

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**PROPUESTA DE UN DISEÑO DE SISTEMA DE DRENAJES PARA LA
GESTIÓN INTEGRAL DE AGUAS DE MINAS EN EL NIVEL 15 EN MINA 2,
CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL, MUNICIPIO LIBERTADOR.**

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Bachiller Andreina Ramirez
Para optar por el Título de
Ingeniero de Minas**

Caracas, marzo 2024

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**PROPUESTA DE UN DISEÑO DE SISTEMA DE DRENAJES PARA LA
GESTIÓN INTEGRAL DE AGUAS DE MINAS EN EL NIVEL 15 EN
MINA 2, CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL, MUNICIPIO
LIBERTADOR.**

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Bachiller Andreina Ramirez
Para optar por el Título de
Ingeniero de Minas**

Tutor Académico: Prof(a). Alba Castillo

Caracas, marzo 2024

DEDICATORIA

A mis padres quienes han sido mi fortaleza, mi roca para seguir aprendiendo y avanzando.

A mis abuelos, que siempre han estado presentes y me han apoyado, Dios y a la Virgen quienes me acompañan en todo momento.

Me dedico el TEG a mí, por cumplir una meta y cerrar un capítulo más en mí vida.

” La vida no se trata de encontrarte a ti mismo, sino de crearte a ti mismo ”.

Bernard Shaw

AGRADECIMIENTO

Quisiera agradecer a todas las personas de mi familia que de una forma u otra me ayudaron en la realización de este trabajo, pero principalmente a Dios y a nuestra ilustre casa de estudios, La Universidad Central de Venezuela.

Quiero agradecer a mis pilares Rosa (mamá), Rafael (papá) y David (papá), quienes creyeron fielmente en mí y me han acompañado en toda la trayectoria universitaria.

También agradezco inmensamente el apoyo incondicional de Luis Sanchez que, en tan poco tiempo, se ha ganado un gran espacio en este TEG.

A todos en Canteras de Distrito Capital S.A. en especial a Fimaoche, Tania, Julio, Ruben y Yenny quienes estuvieron conmigo durante la trayectoria laboral y mi etapa de tesista en la mina.

Al Departamento de Minas, en especial a mi tutora Alba Castillo y la profesora Katherine Silva por la ayuda brindada.

A mis compañeros y amigos Cesar P. y Robert E. quienes me apoyaron y estuvieron en todo momento para intercambiar ideas, a David S., Hemily y Henry quienes estuvieron hasta el último instante.

Andreina D., Ramirez A.

PROPUESTA DE UN DISEÑO DE SISTEMA DE DRENAJES PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE AGUAS DE MINAS EN EL NIVEL 15 EN MINA 2, CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL, MUNICIPIO LIBERTADOR.

Tutor Académico: Prof. Alba Castillo.

Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Minas. 2024, 180 páginas.

Palabras claves: Minería a Cielo Abierto, Cantera Distrito Capital, Esquistos, Erosión, Sedimentación, Gestión de Aguas de Mina, PEC (Parcela de Erosión por Clavos), Slake Durability Test, Cerchar, Drenaje Trapezoidal, Tanque de Decantación, Trampas de Sólidos, Tasa de Erosión.

