	46
Figura 15.	Polos y planos de discontinuidades del talud 1	47
Figura 16.	Análisis cinemático para falla plana del talud 1	48
Figura 17.	Análisis cinemático para falla de cuña del talud 1	48
Figura 18.	Sección del talud 1 en la terraza 200 msnm	49
Figura 19.	Polos y planos de discontinuidades del talud 2	51
Figura 20.	Análisis cinemático para falla plana del talud 2	51
Figura 21.	Análisis cinemático para falla de cuña del talud 2	52
Figura 22.	Sección del talud 2 en la terraza 240 msnm	52
Figura 23.	Polos y planos de discontinuidades del talud 3	54
Figura 24.	Análisis cinemático para falla plana del talud 3	55
Figura 25.	Análisis cinemático para falla de cuña del talud 3	55
Figura 26.	Análisis de estabilidad mecánico de falla plana para el talud 3	56
Figura 27.	Vistas de la cuña generada por las familias de diaclasas D1-D2	57
Figura 28.	Vistas de la cuña generada por las familias de discontinuidad D1-B1	57
Figura 29.	Vistas de la cuña generada por las familias de discontinuidad D2-B1	58
Figura 30.	Sección del talud 3 en la terraza 240 msnm	59
Figura 31.	A) Inicio de limpieza con cargador frontal, B) Transcurso de limpieza de la carretera, C) Vehículos transitando en la carretera libre de obstáculos	60
Figura 32.	Distribución espacial de los factores C y LS del modelo USLE.....	63
Figura 33.	Distribución espacial de las tasas de erosión en el Frente 1 según USLE ...	65
Figura 34.	A) Polígono del área reforestada en el 2015. B) Situación actual de las plantas vetiver sembradas en la poligonal.....	67

Figura 35.	A) Desechos de maquinaria B) Estado actual del área dedicada a los desechos industriales	68
Figura 36.	Ubicación de las mediciones de ruido	69
Figura 37.	Estado de la vía de acarreo en la cota 200 msnm	70
Figura 38.	A) Material particulado atmosférico por el apilamiento mineral. B) Vista desde la terraza 100 msnm del material particulado atmosférico	71
Figura 39.	Vista del Frente 1 tomado desde el Frente 2	72
Figura 40.	Configuración geométrica del canal	82
Figura 41.	Plan de acción para la reubicación de la maquinaria y equipos mineros....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Coordenadas UTM/REGVEN de la concesión minera Los Viejos.....	6
Tabla 2.	Coordenadas UTM/REGVEN del Frente 1	6
Tabla 3.	Orientación y espesor de los paquetes del Frente 1.....	13
Tabla 4.	Criterios de diseño minero utilizados en el Frente 1	14
Tabla 5.	Factores a considerar en la evaluación de impactos ambientales.....	21
Tabla 6.	Clasificación de los impactos de acuerdo al nivel de importancia (<i>I</i>).....	22
Tabla 7.	Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el índice RQD.....	25
Tabla 8.	Parámetros de la clasificación y sus ratings	26
Tabla 9.	Clasificación individual según las características de las discontinuidades..	26
Tabla 10.	Clasificación del macizo rocoso determinado del total de Ratings.....	27
Tabla 11.	Valores de F_1 , F_2 , y F_3 para el SMR.....	28
Tabla 12.	Factor de ajuste según el método de excavación	28
Tabla 13.	Calidad del talud rocoso según el índice SMR.....	29
Tabla 14.	Valores del factor P en función de la pendiente.....	35
Tabla 15.	Ubicación de los taludes estudiados	45
Tabla 16.	Resultados de ensayo de compresión simple (UCS)	45
Tabla 17.	Resultados del ensayo de corte directo	46
Tabla 18.	Estimación del valor RQD del talud 1	49
Tabla 19.	Clasificación RMR del talud 1	50
Tabla 20.	Clasificación SMR del talud 1	50
Tabla 21.	Estimación del valor RQD del talud 2	53
Tabla 22.	Clasificación RMR del talud 2	53
Tabla 23.	Clasificación SMR del talud 2	53
Tabla 24.	Análisis mecánico para falla de cuña generado por las diaclasas D1-D2.....	56
Tabla 25.	Análisis mecánico para falla de cuña generado por las discontinuidades D1-B1.....	57
Tabla 26.	Análisis mecánico para falla de cuña generado por las discontinuidades D2-B1	58
Tabla 27.	Estimación del valor RQD del talud 3	59
Tabla 28.	Clasificación RMR del talud 3	59
Tabla 29.	Clasificación SMR del talud 3	60
Tabla 30.	Índice de erosividad pluvial en la zona de estudio.....	62
Tabla 31.	Tasas de erosión en el Frente 1 según USLE	66
Tabla 32.	Impactos ambientales – socioculturales de la Concesión Los Viejos	66
Tabla 33.	Niveles de ruido equivalente medidos.....	69
Tabla 34.	Clasificación de los impactos ambientales socioculturales.....	74

Tabla 35.	Especies vegetales recomendadas para la revegetación	80
Tabla 36.	Caudal de diseño de las principales vertientes en el frente.....	81
Tabla 37.	Parámetros del diseño geométrico para el sistema de drenaje.....	82
Tabla 38.	Inventario de maquinaria minera dentro de la concesión	84
Tabla 39.	Poligonal del área para la disposición de partes y piezas dañadas	85
Tabla 40.	Cronograma de monitoreo de las medias ambientales socioculturales	87
Tabla 41.	(Continuación) Cronograma de monitoreo de las medias ambientales socioculturales.....	88

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo consiste en integrar el cierre progresivo de una mina de minerales no metálicos de acuerdo al desarrollo de la explotación minera, siendo una herramienta para la planificación de la gestión ambiental. El interés de la investigación se refleja en la necesidad de incluir el cierre de minas dentro de la planificación minera de la concesión minera Los Viejos, estado Carabobo.

En la investigación, se identificaron en campo las variables del medio afectadas por la explotación del Frente 1, a través de la evaluación de impactos ambientales, la inclusión de la población más cercana con la aplicación de cuestionarios, para ser analizados utilizando una matriz de importancia con la finalidad de establecer medidas de prevención, mitigación y corrección de los impactos encontrados. Además, se elaboró un plan de seguimiento y control donde se refleja el conjunto de actividades a realizar para el cierre progresivo del frente.

Se analizaron las condiciones de estabilidad del macizo rocoso, utilizando parámetros geotécnicos y midiendo las distintas discontinuidades encontradas en el afloramiento, para clasificar el macizo según el sistema *Slope Mass Rating* (SMR).

A fin de darle un destino final a la maquinaria en desuso presente en la concesión y relacionadas al Frente 1, se propuso un plan de acción para la reubicación de dicha maquinaria, una vez finalizadas las operaciones mineras.

Durante el proceso de elaboración de la presente investigación, la concesión minera Los Viejos fue revocada a la empresa Canteras Tacarigua C.A, antiguamente encargada de la explotación del yacimiento y le fue asignada a la empresa SERCO 22 C.A, cambiando de esta manera la administración y la gerencia empresarial.

CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

Toda actividad minera genera impactos vinculados a la explotación de yacimientos minerales. El rango de alcance de esta industria no solamente es territorial y económico, existen otros medios como el social, ambiental, incluso cultural, que pueden verse afectados, positiva o negativamente producto de estas operaciones. Además, hay que tener en cuenta que se explotan recursos no renovables, finitos e inamovibles, cuyos impactos ocasionados suelen perdurar a lo largo del tiempo, de esta forma el plan de cierre de mina, permitirá establecer las directrices cónsonas a los impactos estudiados.

Según el plan de explotación, el Frente 1 de la concesión minera Los Viejos fue el primer lugar donde se comenzó la extracción de mármoles calcínicos-dolomíticos; para el 2017 se estimaron 825.207 m³ de material aprovechable y una vida útil de 12 años. Se espera que el mencionado frente sea el primero en agotar sus reservas, sin embargo, como en toda actividad susceptible a degradar el ambiente se producen impactos, en este caso derivados del desarrollo minero, además, la legislación nacional exige un estudio de impacto ambiental-sociocultural y en este caso no se dispone de tal estudio. Asimismo, se desconoce si existen medidas de prevención, mitigación y corrección que hayan sido llevadas a cabo en la actualidad y que sean acordes a los impactos generados por la explotación del Frente 1. Por otro lado, se desconocen las condiciones de estabilidad geomecánica del diseño del frente una vez agotado el yacimiento.

Hay que tener en cuenta que los planes de cierre de mina junto a los planes de explotación son dinámicos, estos deben ser actualizados regularmente, ya que las condiciones de estudio irán variando con el tiempo acorde al avance de mina.

Se plantea la integración de un plan de cierre de mina en el desarrollo de la explotación del Frente 1 de la concesión minera Los Viejos, ubicado en el sector Mar Azul, municipio Puerto Cabello, estado Carabobo.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo General

Integrar el plan de cierre de mina en el desarrollo de la explotación del Frente 1 de la concesión minera Los Viejos, ubicada en el sector Mar Azul, municipio Puerto Cabello, estado Carabobo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analizar las condiciones de estabilidad del macizo rocoso de acuerdo a la planificación actual del frente en explotación.
- Evaluar los impactos ambientales y socio-culturales asociados al laboreo minero en el Frente 1.
- Establecer medidas de prevención, mitigación y corrección de los impactos ambientales y socio-culturales de acuerdo al avance de la extracción mineral.
- Proponer un plan de acción para la reubicación de la maquinaria una vez finalizada las operaciones mineras del Frente 1.
- Elaborar un plan de cierre que permita el seguimiento y control de las medidas establecidas de acuerdo al desarrollo de la explotación del Frente 1.

De acuerdo a estos objetivos, la investigación se enfoca en integrar el plan de cierre de mina partiendo de tres principios, el conocimiento previo de las condiciones, la realización de acciones y el seguimiento de las mismas en el tiempo.

1.3 Justificación de la investigación

Hay que destacar que el cierre de minas en Venezuela está tomando mayor importancia en los últimos años; su aplicación en canteras a nivel nacional es reciente. Se espera con esta investigación demostrar que el cierre de minas no solamente es una herramienta ambiental, sino que aplicada de manera oportuna e integrada con la planificación minera puede mejorar las condiciones finales de la explotación, evitando incurrir en costos posteriores.

Con la presente investigación, la Cantera podrá organizar sus operaciones referentes al cierre progresivo en la actualidad hasta el agotamiento del material aprovechable del Frente 1. Con la aplicación del estudio se podrán mejorar las condiciones ambientales finales, además que servirá para actualizar el plan actual de cierre y jugará el rol de línea base para el cierre progresivo de los otros frentes de explotación.

La investigación contará con un enfoque a nivel social, ya que se tomará en cuenta la opinión de la comunidad residente del lugar, poblado de Gañango, que suministra buena parte de la mano de obra de la Cantera. La idea es evidenciar el impacto que ha tenido la explotación sobre su comunidad, positiva o negativamente. Además de recopilar las necesidades y posibles actividades que puedan sustentar económicamente a la población una vez culminada la actividad minera.

Se espera mejorar la imagen de la Cantera al poner en práctica sugerencias a nivel socio ambiental, tomando en cuenta valores técnicos, ambientales y sociales que generen una

herramienta practica integrada a la planificación minera. Así mismo, será un aporte importante al desarrollo de próximas investigaciones relacionadas al cierre de minas en nuestro país.

1.4 Alcances y limitaciones

La investigación se centra en aportar conocimientos técnicos para el manejo progresivo del cierre de mina sin tomar en cuenta factores económicos que pueden afectar la implementación de las medidas expuestas.

Los proyectos de cierre de mina suelen involucrar gran cantidad de estudios a ser considerados. En este sentido, el alcance implementado va desde estudio geotécnico, de estabilidad de taludes, estudio conceptual de erosión de suelo, diseño de canales de drenaje, reforestación y planificación ambiental, hasta consultas con la comunidad cercana.

Se tomó el Frente 1 como límite geográfico de estudio, excluyendo así, el Frente 2, Frente de lajas y la escombrera dentro de la concesión, por ser el frente con mayor tiempo en extracción.

Las principales limitaciones encontradas durante el desarrollo de la investigación están relacionadas con el aspecto económico, influyendo en el traslado, la estadía en lugar de estudio y la elaboración de ensayos. Así mismo, el cambio de la imagen empresarial afectó en menor medida la obtención de información de la Cantera.

CAPÍTULO II. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1 Ubicación Geográfica

El área minera de explotación y procesamiento se corresponde con la concesión minera Los Viejos destinada al procesamiento de mármoles calcíticos dolomíticos (Canteras Tacarigua C.A., 2018). El área de concesión se encuentra en el sector La Ensenada Mar Azul, vía Patanemo, en el municipio Puerto Cabello del estado Carabobo, a ambos márgenes de la Carretera Nacional, en la actualidad la empresa SERCO 22, C.A. es la empresa que maneja las operaciones mineras, ver Figura 1.



Figura 1. Ubicación relativa de la concesión Los Viejos, Puerto Cabello, estado Carabobo
Fuente: Google Earth.

2.1.1 Concesión minera Los Viejos

La concesión se encuentra definida por un polígono irregular de 14 vértices definidos por sus coordenadas UTM/REGVEN presentados en la Tabla 1 y en el Anexo 1, abarcando un área de 121,33 ha con una altitud de 50 msnm hasta los 280 msnm.

Tabla 1. Coordenadas UTM/REGVEN de la concesión minera Los Viejos

Punto	Norte	Este
1	1.156.086	614.625
2	1.155.566	614.694
3	1.155.493	614.723
4	1.155.654	615.105
5	1.155.850	615.142
6	1.155.923	615.278
7	1.155.943	615.569
8	1.155.961	615.987
9	1.156.476	616.039
10	1.156.908	615.865
11	1.156.910	615.551
12	1.156.367	615.600
13	1.156.139	615.300
14	1.156.272	614.936

Fuente: (Rivero, 2018)

2.1.2 Área de explotación Frente 1

El área de explotación “Frente 1” está definido por un polígono irregular de siete vértices de acuerdo a las coordenadas UTM/REGVEN mostradas en la Tabla 2 y en el Anexo 1, abarcando un área de 31,15 ha.

Tabla 2. Coordenadas UTM/REGVEN del Frente 1

Punto	Norte	Este
F1	1.156.198	614.811
F2	1.156.272	614.936
F3	1156282	614968
F4	1.156.252	615.195
F5	1.155.828	615.349
F6	1.155.557	614.914
F7	1.155.586	614.721

Fuente: (Canteras Tacarigua C.A., 2018)

2.2 Descripción general del ámbito físico-natural

2.2.1 Relieve

La topografía predominante pertenece al sistema montañoso del Caribe o de la Costa, es una continuación estructural del Arco Insular de la región Oriental del Caribe. Constituye un sistema montañoso del tipo alpino con variadas formas de relieve, tales como valles interiores, lomas, colinas y lomas de pendientes predominantes entre 20% y 30% entre la zona costera hasta los 400 msnm. También es posible encontrar amplios valles como el de los ríos Patanemo y Borburata, en donde se observan medios depositacionales, generalmente de pendientes

menores al 5%, donde se desarrollan las localidades con iguales nombres. La localidad de Puerto Cabello se desarrolla en una pequeña franja litoral y constituye el 14% del total de la superficie municipal, característico de un medio depositacional de litoral marino (INE, 2011).

2.2.2 Clima

El clima está influenciado directamente por la altitud y disposición del relieve. En la zona montañosa es tropical lluvioso y en la costa es seco. La temperatura media anual es de 27°C, teniendo como mínima 23°C y máxima en 30°C. La precipitación promedio es de 475 mm anuales (estación Puerto Cabello), tiene un patrón de distribución temporal con régimen bimodal con máximos en el mes de agosto y noviembre. En los meses de enero y febrero se manifiesta la sequía (INE, 2011).

2.2.3 Hidrografía

La red hidrográfica del estado Carabobo parte de las cuencas del Mar Caribe, Lago de Valencia y Orinoco. La Cantera se encuentra en la cuenca del Mar Caribe que pertenece a la vertiente norte de la Serranía del Litoral, cuyos cursos de agua son de corta longitud; entre sus principales ríos están: San Esteban, Goaigoaza, Borburata, Patanemo, Canoabo, Uramay y Sanchón. La Cuenca del Lago de Valencia tiene entre sus afluentes los ríos Güigüe, Maruria, Cura, Mariara, Ereigüe, Guacara, Los Guayos y Cabriales (FUDENA, 2016).

2.2.4 Vegetación

La cobertura vegetal predominante es la de bosques tropófilos basimontanos deciduos (entre 300 - 600 msnm); con altura del dosel de baja a media (10 - 20 metros), de uno a dos estratos arbóreos y un sotobosque denso. Por debajo de los 300 msnm se desarrollan arbustos xerófilos litorales y sobre los 600 msnm bosques ombrófilos sub montañas y semideciduos estacionales que presentan de dos a tres estratos arbóreos, densos, de altura media (INE, 2011). Por la ubicación de la zona de estudio, ésta presenta características similares a la vegetación del Parque Nacional San Esteban.

2.2.5 Parque Nacional San Esteban

El Decreto N° 1.714 designa el Parque Nacional San Esteban, representando a una variada gama de ecosistemas y diversos paisajes, que van desde bosques de montaña hasta cálidas playas, ensenadas e islas sobre el Mar Caribe. Aunque la concesión minera Los Viejos, no se encuentra enmarcada dentro de los límites del parque, a 1,5 km del Frente 1 se encuentra el lindero norte del Parque San Esteban (Figura 2), las características naturales pueden ser extrapolables a la zona de concesión por su cercanía.

Inicialmente el parque fue concebido como una extensión del Parque Nacional Henri Pittier. De hecho, el lindero oriental de San Esteban colinda directamente con el lindero occidental de Henri Pittier, funcionando ambas como una sola unidad de protección desde el punto de vista ecológico.

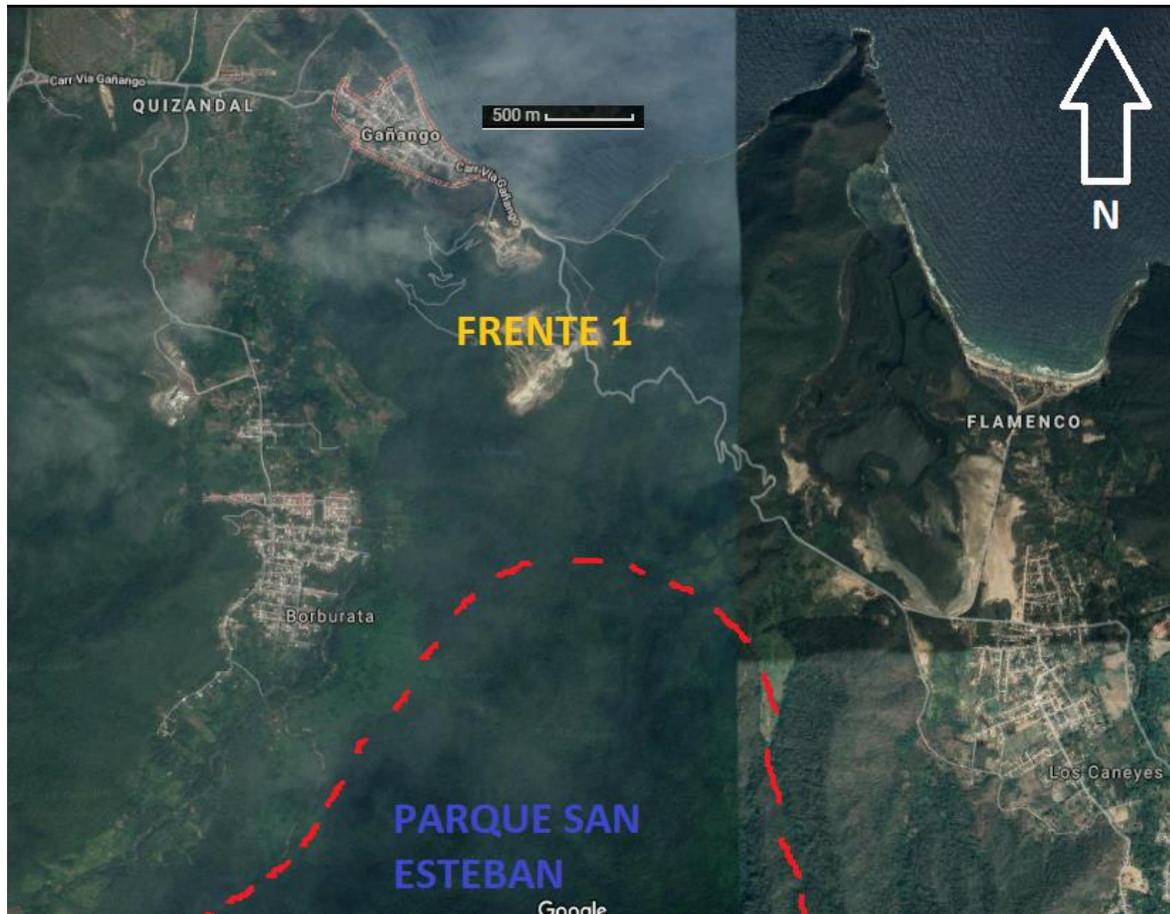


Figura 2. Ubicación relativa del Frente 1 y el Parque San Esteban
Modificado: Google Earth

Ecosistemas

El parque abarca la vertiente sur y norte de la Cordillera de la Costa e incluye una zona marino-costera en el Mar Caribe con lagunas, playas e islas con arrecifes coralinos. En la zona costera se observan manglares, lagunas costeras e islas, arbustos xerófilos y herbazales, litorales y praderas de fanerógamas marinas. En el área montañosa son característicos los bosques húmedos tropicales y las selvas nubladas. En la laguna de Patanemo destaca la presencia de formaciones coralinas. Entre los 200 y 400 m de altitud, es característico un bosque seco bajo y deciduo con cardones intercalados. A partir de los 400 m, se observan sabanas producto de la intervención del ser humano a través de la tala y quema. Entre los 600 y 1.000 m, se localiza el bosque húmedo siempre verde y a partir de

los 1000 m el bosque nublado, el cual contiene una gran variedad de especies arbóreas (INPARQUES, 2017).

Vegetación

Como en toda la Cordillera de la Costa, aquí la vegetación es rica y variada, en ella conviven montes xerófilos, matorrales, sabanas y bosques. En la costa abundan manglares como el *Rhizophora mangle* y *Cocoloba uvifera*. Hacia el sur se observan cardones y espinares. Entre los 200 - 400 msnm, surge el bosque seco bajo y deciduo. Hacia los 700 msnm, se desarrolla el bosque deciduo, medio a alto donde abunda el yagrumo (*Cecropia spp.*), la casia (*Cassia sp.*), la guama (*Inga sp.*), el araguaney (*Tabebuia chrysantha*), el matapalo (*Ficus sp.*) y el bucare (*Erythrina sp.*). Desde los 900 msnm, hacia arriba nace la selva verde con su variada y compleja composición, allí crecen palmeras como la macanilla (*Bactris setulosa*), caña de molinillo (*Chamaedorea pinnatifrons*), la palma de cacho (*Dictyocaryum fuscum*), palmita de sombra (*Geonoma sp.*), la palma prapa (*Wettinia praemorsa*); lianas, epífitas e imponentes árboles donde destaca el cucharón (*Grynanthera caribensis*). En el Parque Nacional San Esteban, se han registrado hasta los momentos 125 familias, 703 géneros y 1.520 especies (INPARQUES, 2017).

Fauna

La fauna no se encuentra bien descrita, al menos no de manera específica para San Esteban; sin embargo, hay suficientes razones para suponer que, a grandes rasgos, ésta es similar en composición a la fauna de su vecino, el Parque Nacional Henri Pittier (ParksWatch, 2004).

En el Parque Nacional Henri Pittier se han reportado 170 especies de mamíferos que representan 32 de las 39 familias presentes en el país (Fernández & Ulloa, 1990). Los murciélagos (orden Quiróptera) representan el 55% de la mastofauna de este parque, seguido por los roedores (18%) y los carnívoros (11%).

Estudios de cacería ilegal y de usos folclóricos de la fauna del parque, han servido para reportar la presencia de al menos 34 especies de fauna usadas por el ser humano (Silva & Strahl, 1996). Entre las cuales están el paují copete de piedra (*Pauxi pauxi*), perdices (*Geotrygon sp.*), guacharacas (*Ortalis ruficauda*), felinos (*Leopardus tigrinus* & *Panthera onca*), báquiro (*Tayassu tajacu*), dantas (*Tapirus terrestris*), lapa (*Agouti paca*), venado matacan (*Mazama gouazoubira*), pavas (*Penelope argyrotis* & *Penelope purpurascens*) y el picure (*Dasyprocta leporina*).

2.2.6 Geología de la zona de estudio

Geología Regional

El estado Carabobo cuenta con una geología compleja y heterogénea debido al emplazamiento geotectónico al cual pertenece la región; muestra estructuras: anticlinales, sinclinales, y fallas, que le confieren aproximadamente un 75 % a todo lo largo de su territorio, condiciones de un relieve montañoso propio de la Cordillera de la Costa (Canteras Tacarigua C.A., 2018).

El yacimiento de mármol forma parte de la provincia metamórfica de la Fase Antímamo (Petróleos de Venezuela, S.A., 1999), Formación Las Brisas y Formación Las Mercedes, una importante unidad que conforma la parte inferior del Grupo Caracas, la cual atraviesa toda la Cordillera de la Costa y aflora extensamente entre el estado Miranda y el estado Yaracuy. En la zona de la concesión, se observan secciones y un gran bloque de rocas metamórficas pertenecientes a las mismas formaciones indicadas anteriormente.

Se tiene la descripción de la Formación Antímamo, ilustrada en la Figura 3, la cual se correlaciona con las rocas presentes en la Cantera.

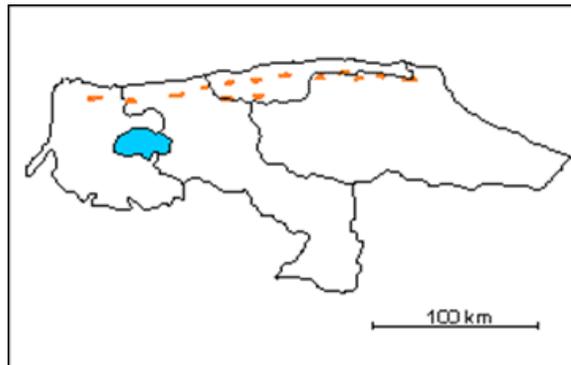


Figura 3. Afloramiento de la Formación Antímamo

Fuente: (Petróleos de Venezuela, S.A., 1999)

De acuerdo al Léxico estratigráfico de Petróleos de Venezuela, S.A (1999) Talukdar y Loureiro (1982) reconocen su Unidad de anfibolitas y mármoles, que posteriormente Urbani y Ostos (1989) la denominan como Fase Antímamo, allí ocurre la asociación de anfibolita, mármol, esquistos calcáreo-muscovítico \pm grafitoso, esquistos cuarzo-muscovítico \pm granatífero, esquistos cuarzo-muscovítico-graucofánico-granatífero.

En la zona de El Palito, estado Carabobo, Urbani *et al.* (1989) mencionan la asociación de anfibolita granatífera-clinopiroxénica, anfibolita granatífera, eclogita, anfibolita epidótica-plagioclásica, mármol, cuarcita y esquistos cuarzo-plagioclásico-muscovítico.

Esta formación presenta contactos estructuralmente concordantes con las formaciones adyacentes: Las Brisas y Las Mercedes. En la zona de Antímano y Mamera, los lentes de mármoles y rocas anfibólicas, que alcanzan a veces grandes dimensiones longitudinales, se hallan embutidos en esquistos de diversos tipos, especialmente los correspondientes a la Formación Las Brisas.

La cordillera del Litoral donde se emplaza el área de operaciones mineras, emergió por plegamientos verticales acaecidos a finales del Cretáceo, hace setenta y ocho millones de años. En el Plioceno, hace doce millones de años, emergió la Cordillera del Interior. El emerger de los dos relieves produjo grandes hundimientos o fosas tectónicas y es así como se conforma la cuenca del Lago de Tacarigua y lo que es el propio lago.

Adicionalmente, la erosión producida por el curso de las aguas que se desprenden de la Cordillera del Litoral hacia el Sur y desde la del Interior hacia el Norte, en el transcurso de millones de años, rellenaron la fosa tectónica surgiendo así los valles que rodean el Lago. Este proceso continúa en términos geológicos, ya que la cordillera del Litoral aún está emergiendo a un ritmo de un milímetro por año y, por otra parte, la erosión de ambas cordilleras se mantiene, continuando el proceso de formación de los valles.

Desde el punto de vista geológico regional, se puede señalar que toda la zona está comprendida dentro de la cordillera de la costa (tramo central) y que las rocas que afloran, son metamórficas e ígneas. Esta es una zona donde hubo un intenso metamorfismo regional, revelado por las extensas zonas de serpentinitas, peridotitas serpentinizadas y granitos.

Geología Local

Según el Plan de Explotación (Canteras Tacarigua C.A., 2018) localmente, el material que se presenta en el área de operaciones mineras, está constituido por mármoles calcílicos-dolomíticos y un gneis muy meteorizado, disgregado en su superficie y friable en zonas más frescas y superficiales. Está laminado horizontalmente hasta el punto donde la delgadez de las láminas da un aspecto de paquetes esquistosos.

En el caso de los mármoles, se caracteriza por sus colores claros, uniformidad y cambios frecuentes de facies hasta calizas magnesianas y dolomitas silíceas. Genéticamente, parecen constituir los clásicos depósitos asociados con eventos de dolomitización lenta y mármoles plataformales en ambientes de alto contenido de magnesio.