RESUMEN. Canteras de Distrito Capital, S.A, queda ubicada en Distrito Capital Municipio Libertador, es una cantera donde se realiza minería a cielo abierto, con la extracción de áridos para construcción, esta cuenta con el área de Mina 2, que tiene 15 niveles de explotación. La cantera cuenta con una geología compuesta por sustratos metamórficos de esquistos cuarzo-micáceo, lo que lo hace una roca vulnerable a la erosión. Tomando en cuenta la geología presente en la cantera y los periodos de máxima precipitación del año, se realizaron PEC, dónde se midió la tasa de erosión, tasa de sedimentación y la erosión neta; de las cuencas hidrológicas que alimentan las cuencas internas de Mina 2. Se pudieron tomar muestras para realizar los ensayos de Slake Durability Test y los ensayos de Cerchar, dejando como resultados datos referentes a la resistencia de la roca y así obtuvimos la vulnerabilidad de erosión de las rocas presentes en las muestras. Se realizaron ensayos vía seca para obtener la granulometría de los sedimentos que se desprendieron del ensayo de Slake Durability Test. A través, de los resultados obtenidos de las PEC y los ensayos, se determinó un volumen de sedimentos cuantificable, permitiendo realizar el diseño de drenaje trapezoidal; que cumpliera con lo requerido para el traslado de sedimentos y caudal dentro de la cantera; y así, ser depositados finalmente en el tanque de decantación y posterior a ello, minimizar la incidencia de sedimentos depositados en la quebrada de Mamera.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1.Planteamiento del problema	2
1.2.Objetivo General.....	3
1.3.Objetivos Específicos	3
1.4.Justificación.....	4
1.5 Alcance y limitaciones	5
CAPITULO II	6
PROYECTO MINERO	6
2.1. Ubicación Geográfica	6
2.2. Características Físicas-Naturales	7
2.3. Aspectos Geológicos de Canteras del Distrito Capital S.A.....	15
2.4. Labores Mineras	24
CAPÍTULO III	28
MARCO TEORICO	28
3.1. Antecedentes.....	28
3.2. Bases Teóricas	30
3.2.1. Gestión minera de recursos hídricos.....	30
3.2.2. Gestión Integral de Recurso Hidricos (GIRH).....	30
3.2.3. Manejo de Aguas de Mina.....	30
3.2.4. Sistema de drenajes en minas a cielo abierto y principales componentes.....	31
3.2.5. Criterios hidrológicos para el dimensionamiento de los drenajes	34
3.2.6. Ciclo Hidrológico	35
3.2.7. Sistema hidrológico	37
3.2.8. Erosión, agentes erosivos y tipos de erosión	43
3.2.8.1. Agentes erosivos.....	44

3.2.8.2. Tipos de procesos erosivos y cuantificación	46
3.2.9. Suelo, tipos de suelos y densidad aparente del suelo	48
3.2.9.1. Tipos de suelos	49
3.2.9.2. Densidad aparente del suelo	53
3.2.10. Método de Medición de Erosión Hídrica.....	54
3.2.11. Erosión Media y Sedimentación Media.....	56
3.2.12. Erosión Neta	57
3.2.13. Suelo Movilizado.....	58
3.2.14. Estimación de pérdida del suelo	59
3.2.14.1. Calculo de parámetros de la ecuación modificada de RUSLE:	62
3.2.15. Ensayo de Slake Durability Test	70
3.2.16. Ensayo de Cerchar	72
CAPÍTULO IV	75
MARCO METODOLÓGICO	75
4.1. Tipo de Investigación	75
4.2 Diseño de la Investigación.....	76
4.3. Población y Muestra	77
4.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	77
4.5 Procedimiento Experimental	80
4.5.1. Etapa de Recopilación de Datos	81
4.5.2. Etapa de Actividades de Campo.....	82
4.5.3. Etapa de Laboratorio.....	84
4.5.3.1. Ensayos de Slake Durability,.....	84
4.5.3.2. Ensayo Granulométrico vía seca	86
4.5.3.3. Ensayo de Abrasividad de Cerchar.....	89
4.5.3.4. Cálculo de la Densidad Aparente del suelo	91
4.5.3.5. Infiltración del suelo.....	93
4.6. Análisis de los Datos	95
4.7. Etapa de Diseño.....	96