Es importante destacar, que, en Venezuela, se encuentran cuatro zonas, tres de las cuales están bajo explotación y representan los depósitos comerciales de dolomitas. En el estado

Carabobo, se encuentra entre Gañango y Patanemo, aflorando masas de mármoles calcíticos-dolomíticos de excelente calidad, asociados con la Formación Antímamo. En la región de Puerto Cabello, esta formación constituye una faja discontinua de rocas metamórficas estratigráficamente ubicada entre las formaciones Las Mercedes y Las Brisas. En esta zona, la Formación Antímamo puede reconocerse como una unidad diferenciable. Sus mármoles calcíticos-dolomíticos se presentan en lechos lenticulares y son claramente distintos de las rocas de Las Mercedes suprayacentes.

Las mejores localidades para el estudio de estas rocas son las canteras situadas a lo largo de la carretera Guaicamacuto-Patanemo. Aquí la unidad afloró en dos lentes de aproximadamente 1 km de longitud y espesor variable pero importante, separados estratigráficamente por un intervalo de materiales que contienen esquistos, cuarzo-moscovíticos-clorítico-granatíferos. Hasta el momento se han observado mármoles calcíticos-dolomíticos de similar pureza a lo largo del flanco sur de la Cordillera. La secuencia estratigráfica en este lado de la serranía, pasa directamente de la Formación Las Brisas a la Formación Las Mercedes, sin las dolomitas blancas de la Formación Antímamo.

Los mármoles de la Formación Antímamo, tal y como se reconocen en la región de Puerto Cabello y más típicamente en Patanemo, son muy blancos, de grano grueso y dolomíticos. La mineralogía más característica es dolomita-tremolita-calcita. Las bandas ricas en cuarzo de los mármoles se asocian con calcita, tremolita y diópsido. Además de esas zonas, se han ubicado secuencias dolomíticas en las áreas de: La Concepción, sur de la ciudad de Yaritagua, estado Yaracuy; Torrellero entre Sanare, Lara y Agua Blanca, Portuguesa y entre Güiria y Macuro, estado Sucre.

La secuencia estratigráfica del yacimiento comienza con 15 m de material meteorizado, suprayace 1 m de capa vegetal, infrayacen estratos intercalados de esquistos y arcillas de 20 m de espesor, seguidamente, unas limolitas de colores grises entre oscuras y claras con estratificaciones planares y onduladas. En carbonáticas, el estrato mide 7 m de espesor, por debajo de este estrato continua unas calizas dolomíticas con intercalaciones de óxido de hierro con un espesor de 3,2 m. Luego, un paquete de dolomitas blancas cristalizada, bien competente de 4,6 m. A dicha capa, le infrayace un marcador de esquisto de color verde, seguido de dos paquetes de mármoles masivos. El primero, presenta un color gris claro con algunas intercalaciones dolomíticas de 6,5 m; seguido de un mármol masivo gris oscuro de 69 m. El promedio del buzamiento del yacimiento es de 55°.

En el Frente 1, aflora parte del yacimiento descrito con anterioridad, el mismo se puede representar como cuatro paquetes con orientaciones y espesores mostrados en la Tabla 3 (Mercado, 2016).

Tabla 3. Orientación y espesor de los paquetes del Frente 1

Punto	Cota (m)	Orientación	Litología	Espesor (m)
1	100	N50E55N	Mármol gris oscuro	25
2	50	N60E55N	Dolomita blanca	6
3	160	N65E50N	Dolomita Blanca gris	12
4	160	N55E55N	Mármol gris oscuro	43

Modificado de: (Mercado, 2016).

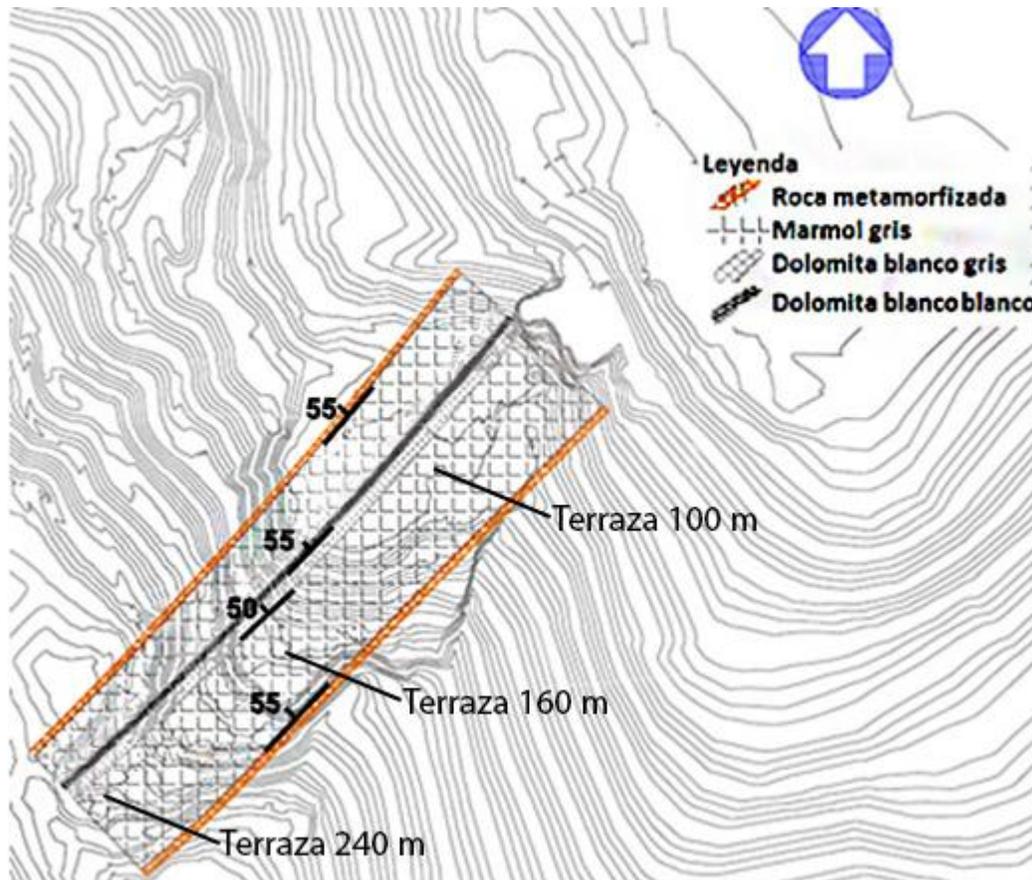


Figura 4. Afloramiento del yacimiento en el Frente 1

Modificado: (Canteras Tacarigua C.A., 2018)

2.3 Laboreo minero

2.3.1 Volumen de material aprovechable

Para septiembre de 2017 se estimaron 825.207 m³ banco, tomando en cuenta todo el material aflorante desde la cota 160 a la cota 270 msnm, utilizando el método de los perfiles, calculando las áreas que existen en diferentes perfiles entre la topografía para la fecha y el diseño del *pit* final (Canteras Tacarigua C.A., 2018).

2.3.2 Método de explotación

El sistema de explotación seguido es el convencional de cantera a cielo abierto de bancos y terrazas descendente mediante perforaciones verticales para efectuar voladuras programadas mediante el empleo de explosivos, generando bancos de 10 y 15 m de altura diseñados acorde a los equipos de excavación adquiridos para la producción de agregados triturados, formando taludes subverticales de 85° de inclinación. Las rampas de acceso están diseñadas de tal forma que no sobrepasen 13% de pendiente equivalente a los 7,42° de inclinación de cada terraplén y hasta 8 m de ancho operativo para facilitar el acceso en doble vía de camiones roqueros en ambas (Tabla 4). Con objeto de realizar los análisis de estabilidad para los taludes, el *pit* se ha sectorizado siguiendo la orientación preferente de los bancos, este tendrá 7 bancos compuesto por tres taludes con un ángulo final de 64° grados (Figura 5A).

Tabla 4. Criterios de diseño minero utilizados en el Frente 1

Criterios minero	
Altura de bancos de explotación	10 – 15 m
Ángulo de paredes final	64º
Ángulo banco de explotación	85º
Pendiente de pisos y terrazas	1%
Ancho mínimo de vías permanentes	6 m
Ancho mínimo de vías temporales	8 m
Talud 1	N36E 85S
Talud 2	N40W 85N
Talud 3	N55E 85N

Fuente: (Canteras Tacarigua C.A., 2018)

En la actualidad se han dispuesto de cinco terrazas en el Frente 1, las cuales están identificadas por sus cotas, 160, 190, 200, 240 y 260 msnm, respectivamente (Figura 5B).

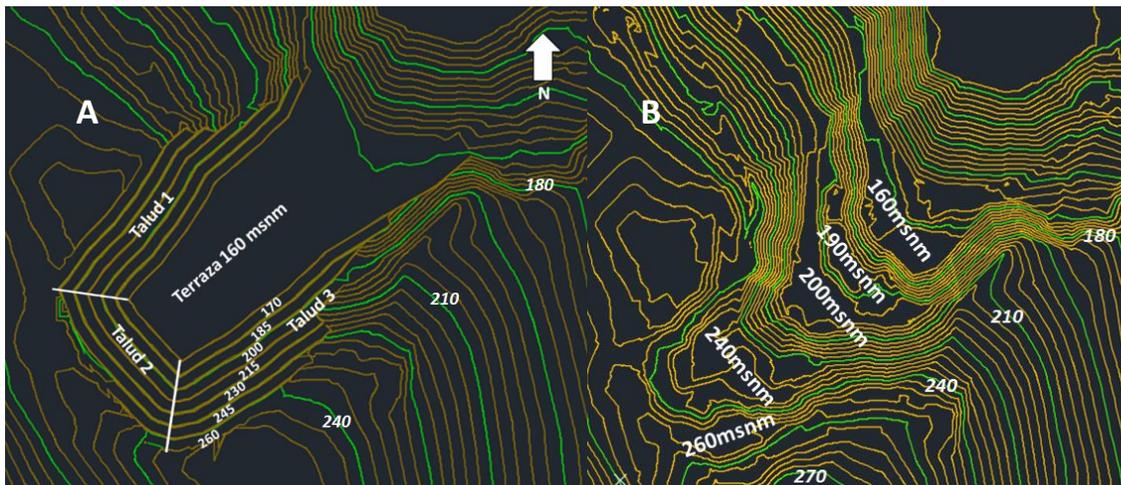


Figura 5. A) Configuración del talud final. B) Topografía actual

2.3.3 Procesamiento mineral

- 1) El mineral transportado del frente de explotación, se dispone en una tolva con un alimentador vibratorio, en este se separa el material en dos lotes. El primero, de tamaño superior a 2", procede a la etapa de trituración primaria para conformar una pila de material de tamaño entre 1"-3 1/2" (roca N°2) y el inferior a 2", el cual va directamente a un sistema de clasificación a través de cintas transportadoras.
- 2) El lote que llega al sistema de clasificación, pasa a través de una criba vibratoria de dos niveles, separando el material en tres dimensiones; el retenido 1", que es llevado junto al producto de la trituración primaria con una cinta transportadora; el retenido 1/2" (roca N°1) y el pasante 1/2" (ripió) los cuales son transportados por cintas transportadoras al patio para conformar dos pilas de material (material < 1/2" y material 1/2"-1").

En la Figura 6, se muestra el diagrama del procesamiento mineral seguido en la Cantera.

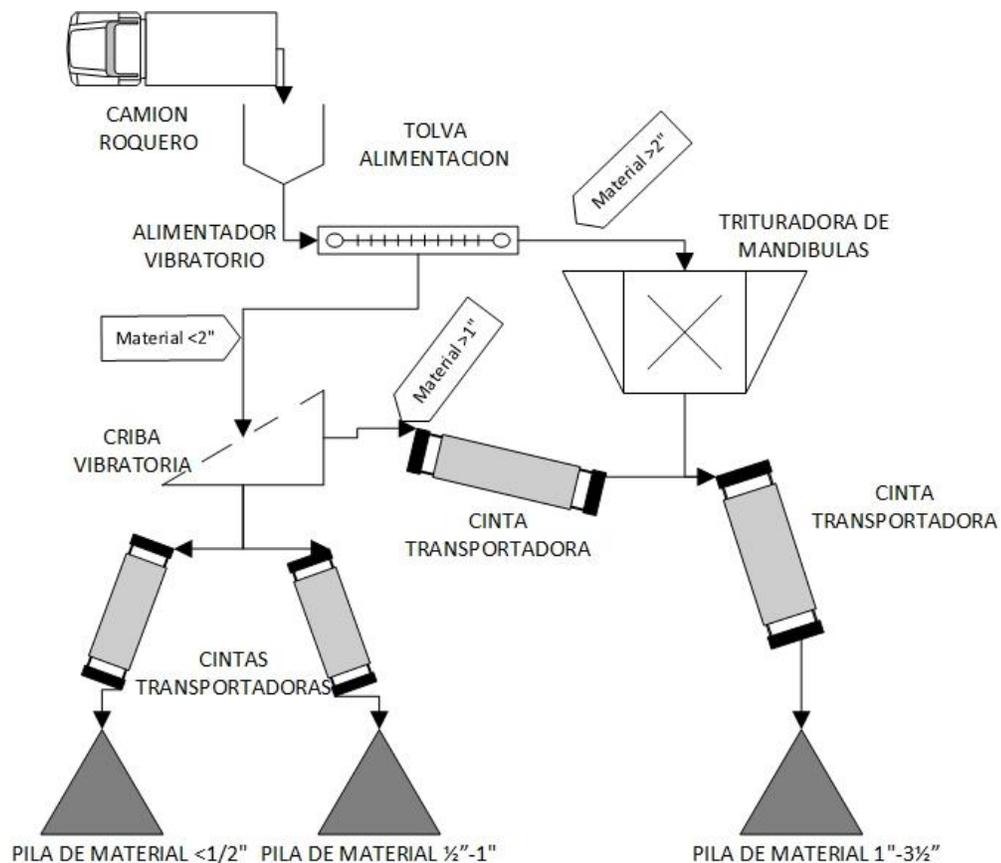


Figura 6. Flujograma del procesamiento mineral en la Cantera

2.4 Actividad económica de Gañango

El poblado de Gañango es una localidad del municipio Puerto Cabello en el estado Carabobo con una población estimada de 33.200 habitantes. Está ubicada a 6,11 km de Puerto Cabello y a 16,55 km de El Palito, se encuentra a 7 msnm. Las actividades económicas de esta localidad en orden de importancia son:

- 1) Minería de minerales no metálicos son otras de las actividades económicas de este poblado Cantera Mar-Azul y Tacarigua
- 2) Pesca
- 3) Actividad turística al encontrarse cerca de la playa Gañango
 - a. Balneario público con una extensión de 600 m² con piscinas de corales y aguas poco profundas.
 - b. Alquiler de embarcaciones para uso recreativo
 - c. Posadas para los turistas

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de la Investigación

- Seijas, D (2017). ***“Integración de criterios de cierre de mina a la planificación a largo plazo: Canteras del Distrito Capital”***, Mamera, municipio Libertador”. Se realizó una investigación donde integraba criterios de cierre mina a la planificación minera a largo plazo en la empresa Canteras del Distrito Capital. Además, elaboró distintos estudios de campo para conocer y evaluar las características geotécnicas del macizo, pudo conocer el nivel de afectación sobre el suelo intervenido por las operaciones mineras utilizando la metodología descrita por Conesa Fernández (1997) para generar un programa de recuperación y remediación ambiental.
- Gavidia, W. (2017). ***“Propuesta de plan de cierre de Frente 2 de la Cantera Carayaca, Distrito Capital”***. Se diseñó una propuesta de cierre del Frente 2 de la Cantera Carayaca, Distrito Capital donde comparo el contenido sobre plan de cierre aplicable en Chile, Perú, Canadá y Estados Unidos, definió 10 medidas de prevención, mitigación, corrección y un programa de seguimiento en fases de operación, cierre y post cierre. Logro analizar la estabilidad de los taludes rocosos y en rellenos de suelo, además de evaluar la erosión hídrica a través de parcelas experimentales. Por ultimo estableció medidas de revegetación enfocadas en la corrección de los procesos erosivos.
- Zambrano, J. (2014). ***“Propuesta de cierre progresivo e integral de una Cantera de Áridos de construcción: Caso Arenera O Toxo, C.A., municipio Los Salias, estado Miranda”***. Se llevó a cabo una propuesta de cierre en la Arenera O Toxo, C.A., basándose en una campaña de levantamiento topográfico, geológico y geotécnico, pudo analizar la estabilidad de los taludes finales, planificar la forma de revegetación de las áreas afectadas utilizando especies como eucalipto, guamo, yagrumo, jobo y laurel. Además, considero la opinión de las comunidades cercanas para conocer un uso posterior de la arenera.
- Casal, S. (2013). ***“Propuesta de cierre de Cantera Las Marías, estado Miranda, como aporte al Ministerio del Poder Popular de Petróleo y Minería en las políticas mineras”***. Se realizó una propuesta de cierre tomando en cuenta los impactos ambientales generados por la Cantera, evaluando el desmantelamiento de equipos, plantas y demás infraestructuras, generando un plan de medidas para la mitigación y corrección de los impactos ambientales y propuso posibles usos de acuerdo al plan de ordenamiento correspondiente de la zona de estudio.

3.2 Bases Teóricas

3.2.1 Fundamento del cierre de minas

Una mina puede tener varias zonas productivas y diversas actividades dentro de toda su área geográfica. Cuando una de éstas deja de operar se procede a su cierre, el cierre de minas se define como el conjunto de actividades a ser implementadas a lo largo del ciclo de vida de la mina a fin de cumplir con los criterios ambientales específicos y alcanzar los objetivos sociales deseados después de la etapa de minado (Ministerio de Energía y Minas de Perú, 2002). El cierre de minas conforma una de las etapas de la actividad minera, además se puede categorizar en distintos tipos de cierre de acuerdo al momento de su aplicación como:

- **Cierre Temporal:** implica que las actividades del proceso minero sean temporalmente suspendidas, como resultado de las circunstancias económicas u operacionales.
- **Cierre Progresivo:** son todas aquellas actividades relacionadas con el cierre, que son implementadas de forma progresiva durante la etapa de operación del proyecto minero, estas actividades constituyen el mecanismo más importante para minimizar la cantidad de esfuerzo necesario para la implementación de medidas de cierre final y optimizar los resultados de cierre.
- **Cierre Final:** comienza cuando, a consecuencia del agotamiento de los recursos minerales económicos, cesan las operaciones de minado y de procesamiento mineral.

3.2.2 Compromiso social y el cierre de minas

Mientras la vida de la mina tiende a ser relativamente corta, los cambios ocasionados por las operaciones mineras, en el medio ambiente y en la sociedad, persistirán por un tiempo muy largo, superior al ciclo de vida de la mina. Es por ello que para una empresa minera y la sociedad que se relaciona directamente con está. Para ello se requiere que las empresas mineras adopten compromisos con los gobiernos a diferentes niveles, así como también con las comunidades involucradas por los cambios sociales ocasionados, por ejemplo, la disminución de ofertas de puestos de trabajo, servicios indirectos que recibían y cómo se le dará solución a esta problemática (Salazar Pérez & Montero Peña, 2014).

3.2.3 Cierre de minas y su planificación

La planificación del cierre es un proceso complejo y en muchos casos, determina el compromiso social de las industrias mineras. Dicho proceso, es tan complejo como el

estudio de factibilidad del proyecto minero. La planificación se mide en décadas, lo que significa la necesaria actualización a lo largo de la vida de la mina. Por ello los planificadores deben tener en cuenta parámetros sociales, económicos y ambientales cambiantes más allá de una generación (Salazar Pérez & Montero Peña, 2014).

La planificación efectiva del cierre debería significar resultados positivos tales como:

- El compromiso con las partes afectadas e interesadas será más sólido y transparente
- Las comunidades participarán en la planificación e implementación de las medidas que apuntalan un cierre exitoso
- Las decisiones relacionadas con el cierre tendrán un mayor respaldo de los grupos de interés
- Será más fácil el manejo de la planificación del cierre
- Se mejorará la precisión de los cálculos de costos del cierre
- Se reducirá al mínimo el riesgo de incumplimiento de las normas
- Los posibles problemas serán identificados en el momento adecuado
- Habrá más posibilidades de encontrar la financiación adecuada para el cierre
- Las posibles responsabilidades se reducirán progresivamente
- Se reconocerán y planificarán en forma adecuada las oportunidades para lograr beneficios duraderos.

Actualmente la planificación del cierre de mina ha cobrado marcada importancia tanto en el ámbito nacional como internacional (Consejo Internacional de Minería y Metales ICMM, 2008). Por ello, las políticas empresariales deberán estar enfocadas a:

- Prevención de la contaminación
- Planificación financiera del cierre
- Sostenibilidad
- Participación pública

3.2.4 Evaluación de Impacto Ambiental y Sociocultural

El control de los impactos ambientales de cualquier proyecto o actividad requiere de una identificación y evaluación anterior de esos impactos, para las distintas etapas del proyecto de que se trate. Esta identificación y evaluación, debe tomar en consideración una serie de factores que son aquéllos que se plasman en las distintas matrices y metodologías propias de los Sistemas de Evaluación de Impacto Ambiental.

Una matriz de importancia permite obtener una valoración cualitativa al nivel requerido por una EIA simplificando los factores del medio que presumiblemente serán afectados (Conesa Fernández, 1997).

Una vez identificadas las posibles alteraciones, se hace preciso una previsión y valoración de las mismas. Esta operación es importante para clarificar aspectos que la propia simplificación del método conlleva. La evaluación de impacto ambiental y sociocultural es una herramienta fundamentalmente analítica, de investigación prospectiva de lo que puede ocurrir, por lo que la clarificación de todos los aspectos que lo definen y en definitiva de los impactos, es necesaria.

La importancia del impacto ambiental esta expresada en función del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida como la caracterización del efecto, que responde a los siguientes atributos:

- **Intensidad (i):** este término se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en el que actúa.
- **Extensión (EX):** se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del Proyecto dividido el porcentaje del área, respecto al entorno, en que se manifiesta el efecto.
- **Momento (MO):** el plazo de manifestación del impacto alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor del medio considerado.
- **Persistencia (PE):** se refiere al tiempo que permanecería el efecto desde su aparición y a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales o mediante la introducción de medidas correctoras.
- **Reversibilidad (RV):** se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el Proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez que aquella deja de actuar sobre el medio.
- **Recuperabilidad (MC):** se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del Proyecto, es decir la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras).
- **Sinergia (SI):** este atributo contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. El componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría

de esperar de la manifestación de efectos cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente, no simultánea.

- **Acumulación (AC):** este atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.
- **Efecto (EF):** este atributo se refiere a la relación causa-efecto, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.
- **Periodicidad (MC):** la periodicidad se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular), o constante en el tiempo (efecto continuo).

La ecuación para el cálculo de la Importancia (*I*) de un impacto ambiental viene definida:

$$I = \pm(3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC) \quad (1)$$

El desarrollo de la ecuación (1) es llevado a cabo mediante el modelo propuesto en la Tabla 5.

Tabla 5. Factores a considerar en la evaluación de impactos ambientales

Signo		Intensidad (<i>i</i>)*		Sinergia (<i>SI</i>)		Acumulación (<i>AC</i>)	
Beneficioso	+	Baja	1	Sin sinergismo	1	Simple	1
Perjudicial	-	Máxima	12	Sinérgico	2	Acumulativo	4
Extensión (<i>EX</i>)		Momento (<i>MO</i>)		Muy sinérgico	4		
Puntual	1	Largo plazo	1	Efecto (<i>EF</i>)		Periodicidad (<i>PR</i>)	
Parcial	2	Medio plazo	2	Indirecto	1	Irregular	1
Extenso	4	Inmediato	4	Directo	4	Periódico	2
Total	8	Crítico	8			Continuo	4
Crítica	12			Persistencia (<i>PE</i>)		Recuperabilidad (<i>MC</i>)	
Persistencia (<i>PE</i>)		Reversibilidad (<i>RV</i>)		Inmediato	1		
Fugaz	1	Corto plazo	1	Recuperable	2		
Temporal	2	Medio plazo	2	Mitigable	4		
Permanente	4	Irreversible	4	Irrecuperable	8		

*Admite valores intermedios
Fuente: (Conesa Fernández, 1997)

En función de este modelo, los valores de la importancia (*I*) obtenidos clasificará el impacto en bajo, moderado, severo y crítico y tendrá un significado de acuerdo a la Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de los impactos de acuerdo al nivel de importancia (*I*)

Valor (<i>I</i>)	Calificación	Significado
$I < 25$	Bajo	La afectación del mismo es irrelevante en comparación con los fines y objetivos del Proyecto en cuestión
$25 \geq I < 50$	Moderado	La afectación del mismo, no precisa prácticas correctoras o protectoras intensivas
$50 \geq I < 75$	Severo	La afectación de éste, exige la recuperación de las condiciones del medio a través de medidas correctoras o protectoras. El tiempo de recuperación necesario es en un periodo prolongado
$I \geq 75$	Crítico	La afectación del mismo, es superior al umbral aceptable. Se produce una pérdida permanente de la calidad en las condiciones ambientales. NO hay posibilidad de recuperación alguna

Fuente: (Conesa Fernández, 1997).

3.2.5 Principales impactos de la minería

Todos los métodos de extracción minera producen algún grado de alteración de la superficie, los estratos subyacentes y a los acuíferos (Cazal, 2013). Los impactos de la exploración y el desarrollo, usualmente, son de corta duración e incluyen:

- Alteración superficial causada por las vías de acceso, hoyos y fosas de prueba, y preparación del sitio.
- Polvo atmosférico proveniente del tráfico, perforación, excavación, y remoción de la capa vegetal del sitio.
- Ruido y emisiones de la operación de los equipos de motor diesel.
- Alteración del suelo y la vegetación, ríos, drenajes, humedales, recursos culturales o históricos, y acuíferos de agua freática.
- Conflictos con los otros usos del espacio y de la tierra.

Las operaciones mineras implican la alteración total del área del proyecto y, generalmente, producen grandes fosas, así como enormes pilas de material removido. Las medidas preventivas asociadas a estas alteraciones se encuentran clasificados según el componente que afectan:

- Componente hídrico
- Componente atmosférico
- Componente litosférico (sistema suelo/roca)
- Componente biótico (flora y fauna)
- Componente social y cultural

3.2.6 Remediación ambiental

Es un conjunto de procedimientos de mejora y prevención de las causas que provocan impactos en el ambiente. O bien, conjunto de medidas encaminadas a reducir, remediar o cambiar las condiciones del impacto ambiental (Obando Rivera, 2008). La remediación de áreas sometidas a extracción minera puede entenderse desde varios puntos de vista según se dirija:

- Ordenación en condiciones similares a las existentes antes de la explotación
- Recuperación natural de la zona con un tratamiento adecuado de las causas de impacto
- Transformación del área para nuevos usos

Las medidas correctoras o de remediación están encaminadas a (Gómez Orea, 1998):

- Evitar, disminuir, modificar, curar o compensar el efecto de una acción antrópica en el Medio Ambiente (aminorar los impactos intolerables, y minimizar todos en general)
- Aprovechar mejor las oportunidades que brinda el medio para el mejor éxito de la acción programa

Estos tipos de medidas pueden darse tanto en la fase de construcción, explotación y abandono. Pueden ser:

- **Minimizadoras:** Dirigida a alteraciones en la fase operativa de la acción
- **Correctoras:** Se generan para evitar impactos tras el desarrollo de la acción antrópica
- **Compensatorias:** Impactos inevitables que serán compensados en otras zonas (restituyendo lo destruido en otro lugar, siempre y cuando esto sea posible)

Es preciso mencionar que las medidas citadas están condicionadas por el coste de las mismas, viabilidad técnica, eficacia, facilidad de implantación, mantenimiento y control.

3.2.7 Caracterización estructural de taludes

Según la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, 1981) para la caracterización de taludes es prioritario conocer las orientaciones de todas las discontinuidades presentes, como lo son:

- Diaclasas
- Fallas
- Grietas
- Estratificación

- Foliación o esquistosidad
- La orientación de las discontinuidades
- El espaciamiento de bloques de roca
- La persistencia
- La rugosidad de las discontinuidades
- El grado de meteorización de las paredes de las discontinuidades individuales o de un sistema en particular
- La separación o tamaño de apertura

3.2.8 Parámetros del macizo rocoso

La caracterización global del macizo rocoso a partir de datos de afloramientos, además de la descripción de sus componentes, la matriz rocosa y las discontinuidades, deben ser considerados otros factores representativos del conjunto (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002). Tales como:

- Número y orientación de las familias de discontinuidades
- Tamaño de bloque y grado de fracturación
- Grado de meteorización

Tamaño de bloques

El tamaño de los bloques que forman el macizo rocoso condiciona de forma definitiva su comportamiento y sus propiedades resistentes y deformacionales. La dimensión y la forma de los bloques están definidas por el número de familias de discontinuidades, su orientación, su espaciado y su continuidad.

La descripción del tamaño de bloque se puede realizar mediante el número total de discontinuidades (J_v), parámetro que representa el número de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen (1 m^3). Ante la dificultad de observar tridimensionalmente un afloramiento, la ecuación (2) calcula el valor J_v que puede representarse con el espacio medio de cada familia de discontinuidades.

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} + \dots + \frac{1}{S_n} \quad (2)$$

dónde S_1, S_2, S_3 y S_n representan el espaciamiento promedio entre diaclasas medidas en metros de cada familia (Castillejo, 1993).

Grado de fracturación

El grado de fracturación se expresa habitualmente por el valor del índice RQD (Rock Quality Designation) que representa la relación entra la suma de las longitudes de los fragmentos

de testigo mayores de 10 cm y la longitud total del tramo considerado. Pudiendo clasificar el macizo rocoso de acuerdo a la Tabla 7 (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

Tabla 7. Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el índice RQD

RQD (%)	Calidad
<25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Media
75-90	Buena
90-100	Muy buena

Fuente: (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

El índice RQD puede estimarse en afloramiento a partir de correlaciones empíricas como la de Palmstrom, 1975 (ISRM, 1981) según la ecuación (3) y (4).

$$RQD = 115 - 3,3Jv \text{ para } Jv > 4,5 \quad (3)$$

$$RQD = 100 \text{ para } Jv \leq 4,5 \quad (4)$$

3.2.9 Clasificación de Bieniawski (Rock Mass Rating - RMR)

Es un sistema de clasificación de macizos rocosos mediante un índice, RMR (en inglés Rock Mass Rating). Inicialmente sólo definía el macizo rocoso de acuerdo a las características tomadas en campo, sin tener en cuenta la estructura a construir. En una segunda versión, se establece la forma actual (Bieniawski, 1973): El índice numérico del macizo rocoso, RMR Básico, es independiente de la estructura a construir y se obtiene sumando los “ratings” de cinco (5) parámetros expuesto en la Tabla 8:

- Resistencia de la matriz rocosa a la compresión simple
- RQD (índice de calidad de la roca)
- Frecuencia de las diaclasas (espaciamiento)
- Agua dentro del macizo rocoso.
- Condición de las diaclasas (abertura, persistencia, rugosidad y meteorización)

Tabla 8. Parámetros de la clasificación y sus ratings

Parámetro	Rango de valores				
1. Resistencia a la Compresión Uniaxial (Mpa)	>250	100-250	50-100	25-50	<25
Valoración	15	12	7	4	2-1-0
2. Índice de calidad de roca RQD (%)	90-100	75-90	50-75	25-50	<25
Valoración	20	17	13	8	3
3. Flujo de Agua	Seco	Mojado	Húmedo	Goteando	Flujo
Valoración	15	10	7	4	0
4. Espaciamiento (m)	>2	0.6-2	0.2-0.6	0.06-0.20	<0.06
Valoración	20	15	10	8	5

Fuente: (Bieniawski, 1973)

De este valor (*Rating*) hay que adicionar un factor de ajuste, que es función de las características de las diaclasas, definido cualitativamente y que tiene valores distintos según se aplique a túneles, cimentaciones o taludes mencionados en la Tabla 9.

El resultado de sumar los rating es el índice final RMR, que puede variar entre 0 y 100 pudiéndose clasificar los macizos rocosos en 5 clases según el valor de dicho índice (Romana, Serón, & Montalar, 2003), ver la Tabla 10.

Tabla 9. Clasificación individual según las características de las discontinuidades

Abertura	Separación de las caras (mm)	Valor
Abierta	>5	0
Moderadamente abierta	1-5	1
Cerrada	0,1-1	4
Muy cerrada	<0,1	5
No tiene	0	6
Persistencia	Continuidad (m)	Valor
Muy pequeña	<1	6
Pequeña	1-3	4
Media	3-10	2
Alta	10-20	1
Muy alta	>20	0
Rugosidad	Forma	Valor
Muy rugosa	W	6
Rugosa	A	5
Ligeramente rugosa	Lig. A	2
Suave	"L	1
Espejo de Falla	Plano	0
Relleno	Distancia (mm)	Valor
Blando	>5	0
	<5	2
Duro	>5	2
	<5	4
Ninguno	0	6
Meteorización		Valor
Descompuesta		0
Muy meteorizada		1
Moderadamente meteorizada		3
Ligeramente meteorizada		5
No meteorizada		6

Fuente: (Bieniawski, 1973)

Tabla 10. Clasificación del macizo rocoso determinado del total de Ratings

Valoración	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Clase	I	II	III	IV	V
Descripción	Roca muy buena	Roca buena	Roca justa	Roca mala	Roca muy mala
Cohesión del macizo rocoso (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Ángulo de fricción interna (°)	>45	35-45	25-35	15-25	<15

Fuente: (Bieniawski, 1973).

3.2.10 Clasificación de Romana – Índice SMR

La clasificación **SMR** (*Slope Mass Rating*) se basa en una corrección del RMR, para poder predecir el comportamiento de los taludes en roca con mayor precisión (Romana, Serón, & Montalar, 2003). Se obtiene del índice RMR básico restando un “factor de ajuste” que es función de la orientación de las discontinuidades (y producto de tres subfactores) y sumando un “factor de excavación” que depende del método utilizado.

- **F₁** depende del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y de la cara del talud. Varía entre 1.00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0.15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja).
- **F₂** depende del buzamiento de la diaclasa en rotura plana. En cierto sentido es una medida de probabilidad de la resistencia al esfuerzo cortante de la diaclasa. Varía entre 1 (para diaclasa con buzamiento superior a 45°) y 0.15 (para diaclasas con buzamiento inferior a 20°).
- **F₃** refleja la relación entre los buzamientos de la discontinuidad β_j y del talud β_s .

Para determinar los valores correspondientes a **F₁**, **F₂** y **F₃**, puede hacerse uso de la Tabla 11.

Tabla 11. Valores de F_1 , F_2 , y F_3 para el SMR

Tipo de Falla	Ángulos Auxiliares	Muy Favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy Desfavorable
Plana	$ \alpha_j - \alpha_s $	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
Cuña	$ \alpha_i - \alpha_s $					
Volcamiento	$ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $					
F_1		0,15	0,4	0,7	0,85	1
Plana y Cuña	β_j o β_i	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
F_2		0,15	0,4	0,7	0,85	1
Volcamiento	-	-				
F_2		1				
Plana	$\beta_j - \beta_s$	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0^\circ - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
Cuña	$\beta_i - \beta_s$					
Volcamiento	$\beta_j + \beta_s$	$< 100^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$	-	-
F_3		0	-6	-25	-50	-60

Fuente: (Romana, Serón, & Montalar, 2003).

donde:

- α_j : azimut de la discontinuidad ($^\circ$)
- α_i : azimut de la recta de intersección
- α_s : azimut del talud ($^\circ$)
- β_j : buzamiento de la discontinuidad ($^\circ$)
- β_i : buzamiento de la recta de intersección
- β_s : buzamiento del talud ($^\circ$)

F_4 hace referencia a la influencia del método de excavación utilizado en la estabilidad del talud. Aquellos métodos que originen un mayor residuo o fisuren las capas superficiales del talud, favorecerán el desprendimiento de fragmentos y bloques rocosos, precipitándose ladera abajo hacia la zona de explanación, ver Tabla 12.

Tabla 12. Factor de ajuste según el método de excavación

Método	Talud Natural	Precorte	Voladura Suave	Voladura o Mecánico	Voladura Deficiente
F_4	+15	+10	+8	0	-8

Fuente: (Romana, Serón, & Montalar, 2003).

Una vez determinados todos los factores, se procede a evaluar el *SMR* aplicando la ecuación (5).

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4 \quad (5)$$

El resultado obtenido se encuentra en un intervalo del 0 a 100, donde 0 representa las peores condiciones de estabilidad, mientras que 100 representa la mejor condición, en la Tabla 13 se muestran las características de cada clase.

Tabla 13. Calidad del talud rocoso según el índice SMR

Clases de Estabilidad					
Clase	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Buena	Muy buena
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Fuente: (Romana, Serón, & Montalar, 2003).

3.2.11 Estabilidad de taludes

Estudia las condiciones de estabilidad o posible inestabilidad de un talud a la hora de realizar un proyecto de ingeniería, siendo un aspecto directamente relacionado con la ingeniería geológica - geotécnica. Los análisis de estabilidad de taludes “permiten diseñar los taludes, mediante el cálculo de su factor de seguridad, y definir el tipo de medidas correctoras o estabilizadoras que deben ser aplicadas en caso de roturas reales o potenciales. Es necesario el conocimiento geológico y geomecánico de los materiales que forman el talud, de los posibles modelos o mecanismos de rotura que pueden tener lugar y de los factores que influyen, condicionan y desencadenan las inestabilidades” (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

3.2.12 Análisis de roturas en macizos rocosos

Las fallas en los macizos rocosos están condicionadas por su grado de fracturación y por la orientación y distribución de los planos de las discontinuidades con respecto al talud, entendiéndose por discontinuidad a todas aquellas estructuras geológicas (fallas, fracturas, diaclasas, estratificación, foliación, entre otros.) que forman dichos planos, los que comúnmente se conoce como fábrica estructural del macizo rocoso (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

Normalmente este tipo de discontinuidades son producto del tectonismo a la que fue sujeta la roca en un estado inicial de esfuerzos. Dependiendo de la orientación de las discontinuidades se tendrá un patrón de fracturamiento que delimitará los bloques de roca.

Luego, la estabilidad queda definida por los parámetros resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa. En macizos rocosos duros o resistentes, las discontinuidades determinan la situación de los planos de rotura. En macizos formados por rocas blandas poco competentes, a matriz rocosa también juega un papel importante en la generación de estos planos y en el mecanismo de rotura.

Analizar la estabilidad de un talud realizado en macizos rocosos fracturados, es parte de dos procesos:

- Análisis cinemático
- Análisis mecánico

Entre los modelos de rotura más frecuentes, se encuentran:

Falla o rotura plana

Se llama rotura plana (Figura 7) a aquella en la que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana. Es la más sencilla de las formas de rotura posibles y se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud. Frecuentemente se trata de fallas que interceptan al talud (Hoek & Bray, 1981).

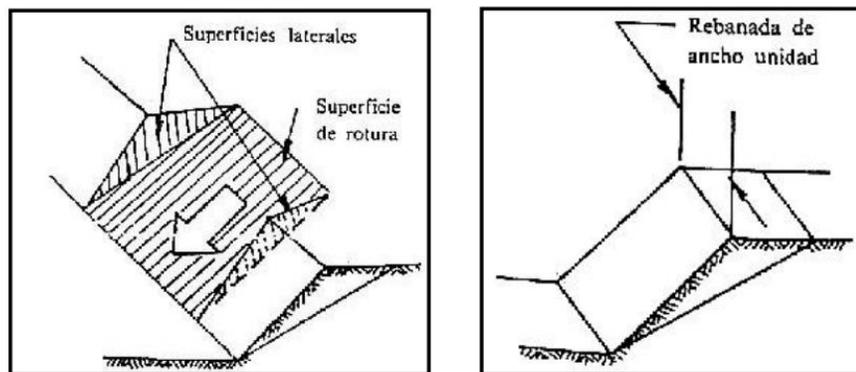


Figura 7. Esquema de la falla plana
Fuente: (Hoek & Bray, 1981)

Falla o rotura por cuñas

Se denomina rotura por cuña o de borde (Figura 8), aquella que se produce a través de dos discontinuidades oblicuamente a la superficie del talud, con la línea de intersección de ambas aflorando en la superficie del mismo y buzando en sentido desfavorable. Este tipo de rotura se origina preferentemente en macizos rocosos en los que se da una disposición adecuada, en orientación y buzamiento de las diaclasas.

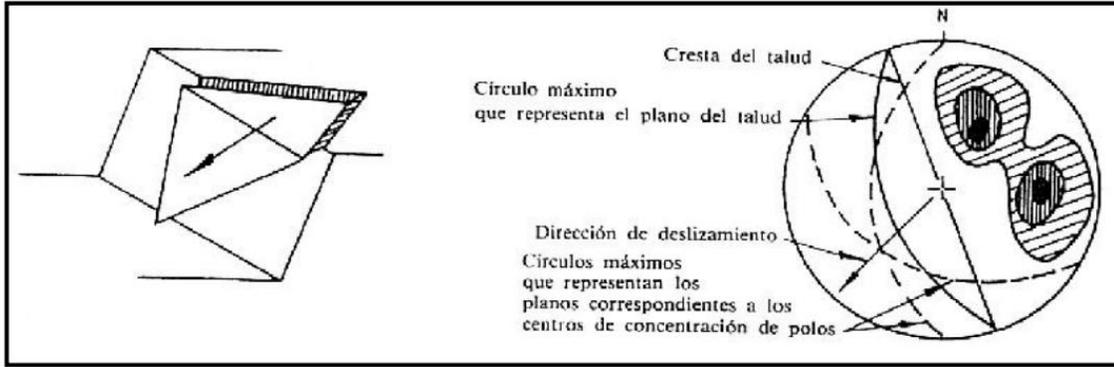


Figura 8. Falla de cuña, característica y configuración estereográfica
 Fuente: (Hoek & Bray, 1981)

Fallas o roturas circulares y curvas

Se llama rotura circular (Figura 9) a aquella en la que la superficie de deslizamiento es asimilable a una superficie cilíndrica cuya sección transversal se asemeja a un arco de círculo. Este tipo de rotura se suele producir en terrenos homogéneos, ya sea suelos o rocas altamente fracturadas, sin direcciones preferenciales de deslizamiento, en los que además ha de cumplirse la condición de que el tamaño de las partículas de suelo o roca sea muy pequeño en comparación con el tamaño del talud. El método más utilizado para resolver el cálculo de estabilidad por rotura circular es el de las dovelas o rebanadas.

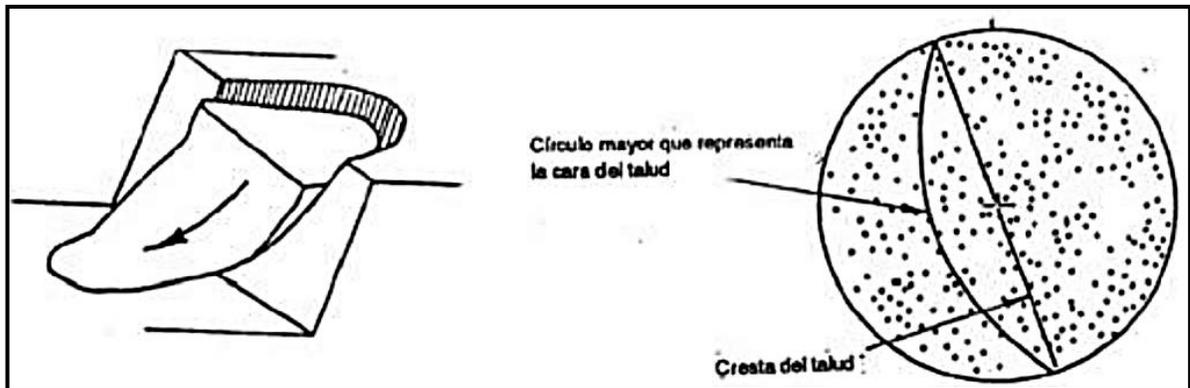


Figura 9. Falla circular y configuración estereográfica
 Fuente: (Hoek & Bray, 1981)

Fallas por Volcamiento

Es la rotura producida a favor de los planos de estratificación paralelos al talud, con buzamiento mayor que el ángulo de rozamiento interno. La rotura por volcamiento (Figura 10) ocurre con o sin flexión del estrato; la condición necesaria es que los estratos sean suficientemente esbeltos, en relación con la altura del talud, para poder pandear.



Figura 10. Falla por volcamiento y configuración estereográfica

Fuente: (Hoek & Bray, 1981)

Las fallas por volcamiento se generan en los taludes de cortas mineras, al ser excavados paralelos a la estratificación, cuando los planos presentan un espaciamiento reducido.

3.2.13 Riesgo de erosión hídrica

Existen diversos procedimientos y métodos para evaluar la tasa de erosión del suelo, pero de todos ellos, es quizás la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), la más aceptada para fines de gestión de cuencas. Dada la validez de este método para estimar la pérdida de suelo debido a la acción hídrica, la ecuación ha sido empleada en todo el mundo para numerosos propósitos y para diferentes condiciones (Ramos, 2001).

El USLE predice la pérdida de suelo, como el desplazamiento por tonelada anual dentro de una hectárea de terreno y se obtiene de la multiplicación de seis factores según la ecuación (6):

$$A = R \times K \times S \times L \times C \times P \quad (6)$$

donde:

A : Pérdida anual del suelo $\left(\frac{t}{ha \times año}\right)$

R : Índice de erosividad pluvial $\left(\frac{Mj \times mm}{ha \times h \times año}\right)$

K : Erodabilidad del suelo $\left(\frac{t \times h}{Mj \times mm}\right)$

L : Factor longitud de pendiente

S : Factor de pendiente

C : Factor de cobertura del suelo

P : Prácticas de conservación

Índice de erosividad pluvial (R)

El factor lluvia R es el producto de la energía contenida en la lluvia, multiplicadas por su intensidad máxima de 30 minutos para todas las lluvias de más de 12.5 mm; También se le llama el índice EI_{30} . El cálculo de este factor requiere el registro detallado de la intensidad

de lluvia de la zona de interés. Donde no hay datos disponibles ni registros, se ha demostrado en varios estudios que en los trópicos se puede obtener una aproximación tomando la mitad del valor de la precipitación media anual en milímetros, generalmente algo menor.

Según Roose (1975) el factor R se puede expresar según la ecuación (7):

$$R = 1.73 \times 0.5 \times P \quad (7)$$

donde:

P: Precipitación anual promedio (mm/año)

Erodabilidad del suelo (K)

Este factor se define como la resistencia que opone el suelo al proceso de erosión y transporte, depende de las propiedades locales del suelo y se puede determinar de varias maneras; A través del análisis de muestras del suelo, desde mapas de suelo o estudios pedológico del sitio o mediante una combinación de estos.

En ocasiones no se dispone de información de alguno de estos parámetros pues su obtención exige realizar análisis de laboratorio y/o experiencias de campo en puntos representativos de las condiciones del entorno. Una alternativa es recurrir a la información litológica aprovechando que existe una estrecha relación entre el tipo de suelo de una zona y el material parental subyacente, y más importante todavía, la facilidad de encontrar cartografía geológica a una escala medianamente aceptable.

Factor topográfico (LS)

Los efectos combinados de la longitud de la pendiente (L) y el grado de inclinación de la pendiente (S) son también conocidos como el factor topográfico (LS) y caracterizan el tipo de relieve en que tendrán lugar los procesos de pérdida de suelo debido a la inclinación, longitud, además de proporcionar información sobre la forma de la pendiente (Souza, 2003).

El factor longitud *L* está definido según la ecuación (8):

$$L = \left(\frac{l}{22,13} \right)^m \quad (8)$$

dónde:

l: Longitud de la ladera (m)

m: Coeficiente según el tipo de pendiente

m = 0,6 si la pendiente >10%

m = 0,5 si la pendiente 10-3%

m = 0,06 si la pendiente <3%

El factor S depende de la pendiente de la ladera, ver la ecuación (9):

$$S = \frac{0,43 + 0,30s + 0,043s^2}{6.613} \quad (9)$$

donde:

s: Pendiente (%)

Factor de cobertura del suelo (C)

El Factor C representa la fracción a la que se reduce la tasa de erosión potencial por efecto de la cobertura vegetal o uso y manejo de la tierra. En teoría adoptará un valor de 1 para un suelo completamente desprotegido o desnudo (lo que significa que no influye en la estimación de la erosión) mientras que disminuirá a 0 de acuerdo a la protección por la cobertura de las plantas, dando una estimación más baja sobre la erosión.

El Factor C se puede obtener como una función del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) expresada en la ecuación (10). Este es un índice de vegetación que se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja, obtenidas a través de imágenes satelitales del Landsat-7 EMT+.

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \quad (10)$$

donde:

NIR: Reflectancia cercana de la banda infrarroja

VIS: Reflectancia de la banda infrarroja visible

Sulistyo (2011) relacionó el NDVI y el factor C presentando una aproximación lineal según la ecuación (11):

$$C = 0,6 - 0,77 \times NDVI \quad (11)$$

Cuando la fracción de cobertura vegetal tiende a 100%, es decir, cuando el NDVI tiende a uno, lo cual ocurre en los bosques densos y siempre verdes, el Factor C es muy bajo (tiende a 0), en caso contrario con el NDVI es bajo el factor C aumenta.

Factor prácticas de conservación (P)

El factor de prácticas de apoyo de conservación, es la proporción de pérdida de suelo con una práctica de apoyo como cultivo en contorno, barreras vivas, o cultivo en terrazas, con respecto a aquella labranza en el sentido de la pendiente. En la Tabla 14 se muestra los valores de P expresados por Wischmeier & Smith (1978).

Tabla 14. Valores del factor P en función de la pendiente.

Pendiente de talud %	Valor de P
1 - 2	0,12
3 - 8	0,10
9 - 12	0,12
13 - 16	0,14
17 - 20	0,16
21 - 25	0,18

En caso que no exista ninguna práctica de conservación de suelo el valor de P es 1, expresando que no existe una reducción de la erosión por alguna práctica agroforestal.

3.2.14 Diseño de obras de drenajes superficiales

Método Racional

Define el gasto de diseño o caudal de diseño para las obras de drenaje de cuencas menores a 500 ha (Ministerio de Obras Públicas, 1973), según la ecuación (12):

$$Q = C \times I \times A \quad (12)$$

donde:

Q : caudal de diseño (l/s)

C : coeficiente de escorrentía

I : intensidad promedio de lluvia cuya duración es igual tiempo de concentración (l/s/ha)

A : área de la cuenca contribuyente (ha)

a. Intensidad de la lluvia

Cantidad de agua que cae por unidad de tiempo en un lugar determinado. La intensidad de la lluvia y la duración de la lluvia están asociadas para un mismo período de retorno. El método racional implica que la intensidad de la lluvia se determine cuando toda la cuenca está contribuyendo. La duración de la lluvia de diseño será igual al tiempo de concentración, este puede obtenerse a través de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno (IDF).

b. Tiempo de concentración (T_c)

Tiempo que dura el viaje de una gota de agua desde el punto más remoto de la cuenca hasta el sitio en consideración. Se determina según la ecuación (13):

$$T_c = 0,0195 \times \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (13)$$

donde:

T_c : tiempo de concentración (min)

L : Longitud del cauce principal (m)

H : Diferencia de elevación (m)

c. Coeficiente de escorrentía

Es un valor adimensional que representa la relación entre el gasto máximo y la precipitación. El coeficiente de escorrentía depende de varios factores, entre los que se considera la permeabilidad del suelo, la cobertura vegetal y la topografía (Anexo 2).

Cálculo automatizado de la erosión hídrica

Para realizar el cálculo de la erosión de forma automatizada se trabaja con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), haciendo uso del álgebra de mapas el cual permite obtener el resultado esperado a partir de las operaciones matemáticas de los píxeles con coordenadas similares para lograr un nuevo raster (superposición lógico-aritmética). La superposición cruzada o el cruce de mapas es una de las herramientas más usadas de las capacidades analíticas de los SIG. Dos mapas con un conjunto de categorías son superpuestos y dan origen a un tercer mapa que contiene las intersecciones de los límites creados entre los dos mapas originales (Vallejo & Martínez, 2000).

Elementos básicos para el diseño de canales abiertos

Los elementos geométricos son propiedades de una sección del canal que puede ser definida enteramente por la geometría de la sección y la profundidad del flujo. Se describen a continuación y se muestran en el Anexo 3.

- Tirante normal (Y): es la distancia vertical del punto más bajo de la sección del canal a la superficie libre
- Ancho superior (T): es el ancho de la sección del canal en la superficie libre
- Área hidráulica (A): es el área de la sección transversal del flujo normal a la dirección del flujo
- Perímetro mojado (P): es la longitud de la línea de la intersección de la superficie mojada del canal con la sección transversal normal a la dirección del flujo
- Radio hidráulico (R): es la relación entre el área mojada y el perímetro mojado
- Profundidad hidráulica (D): es la relación del área mojada con el ancho superior
- Borde libre (F): es el espacio entre la cota de la corona y la superficie del agua

3.3 Bases Legales

Las investigaciones que anteceden a este proyecto han expuesto extensamente cuales son las bases legales sobre el cierre de minas en Venezuela, es por ello que en esta sección se expondrán aquellas que influyen directamente con el caso de estudio.

3.3.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela 1999 (Gaceta Oficial N°36.860, 1999)

Dentro de la constitución nacional se encuentran artículos referidos sobre la protección ambiental, de este modo en el artículo 127 expresa que

“Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley.”

En el Artículo 129 menciona que

“Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y sociocultural.”

3.3.2 Ley Orgánica del Ambiente (Gaceta Oficial N°5.833, 2006)

Como ley orgánica ambiental establece en su Artículo 83 que

“El Estado podrá permitir la realización de actividades capaces de degradar el ambiente, siempre y cuando su uso sea conforme a los planes de ordenación del territorio, sus efectos sean tolerables, generen beneficios socio-económicos y se cumplan las garantías, procedimientos y normas. En el instrumento de control previo se establecerán las condiciones, limitaciones y restricciones que sean pertinentes.”

En el Artículo 85 se encuentra mencionado el estudio de impacto ambiental y sociocultural el cual

“constituye uno de los instrumentos que sustenta las decisiones ambientales, comprendiendo distintos niveles de análisis, de acuerdo con el tipo de acción de desarrollo propuesto. La norma técnica respectiva regulará lo dispuesto en este artículo”.

3.3.3 Ley de Minas (Gaceta Oficial N°36.687, 1999)

Expresa en su Artículo 5 que todas las actividades mineras reguladas por esta Ley, se llevarán a cabo, procurando la óptima extracción del recurso minero, con arreglo al principio del desarrollo sostenible, la conservación del ambiente y la ordenación del territorio.

3.3.4 Ley de minerales no metálicos del estado Carabobo (Gaceta Oficial N°3.394, 2011)

Dentro del Artículo 10 referente al ejercicio de la actividad minera, explica que ésta debe ser ambientalmente y socialmente justa contando con la conservación y protección del ambiente y el principio de desarrollo sustentable que responda principalmente a las necesidades de la población como aspectos que se tienen que tomar en cuenta.

3.3.5 Decretos

Según lo establecido por el marco legal vigente, en el Decreto 1.257 (Gaceta Oficial N°35.946, 1996) que dicta las normas sobre la evaluación de impacto ambiental susceptibles de degradar el ambiente, define el estudio de impacto ambiental como un estudio orientado a predecir y evaluar los efectos del desarrollo de una actividad sobre los componentes del ambiente natural y social y proponer las correspondientes medidas preventivas, mitigantes y correctivas, a los fines de verificar el cumplimiento de las disposiciones ambientales contenidas en la normativa legal vigente en el país y determinar los parámetros ambientales que conforme a la misma deban establecerse para cada programa o proyecto.

CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO

4.1 Tipo de investigación

La investigación desarrollada posee una estructura descriptiva de campo. Se considera descriptiva ya que se centra en caracterizar las condiciones ambientales, sociales y geotécnicas relacionadas con la explotación minera en la concesión Los Viejos. De campo ya que la información estudiada fue recolectada de forma directa de la realidad, se trata de datos primarios los cuales fueron sometidos a estudio y de este modo, se solucionó la problemática planteada.

4.2 Diseño de la investigación

La investigación tiene un diseño no experimental transversal ya que no se modificaron intencionalmente las variables estudiadas, se observaron los fenómenos tal como se exponen en su contexto natural dentro de un periodo determinado, que luego fueron analizados.

4.3 Sujeto de estudio

El sujeto de estudio está comprendido por el Frente 1 de la concesión minera Los Viejos, así como el medio físico natural donde se encuentra el yacimiento, además del medio socio-cultural que se encuentra en las cercanías al frente.

Se estudiaron los elementos considerados en la evaluación ambiental dentro de las zonas involucradas con el Frente 1, los parámetros geotécnicos requeridos para el análisis de estabilidad y las opiniones de los habitantes que residen en la carretera nacional Gañango-Patanemo.

4.4 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos son:

- Libros, informes y material bibliográfico referentes al tema de estudio
- Libreta de campo
- Cámara digital Olympus VG-110
- GPS Garmin Map62
- Brújula Brunton
- Cinta métrica
- Teléfono inteligente Android con aplicación Sound Meter v 3.2.6

- Computadora con los softwares:
 - RockScience®: DIPS v. 6.0, RockPlane v. 2.0 y Swedge v. 4.0
 - Qgis v. 2.18,
 - Hcanales v. 3.0
 - Microsoft Office 2016®: Word, Excel, Project y Visio
- Imágenes satelitales:
 - GIOVANNI g4 accumulate TRMM 3B43 7 precipitation 2017 01 01-2017 12 31 68W 10N 67W 10N
 - GIOVANNI g4 accumulate TRMM 3B43 7 precipitation 2016 01 01-2016 12 31 68W 9N 65W 11N
 - GIOVANNI g4 accumulate TRMM 3B43 7 precipitation 2015 01 01-2015 12 31 68W 9N 65W 11N
 - AP 27089 FBS F0190 RT2
 - LE07 L1TP 005053 20180928 20181025 01 T1
- Conversaciones puntuales con el personal que labora en la Cantera
- Cuestionario cerrado (Figura 11) dirigido a la comunidad de Gañango

Nombre:		Fecha :		
Cuestionario				
Nº	Pregunta	Respuesta		
1	¿Cree que la cantera ha beneficiado positivamente a los habitantes de la población de Gañango?	SI ()	NO ()	TAL VEZ ()
2	¿Ha percatado algún impacto negativo ocasionado por la actividad de la Cantera?	SI ()	NO ()	TAL VEZ ()
3	Si la respuesta de la pregunta 2 es afirmativa, ¿Cuáles impactos cree que ha ocasionado?	Emisión de polvo y gases ()		
		Generación de vibraciones o temblores ()		
		Generación de ruidos ()		
		Deterioro de la vialidad ()		
		Accidentes viales ()		
		Desechos líquidos ()		
		Desechos sólidos ()		
		Otro ()		
4	Enumere de mayor a menor los aspectos que considere indispensable para la Comunidad	Trabajo ()		
		Alimentación ()		
		Transporte ()		
		Comunicación ()		
		Deporte ()		
		Medicina ()		
		Educación ()		
		Electricidad ()		
		Agua ()		
		Entretenimiento ()		
5	¿Cree que la cantera pueda mejorar de algún modo a la población de Gañango?	TAL VEZ ()	NO ()	TAL VEZ ()
6	Al culminar las labores de la Cantera ¿Cree que afectará a la población de Gañango?	Afectará positivamente ()		
		Afectará negativamente ()		
		No cree que afecte ()		
		No está seguro ()		
7	¿Cuáles cree que pueden ser actividades económicamente beneficiosas para la población una vez la cantera cese sus operaciones?	Minería ()		
		Pesca ()		
		Turismo ()		
		Construcción ()		
		Mecánica ()		
Otro ()				

Figura 11. Modelo de cuestionario a ser implementado

4.5 Procedimiento experimental

Para la realización de la investigación y el cumplimiento de los objetivos propuestos, se siguió las etapas expuestas en la Figura 12.