CAPITULO V	97
ANÁLISIS Y RESULTADOS	97
5.1. Construcción de lluvia de diseño.....	97
5.2. Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel	99
5.3. Diseño de las curvas IDF, para Canteras del Distrito Capital S.A.	105
5.4. Evaluación de la Erosión Hídrica	108
5.5. Recolección e Muestras	111
5.6. Ensayos de Laboratorio	112
5.6.1. Ensayos de Slake Durability.....	112
5.6.2. Ensayo de Granulometría vía seca.....	113
5.6.3. Ensayo de Abrasividad de Cerchar.....	115
5.7. Densidad aparente del suelo	117
5.8. Evaluación de los procesos erosivos.....	117
5.9. Criterios Hidrológicos (Caudal de diseño)	123
5.10. Control de aguas superficiales	129
5.11. Canal de conducción de agua	130
5.12. Elementos de retención de solidos.....	134
5.12.1. Tanque de Decantación.....	134
5.12.2. Espigones.....	136
CONCLUSIONES	137
RECOMENDACIONES	140
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	142
ANEXO I	146
ANEXO II.....	147
ANEXO III.....	156
ANEXO IV.....	159
ANEXO V.....	161
ANEXO VI.....	164

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Mapa de Situación y Ubicación	66
Figura N°2: Distrito Capital y estados Miranda, Aragua y Carabobo	1515
Figura N°3: Secuencia Litológica de Lente de Mármol y Esquistos (Cota 1040 Oeste De La Cantera, Mina 1)	2020
Figura N°4: Afloramiento De Mármol Al Noroeste De La Mina 1	2222
Figura N°5: Depósito de aluvión granular-arcilloso. (Cotas 1060-1090 al oeste de la mina).....	223
Figura N°6: Perforadora Atlas copco con Martillo de Fondo	2525
Figura N°7: Tolvas de Despacho de Producto Final.....	2727
Figura N°8: Sistema de Drenaje.	3333
Figura N°9: Representación del Ciclo Hidrológico.....	3636
Figura N°10: Representación del Sistema Hidrológico.....	3737
Precipitación	388
Figura N°11: Principales tipos de precipitación: convectiva, orográficas y frontales	388
Figura N°12: Evaporación.	39
Figura N°13: Condensación.....	40
Figura N°14: Transpiración	4141
Figura N°15: Componentes que intervienen en la intercepción.	41
Figura N°16: Infiltración del Suelo.	4242
Figura N°17: Escorrentía superficial	4347
Figura N°18: Horizontes del suelo.	49
Figura N° 19: Varillas para medir el cambio del nivel de la superficie.....	56
Figura N°20: Determinación gráfica del índice de erosionabilidad K.	6565
Figura N° 21: Procedimiento de Slake Durability Test.	7171
Figura N° 22. Esquema de la punta de acero antes y después del ensayo cerchar.	7373
Figura N°23: Etapas de procedimiento de la Investigación.	8181
Figura N°24: Clavos (Vigas) para la instalación de la PEC.	8282

Figura N°25: Instalación de Parcela #3 de Erosión por Clavos previamente instalada.	8383
Figura N°26: Medición de Parcela #3 de erosión.	83
Figura N° 27: Recolección de Muestras.	8484
Figura N° 28: Equipo de Slake Durability (sin muestra).....	8585
Figura N°29: Muestra pesada antes de ser sometida al primer ciclo del Ensayo de Slake Durability.....	8585
Figura N° 30: Horno utilizado en laboratorio para secar las muestras luego de cada ciclo de Slake Durability.	8686
Figura N° 31: Muestra originada por el ensayo Slake Durability, después de su primer y segundo ciclo.	8686
Figura N°32: Muestra de sedimentos en estado húmedo.	8787
Figura N°33: Muestra de sedimentos en estado seco.	8888
Figura N°34: Batería de tamices para realizar granulometría de los sedimentos.	88
Figura N° 35: Sedimentos ya tamizados y pesados.	89
Figura N°36: Muestra colocada para iniciar el ensayo de Cerchar.	90
Figura N° 37: Puntas de Acero para el ensayo de Cerchar.....	90
Figura N°38: Colocación de la muestra en la cara con más foliaciones.....	91
Figura N°39: Toma de muestra de suelo con tubo PVC, en áreas cercanas a las parcelas de erosión con clavos.....	92
Figura N°40: Cilindro PVC, para toma de muestra y capacidad de infiltración.....	92
Figura N°41: Horno para el secado de la muestra de densidad de suelo aparente. ...	93
Figura N°42: Peso de la muestra de suelo aparente.....	93
Figura N°43: Ensayo para medir la infiltración de los suelos.	94
Figura N°44: Ensayo realizado cerca de las parcelas de erosion con clavos y con el liquido (agua) dentro del Cilindro.	95
Figura N°45: Cárcavas producto de precipitaciones anteriores.....	109
Figura N°46: Medición de los clavos de las parcelas de erosión.....	110