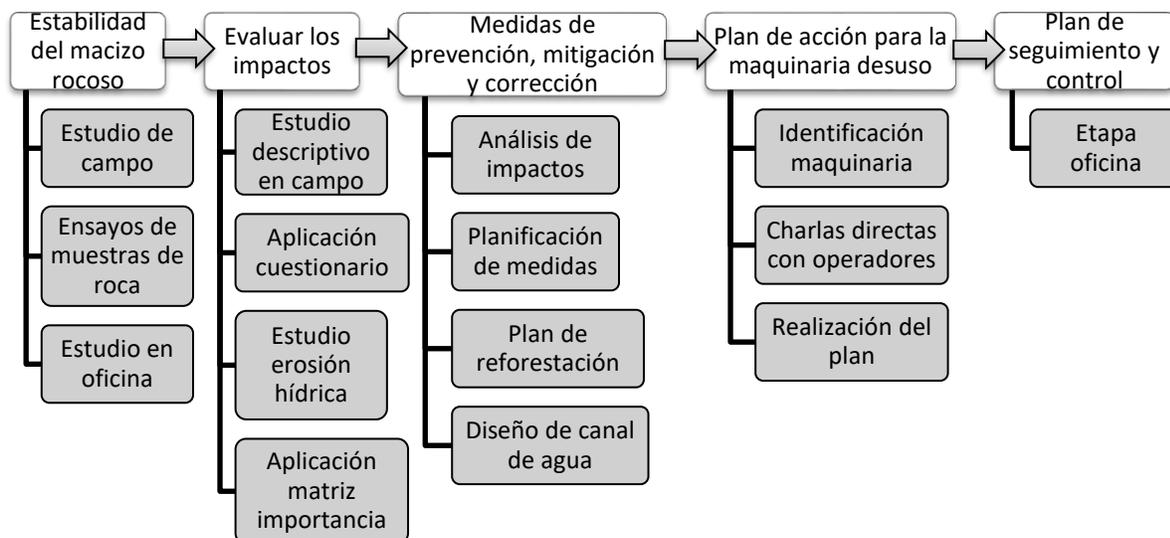


Figura 12. Procedimiento experimental seguido.

4.5.1 Análisis de las condiciones de estabilidad del macizo rocoso

Se realizó una jornada de campo donde se estudiaron los tres taludes que conforman el Frente 1, siguiendo los lineamientos propuestos por González de Vallejo, Ferrer, Ortuño y Oteo (2002) sobre el estudio y caracterización de macizos rocosos, de esta manera se obtuvo información para la clasificación del macizo según RMR y SMR y el análisis de estabilidad cinemático de los taludes, donde se usó el software Dips (v.6.0). Además, se recolectaron seis muestras de roca para su posterior preparación y elaboración de análisis de corte directo en laboratorio según la norma ISRM *Suggested Methods For Determining Shear Strength* (2014) obteniendo el ángulo de fricción y la cohesión de la roca, datos usados en el análisis mecánico de fallas con los software RockPlane (v. 2.0) y Swedge (v. 4.0) donde se estableció un factor de seguridad de 1,5 como valor mínimo necesario para considerar mecánicamente estable los taludes.

4.5.2 Evaluación de los impactos ambientales y socio-culturales

Para la identificación de los impactos ambientales generados por la explotación del Frente 1, se utilizó una lista de chequeo recopilando investigaciones realizadas en otras canteras a nivel nacional sobre impactos ambientales, para determinar cuáles de estos se encontraban presentes en la Cantera (teniendo en cuenta la posibilidad de hallar otros impactos distintos según las características propias de la zona en estudio). En campo, se recopiló información sobre los niveles de ruido en distintas zonas de la terraza 100 msnm, se hicieron anotaciones sobre el medio receptor de los impactos y cuáles son las actividades

que los ocasionan. Luego, se aplicó el cuestionario (Figura 11) personalmente y de manera anónima a 45 personas mayores de edad que viven en el sector de Gañango.

Para conocer conceptualmente el comportamiento de erosión se manipularon distintas imágenes satelitales a través del software Qgis (v. 2.18), obtenidas a través de las misiones LANSAT, TRMM y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) relacionadas con el modelo de elevación digital, la precipitación acumulada y la reflectancia (bandas 3 y 4) de la zona, obteniendo las variables requeridas para el modelo USLE, resultando una imagen final sobre las tasas de erosión. Finalmente, se describieron los impactos resaltantes y se clasificaron de acuerdo a la metodología propuesta por Conesa Fernández (1997).

4.5.3 Establecimiento de medidas de prevención, mitigación y corrección de los impactos ambientales y socio-culturales

Realizada la evaluación de los impactos, se clasificaron las medidas según el medio al que hacen referencia (atmosférico, hídrico, suelo, entre otros), luego se describieron las actividades que se deben realizar para cubrir cada aspecto. Después, se realizó un plan de reforestación, seleccionando las especies arbóreas y arbustivas autóctonas e introducidas en la zona de estudio, describiendo como se pueden reproducir, cuando y como se debe sembrar. En cuanto al control de escorrentía se estimó el caudal de diseño en el frente a través del método racional, dividiendo el área en sus principales vertientes. Para determinar los parámetros geométricos del canal conforme a las características del terreno y el caudal de diseño, haciendo uso del software Hcanales (v. 3.0)

4.5.4 Propuesta de un plan de acción para la reubicación de la maquinaria en desuso

Se realizó una jornada de campo el mes de junio del 2018 para identificar el estado de las maquinarias que se encuentra dentro de la concesión, luego se hicieron charlas directas con los operadores de dichas maquinarias para consultar el tiempo en que llevaban operativa o en desuso, con dicha información se pasó a una etapa de oficina para proponer un plan de las actividades a realizar a fin de cumplir la reubicación de la maquinaria.

4.5.5 Elaboración de un plan de cierre para el seguimiento y control de las medidas establecidas

Una vez establecidas las medidas de prevención, mitigación y corrección de los impactos ambientales y socio-culturales, se planificó una serie de actividades que se deben seguir para controlar el avance de las medidas, para ello se clasificaron las actividades según el medio natural al que están relacionadas y de acuerdo a la periodicidad que deben ser realizadas.

CAPÍTULO V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 Parámetros geotécnicos de la zona de estudio

5.1.1 Sectorización del Frente 1

Para estudiar las características del macizo rocoso se sectorizó el frente en tres grupos de acuerdo a la orientación final de los taludes, de esta manera se estudió el talud 1 en la terraza 190 msnm, el talud 2 en la terraza 240 msnm y el talud 3 en la terraza 240 msnm (Figura 13).

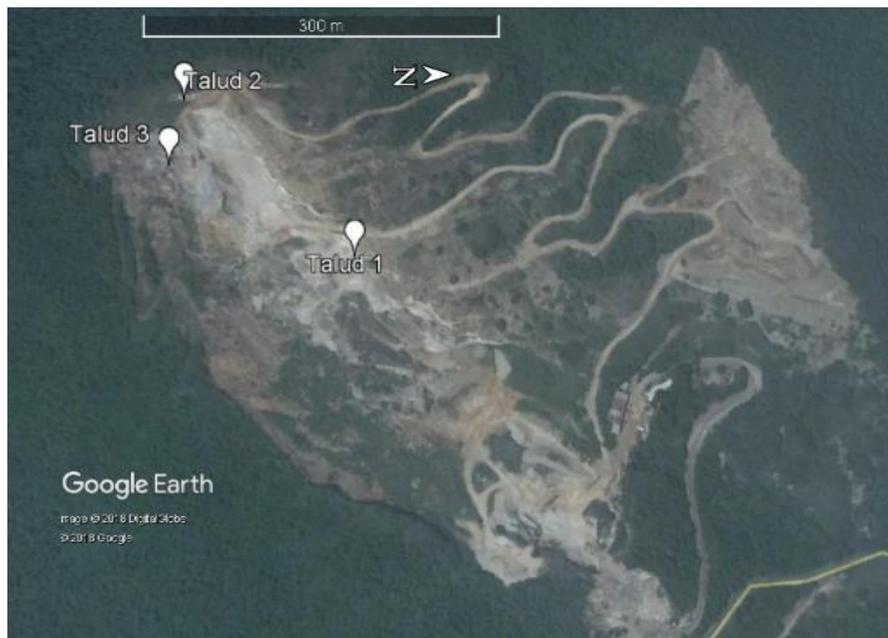


Figura 13. Ubicación relativa de los estudios del macizo rocoso

La ubicación específica de las zonas estudiadas se encuentran en la Tabla 15, estas fueron escogidas teniendo en cuenta los taludes que no hayan sido afectados por voladuras y estén libre de material fragmentado o cubiertos por vegetación.

Tabla 15. Ubicación de los taludes estudiados

Talud	Nivel	Punto	Coordenadas UTM 19P		Dirección y Buzamiento	Distancia (m)
			Este	Norte		
1	190	1	614.873	1.155.739	N42E76S	8
		2	614.865	1.155.728		
2	240	1	614.757	1.155.606	N30W80N	6
		2	614.753	1.155.615		
3	240	1	614.821	1.155.601	N65E78N	8
		2	614.815	1.155.601		

5.1.2 Ensayos mecánicos del macizo rocoso

Ensayos de compresión simple (UCS)

Según los reportes de los ensayos de compresión simple de Canteras Tacarigua C.A. (2017) mostrados en el Anexo 4, la roca resiste un esfuerzo axial promedio de 48.97 MPa (Tabla 16), clasificándola según su resistencia como “moderada” de acuerdo al ISRM (1981) y como “baja” según Bieniawski (1973).

Tabla 16. Resultados de ensayo de compresión simple (UCS)

Muestra	Esfuerzo axial (MPa)	Deformación axial (%)	Módulo de elasticidad tangente al 50% (MPa)	Módulo de elasticidad secante al 50% (MPa)
2429-1	42,70	1,60	3.209,21	2.268,49
2429-12	60,10	1,87	4.304,05	2.844,00
2429-25	36,70	1,71	3.390,35	2.065,22
2429-26	57,50	2,50	1.156,94	1.080,08
2429-32	56,80	2,07	2.723,43	2.267,98
2429-42	40,00	1,99	3.387,91	1.510,45
Promedio	48,97	1,95	3.028,65	2.006,04

Ensayos de corte

A través de un ajuste lineal de los datos obtenidos en laboratorio (Anexo 5) se determinó la línea envolvente de Mohr-Coulumb que representa la relación de esfuerzos de corte según los esfuerzos normales de la roca (Figura 14) y con ello, el ángulo de fricción interna y la cohesión. A fin de realizar el análisis de estabilidad de taludes se utilizaron los valores máximos (pico) del ángulo de fricción interna (43,03°) y cohesión (0,36 MPa) mostrados en la Tabla 17.

Tabla 17. Resultados del ensayo de corte directo

VARIABLE	Máximo (Pico)	Mínimo (Residual)
Tipo de ajuste	Lineal	Lineal
Ecuación de la recta	$\tau = \tan(43,03) * \sigma + 0,36$	$\tau = \tan(43,70) * \sigma + 0,26$
Cohesión (c), (MPa)	0,36	0,26
Ángulo de Fricción (ϕ), (grados)	43,03	43,70
Número de puntos	24	24
Promedio Esfuerzo Normal (σ_n)	1,56	1,55
Promedio Esfuerzo de Corte (τ)	1,82	1,75
Suma de los residuos cuadrados	2,26	2,45
Regresión Suma de los residuos cuadrados	7,81	8,20
Coefficiente de Determinación (R^2)	0,78	0,77

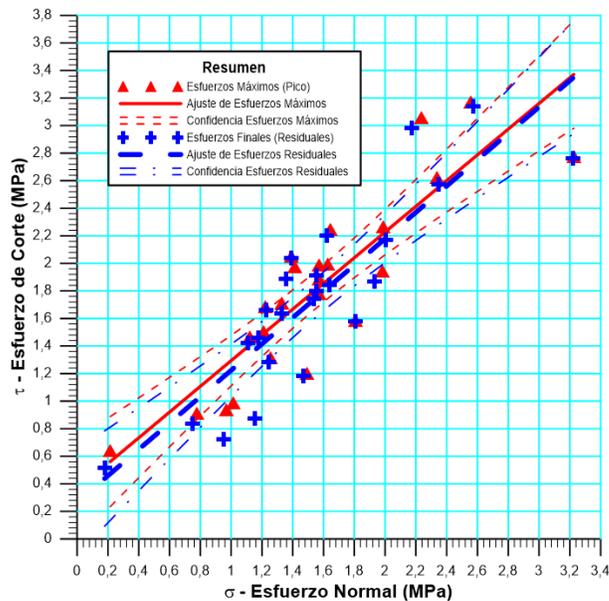


Figura 14. Ajuste lineal de los resultados obtenidos en el ensayo de corte directo

5.2 Análisis de estabilidad de taludes

Realizado el estudio en campo, se proyectó la información de los planos de discontinuidades encontradas en la red estereográfica, con dicha información junto al diseño de los taludes finales expuestos en la Tabla 4 y Figura 5 del apartado 2.3.2 y los ensayos de laboratorio hechos, se realizaron los análisis de estabilidad para cada talud.

5.2.1 Talud 1, N36E85S (126,85)

Para el talud 1 de orientación N36E85S según su configuración final, se encontraron la existencia de dos patrones de diaclasas y uno de foliaciones. Las diaclasas corresponden al afloramiento de dolomitas blancos gris y mármoles infrayacente al paquete de dolomita

blanca blanca, en cuanto a las foliaciones corresponde a una intercalación de un esquistos clorítico micáceo, descrito en el apartado de la geología local de este yacimiento.

En la Figura 15 se muestra la concentración de polos de las discontinuidades con su respectivo plano representativo, proyectados en la red estereográfica. La orientación de los patrones corresponde a:

- Familia de diaclasas D1: orientación N33W 80S (237,80)
- Familia de diaclasas D2: orientación N68W 82N (021,82)
- Familia de foliación F1: orientación N48E46N (318,46)

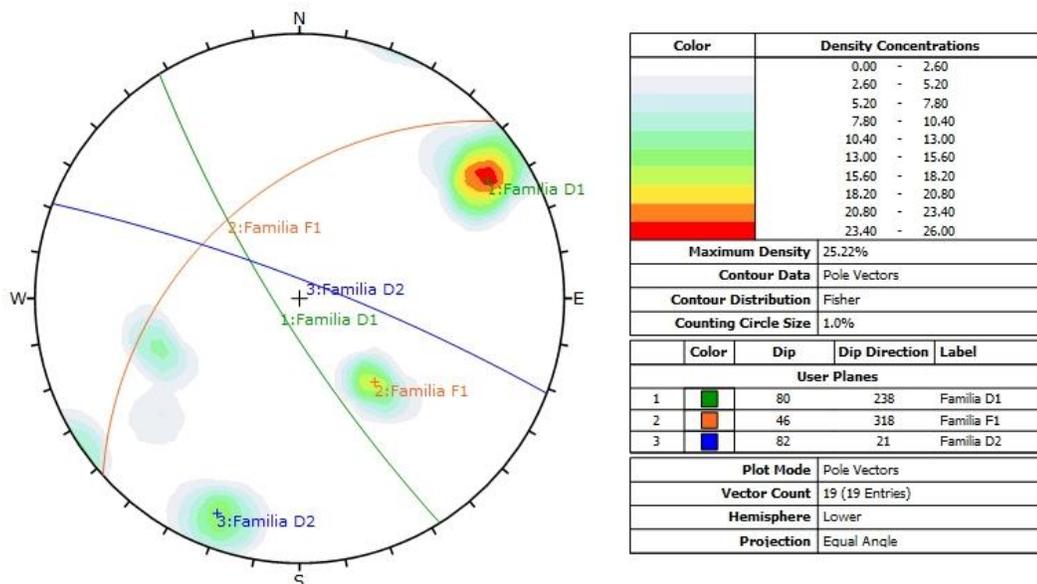


Figura 15. Polos y planos de discontinuidades del talud 1

Análisis de estabilidad cinemático

En la Figura 16 se muestra el área de inestabilidad para falla plana (sombreado de color rojo) del talud 1 y los polos de los planos de las discontinuidades, los cuales no se encuentran dentro de dicha área. Por lo cual, no existe posibilidad cinemática de falla plana.

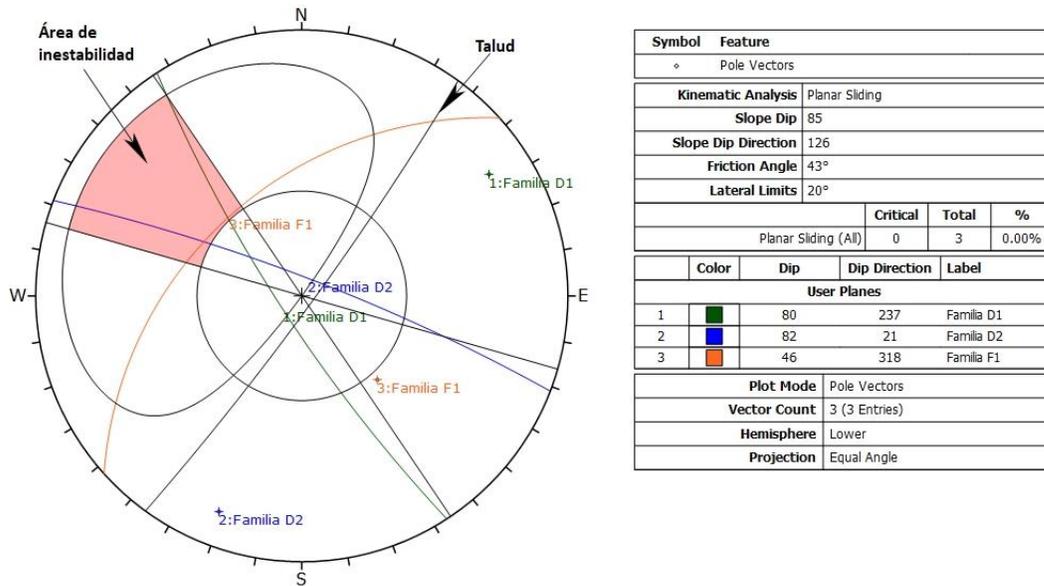


Figura 16. Análisis cinemático para falla plana del talud 1

En la Figura 17, se muestra el análisis para falla de cuña, no existe ningún punto de intersección crítico dentro del área de inestabilidad, por lo cual no hay posibilidad cinemática de falla de cuña.

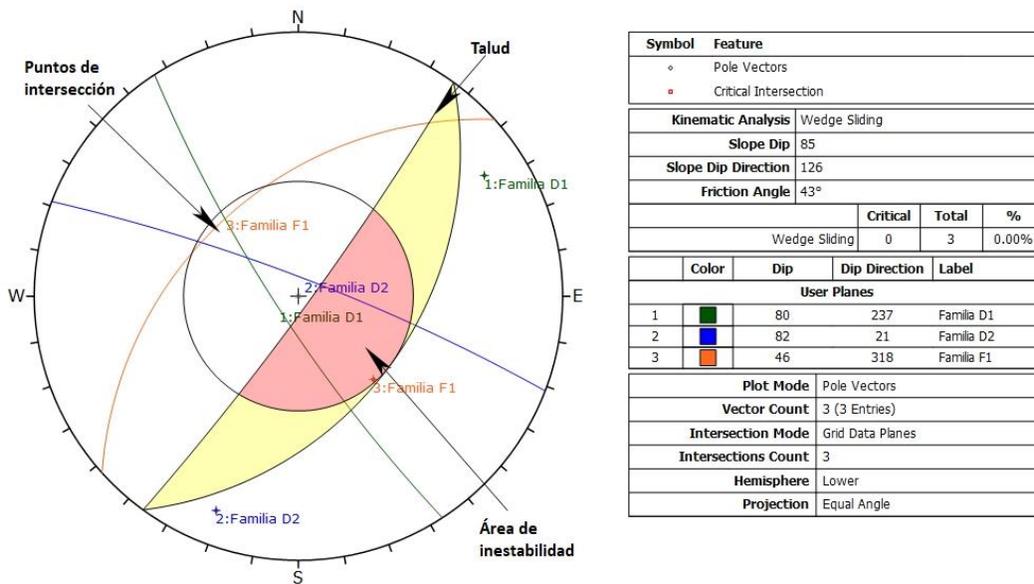


Figura 17. Análisis cinemático para falla de cuña del talud 1

Como no existe ningún plano de discontinuidad con riesgo cinemático de falla plana o cuña se considera el talud 1 (N36E85S) estable sin proceder al análisis mecánico.

Clasificación del macizo rocoso

En la Tabla 18 se muestra el valor del tamaño de bloques J_v calculado con la ecuación (2), y el valor RQD calculado con la ecuación (3) dando como resultado un RQD de 96% (Clase muy buena) para el talud 1 (Figura 18).



Figura 18. Sección del talud 1 en la terraza 200 msnm

Tabla 18. Estimación del valor RQD del talud 1

Familia	Separación (m)	J_v	RQD (%)
Familia D1	0,80	5,77	96
Familia D2	0,54		
Familia F1	0,38		

El RMR resultante del talud 1 es de 69 puntos correspondiente a una roca de clase II (roca buena) que posee un ángulo de fricción entre 35° a 45° (Tabla 19), corroborando los resultados de los ensayos de corte directo donde se demuestra que la roca tiene un ángulo de fricción interna de 43,03°.

Tabla 19. Clasificación RMR del talud 1

Parámetro	Valor	Rating
Esfuerzo uniaxial compresivo (MPa)	48,97	4
Índice de calidad de roca RQD	96	20
Flujo de Agua	Seco	15
Espaciamiento (m)	0,58	10
Apertura (mm)	0	6
Persistencia (m)	4,1	2
Rugosidad	Rugoso	5
Relleno (mm)	1,9	2
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
RMR		69
Clase		II (Roca buena)

La Tabla 20 muestra los valores de los factores utilizados en la clasificación SMR, donde se obtuvo un *rating* de 62 puntos correspondiente a una roca clase II (roca buena) con un estabilidad buena, rotura de algunos bloques y de tratamiento ocasional. En este caso se utiliza la familia de diaclasas D1 debido a que el talud 1 no presenta riesgo de falla plana o de cuña.

Tabla 20. Clasificación SMR del talud 1

Factores				SMR	Clase	Descripción	Rotura	Tratamiento
F1 (237-126 =111)	F2	F3 (80-85=-5)	F4	62	II - Buena	Estabilidad buena	Algunos bloques	Ocasional
0,15	1	-50	0					

5.2.2 Talud 2, N40W85N (50,85)

Para el talud 2, de orientación final N40W85N se midieron los planos de discontinuidad sobre el afloramiento de dolomita blanco gris, encontrándose dos patrones correspondiente a dos familias de diaclasas (Figura 19). La orientación de los patrones corresponde a:

- Familia de diaclasas D1: orientación N55E55N (325,55)
- Familia de diaclasas D2: orientación N49W83S (221,82)

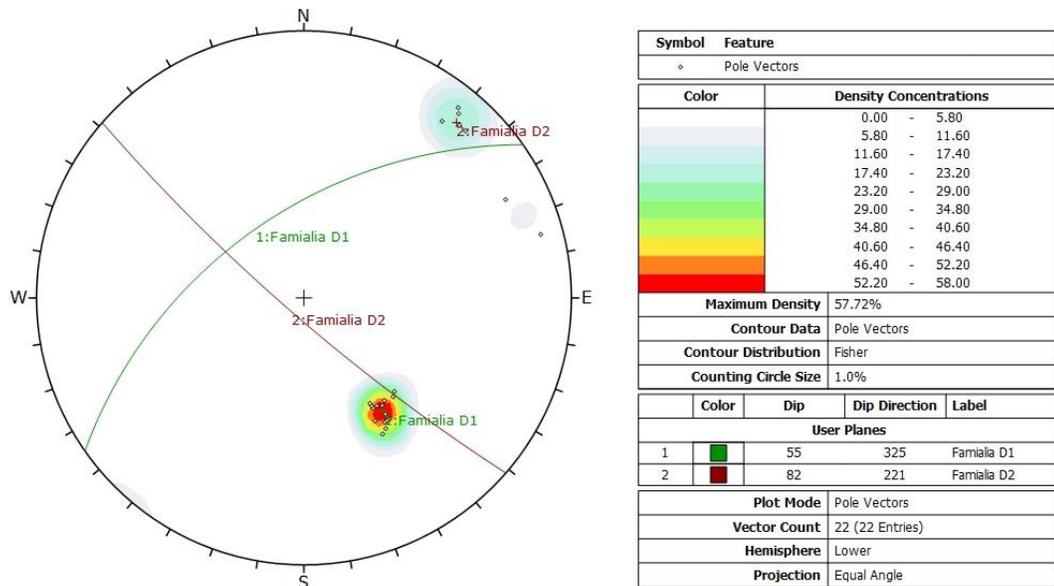


Figura 19. Polos y planos de discontinuidades del talud 2

Análisis de estabilidad cinemático

En la Figura 20 se muestra el análisis cinemático de falla plana para el talud 2, donde no existe concentración de polos críticos en el área de inestabilidad, por ende no hay riesgo de falla plana.

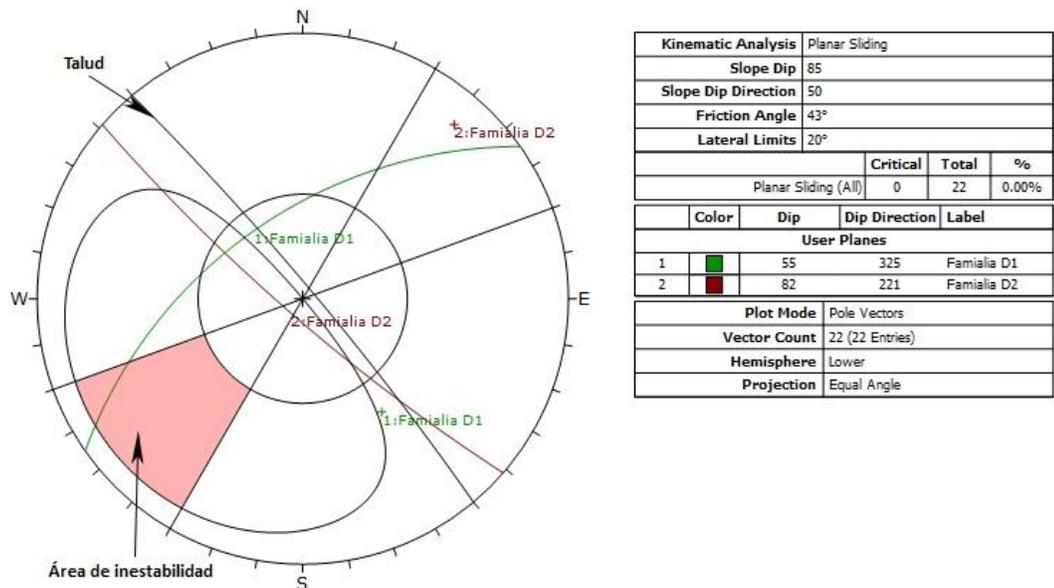


Figura 20. Análisis cinemático para falla plana del talud 2

En la Figura 21 se muestra el análisis para falla de cuña del talud 2, donde se muestra que el punto de intersección entre las dos familias presentes, se encuentran fuera del área de inestabilidad, el talud no presenta riesgo de falla de cuña.

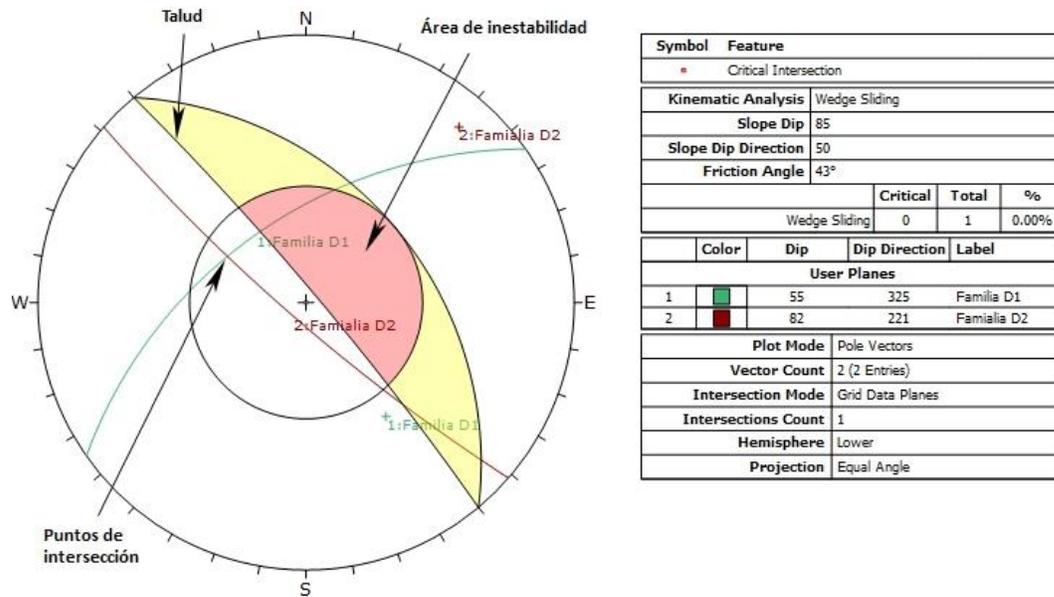


Figura 21. Análisis cinemático para falla de cuña del talud 2

Como no existe ningún plano de discontinuidad con riesgo cinemático de falla plana o cuña se considera el talud 2 (N40W85N) estable sin proceder al análisis mecánico.

Clasificación del macizo rocoso

En la Tabla 21 se muestra el valor del tamaño de bloques J_v calculado con la ecuación (2) y el valor RQD calculado con la ecuación (3) dando como resultado un RQD de 92% (Clase muy buena) para el talud 2 (Figura 22).



Figura 22. Sección del talud 2 en la terraza 240 msnm

Tabla 21. Estimación del valor RQD del talud 2

Familia	Separación (m)	J_v	RQD (%)
Familia D1	0,27	6,93	92
Familia D2	0,31		

El RMR resultante del talud 2 es de 67 puntos correspondiente a una roca de clase II (roca buena) que posee un ángulo de fricción entre 35° a 45° (Tabla 22), corroborando los resultados de los ensayos de corte directo.

Tabla 22. Clasificación RMR del talud 2

Parámetro	Valor	Rating
Esfuerzo uniaxial compresivo (MPa)	48,97	4
Índice de calidad de roca RQD	92	20
Flujo de Agua	Seco	15
Espaciamiento (m)	0,29	10
Apertura (mm)	1	1
Persistencia (m)	10,8	1
Rugosidad	Rugoso	5
Relleno (mm)	0	6
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
RMR		67
Clase		II (Roca buena)

La Tabla 23 muestra los valores de los factores utilizados en la clasificación SMR, donde se obtuvo un *rating* de 58 puntos correspondiente a una roca clase III (roca normal) parcialmente estable, con algunas juntas o muchas cuñas y de tratamiento sistemático. En este caso se utiliza la recta de intersección de la familia de diaclasas D1-D2 por ser la más cercana a presentar algún tipo de riesgo de falla (cuña), sabiendo que el talud es estable.

Tabla 23. Clasificación SMR del talud 2

Factores				SMR	Clase	Descripción	Rotura	Tratamiento
F1 (300-50 =250)	F2	F3 (37-85=-48)	F4	58	III - Normal	Parcialmente estable	Algunas juntas	Sistemático
0,15	1	-60	0					

5.2.3 Talud 3, N55E85N (325,85)

En el talud 3 con orientación final N55E85N, se encontraron tres familias de discontinuidades sobre el afloramiento de mármol gris oscuro. En la Figura 23 se muestra la concentración de polos de las mismas. La orientación de los patrones corresponde a:

- Familia de diaclasas D1: orientación N18W75S (252,75)
- Familia de diaclasas D2: orientación N10E71N (280,71)
- Familia de bandeamientos B1: orientación N70E62N (340,62)

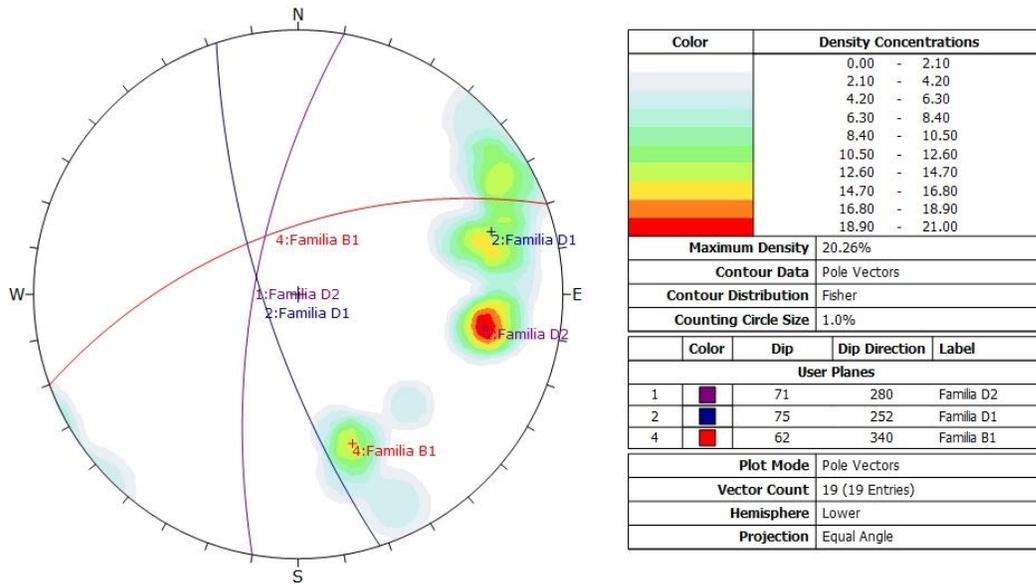


Figura 23. Polos y planos de discontinuidades del talud 3

Análisis de estabilidad cinemático

En el talud 3 se encontró que los polos de la familia de bandeamientos B1 se encuentra dentro de la zona de inestabilidad cinemática para falla plana, como se muestra en la Figura 24, por ello existe riesgo de falla plana.

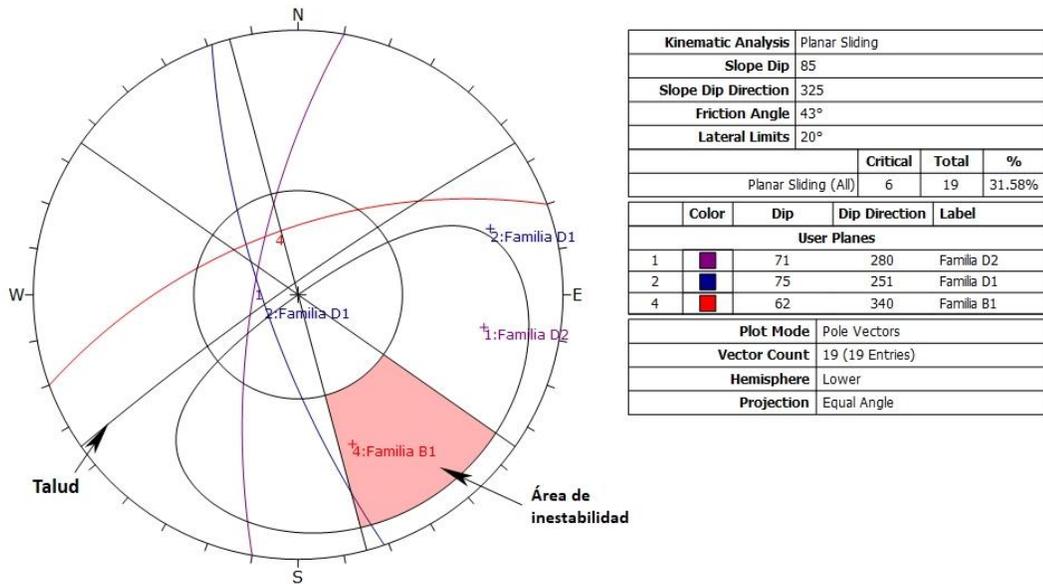


Figura 24. Análisis cinemático para falla plana del talud 3

En la Figura 25 se muestra el resultado del análisis cinemático para falla de cuña, observándose que los tres puntos de intersección generados por las tres familias de discontinuidades, se encuentran dentro de la zona de inestabilidad, por ende, hay riesgo de falla de cuña.

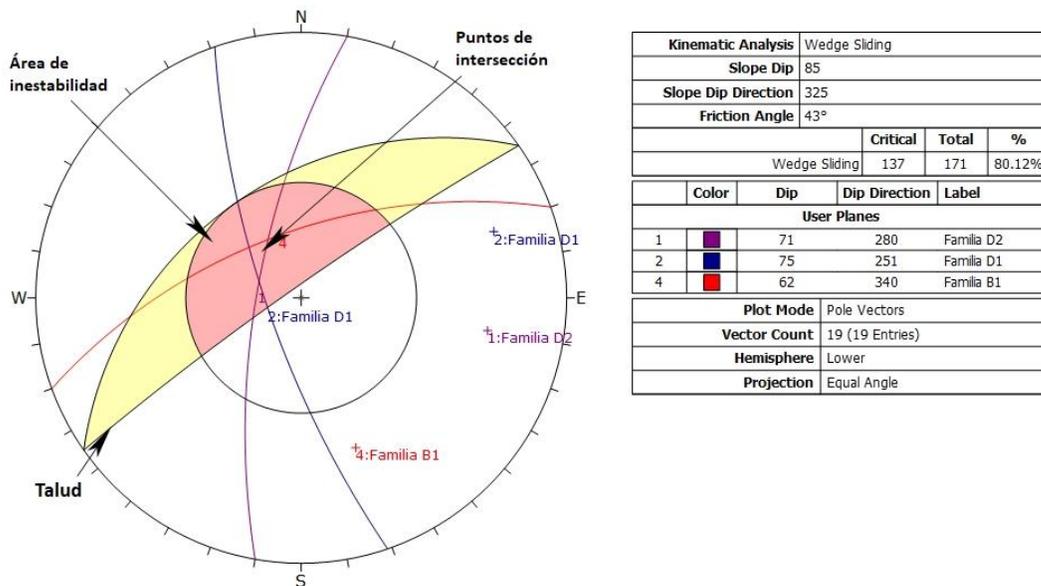


Figura 25. Análisis cinemático para falla de cuña del talud 3

Análisis de estabilidad mecánico

En la Figura 26 se muestra que el factor de seguridad obtenido por el análisis para falla plana según el bandeamiento presente, con un valor de 0,55, inferior al 1,5. Por ello, se considera el talud mecánicamente inestable para este tipo de falla.

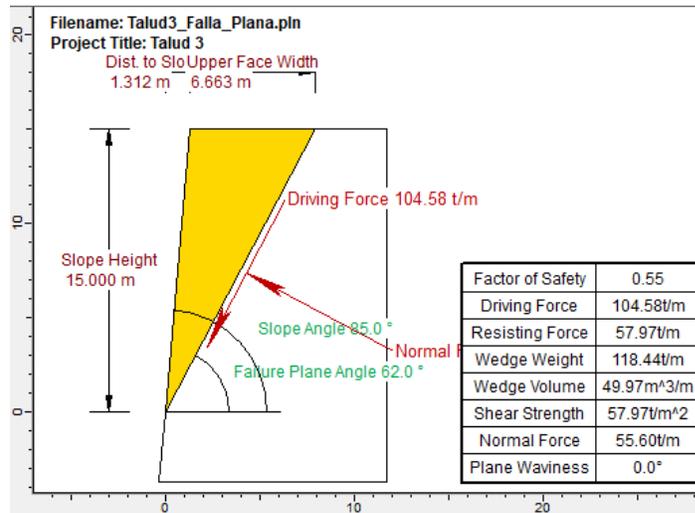


Figura 26. Análisis de estabilidad mecánico de falla plana para el talud 3

La Tabla 24 muestra el resultado del análisis mecánico de la falla de cuña generada por las familias de diaclasas D1-D2 (Figura 27), obteniéndose un factor de seguridad 1,17, cercano al equilibrio límite (F.S.=1) e inferior a 1,5 por ello, se considera el talud mecánicamente inestable bajo estas condiciones.

Tabla 24. Análisis mecánico para falla de cuña generado por las diaclasas D1-D2

Factor de seguridad	Información de la cuña					Línea de intersección	
	Ancho (m)	Volumen (m³)	Peso cuña (t)	Fuerza actuante (t)	Fuerza resistente (t)	Dip	Azimut
1,17	3,15	17,28	40,94	38,61	45,29	71	293

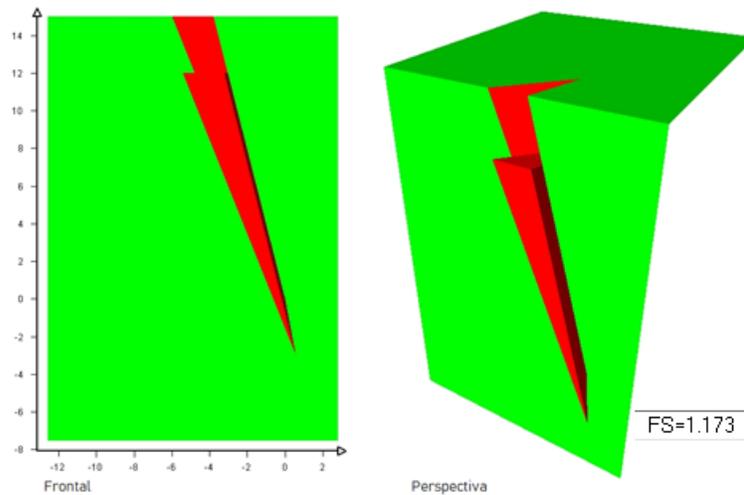


Figura 27. Vistas de la cuña generada por las familias de diaclasas D1-D2

La Tabla 25 muestra el resultado del análisis mecánico de la falla de cuña generada por las familias de discontinuidades D1-B1 (Figura 28), obteniéndose un factor de seguridad 0,78, inferior a 1,5 por ello, se considera el talud mecánicamente inestable bajo estas condiciones.

Tabla 25. Análisis mecánico para falla de cuña generado por las discontinuidades D1-B1

Factor de seguridad	Información de la cuña					Línea de intersección	
	Ancho (m)	Volumen (m ³)	Peso cuña (t)	Fuerza actuante (t)	Fuerza resistente (t)	Dip	Azimut
0,78	7,36	546,87	1296,07	1117,56	873,84	61	315

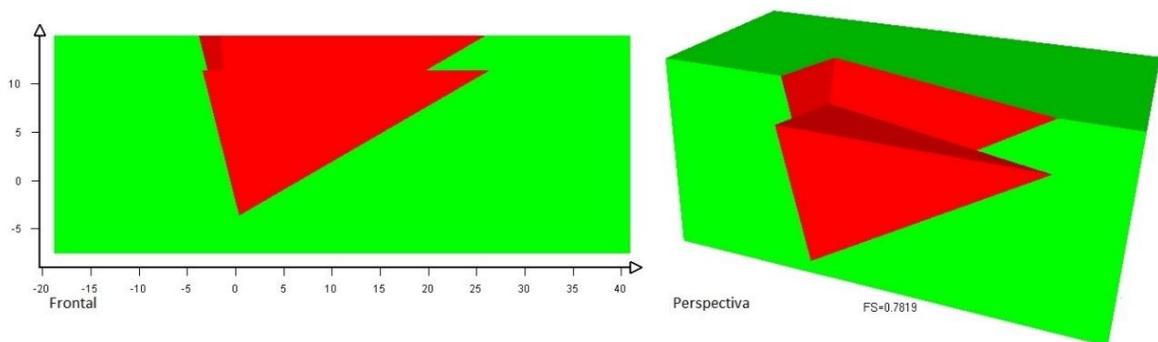


Figura 28. Vistas de la cuña generada por las familias de discontinuidad D1-B1

La Tabla 26 muestra el resultado del análisis mecánico de la falla de cuña generada por las familias de discontinuidades D2-B1 (Figura 29), obteniéndose un factor de seguridad 0,63,

inferior a 1,5 por ello, se considera el talud mecánicamente inestable bajo estas condiciones.

Tabla 26. Análisis mecánico para falla de cuña generado por las discontinuidades D2-B1

Factor de seguridad	Información de la cuña					Línea de intersección	
	Ancho (m)	Volumen (m ³)	Peso cuña (t)	Fuerza actuante (t)	Fuerza resistente (t)	Dip	Azimut
0,63	6,74	537,95	1274,93	1122,11	709,48	62	330

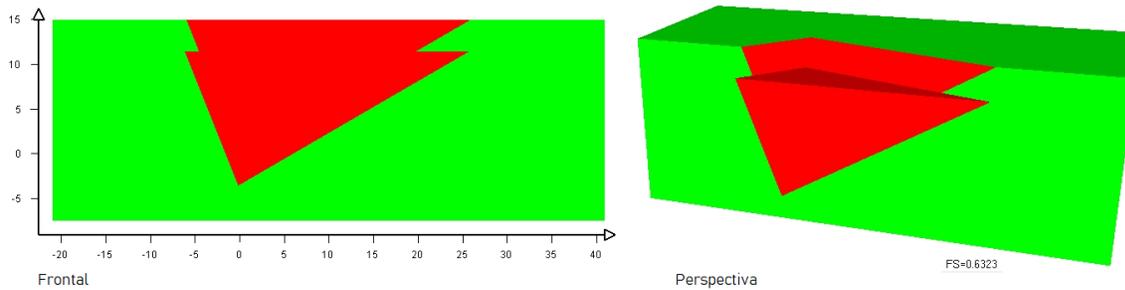


Figura 29. Vistas de la cuña generada por las familias de discontinuidad D2-B1

De esta manera se comprueba que la configuración final del talud 3 es inestable para falla plana y de cuña. Se recomienda disminuir el ángulo del talud, de 85° a 60°, de esa forma el buzamiento de las distintas familias de discontinuidades presentes en el talud será superior al ángulo del talud, haciéndolo estable cinemáticamente.

Clasificación del macizo rocoso

En la Tabla 27 se muestra el valor del tamaño de bloques J_v calculado con la ecuación (2), y el valor RQD calculado con la ecuación (3) dando como resultado un RQD de 96% (Clase muy buena) para el talud 3 (Figura 30).



Figura 30. Sección del talud 3 en la terraza 240 msnm

Tabla 27. Estimación del valor RQD del talud 3

Familia	Separación (m)	J_v	RQD (%)
Familia D1	0,54	5,61	96
Familia D2	0,46		
Familia B1	0,63		

El RMR resultante del talud 3 es de 63 puntos correspondiente a una roca de clase II (roca buena) que posee un ángulo de fricción entre 35° a 45° (Tabla 28), corroborando los resultados de los ensayos de corte directo.

Tabla 28. Clasificación RMR del talud 3

Parámetro	Valor	Rating
Esfuerzo uniaxial compresivo (MPa)	48,97	4
Índice de calidad de roca RQD	96	20
Flujo de Agua	Seco	15
Espaciamiento (m)	0,54	10
Apertura (mm)	1,5	1
Persistencia (m)	13,8	1
Rugosidad	Rugoso	5
Relleno (mm)	0,84	2
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
RMR		63
Clase		II (Roca buena)

La Tabla 29 muestra los valores de los factores utilizados en la clasificación SMR, donde se obtuvo un *rating* de 21 puntos correspondiente a una roca clase IV (roca mala) inestable,

con juntas o grandes cuñas y de tratamiento correctivo. En este caso se utiliza la familia B1 por presentar riesgo de falla plana y poseer el menor factor de seguridad (0,55).

Tabla 29. Clasificación SMR del talud 3

Factores Familia bandeamiento B1 (62,340)				SMR	Clase	Descripción	Rotura	Tratamiento
F1 (340-325 =15)	F2	F3 (37-85=-48)	F4					
0,7	1	-60	0	21	IV - Mala	Inestable	Juntas o grandes cuñas	Corrección

5.3 Evaluación de impactos ambientales – socioculturales

5.3.1 Cuestionario de la comunidad de Gañango

Con las siete preguntas aplicadas con el cuestionario diseñado (Figura 11) a personas de la comunidad de Gañango, se obtuvieron los siguientes resultados:

Pregunta 1. ¿Cree que la Cantera ha beneficiado positivamente a los habitantes de la población de Gañango?

Al momento de aplicar la pregunta, el 80% de los encuestado expresaron que la Cantera es una fuente de empleo importante, que son trabajadores o conocen a otra persona que trabaja en las distintas cooperativas que laboran dentro de la concesión, otro 10% dijo que tal vez haya beneficiado sin notar alguna intervención significativa y el 9% restante expresó que no han notado ningún beneficio. Entre otras acciones beneficiosas mencionaron, ayuda con el transporte hacia Borburata y Puerto Cabello y la limpieza de la carretera nacional (Figura 31) los días donde la marea arrastra arena hacia ella.



Figura 31. A) Inicio de limpieza con cargador frontal, B) Transcurso de limpieza de la carretera, C) Vehículos transitando en la carretera libre de obstáculos

Pregunta 2. ¿Ha percatado algún impacto negativo ocasionado por la actividad minera?

El 67% respondieron que han percatado algún tipo de impacto negativo hacia su comunidad, estos ocurren de manera muy esporádica y puntual, los cuales serán mencionados en la pregunta 3. Un 29% dijeron que no han percatado impactos ocasionados

por la Cantera y solo un 4% mostraron dudas e incertidumbre diciendo que tal vez hayan ocasionado, pero no sabían identificarlos.

Pregunta 3. Si la respuesta de la pregunta 2 es afirmativa, ¿Cuáles impactos cree que ha ocasionado?

Del 67% de personas que han percatado algún tipo de impacto, fueron seleccionadas seis de las ocho opciones posibles, siendo el impacto con mayor relevancia la generación de vibraciones o temblores con un 33%, luego en orden decreciente se encuentra el deterioro de la vialidad con un 30%, disposición de fragmentos de mineral en la carretera soltados por vehículos de transporte (comercialización) un 17%, generación de ruido un 16% y la emisión de polvos o gases con un 4% (el menor impacto observado por la comunidad).

Pregunta 4. Enumere de mayor a menor los elementos que considere indispensable para la comunidad

De las opciones disponibles, las personas consideraron que la alimentación, el trabajo y transporte son las principales necesidades indispensables de la comunidad, con un valor de 26, 25 y 22%, respectivamente. Luego, se encuentra la medicina, el entretenimiento y deporte como necesarios con un valor de 11, 8 y 7%, respectivamente. Por último, se encuentran en menor medida los servicios de comunicación, agua, electricidad y educación con un valor conjunto de un 2%. Lo cual se traduce que los requerimientos actuales de la comunidad son la alimentación por razones económicas, el trabajo por el selectivo campo laboral de la zona, principalmente el turismo, la minería y la pesca. El transporte debido a la alta dependencia de esta comunidad de otros sitios como Borburata, Patanemo o Puerto Cabello. Las personas que le dieron relevancia al deporte mencionaron que las canchas de la zona no se encuentran en uso por falta de mantenimiento.

Pregunta 5. ¿Cree que la Cantera pueda mejorar de algún modo la población de Gañango?

El 93% de las personas expresaron que puede mejorar, abriendo nuevas oportunidades de empleo; disminuyendo el impacto visual, sembrando árboles, como uva de playa, a lo largo de la carretera para fomentar el turismo, mantener la carretera limpia cuando el mar suba o con insumos para mantenimiento de las canchas deportivas, el otro 7% expresó que pueden contribuir sin expresar alguna propuesta.

Pregunta 6. Al culminar las labores de la Cantera ¿Cree que afectará la población de Gañango?

El 84% respondieron que afectará de manera negativa ya que esta provee campo de empleo y la comercialización de minerales en éste sector. Además, la reinserción laboral de los

empleados a otras áreas es poco probable por la especialización en labores específicas. El porcentaje restante (16%) expresaron que tal vez afecte sin mayor explicación, pese a su falta de conocimiento sobre la actividad minera.

Pregunta 7. ¿Cuáles cree que pueden ser actividades económicamente beneficiosas para la comunidad una vez ocurra el cese de las operaciones mineras?

El 40% expresó que el turismo siempre ha sido una de las principales actividades económicas de la zona extendiéndose desde el alquiler y renta de cabañas cercanas a playas e islas, el viaje en lancha desde la costa hacia Isla Larga o el comercio de productos, sin embargo, es influenciada por las épocas de vacaciones (temporadas altas y bajas). La segunda actividad es la pesca con un 38% donde la mayoría de hombres se dedican a la pesca en el mar y la costa, mientras que las mujeres se especializan en la comercialización de los pescados. El área de la mecánica de vehículos sería la tercera actividad con un 11%, mientras que la minería se posiciona en cuarto lugar con un 6%, influenciada por la Cantera Mar Azul, a 800 m aproximadamente de Gañango. Por último, el campo de la construcción obtuvo un 4%.

5.3.2 Evaluación del riesgo de la erosión hídrica

El valor de la precipitaciones anuales obtenidos con el servidor Giovanni corresponden al clima costero característico de las zonas de estudio con un promedio acumulado de 877 mm entre los años 2015 a 2017, aplicando la ecuación (7), el índice de erosividad pluvial es de 758,42 (Mj×mm)/(h×h×año) (Tabla 30).

Tabla 30. Índice de erosividad pluvial en la zona de estudio

Año	Precipitación acumulada anual (mm/año)	Precipitación promedio acumulada (mm/año)	Factor R (Mj×mm)/(h×h×año)
2015	709,68	876,78	758,42
2016	989,5		
2017	931,17		

El valor de la erodabilidad del suelo (Factor K) utilizado fue de 0,037 (t×h)/(Mj×mm) proyectado de acuerdo a los resultados obtenidos por Sevilla, Comerma, & Oscar (2015) al norte de la cuenca del río Sanchón en el Palito (Anexo 6), Puerto Cabello correspondiente a la geología regional de la Formación Las Brisas característica de la zona de estudio.

Los valores de los factores LS y C se obtuvieron a través de la manipulación, uso y ajuste del sistema de información geográfico (SIG) con imágenes satelitales (Figura 32), utilizando las ecuaciones (8), (9), (10) y (11) para mejorar la comprensión de su distribución espacialmente.

El factor C obtenido se muestra con valores comprendidos entre 0,8 a 1 en el frente de explotación y las vías de acarreo, valor correspondiente a suelos parcialmente descubiertos y completamente descubiertos mientras que en las áreas con baja o sin intervención posee valores 0 a 0,2, la dimensión de cada pixel es de 125 m por lado de acuerdo a la resolución de las imágenes del satélite LANSAT 7 (banda 3 y 4).

El factor topografico LS esta comprendido entre valores de 0 a 7,5, donde los valores más bajos corresponden a las planicies o áreas “achatadas” mientras que los valores más altos corresponden a la dirección de las escorrentías, característico de los bancos del frente y secciones en las vías de transporte, la dimensión de los pixeles es de 25 m por lado según el modelo de elevación digital utilizado para la zona de estudio.

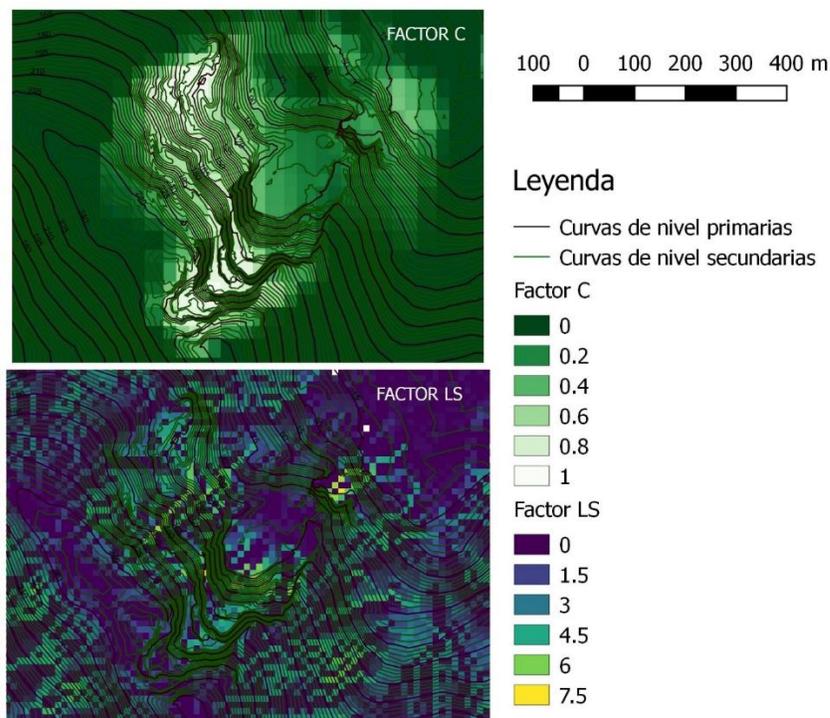


Figura 32. Distribución espacial de los factores C y LS del modelo USLE

El factor P sobre las prácticas de conservación fue establecido en 1 ya que no existen actividades relacionadas con tal fin en la zona de estudio.

Una vez obtenidos los factores anteriores, se multiplicaron según la ecuación (6) para obtener el modelo conceptual de la distribución espacial de las tasas de erosión del suelo mostrado en la Figura 33. En la Tabla 31 expresa que el 88,7% de la superficie posee tasas de erosión bajas de 0 a 25 t/ha anuales distribuidos en 65,1 ha. El 9,52% de la superficie presenta tasas de erosión medias (25 a 75 t/ha anual), mientras que las tasas superiores a 75 t/ha anuales se consideran moderadas a altas ,representando menos del 2% de la

superficie estudiada, las cuales se encuentran estrechamente relacionadas con la ubicación de los drenajes en las laderas y las vías de acarreo (Anexo 7).

Se considera un modelo conceptual debido a las siguientes limitaciones:

- Considera que toda la extensión areal es suelo, caso que no ocurre en el frente de extracción, cuyo suelo ya ha sido removido totalmente, por lo cual la erosión en estos sitios se comportan bajo los mecanismos de meteorización de rocas.
- La dimensión de los píxeles es estrictamente dependiente de la resolución de las imágenes satelitales.

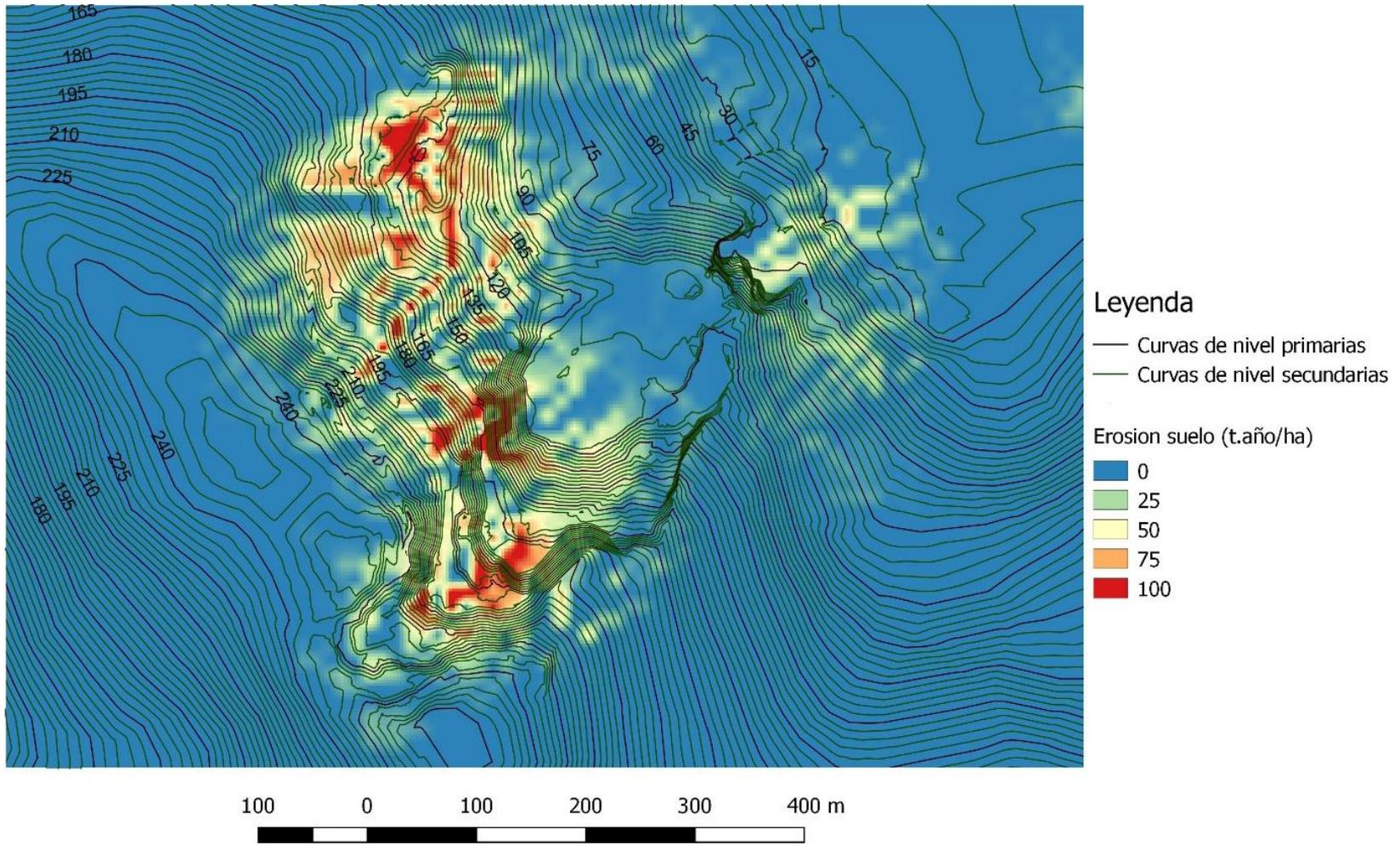


Figura 33. Distribución espacial de las tasas de erosión en el Frente 1 según USLE

Tabla 31. Tasas de erosión en el Frente 1 según USLE

Erosión suelo (t.año/ha)	Superficie (%)	Área (ha)
0-25	88,74	65,13
25-50	6,25	4,58
50-75	3,27	2,40
75-100	1,31	0,96
>100	0,43	0,32

5.3.3 Identificación de los impactos ambientales

En la Tabla 32 se identifican los 12 impactos estudiados en el Frente 1 y las áreas relacionadas (talleres, planta de trituración, vías de acceso y acarreo, vivero y drenajes). Se clasificaron en dos grupos, los que afectan el medio físico natural como “IA” que significa Impacto Ambiental e “ISC” entendiéndose Impacto Socio-Cultural. Estos pueden ser de carácter positivo o negativo y ser generados por distintas actividades.

Tabla 32. Impactos ambientales – socioculturales de la Concesión Los Viejos

NOMENCLATURA	IMPACTO
IA-1	Falta de áreas verdes o reforestadas
IA-2	Acumulación de desechos industriales
IA-3	Incremento del nivel de ruido
IA-4	Afectación a la calidad y estado físico del suelo y roca
IA-5	Alteración de la topografía y patrón de drenaje
IA-6	Desplazamiento de fauna debido a la pérdida de hábitat
IA-7	Alteración de la calidad del aire por polvo y gases de combustión
IA-8	Eliminación de cobertura vegetal
IA-9	Afectación del paisaje e impacto visual
IA-10	Generación de vibraciones en subsuelo
ISC-1	Contratación de empresas especializadas
ISC-2	Generación de empleos

A continuación, se describen los impactos y se establecen las características necesarias para su debida clasificación, siguiendo el orden de aparición de la Tabla 32.

IA.1. Falta de áreas verdes o reforestadas

Es ocasionado por el desarrollo minero, afectando el medio biótico por la eliminación de vegetación sin su reposición dentro de la concesión, ocurre por la necesidad de espacio para acceder al yacimiento. En el 2015, se realizó una reforestación de un área cercana al talud 2 utilizando la planta vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) cubriendo un área de 700 m², sin embargo, existen distintas áreas que aún no han sido reforestadas, por la falta de planificación, control y seguimientos a las medidas de recuperación ambiental.

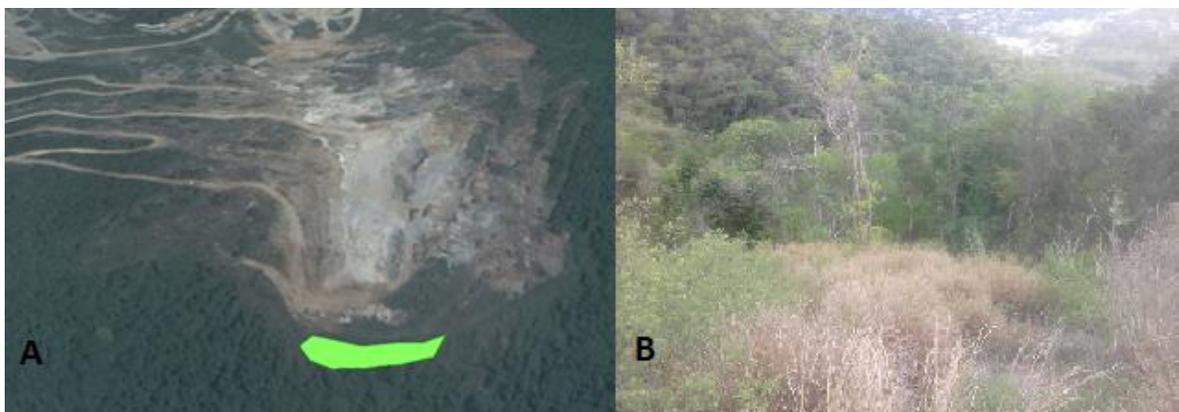


Figura 34. A) Polígono del área reforestada en el 2015.

B) Situación actual de las plantas vetiver sembradas en la poligonal

Por estos motivos se considera que es un impacto negativo de intensidad media, recuperable, acumulativo, de efecto directo y extensión parcial, que comienza a apreciarse a medio plazo, tiene una persistencia temporal y puede ser reversible a medio plazo, mantiene sinergia con otros impactos (IA.4 e IA.8) y de periodicidad continua.

IA.2. Acumulación de desechos industriales

Debido al mantenimiento y reparación de la maquinaria pesada a través del tiempo, se van generando desechos de piezas y fluidos (lubricantes y aceites). La mayoría de estos fluidos son tóxicos y son dispuestos en un contenedor cerrado que se encuentra sobre una base de concreto para evitar su infiltración en el subsuelo. Sin embargo, la mayoría de las piezas, cauchos y demás consumibles se encuentran a lo largo de la terraza principal (100 msnm) donde se encuentra las oficinas, talleres y la planta de procesamiento, teniendo un área dedicada para ello (Figura 35). En la actualidad, se encuentra en desuso por falta de control y seguimiento, afectando de manera negativa el medio abiótico (suelo) y biótico (vegetación).



Figura 35. A) Desechos de maquinaria

B) Estado actual del área dedicada a los desechos industriales

Por las características del impacto, se considera que es negativo de intensidad media de manera continua a lo largo del tiempo, con una extensión puntual ya que son determinadas áreas con desechos, de momento inmediato, con una persistencia permanente, siendo irreversible de forma natural y recuperable si se toman las medidas adecuadas para su salida de la Cantera; mantiene sinergismo con la afectación a la calidad y estado físico del suelo y roca, acumulativo y de efecto indirecto en el medio.

IA.3. Incremento del nivel de ruido

De acuerdo a las normas sobre el control de la contaminación generada por ruido (Gaceta Oficial N°4.418, 1992) la concesión se encuentra dentro de la zona IV (Sectores comerciales-industriales) que debe tener niveles de ruido tolerables menores a 70 dB, en periodos diurnos.

En la Figura 36 se muestra la ubicación de las mediciones de los niveles de ruido, cubriendo especialmente la parte baja del frente, la terraza principal y las vías de acceso. En la Tabla 33 se indican los niveles de ruido mínimo, máximo y promedio, medidos en diferentes zonas correspondientes al frente. En la entrada de la Cantera y la vía de acceso los niveles promedio son bajos, 40 y 39 dB, aumentando con el paso de vehículos ligeros y de carga a 80 y 73 dB, por debajo de los 70 dB establecidos, cumpliendo la normativa correspondiente.

Para el momento en que realizaron las mediciones, la principal fuente de ruido era la alimentación y el procesamiento de la planta trituradora con 80 y 82 dB. Las etapas de carga y acarreo no se estudiaron por que no se estaban ejecutando durante la etapa de campo. La perforación y la voladura son otras fuentes generadoras de ruido, sin embargo, son de forma temporal se ubican en el frente a cotas superiores y a mayor distancia respecto a la carretera.

Tabla 33. Niveles de ruido equivalente medidos

Punto	Ubicación relativa	Leq (dB)		
		Min.	Promedio	Max.
1	Vista mirador	44	58	83
2	Base sistema trituración	66	80	87
3	Puesto operador sistema trituración	73	82	89
4	Entrada a la Cantera	15	40	80
5	Vía de acceso	24	39	73



Figura 36. Ubicación de las mediciones de ruido

De acuerdo al cuestionario, también se presencia un aumento en los niveles de ruidos en Gañango, estos corresponden al paso de vehículos de cargas en la carretera. Cabe destacar que la comercialización y el transporte de material hacia su destino es responsabilidad de las empresas consumidoras.

Un incremento de los niveles de ruido puede llegar a afectar perjudicialmente la salud de los trabajadores expuestos a una fuente durante prolongados periodos, además que altera al hábitat natural de la fauna, pudiendo desplazar aquellas sensibles por tales motivos.

Por tales motivos, se considera un impacto negativo, periódico de intensidad alta, extenso, con un momento de aparición inmediato, pero de persistencia fugaz, mitigable y reversible a corto plazo, no acumulativo, con un efecto directo en la fauna y el medio social, además de ser sinérgico con el impacto IA.6.

IA.4. Afectación a la calidad y estado físico del suelo y la roca

Por la eliminación de la cobertura vegetal el índice de erosión del suelo aumenta, disminuyendo las concentraciones de materia orgánica e imposibilitando el crecimiento de vegetación. La perforación de barrenos y las voladuras en el yacimiento modifican la morfología natural del terreno haciéndolo susceptibles a otros impactos como cambios de los drenajes naturales. Los constantes ciclos de carga y acarreo compactan y fragmentan el suelo de las vías aumentando la carga de sedimentos transportada durante las precipitaciones y el material particulado atmosférico, afectando la fase mineral y orgánica del suelo, perjudicando los procesos básicos de su formación.

Por ello, este impacto se considera extenso de intensidad alta, acumulativo, persistente, recuperable e irreversible sin la aplicación de medidas correctoras, ocurre de manera continua y logra apreciarse a mediano plazo, afecta directamente el medio natural y es muy sinérgico con los impactos IA.2, IA.5 e IA.8.

IA.5. Alteración de la topografía y patrón de drenaje

Las continuas voladuras realizadas en los bancos del Frente 1 para la producción de mineral ha cambiado la naturaleza del relieve desde la cota 270 m y la 50 m, aumentando la pendiente media de 35% a 55%. Con la conformación de bancos y terrazas de trabajo el patrón de drenaje natural ha sido modificado desviando las aguas de escorrentía a través de las vías de acceso hacia cotas inferiores. Debido a la falta de mantenimiento de las cunetas y el desuso de las vías de acarreo, ha ocasionado que el agua de las precipitaciones atraviese las vías, generando cárcavas y se transporte sólidos desde las cotas superiores. (Figura 37).



Figura 37. Estado de la vía de acarreo en la cota 200 msnm

Este impacto se considera negativo, extenso, de intensidad alta, comienza a apreciarse a mediano plazo, puede ser recuperable, pero tiene una persistencia permanente y por sus características es irreversible, actúa de manera directa sobre el suelo y el sistema hídrico, es continuo en el tiempo y mantiene sinergia con los impactos IA.4 e IA.9.

IA.6. Desplazamiento de fauna debido a la pérdida de hábitat

Con la alteración de la topografía, la eliminación de la cobertura vegetal y los incrementos de los niveles de ruido hace que la fauna deba desplazarse en busca de nuevos ambientes para habitar. Dentro de la concesión se han observado báquiros (*Tayassu tajacu*), en las cotas más bajas 25-50 msnm, huellas del venado matacan (*Mazama gouazoubira*) en el banco 260 msnm y escasos avistamientos de ofidios dentro de las maquinarias. De acuerdo a Rodríguez, Rojas, & García (2015) la producción de energía y la minera representan solo el 6% entre los factores que afectan a las especies nacionales.

Se considera este impacto como negativo de intensidad media, extenso, que se aprecia a medio plazo, va a tener una persistencia permanente pudiendo ser reversible a medio largo plazo, muy sinérgico, es acumulativo con efecto directo sobre la fauna, ocurre continuamente y puede ser mitigable.

IA.7. Alteración de la calidad del aire por polvo y gases de combustión

La principal actividad generadora de polvo es el procesamiento mineral especialmente durante la caída del material para la conformación de pilas de distintas granulometrías (Figura 38). Otra fuente es el paso de maquinaria a través de las vías de acarreo, sin embargo, su intensidad no es comparable al procesamiento mineral. En cuanto a gases de combustión se refiere, no es significativo, o fuera de lo usual ya que los equipos por noma solo son utilizados cuando no presentan fallas mecánicas.



Figura 38. A) Material particulado atmosférico por el apilamiento mineral. B) Vista desde la terraza 100 msnm del material particulado atmosférico

Se considera un impacto negativo de intensidad alta, parcial, presentándose de manera inmediata, de persistencia temporal, reversible a corto plazo, sin sinergismo, no acumulativo, de efecto directo en el aire, es periódico y puede ser mitigable.

IA.8. Eliminación de cobertura vegetal

Desde hace 40 años, el área de la concesión ha sido intervenida, a fin de hacer espacio para las labores mineras, con el establecimiento de infraestructuras y el frente en sí, removiéndose 70.000 m² aproximadamente de capa vegetal y suelos de los cuales 30.000 m² corresponde al *pit*. Haciendo que los espacios sean desprovistos de vegetación significativa, en su mayoría de tipo arbustiva en las zonas bajas y mediana a alta en algunos sectores aislados en la parte superior de la concesión. Esto en parte se debe a la dureza de la roca y el tipo de clima costero.

De esta manera la eliminación de cobertura vegetal impacta el medio biológico (flora) se considera negativo, de intensidad media, extenso, que ocurre a largo plazo, con persistencia permanente, reversible a medio plazo, muy sinérgico con los impactos IA.1, IA.4 e IA.6, acumulativo, con efecto directo, que ocurre de manera irregular y recuperable.

IA.9. Afectación del paisaje e impacto visual

Por las dimensiones del frente, en especial su altura que abarca entre 270 a 160 msnm, los espacios para las oficinas, la planta de procesamiento y la vía de acceso principal entre las cotas 25-100 msnm, se puede reflejar el impacto visual generado desde la carretera nacional y la orilla de la costa del Mar Caribe al norte de la concesión.



Figura 39. Vista del Frente 1 tomado desde el Frente 2

Este impacto se considera negativo, de intensidad alto, extenso, que se aprecia inmediatamente, es permanente, no puede ser reversible, acumulativo, con efecto directo, continuo, irrecuperable, es sinérgico con el impacto IA.8.

IA.10. Generación de vibraciones en subsuelo

De acuerdo a la planificación minera se realizan tres voladuras de 30.000 m³ durante los tres primeros trimestres de cada año. Como consecuencia, las vibraciones generadas pueden desplazarse por el macizo rocoso perturbando el hábitat de las especies circundantes inclusive llegar a la población cercana (evidencia del cuestionario realizado) y deteriorar la calidad del subsuelo.

Se considera un impacto negativo de intensidad media, extenso, ocurre de manera crítica (velocidad de propagación) pero de persistencia fugaz, irreversible, no es acumulativo tiene un efecto indirecto, ocurre irregularmente, con buen control y uso de los explosivos adecuados puede ser mitigable, este impacto es sinérgico con el IA.6 (desplazamiento de la fauna).

ISC.1. Contratación de empresas especializadas

Debido a la demanda de actividades suplementarias, la Cantera recurre a empresas externas para desempeñar distintas funciones; la empresa Inversiones Las Gemelas, C.A ha realizado la perforación de barrenos requeridos en el Frente 1; para la disposición final de los desechos de aceites usados y del suelo contaminado por los mismos, se recurre a las empresas Marine Garbage Recolector PC C.A y Ecosolutions C.A. En cuanto a la disposición de baterías usadas, gran parte son devueltas a las empresas comercializadoras para proveer baterías nuevas, las restantes son acumuladas y recolectadas por la empresa Funmetal C.A que se encarga de recuperarlas o reutilizar sus componentes internos.

Este impacto posee un beneficio socioeconómico por la demanda de trabajo. Se considera que tiene intensidad media, con extensión puntual, ocurre de manera fugaz, inmediata e irregular, irreversible, no acumulativa, de efecto directo, la recuperación es inmediata y no presenta sinergia.

ISC.2. Generación de empleos

En la actualidad existe una nómina laboral de 14 empleados residentes en Puerto Cabello, Gañango y Patanemo, realizando distintas labores en los departamentos de finanzas, recursos humanos y producción. Indirectamente, se generan otros empleos como el servicio de agua y transporte para el llenado de camiones cisterna con el fin de mantener el suministro de agua en la Cantera y transporte del personal al inicio y fin del turno laboral.

Se considera un impacto beneficioso de extensión puntual que ocurre de manera fugaz, inmediata y continua, su persistencia es permanente e irreversible, su acumulación es simple, tiene un efecto directo, la recuperación es inmediata y no presenta sinergia.

En la Tabla 34 se muestra la matriz resultante utilizando la ecuación (1) para la clasificación de los impactos según la metodología descrita por Conesa Fernández (1997).

Tabla 34. Clasificación de los impactos ambientales socioculturales

Nomenclatura	±	I	EX	SI	PE	EF	MO	AC	MC	RV	PR	I	CLASE
IA-1	-	2	2	2	2	4	2	4	2	2	4	32	MODERADO
IA-2	-	2	1	2	4	1	4	4	2	4	4	33	MODERADO
IA-3	-	4	4	1	1	4	4	1	4	1	4	40	MODERADO
IA-4	-	4	4	4	4	4	2	4	2	4	4	48	MODERADO
IA-5	-	4	4	2	4	4	2	4	2	2	4	44	MODERADO
IA-6	-	2	4	2	4	4	2	4	4	4	4	42	MODERADO
IA-7	-	6	4	2	1	4	4	1	4	1	2	45	MODERADO
IA-8	-	3	4	4	4	4	1	4	2	2	4	42	MODERADO
IA-9	-	4	4	4	4	4	4	1	8	4	4	53	SEVERO
IA-10	-	2	4	1	1	1	8	1	8	4	1	39	MODERADO
ISC-1	+	1	2	2	1	4	4	1	1	1	1	22	BAJO
ISC-2	+	1	1	1	1	1	4	1	1	1	4	19	BAJO

El impacto con mayor importancia es la afectación del paisaje e impacto visual (IA-9) con un valor de 53 siendo el único categorizado como severo, este exige la recuperación del medio con medidas correctoras en un periodo de medio a largo plazo.

La afectación a la calidad y estado físico del suelo y roca junto a la alteración de la calidad del aire por polvo y gases de combustión destacan sobre los demás impactos con una puntuación de 48 y 45, respectivamente, categorizándolos como moderados. Al igual que resto de los impactos ambientales; se deben aplicar medidas correctoras a fin de disminuir la intensidad de cada impacto ambiental. Por otro lado, los impactos socioculturales se categorizaron como bajos considerándose irrelevantes según los objetivos del proyecto minero, aunque destacan por su carácter positivo.

5.4 Medidas de prevención, mitigación y corrección de los impactos ambientales y socio-culturales

Como se trata de medidas que han de ser tomadas progresivamente mientras ocurre el cierre de los niveles superiores hasta los inferiores las medidas que serán mencionadas se

desarrollarán durante la etapa operativa, cierre y post cierre de los niveles de explotación. Se confiere la responsabilidad de la ejecución de estas medidas al supervisor de operaciones mineras de la Cantera.

5.4.1 Medidas referentes a la estabilidad de los taludes

Objetivo

- Disminuir el riesgo del desprendimiento de bloques de los taludes.
- Detectar fisuras e indicadores de falla plana, por cuña o volcamiento.

Impactos asociados según el carácter de la medida

- Afectación a la calidad y estado físico del suelo y roca: Preventiva.
- Alteración de la topografía y patrón de drenaje: Mitigante.
- Afectación del paisaje e impacto visual: Mitigante.

Descripción

Se mantendrán las bermas de los bancos libres de material rocoso, traspasándolo al subsiguiente inferior para su acumulación y futuro acarreo al patio de alimentación de la planta trituradora.

Al inicio de cada semana laboral, se inspeccionarán los niveles del frente en busca de evidencia de posibles movimientos de masas; nuevas fracturas, grietas de tracción en las bermas o desplazamiento aparente en los taludes.

Se removerán los bloques que presenten un riesgo inminente de deslizamiento o caída debido a las discontinuidades o fracturas por las voladuras, utilizando preferiblemente retroexcavadora, dependiendo siempre de la disponibilidad física de las maquinarias presentes en el lugar.

5.4.2 Medidas referentes al medio atmosférico

Objetivo

- Disminuir las perturbaciones existentes por la actividad minera
- Controlar las emisiones del material particulado atmosférico
- Reducir sonidos y gases fuera de los rangos establecidos por la maquinaria pesada
- Preservar un ambiente natural acorde a la normativa nacional

Impactos asociados según el carácter de la medida

- Incremento del nivel de ruido: Preventiva
- Desplazamiento de fauna debido a la pérdida de hábitat: Mitigante
- Alteración de la calidad del aire por polvo y gases de combustión: Mitigante
- Contratación de empresas especializadas: Mitigante

Descripción

Se debe realizar el mantenimiento preventivo diariamente de la flota de equipos y de la planta de procesamiento a fin de corregir cualquier anomalía (sonido, vibración o gas) fuera de la normativa indicada por el fabricante, prestando mayor atención a las partes móviles (pistones, válvulas, cadenas o sistema hidráulico). Lo que implica poseer en el almacén filtros o lubricantes y otros consumibles requeridos para el mantenimiento preventivo. En caso de requerirse una reparación mayor, el equipo no podrá estar operativo hasta que se corrija la falla.

Con el propósito de medir los niveles de partículas totales en suspensión y las características de las emisiones fijas y móviles de la Cantera, se deberá contratar una empresa especializada en esta área para realizar anualmente el monitoreo del proceso operativo. A fin de conocer si se cumplen los requerimientos expresados en el decreto 638 acerca de las normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica.

5.4.3 Medidas referentes al medio hídrico

Objetivo

- Controlar las escorrentías a través de cauces, drenajes, zanjas y cunetas
- Mantener los mecanismos de control de agua limpios y en buen estado
- Disminuir el impacto ocasionado fuera de los límites de la explotación

Impactos asociados según el carácter de la medida

- Afectación a la calidad y estado físico del suelo y roca: Mitigante
- Alteración de la topografía y patrón de drenaje: Correctiva

Descripción

Con el avance minero en cada nivel del frente se deberá llevar en paralelo las actividades de soporte de mina, realizando zanjas y cunetas para la conducción de las aguas de escorrentía, dirigiéndolas hacia la ensenada que se encuentra al norte de la propiedad (cota 0-25 msnm), donde se manifiesta una acumulación de material aluvial transportado por los drenes generalmente intermitentes.

Cuando se realice el mantenimiento de las vías de acarreo se deberá remover el exceso de material suelto acumulado en los bordes de las vías, para evitar que en siguientes precipitaciones se vuelva a sedimentar.

Mantener un monitoreo continuo del estado de los drenajes para su mantenimiento preventivo en época de lluvias y garantizar que se encuentre libre de obstrucciones.

5.4.4 Medidas referentes a la recuperación y protección del suelo

Objetivo

- Preservar el estado natural del suelo y de las áreas verdes dentro y fuera del frente
- Acelerar la revegetación natural de las áreas intervenidas
- Minimizar la afectación de la calidad del suelo

Impactos asociados según el carácter de la medida

- Falta de áreas verdes o reforestadas: Correctiva
- Acumulación de desechos industriales: Preventiva
- Afectación a la calidad y estado físico del suelo y roca: Mitigante
- Desplazamiento de fauna debido a la pérdida de hábitat: Mitigante
- Eliminación de cobertura vegetal: Correctiva
- Afectación del paisaje e impacto visual: Correctiva
- Generación de vibraciones en subsuelo: Mitigante

Descripción

El programa de revegetación deberá ser aplicado anualmente recuperando las áreas intervenidas, de acuerdo al rendimiento observado en los tres primeros años se realizarán las modificaciones necesarias del mismo (aumento del número de especies utilizadas o ampliando las zonas involucradas), a fin de fomentar la aceleración de la revegetación natural a largo plazo.

Se preservarán las especies vegetales y se evitarán los movimientos de tierra que estén fuera de la planificación minera. En caso de ser necesario material suelto para el mantenimiento de vías u obras auxiliares, éste se obtendrá de la planicie ubicada en la cota 255 msnm, la cual se encuentra despejada de vegetación y ha sido utilizada para tal fin.

La acumulación de los lubricantes y aceites tóxicos se realizará exclusivamente en el tanque de aceites usados dentro del área del taller mecánico. Éste será monitoreado mensualmente para evitar que llegue a su capacidad máxima trabajando en conjunto con empresas auxiliares para la disposición final de estos fluidos.

Los suelos que sean contaminados por fluidos tóxicos serán removidos y almacenados en tambores, aplicándose especialmente en el área del taller y la planta de procesamiento.

5.4.5 Medidas referentes a la comunidad

Objetivo

- Establecer medios de comunicación y enseñanza sobre el impacto de la actividad minera

- Fomentar el conocimiento y el interés de la actividad minera en la comunidad

Impactos asociados según el carácter de la medida

- Generación de empleos: Compensatoria

Descripción

Se buscará la inclusión de los diferentes sectores que hacen vida en Gañango (Empresas, instituciones educativas, consejos comunales, entre otros) para la realización de charlas sobre la actividad minera, enfocándose en conceptos del proyecto minero, recursos y reservas mineras, vida útil, agotamiento mineral y actividades auxiliares. Además, fomentar la sensibilización ambiental, acerca de cuáles son los impactos y medidas asociadas a la minería.

Se fomentará acuerdos para la conservación del medio público que es utilizado por la Cantera y la comunidad.

5.4.6 Programa de revegetación

Es una medida de carácter mitigante que tiene como objetivo mitigar el impacto generado en las áreas verdes intervenidas causado por la eliminación de la cobertura vegetal, la falta de áreas reforestadas, la afectación de la calidad y estado físico del suelo, la afectación del paisaje y de manera indirecta el desplazamiento de la fauna. De esta manera, se propone el uso de especies leñosas y arbustivas, de acuerdo a las condiciones ambientales de la zona de estudio, descritas en la Tabla 35.

Las especies recomendadas habitan dentro de la concesión, por ello, se aprovecharán sus semillas y se elaborarán estacas para el crecimiento de nuevas plántulas. Esta medida se plantea sin la preparación del suelo en las bermas de bancos finales debido a la dureza del terreno, el trabajo que acarrea tal movimiento de tierra siendo expuesto a procesos erosivos y los costos operativos podrían resultar ineficaz. En cambio, se utilizarán en las bermas las especies indio desnudo (*Bursera simaruba*), yagrumo (*Cecropia peltata*) y agave (*Agave americana*) aprovechando las condiciones químicas del yacimiento rico en calcio y magnesio y la capacidad de estas especies en desarrollarse bajo tales condiciones. Aplicándose desde bancos finales superiores e ir descendiendo progresivamente a los inferiores cuando se encuentren en su configuración final. Por otra parte, las demás áreas que hayan sido intervenidas y sigan poseyendo suelo vegetal se aplicará una combinación de todas las especies recomendadas.

Esta medida está conformada por dos metodologías de revegetación que se realizarán en conjunto para garantizar una adecuada recuperación paulatina de las áreas intervenidas:

- **Siembra al voleo:** consiste en la recolección de semillas de los árboles, que serán esparcidas directamente sobre el suelo durante la época de transición de sequía a lluvia (mes de mayo) para que las semillas se distribuyan uniformemente y germinen durante la época lluviosa.
- **Siembra de árboles:** se utilizará el vivero existente, presente en la Concesión, para preparar las estacas y las semillas hasta que tengan un tamaño mayor a 1 m para poder ser sembradas. Como se trata de una medida a largo plazo, el patrón de siembra será en hileras espaciadas a unos 15 y 20 m y separadas a 5 m entre hileras para acelerar la revegetación natural. La siembra se debe realizar en los periodos de transición de sequía a lluvia de modo que las plantas puedan desarrollarse durante todo el periodo de lluvias.

Tabla 35. Especies vegetales recomendadas para la revegetación

Nombre común	Nombre científico	Tipo de suelo	Beneficios naturales	Características particulares	Propagación
Especie leñosa					
Indio desnudo	<i>Bursera simaruba</i>	Salinos o calcáreos	Las flores son polinizadas por insectos. Las semillas son consumidas por algunos mamíferos	Adaptable a pendientes inclinadas	Estacas y semillas
Cují blanco	<i>Acacia farnesiana</i>	Áridos, suelos secos, salinos e incluso sódico	Las hojas, vainas, flores y vástagos se emplean como forraje de ganado vacuno y caprino	estabilizador del suelo al actuar como rompevientos	Semillas
Cují negro	<i>Prosopis juliflora</i>	Rocosos, arenosos o salinizados	Sirve de alimentación a las larvas de lepidópteros y mamíferos	Resiste largos períodos de sequía hasta 9 meses	Semillas
Acacia	<i>Acacia macracantha</i>	Baja fertilidad y drenado	Es fuente alimentaria para la fauna y de polen para abejas.	Proporciona fertilidad al suelo con su materia seca	Estacas y semillas
Yagrumo	<i>Cecropia peltata</i>	Baja fertilidad, abruptos, paredes y diaclasas	Fuente alimenticia de numerosas especies, especialmente aves	Tiene funciones de reforestación en forma natural	Semillas
Guama	<i>Inga edulis</i>	Calcáreos, ácidos y drenados	Su fruto es una fuente alimenticia para aves e insectos	Es utilizado en la reforestación para dar sombra	Semillas
Nim	<i>Azadirachta indica</i>	Arenoso y drenado	-	Especie introducida de rápido crecimiento	Semillas
Especie arbustiva					
Agave	<i>Agave americana</i>	Alcalinos y calcáreos	-	-	Estacas y semillas

5.4.7 Control de aguas de escorrentía

Caudal de diseño

El caudal calculado por el método racional según la ecuación (10), fue considerando tres vertientes naturales divididas por las divisorias de agua ubicadas dentro de las vías de acarreo y el Frente 1 (Anexo 7). En la Tabla 36 se muestra el área de la subcuenca estimada con Google Earth desde la terraza 100 msnm hacia cotas superiores (área donde se plantea el control de las aguas de escorrentía). El coeficiente de escorrentía de la vertiente 1 y 2 es de 0,45, de acuerdo a vegetación densa, con pendiente pronunciada semipermeable y 0,7

en la vertiente 3, donde se encuentra en el frente para zonas sin vegetación con pendiente pronunciada semipermeable (Anexo 2). La intensidad de precipitación obtenida a través de las curvas IDF (Anexo 8) de 400 l/s/ha corresponde a un periodo de retorno de 12 años de acuerdo a la vida útil del frente y el periodo de concentración calculado para cada vertiente con la ecuación (13).

Para efectos del diseño de los canales se estableció el caudal máximo estimado de 1,55 m³/s para controlar la erosión, la estabilidad de los terrenos, el desborde de agua, el cauce incontrolado y la generación de cárcavas en las vías de acarreo.

Tabla 36. Caudal de diseño de las principales vertientes en el frente

	Vertiente 1	Vertiente 2	Vertiente 3
Longitud del caudal principal (m)	270	240	300
Diferencia de elevación (m)	110	120	155
Tiempo concentración (min)	2,05	1,73	2,03
Periodo de retorno (años)	12	12	12
Intensidad de la lluvia (L/s/ha)	400,0	400,0	400,0
Área de la cuenca (ha)	5,8	3,06	5,52
Coefficiente de escorrentía	0,45	0,45	0,7
Caudal de diseño (L/s)	1.044	551	1.546
Caudal de diseño (m ³ /s)	1,04	0,55	1,55

Elementos geométricos de los canales

Se propone la implementación de canales excavados en roca con sección trapezoidal en los pies de los taludes y en los bordes de las vías de acarreo hacia cotas inferiores, con el fin de conducir el agua hacia la ensenada en la zona norte de la Cantera. De esta manera, se mantiene un bajo costo de implementación, se garantiza la seguridad operativa de los equipos que circulen por las vías y el control de las aguas de escorrentía.

Empleando las relaciones geométricas para canales trapezoidales, un coeficiente n de Manning de 0,04 para canales excavados en roca con secciones irregulares (Anexo 9) y una pendiente de 12% de acuerdo al diseño de las vías de acarreo se presentan los parámetros geométricos de los canales en la Tabla 37 y el perfil del canal se muestra en la Figura 40.

Tabla 37. Parámetros del diseño geométrico para el sistema de drenaje

Parámetros		Diseño	
Caudal de diseño(m ³ /s)	1,55	Tirante normal (m)	0,55
Ancho de solera (m)	0,6	Área hidráulica (m ²)	0,5
Relación del talud	0,5	Espejo de agua (m)	1,2
Rugosidad (n de Manning)	0,04	N de Froude	1,52
Pendiente (m/m)	0,09	Perímetro (m)	1,86
		Radio hidráulico (m)	0,27
		Velocidad (m/s)	3,1

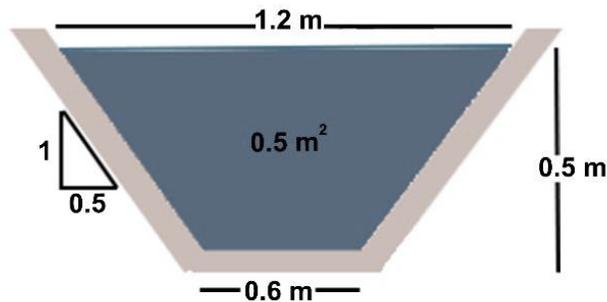


Figura 40. Configuración geométrica del canal

Adicionalmente, se recomienda la implementación de estructuras escalonadas en las curvas cerradas de las vías de acarreo, a fin de disminuir la velocidad del caudal y proteger de la erosión las paredes laterales de los canales.

5.5 Propuesta de plan de acción para la reubicación de la maquinaria

Con la finalidad de asegurar la correcta disposición de los equipos dentro de la concesión antes de terminarse el material aprovechable, se propone una serie de lineamientos a seguir para establecer la ubicación y uso de piezas, partes y maquinarias que se encuentren en desuso, dañadas o desmanteladas.

La Tabla 38 presenta la información referente al modelo, serial, estado, descripción de la falla, año en desuso (si aplica), capacidad y fotografía.

La primera fase consiste en realizar una evaluación mecánica integral del sistema mecánico (motor, lubricantes y demás componentes), eléctrico (cableado, sensores, batería), transmisión (caja de transmisión, torque y potencia del equipo), frenado, hidráulico y de refrigeración. Para detectar cuales son las piezas, partes, consumibles necesarios y el nivel de reparación necesario para su funcionamiento. Con dicha información, se procede a realizar la evaluación económica de cada maquinaria, teniendo en cuenta los costos de repuestos (nuevos o usados), reparación implicada, tiempo o lapso en reparación, costo de

movilidad o transporte, tiempo productivo estimado, rendimiento o capacidad esperado. A fin de facilitar la toma de decisión al seleccionar los equipos a reparar, aquellos sin valor de salvamento y las piezas o partes dañadas. A continuación, se explican las actividades relacionadas con los elementos anteriormente mencionados:

- **Equipos a revalorizar:** Se deben trasladar al galpón del taller mecánico, que posee una capacidad de albergar 5 maquinarias pesadas, a fin de realizar las reparaciones y mantenimiento de los equipos para su ingreso al proceso productivo de la Cantera. Este periodo dependerá exclusivamente del requerimiento mecánico necesario en cada equipo y del tiempo en la adquisición de repuestos.
- **Maquinaria sin valor de salvamento:** Se tiene que delimitar el área circundante a cada máquina, limpiar la vegetación presente y extraer los lubricantes para evitar goteos en el suelo y paulatinamente desincorporarlas de la concesión siguiendo el marco legal del estado Carabobo.
- **Partes y piezas dañadas:** Inicia con la preparación del área abandonada, utilizada en la antigüedad para la disposición de chatarras, limpiándola y ampliándola hasta tener 300 m² aproximadamente (Tabla 39) mostrado en el Anexo 1. Se recomienda la implementación de un geotextil agujado aportando la función de disminuir drenaje de finos, antihierbas, protección de las geomembranas y efecto colchón en las precipitaciones, o la aplicación de una base de 10 m³ de ripio (material menor a 1/2”) proveniente de la planta hasta cubrir toda la zona para disminuir la proliferación de hierbas y la degradación del suelo. Esta área se tiene que sectorizar en 3 cuadrantes; que consisten en:
 1. Partes de planta de trituración
 2. Piezas de maquinaria pesada
 3. Cauchos

De esta manera se puede realizar un inventario de las partes, a fin de almacenar las piezas que puedan tener un uso futuro en la Cantera y con ello, contratar empresas recicladoras (chatarreras) para obtener un beneficio de las piezas restantes.

Tabla 38. Inventario de maquinaria minera dentro de la concesión

Equipo	Estado	Serial	Descripción	Año en desuso	Capacidad
Camión acarreo CAT 769B	Dañado	-	Falla en el sistema de frenado y falta de batería	5 años	23,3 m ³
Camión Perlini T25	Dañado	-	Falla en el sistema de dirección, no posee motor, falla en el sistema de frenado	7 años	14 m ³
Cargador frontal CAT 966C	Desmantelado	76Y1643	Carece motor	6 años	3,1 m ³
Cargador frontal CAT 966D	Operativo	99Y01051	Falla en el motor, solo se usa en la terraza 100 msnm para alimentar el sistema de trituración	-	3,1 m ³
Cargador frontal CAT 980C	Dañado	63X06087	Falla en el sistema de transmisión	-	4 m ³
Cargador frontal CAT 988B	Dañado	50W3019	Falta una rueda, radiador y motor, serial motor 48w6079	6 años	5,4 m ³
Retro excavadora CAT 330L	Operativo	8FK00500	Se usa para movilizar el material procesado	-	0,7 m ³
Retro excavadora CAT 345BL	Dañado	4S500286	Falla en el sistema hidráulico; él fluido hidráulico pasaba al motor, falta tarjeta electrónica de mando	5 meses	0,8 m ³
Retro excavadora Komatsu PC400	Dañado	41040002	Trabajó en el Frente 1	3 años	1,3 m ³
Sistema de trituración de mandíbulas TELLSMITH	Operativo	80732499	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentador vibratorio con dimensiones 1,1x4 m • Criba vibratoria de dos mallas cuadradas (1"y ½") • Trituradora de mandibulas TelSmith Jaw Crusher;patente US:2598942,3166259, dimensiones: alimentación 1x1,3 m, OSS 3,5" 	-	88 m ³ /h
Sistema de molienda giratorio	Desmantelado	-	Separado en tres zonas de la terraza 100 msnm consta de: <ul style="list-style-type: none"> • El sistema de cribado • La base soporte • El molino giratorio 	10 años	-

Tabla 39. Poligonal del área para la disposición de partes y piezas dañadas

Coordenadas UTM-19N		
Vértice	Este	Norte
1	614.895,5	1.156.022
2	614.889,3	1.156.017
3	614.900,1	1.155.997
4	614.912,5	1.155.986
5	614.917,2	1.155.992
6	614.901,1	1.156.005
Área (m ²)		294
Perímetro (m)		92

La programación de las actividades propuestas fueron ordenadas bajo un diagrama Gantt (Figura 41) el cual permite el seguimiento y control de los avances de cada actividad y reajustar la programación en el futuro. Además, con la aplicación de software especializado en la administración de proyectos se permite la integración futura de la estructura de costos que supone cada actividad para el momento en que se realice esta propuesta. La aplicación de esta propuesta se recomienda que se realice en la brevedad posible; la duración estimada de todas las actividades es de 191 días siendo la reparación y mantenimiento de los equipos con mayor duración de 8 meses, sin embargo este valor está sujeto a variables externas pudiendo variar con los resultados de la evaluación mecánica y económica de la maquinaria.

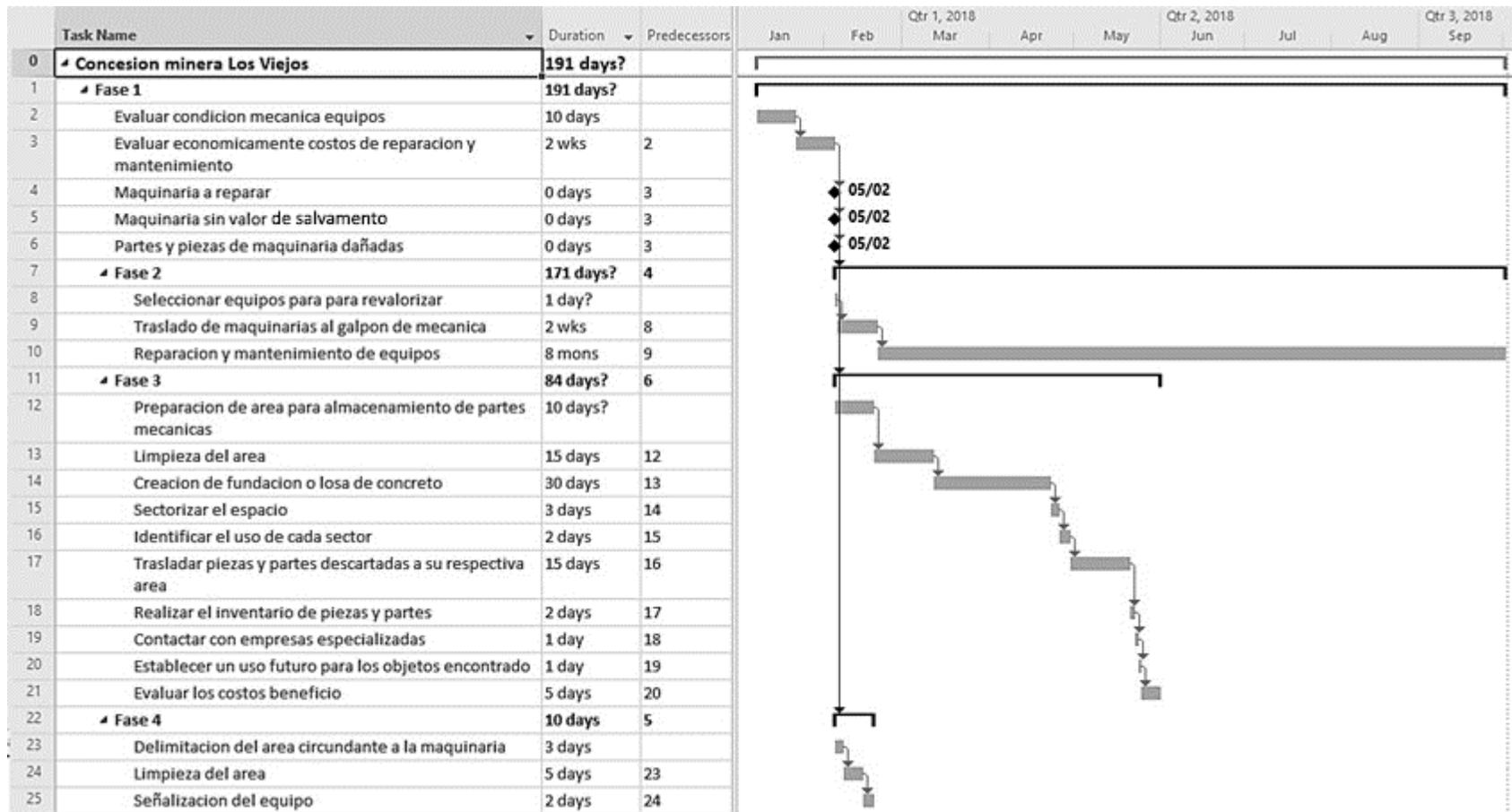


Figura 41. Plan de acción para la reubicación de la maquinaria y equipos mineros

5.6 Plan de cierre para el seguimiento y control de las medidas ambientales y socioculturales

A fin de dar continuidad en el tiempo a las medidas ambientales anteriormente establecidas, se presenta una programación dentro de los 12 años de operación minera que se extiende por 3 años en la etapa de post – cierre del frente. Las actividades fueron categorizadas según su periodicidad (diaria, semanal, mensual y anual) y de acuerdo a su dependencia de la actividad minera.

Tabla 40. Cronograma de monitoreo de las medidas ambientales socioculturales

Actividades/año	Cierre progresivo												Post cierre		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
Control de gases y particulado atmosférico															
Medición de PT y concentración de químicos															
Humedecimiento de vías de acarreo y terraza 100m															
Mantenimiento preventivo y correctivo de equipos															
Control niveles de ruido															
Medición niveles de ruido (dB) de equipos operativos															
Medición niveles de ruido (dB) en puestos de trabajo															
Mantenimiento preventivo de la planta de procesamiento															
Lubricación de piezas móviles															
Manejo de sustancias tóxicas															
Limpieza del depósito de aceites y lubricantes															
Chequeo de fugas o filtraciones de tambores y tanques															
Mantenimiento preventivo y correctivo del motor y sistema hidráulico de equipos															
Chequeo del nivel de almacenamiento de los contenedores															
Cuidado de canales y drenajes de agua															
Configurar las bermas de los taludes con un bombeo <5%															
Limpieza de los canales en las vías															

Tabla 41. (Continuación) Cronograma de monitoreo de las medias ambientales socioculturales

Medidas/Años	Cierre progresivo												Post cierre		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
Conocimiento normas y riesgo industrial															
Aplicación de charlas internas sobre precaución y riesgos en minería	[Green]														
Seguimiento del uso de los EPP de los trabajadores	[Green]														
Señalización de precaución, riesgos y peligros en la Cantera	[Blue]												[Blue]		
Plan de reforestación															
Recolección de semillas	[Blue]														
Elaboración de estacas	[Blue]														
Mantenimiento del vivero	[Brown]														
Preparación del terreno	[Blue]														
Plantación de especies	[Purple]														
Poda árboles	[Blue]												[Blue]		
Limpieza de hojas, ramas o troncos en las vías de transporte	[Brown]												[Blue]		
Servicio comunitario															
Realización de charlas sobre la minería en la población cercana	[Blue]														

LEYENDA	
Periodicidad	
Diaria	[Green]
Momentánea	[Red]
Semanal	[Yellow]
Mensual	[Brown]
Trimestral	[Light Blue]
Semestral	[Blue]
Anual	[Purple]
Realización	
Continua	[Horizontal Lines]
Durante la actividad minera	[Vertical Lines]

CONCLUSIONES

Se presenta un plan de cierre de minas donde se evaluaron los impactos ambientales y socio culturales producidos por el desarrollo minero del Frente 1, donde se presenta un conjunto de medidas y directrices a implementar y que se integran a la planificación minera para recuperar el medio físico natural y social de manera progresiva garantizando unas condiciones finales favorables.

Asociadas a las condiciones de estabilidad del macizo rocoso

- El macizo rocoso posee un esfuerzo axial de 48,97 MPa clasificándolo según su resistencia como moderado de acuerdo al ISRM (1981) y como “baja” según Bieniawski (1973). De acuerdo a los ensayos de corte directo el ángulo de fricción interna de la roca es de 43,03° y la cohesión de 0,36 MPa.
- El talud 1 de orientación N36E85S presenta tres familias de discontinuidades las cuales no generan riesgo de falla plana y de cuña, considerando el talud estable. El macizo presenta un RQD de 96% considerándolo clase muy buena, un RMR de 69 puntos entrando en la clase II o roca buena y un SMR de 62 puntos, clasificándolo como roca buena de clase II con buena estabilidad y que debe tener un tratamiento ocasional.
- El talud 2 de orientación N40W85N presenta dos familias de discontinuidades las cuales no generan riesgo de falla plana y de cuña, considerando el talud estable. El macizo presenta un RQD de 92% considerándolo clase muy buena, un RMR de 67 puntos entrando en la clase II o roca buena y un SMR de 58 puntos, clasificándolo como roca normal clase III parcialmente estable y que debe tener un tratamiento sistemático.
- El talud 3 de orientación N55E85N cuenta con tres familias de discontinuidades, presenta riesgo de falla plana con un factor de seguridad de 0,55 formada por el bandeamiento N70E62N y presenta riesgo de tres fallas de cuñas cuyo factor seguridad inferior es de 0,63, considerando el talud inestable. El macizo presenta un RQD de 96% considerándolo clase muy buena, un RMR de 63 puntos entrando en la clase II o roca buena y un SMR de 21 puntos, clasificándolo como roca mala clase IV inestable y que debe tener un tratamiento correctivo.

Asociadas a la evaluación de impactos ambientales socio-culturales

- La Cantera ha beneficiado la población de Gañango por ser una importante fuente de empleo para los ciudadanos, sin embargo, existen impactos negativos como el

deterioro de la carretera nacional Gañango-Patanemo por el paso continuo de vehículos de carga y las vibraciones ocasionadas por las voladuras. La comunidad espera que la Cantera brinde mayor fuente de empleo y esperan que las actividades mineras no se paralicen.

- El uso del sistema de información geográfica (SIG) con la interpretación de imágenes satelitales permite estimar las tasas de erosión hídrica según el modelo USLE. Se evidencia tasas moderadas y altas (75 a 100 t.año/ha) dentro del frente de extracción y en los drenajes naturales que intersectan las vías de acarreo, abarcando un área de 1,27 ha de las 73,4 ha estudiadas, permitiendo estimar un valor de 104 t anuales de material erosionado, valor esperado para un actividad minera de este tipo.
- A través de la metodología semicuantitativa planteada por Conesa(1997) se clasificaron 10 impactos ambientales negativos (nueve moderados y uno severo) y dos socio-culturales positivos (clase baja).

Asociadas a las medidas de prevención, mitigación y corrección de los impactos ambientales y socio-culturales

- La aplicación de las medidas mejorará las condiciones de estabilidad de los taludes, el suelo, medio atmosférico, hídrico, la vegetación y social. Estas pueden actuar sobre otros impactos colateralmente de forma preventiva, mitigante o correctiva.
- El programa de revegetación realizado se enfoca en acelerar la recuperación de áreas verdes dentro de la Cantera, utilizando en su mayoría especies autóctonas de la zona de estudio y que puede adaptarse a distintos tipos de terreno. Implementar especies que puedan aprovechar las condiciones químicas y desfavorables del terreno como las especies indio desnudo (*Bursera simaruba*), yagrumo (*Cecropia peltata*) y agave (*Agave americana*) ahorra una preparación previa del suelo en las bermas de los bancos finales.
- Los canales de drenaje tienen un ancho de 1,2 m y una profundidad de 0,55 m. El diseño se realizó con el mayor caudal 1,55 m³/s obtenido de las tres vertientes de agua de escorrentía presentes en el frente, A fin de asegurar su capacidad y evitar el desbordamiento de las aguas durante los 12 años de vida del frente.
- El diseño de los canales en forma trapezoidal brinda seguridad a los equipos que transitan por las vías de no quedar atrapados en los canales, a su vez que sean excavados en roca hace que sea practico la elaboración de los mismos a bajo costo y con la implementación de escalones en las curvas de acarreo se disminuye la

velocidad del caudal asociado a la topografía pronunciada donde se encuentran las vías.

Asociadas a la propuesta del plan de acción para la reubicación de la maquinaria

- Dentro de la propuesta planteada, la evaluación mecánica es una actividad prioritaria a realizar, ya que con ella se conocerá el estado de las maquinarias que se encuentran dentro de la concesión y junto a la evaluación económica facilitará la toma de decisiones en la inversión de capital en beneficio de la Cantera.
- Clasificar la maquinaria en equipos a revalorizar, maquinarias sin valor, las partes y piezas dañadas permite planificar de manera independiente el conjunto de actividades a realizar según los requerimientos de cada clase.
- La limpieza del área abandonada utilizada para la disposición de chatarras no solo ayudará en la ejecución de esta propuesta, también influenciará de manera correctiva y mitigante en los impactos ambientales relacionados al suelo y el medio hídrico.
- El diagrama Gantt permite visualizar de manera práctica y dinámica las actividades a realizar a lo largo del tiempo, permitiendo seguir el avance de las distintas etapas, además con el uso de software en gestión de proyectos se puede incluir a futuro estructuras de costos y recursos dentro de la planificación.

Asociadas al plan de cierre para el seguimiento y control de las medidas ambientales socio – culturales establecidas

- El plan de seguimiento y control permitirá monitorear de manera ordenada la ejecución de las medidas ambientales - socioculturales dentro de la Cantera, realizadas en la etapa de producción del frente que se estima en 12 años y en la de post cierre que se extienden por tres años.
- Al contar con actividades para el control de gases y particulado atmosférico, control de niveles de ruido, manejo de sustancias tóxicas, cuidado de canales y drenajes de agua, protección industrial, plan de reforestación y actividades de servicio comunitario se recuperará el medio físico natural intervenido por la actividad minera.

RECOMENDACIONES

- Implementar la reducción del ángulo de inclinación del talud 3 antes de llegar a su configuración final para garantizar la estabilidad durante toda la vida productiva del frente. Además, reevaluar la cantidad de material aprovechable y estéril debido a esta medida.
- Se recomienda estudiar el macizo rocoso en los otros frentes de producción de la concesión minera para analizar la estabilidad de los taludes.
- Se sugiere actualizar la evaluación ambiental-sociocultural anualmente, especialmente luego de la implementación de las medidas establecidas, debido a la dinámica natural del ambiente.
- Para mejorar el modelo USLE de erosión hídrica se debe realizar un estudio del suelo para poder calcular el factor de erodabilidad (K) en campo.
- Aplicar el modelo USLE a través del sistema de información geográfica en yacimiento de roca débil o de baja resistencia, ya que este considera toda la superficie como suelo, lo cual genera mayor incertidumbre en caso donde la superficie es una roca dura.
- Realizar un estudio hídrico para evaluar la implementación de torrenteras y captadores de agua en las principales vertientes presentes en el frente.
- Se recomienda la modificación puntual del diseño del canal de agua propuesto o la ampliación de la vía a fin de no arriesgar la seguridad laboral y comprometer el ancho óptimo para el tránsito de vehículos.
- Al seguir el plan de revegetación se sugiere utilizar la especie Nim (*Azadirachta indica*) de manera controlada ya que esta especie no es amigable con la fauna silvestre.
- Realizar un plan de gestión de los residuos mineros para estudiar posibles usos de los mismos.
- Realizar fichas técnicas para llevar un registro de control de las características de cada equipo.
- Se sugiere estudiar los índices clave de rendimiento (KPI) una vez reparadas y realizado el mantenimiento de las maquinarias que no se encuentran operativas.
- Monitorear el plan de seguimiento y control de las medidas planteadas a través del tiempo, a fin de ajustarlas o modificarlas según las condiciones de los medios.

BIBLIOGRAFÍA

- Aranibar, A. (2002). *Mining Sustainability in Bolivia*". *Indicators of Sustainability for the Mineral Extraction Industry*. Brazil.
- Bieniawski, Z. (1973). *Engineering Classification of Jointed Rock Masses*. Instituto Sudafricano de Ingeniería.
- Bishop, A. (1955). *The use of slip circle in the stability analysis of slope* (Vol. 10).
- Canteras Tacarigua C.A. (2017). *Ensayos en roca dimensionable - Ensayos de compresión simple*. Informe interno.
- Canteras Tacarigua C.A. (2018). *Plan de explotación*. Departamento de Producción, Puerto Cabello.
- Castillejo, M. (1993). *Análisis comparativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control*. Departamento de Minas. Universidad Central de Venezuela.
- Cazal, S. (2013). *Propuesta de cierre de Cantera Las Marías, estado Miranda, como aporte al Ministerio del Poder popular de Petróleo y Minería en las políticas mineras*. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Conesa Fernández, V. (1997). *Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Consejo Internacional de Minería y Metales ICMM. (2008). *Cierre Integrado de Minas: Equipo de Herramientas*. Londres, Reino Unido. Retrieved from <http://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2017/11/Planificacion-Cierre-Integrado-ICMM.pdf>
- Fernández, B., & Ulloa, G. (1990). Fauna del Parque Nacional Henri Pittier, Venezuela: composición y diversidad de la mastofauna. *Acta Científica Venezolana*, 41, 50-63.
- Frías, A. (2017). *Diseño de la laguna de sedimentación en la Cantera Tacarigua C.A., ubicada en la localidad de Gañango, Sector Mar Azul, Puerto Cabello, estado Carabobo*. Minería de Campo, U.C.V, Departamento de Minas.
- FUDENA, F. p. (2016). *Sistema de información de playas - Estado Carabobo*.
- Gaceta Oficial N°3.394. (2011). *Ley de los minerales no metálicos del estado Carabobo*. Venezuela.

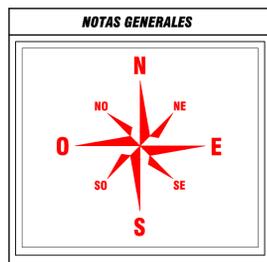
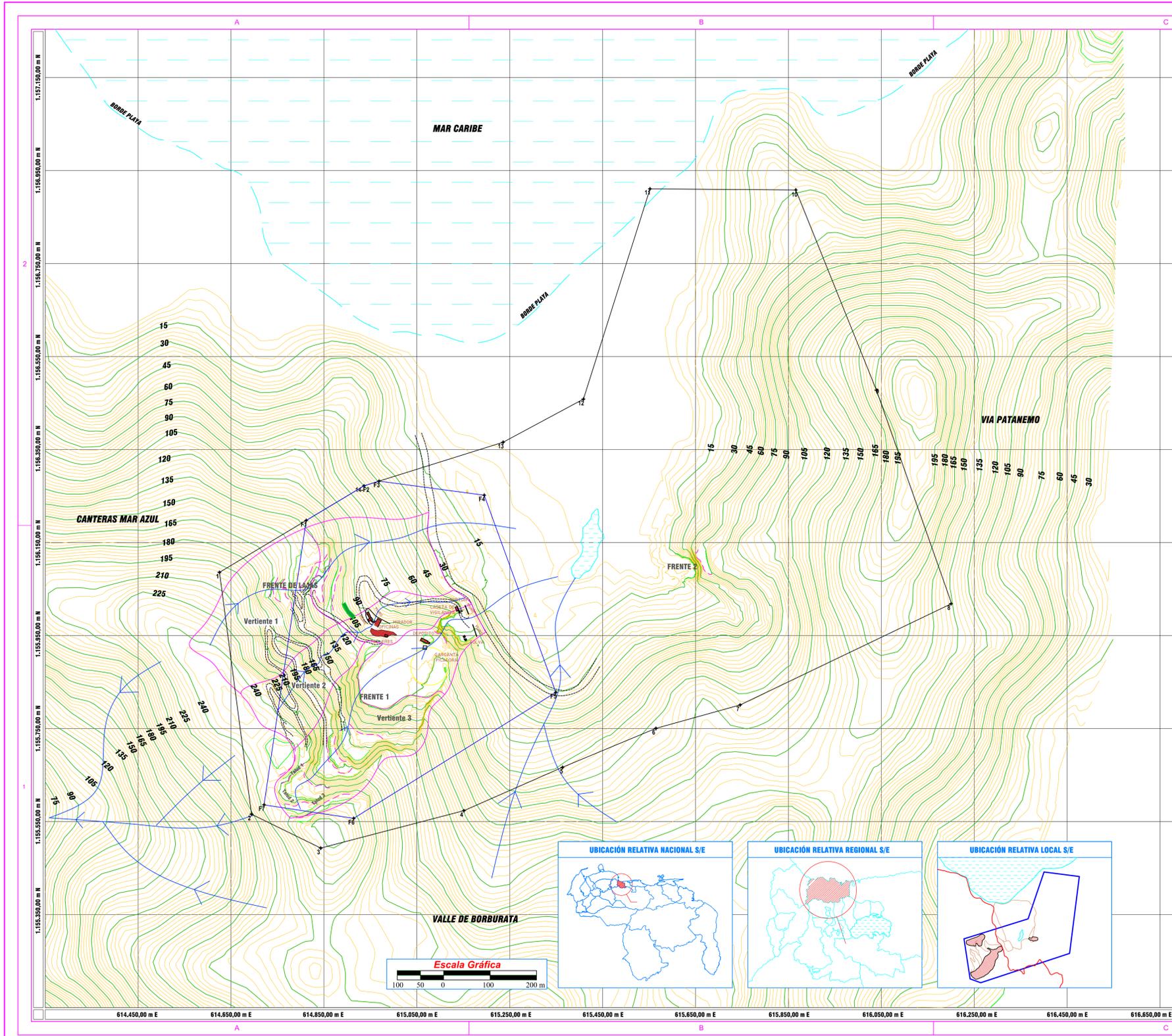
- Gaceta Oficial N°35.946. (1996). *Decreto 1257: Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente*. Venezuela.
- Gaceta Oficial N°36.687. (1999). *Ley de Minas*. Venezuela.
- Gaceta Oficial N°36.860. (1999). *Constitución de la República Bolivariana de Venezuela*. Venezuela.
- Gaceta Oficial N°4.418. (1992). *Decreto N°2217: Normas sobre el control de la contaminación generada por ruido*. Venezuela.
- Gaceta Oficial N°5.833. (2006). *Ley Organica del ambiente*. Venezuela.
- Gavidia, Winder. (2017). *Propuesta de plan de cierre de frente 2 de la Cantera Carayaca, Distrito Capital*. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Gómez Orea, D. (1998). *Evaluación del impacto ambiental*. Agrícola Española.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Prentice Hall.
- Hoek, E., & Bray, J. (1981). *Rock Slope Engineering*. Institution of Mining and Metallurgy.
- INE, I. N. (2011). *Informe Geoambiental - Estado Carabobo*. INE.
- INPARQUES, I. N. (2017). *Parque Nacional San Esteban*. Retrieved from <https://www.inparques.gob.ve/parque-nacional-san-esteban/>.
- ISRM, I. S. (1981). Rock characterization. Testing and Monitoring. Suggested Methods.
- Mercado, A. (2016). *Evaluación económica de las actividades mineras del Frente 2 de Canteras Tacarigua, C.A. ubicada en la localidad de Gañango, estado Carabobo*. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Departamento de Minas, Caracas.
- Ministerio de Energía y Minas de Perú. (2002). *Guía para elaboración y revisión de planes de cierre de minas*. Retrieved from <http://biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Recursos/archivos/MineriaDesarrolloSostenible/Cierreminas/Cierreminas.pdf>
- Ministerio de Obras Públicas. (1973). *Manual de drenajes*. Dirección de vialidad, División de estudios y proyectos, Venezuela.

- Muralha, J., Grassel, G., Tatone, B., Blumen, M., Chryssanthakis, P., & Yujing, J. (2014). *ISRM Suggested Method for Laboratory Determination of the Shear Strength of Rock Joints: Revised Version*. Rock Mechanics and Rock Engineering.
- Obando Rivera, T. E. (2008). *Valoración del impacto ambiental generado por la explotación minera en los depósitos de arenas volcánicas al suroeste de Cerro Motastepe, Managua, Nicaragua*. Universidad Internacional de Andalucía.
- ParksWatch. (2004). *Biodiversidad-Parque Nacional San Esteban*. Center for Tropical Conservation, Duke University .
- Petróleos de Venezuela, S.A. (1999). *LEXICO ESTRATIGRAFICO ELECTRONICO DE VENEZUELA*. Caracas: PDVSA.
- Ramos, C. (2001). *Modelamiento ambiental para analisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del rio Cañete y determinacion del mapa de erosion*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Rivero, A. (2018). *Planificación a largo plazo de la explotación del Frente 3 en Canteras Tacarigua C.A, ubicada en la localidad de Gañango, Sector Mar Azul, estado Carabobo*. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Departamento de Minas, Caracas.
- Rodriguez, J., Rojas, F., & García, A. (2015). *Extinción en Venezuela: situación de la Fauna Venezolana en 2015*. Libro Rojo de la Fauna Venezolana.
- Romana, M., Serón, J., & Montalar, E. (2003). *SMR Geomechanics classification: Application, experience and validation*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Roose, E. (1975). Use of universal soil loss equation to predict erosion in West Africa. *Soil Conservation Society of America*.
- Rosas, E. (2006). *Aplicación de la Proyección Estereográfica en la Ingeniería de Minas*. Distrito Federal, Mexico.
- Salazar Pérez, Y., & Montero Peña, J. (2014). La planificación del cierre de minas como parte de la sustentabilidad en la minería. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 199. Retrieved from <http://eumed.net/cursecon/ecolat/cu/2014/minas.html>
- Seijas, Daniel. (2017). *Integración de criterios de cierre de mina a la planificación a largo plazo: "Canteras del Distrito Capital", Mamera, municipio Libertador"*. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

- Sevilla, V., Comerma, J., & Oscar, S. (2015). *Base técnica del plan de ordenamiento y reglamento de uso de la zona protectora y reserva hidráulica de la Cuenca del Río Sanchón, estado Carabobo*. MINEA.
- Silva, J., & Strahl, S. (1996). La caza furtiva en los Parques Nacionales de Venezuela. *Vida Silvestre Neotropical*, 5(2), 126-139.
- Souza, C. (2003). Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal "SP". *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 27.
- Sulistyo, B. (2011). *Pemodelan spasial lahan kritis berbasis raster melalui integrasi Landsat 7 ETM+ dan sistem informasi geografis dissertation*. Universidad Gadjah Mada.
- Vallejo, O., & Martinez, A. (2000). Metodología para la cartografía digital de la erosión hídrica del suelo en un sector del municipio de Moa. *Minería y Geología*, XVI.
- Wischmeier, D., & Smith, D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses* (Vol. 537). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Zambrano, Juan. (2014). *Propuesta de cierre progresivo e integral de una Cantera de Áridos de construcción: Caso Arenera O Toxo C.A., municipio Los Salías, estado Miranda*. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

ANEXOS

Anexo 1. Mapa topográfico de la concesión minera Los Viejos, Carabobo
Modificado de: (Canteras Tacarigua C.A., 2018)



NOTAS GENERALES

COORDENADAS UTM
EQUIPO UTILIZADO:
 (GPS Autech-Prumark 100)
RECEPTOR N° 1: SERIAL N° 0200112101316
RECEPTOR N° 2: SERIAL N° 0200112100828
MÉTODO: POSICIONAMIENTO SATELITAL CON POST-PROCESAMIENTO DIFERENCIAL
DATUM: SIRGAS-REVEEN
ELIPSOIDE: GRS-80/WGS-84
AUSO: 15
MC: 69°
PUNTO DE ENLACE: VÉRTICE CAR-19 PLANTA CENTRO
UBICADO EN LA AUTOPISTA MORÓN PUERTO CABELLO
FRENTE A PLANTA CENTRO
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO
EQUIPO UTILIZADO:
 (ESTACIÓN TOTAL TRIMBLE M3 5°-DR)
SERIAL N° 132019
CURVAS:
COTA MÁXIMA = 285,00 m
COTA MÍNIMA = 0,00 m
CURVAS FINAS = 3,00 m
CURVAS MAESTRAS = 15,00 m

COORDENADAS UTM SIRGAS-REVEEN GRS-80/WGS-84
VÉRTICES POLIGONAL DE CONCESIÓN LOS VIRAZO

Puntos	Norte	Este
1	1155896	614825
2	1155566	614694
3	1155493	614843
4	1155573	615151
5	1155666	615362
6	1155750	615564
7	1155800	615745
8	1155019	615201
9	1156476	616029
10	1156908	615865
11	1156910	615551
12	1156468	615408
13	1156365	615235
14	1156272	614936

LEYENDA

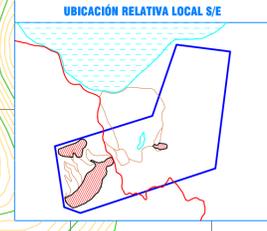
- PIE DE TALUD
- CRESTA DE TALUD
- ÁREA PARA PARTES Y PIEZAS DAÑADAS
- INFRAESTRUCTURA
- CUERPO DE AGUA
- VIALIDAD
- CURVA DE NIVEL SECUNDARIA
- CURVA DE NIVEL PRINCIPAL
- DRENAJES

RAZÓN SOCIAL Y DIRECCIÓN
PROPIETARIO (A):
 CANTERAS TACARIGUA, C.A. RIF.: J313262960
DIRECCIÓN: CARRETERA NACIONAL GARANGO
 PATANEMO PARCELA S/N
SECTOR: MAR AZUL
PARRQUIAL: BORBURATA
MUNICIPIO: PUERTO CABELLO
ESTADO: CARABOBO
LINDEROS:
 NORTE: MAR CARIBE ESTE: VIA PATANEMO
 SUR: VALLE DE BORBURATA OESTE: CANTERAS MAR AZUL

CONTENIDO:
 LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO
 POLIGONAL DE CONCESIÓN
 ÁREA TOTAL DE POLIGONAL = 1.213.330,00 m²
 = 121,33 ha

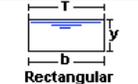
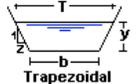
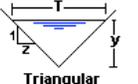
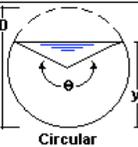
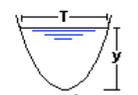
LEVANTAMIENTO:
 CANTERAS TACARIGUA, C.A. RIF.: J313262960
REVISADO POR:
 ING. CRISTIAN SÁNCHEZ C.I.V. 258.346

DIGITALIZACIÓN:
 jucartop6828@gmail.com
FECHA: MAYO 2018
ESCALA: 1:500
 1/XX
 CT- PC

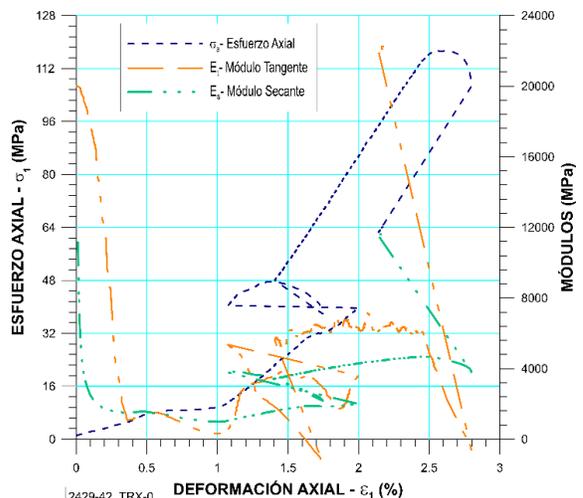
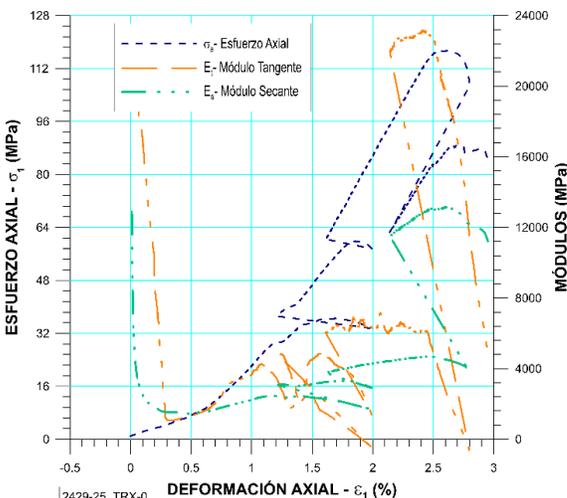
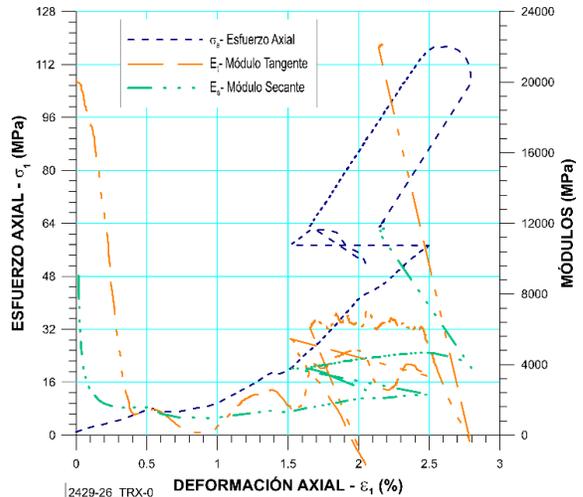
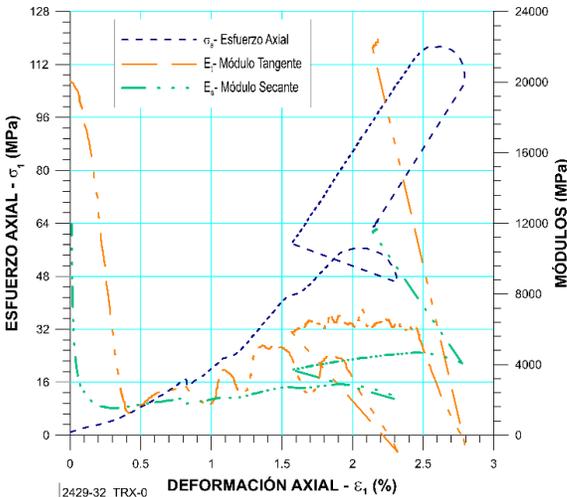
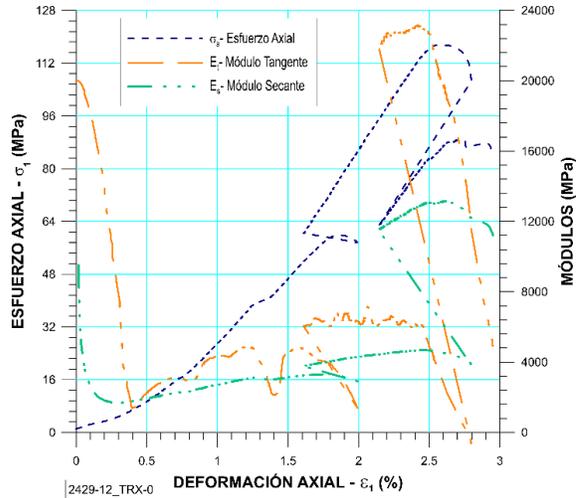
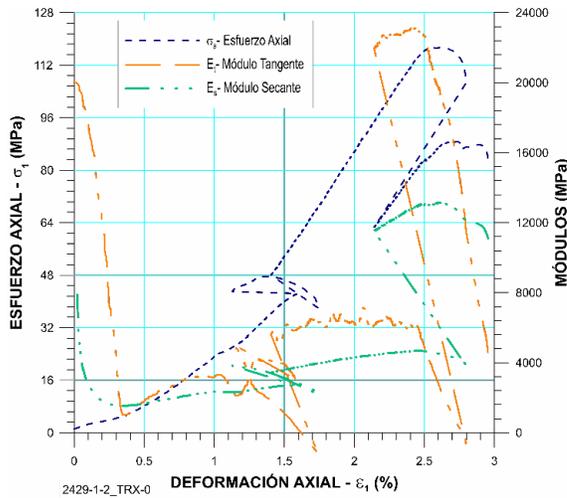


COEFICIENTE DE ESCORRENTIA C						
COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		50 %	20 %	5 %	1 %	
SIN VEGETACION	IMPERMEABLE	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	SEMIPERMEABLE	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	PERMEABLE	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
CULTIVOS	IMPERMEABLE	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	SEMIPERMEABLE	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	PERMEABLE	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
PASTOS VEGETACION LIGERA	IMPERMEABLE	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	SEMIPERMEABLE	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	PERMEABLE	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
HIERBA, GRAMA	IMPERMEABLE	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	SEMIPERMEABLE	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	PERMEABLE	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
BOSQUES DENSA VEGETACION	IMPERMEABLE	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	SEMIPERMEABLE	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	PERMEABLE	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Anexo 2. Coeficiente de escorrentía (C) para el método racional
Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 1973)

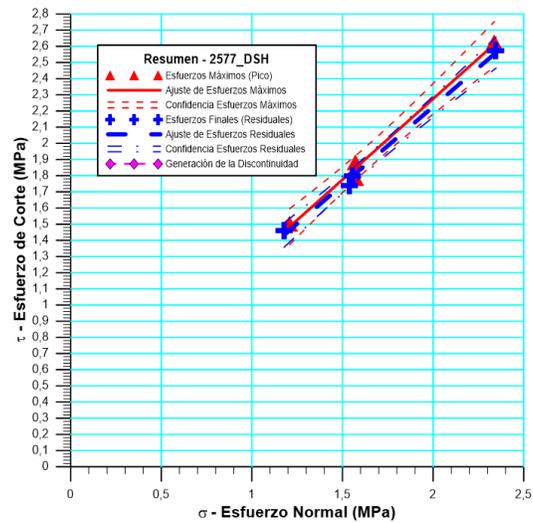
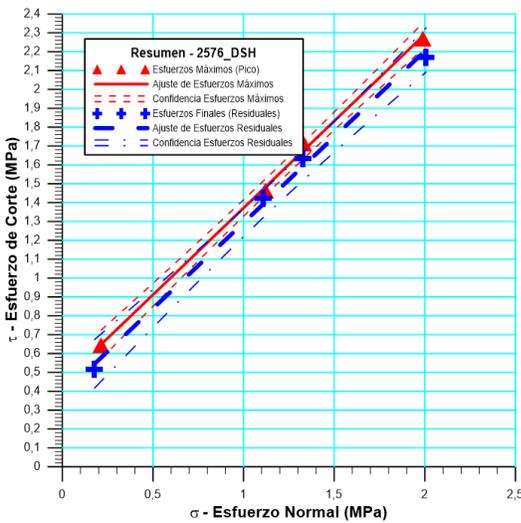
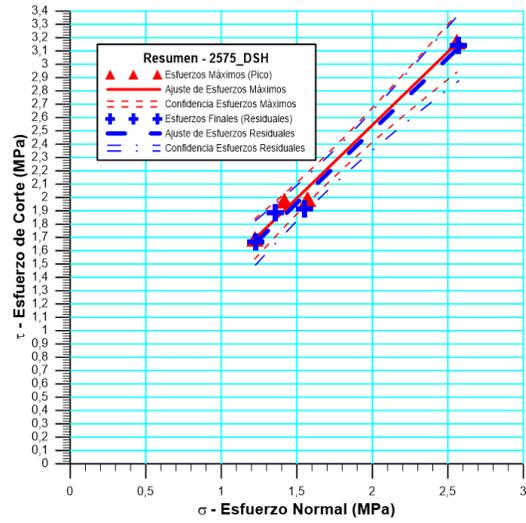
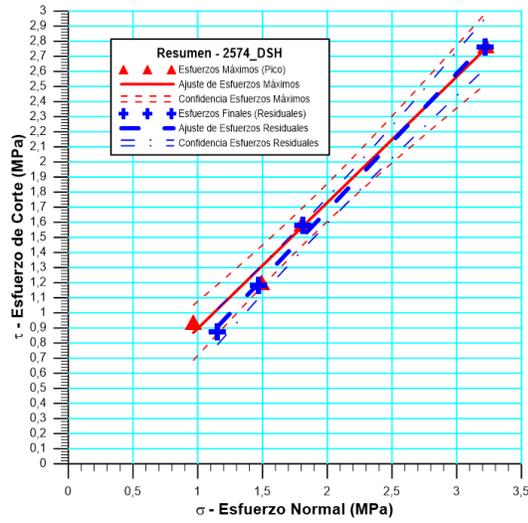
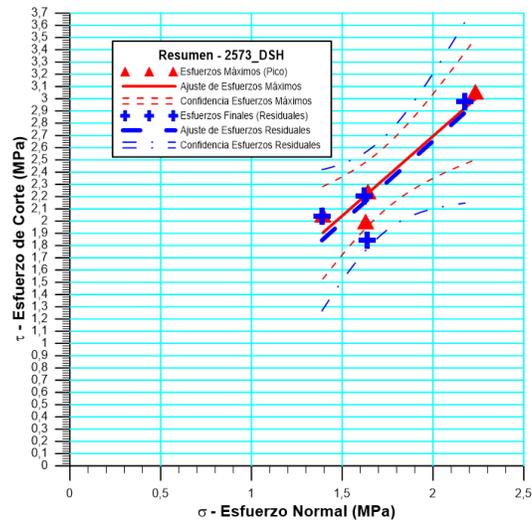
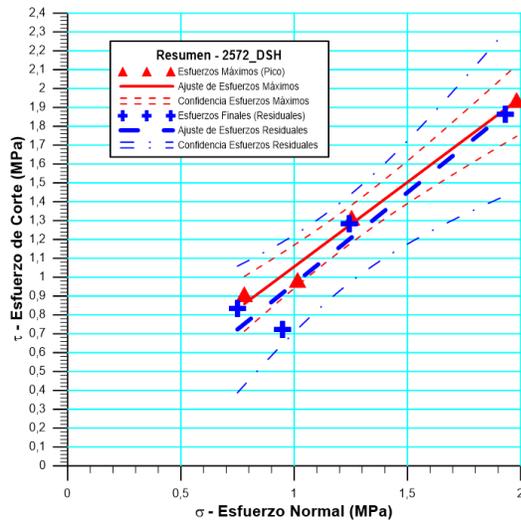
Tipo de sección	Área A (m ²)	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta-\text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1-\frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$\frac{(\text{sen}\frac{\theta}{2})D}{2\sqrt{y(D-y)}}$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$\frac{2}{3}Ty$	$T+\frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Anexo 3. Parámetros geométricos para diferentes secciones de canales
Modificado: (Ministerio de Obras Públicas, 1973)

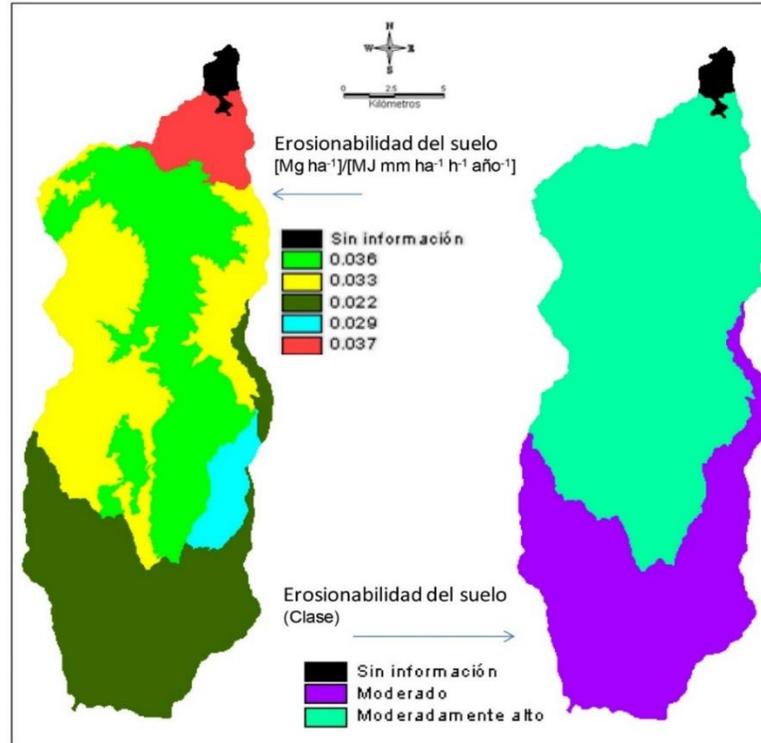


Anexo 4. Reporte de ensayos de compresión simple en muestras de roca

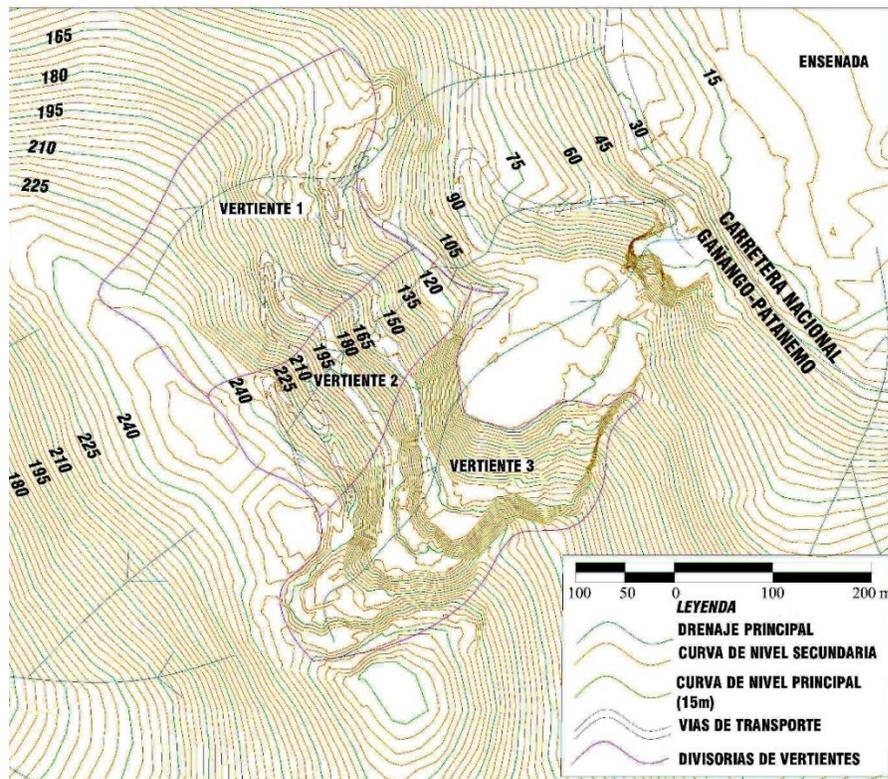
Fuente: (Canteras Tacarigua C.A., 2017)



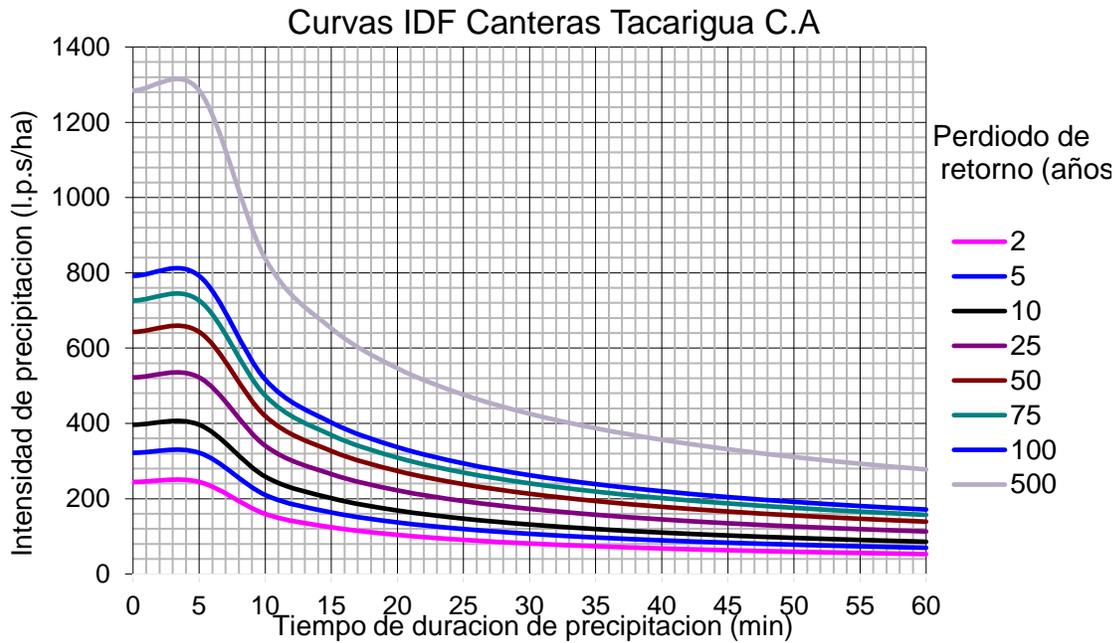
Anexo 5. Resultados de muestras de los ensayos de corte directo



Anexo 6. Erosionabilidad del suelo de la cuenca del río Sanchón
Fuente: (Sevilla, Comerma, & Oscar, 2015)



Anexo 7. Drenajes y divisorias dentro del Frente 1
Modificado: (Canteras Tacarigua C.A., 2018)



Anexo 8. Curvas intensidad-duración-frecuencia de la zona de estudio
Modificado: (Frias, 2017)

COEFICIENTE "n" DE MANNING	
CANALES ABIERTOS	
II. Canales excavados	
II.5 En roca	
II.5.1 Sección uniforme y lisa	0.035
II.5.2 Sección irregular y escabrosa	0.040

Anexo 9. Coeficiente "n" de Manning para canales excavados en roca
Modificado: (Ministerio de Obras Públicas, 1973)