Figura N°47: Instalación de las Parcelas de Erosión con Clavos.....	111
Figura N°48: Recolección de muestra en la vertiente natural de Canteras de Distrito Capital.....	112
Figura 49: Mapa geológico y con Cuencas Hidrográficas que aportan sedimentos a Canteras de Distrito Capital.....	124
Figura N°50: Mapa con cuenca hidrográfica 1.....	125
Figura N°51: Mapa con cuenca hidrográfica 2.....	127
Figura N°52: Mapa con cuenca hidrográfica 3.....	128
Figura N°53: Canales preexistentes en vialidad de Mina 2, Canteras de Distrito Capital.....	130
Figura N°54: Canal de geometría trapezoidal.....	131
Figura N°55: Software HCANALES con datos obtenidos para una sección trapezoidal.....	133
Figura N°56: Mapa topográfico e hidrográfico con representación de diseño de drenaje.....	134
Figura N°57: Representación gráfica de las dimensiones del tanque de decantación.....	135
Figura N°58: Propuesta de Drenaje y Espigones.....	136

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Precipitación anual en la zona bajo estudio (mm)	88
Tabla N° 2: Láminas de Lluvias Medias Mensuales y Totales Anuales (Mm)	8
Tabla N° 3: Láminas anuales de Precipitación, estación Cagigal (mm) CDC 2014 ...	8
Tabla N° 4: Valores de Temperatura Anual de la Estación Cagigal	10
Tabla N° 5: Descripción de los parámetros para la ecuación de USLE.	54
Tabla N° 6: Valores de K asociados a la textura y al contenido de materia orgánica.	66
Tabla N°7: Valores del factor topográfico (LS) para distintos grados y longitudes de pendiente.....	68
Tabla N°8: Valores de C para cobertura vegetal.	69
Tabla N°9: Valores de C para bosques.....	69
Tabla N°10: Valores del factor P en función de la pendiente.	7070
Tabla N°11: Clasificación cuantitativa, cualitativa y tipos de rocas según el índice Cerchar.....	73
Tabla N° 12: Calificación cuantitativa y cualitativa de índice Schimazek.....	74
Tabla N° 13: Material usado para recopilar información de las parcelas de erosión con clavos.....	78
Tabla N°14: Precipitaciones Máximas mensuales, en Canteras de Distrito Capital, durante los años 1998-2018.....	9898
Tabla N°15: Distribución de probabilidades pluviométricas según los parámetros de Gumbel	10000
Tabla N°16: Cálculo de variables probabilísticas mediante la Distribución de Gumbel.	10101
Tabla N°17: Cálculo de Precipitaciones Máximas Probables para diferentes frecuencias.....	102
Tabla N°18: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración.....	104
Tabla N°19: Intensidades de lluvia, a partir de Pd, según su Duración de precipitación y frecuencia.....	105

Tabla N°20: Resumen de los valores de regresión lineal para distintos años.....	106
Tabla N°21: Intensidades y Tiempo de duración de precipitaciones.....	107
Tabla N°22: Resultados de los índices de durabilidad (Id) de los ensayos de Slake Durability.....	113
Tabla N°23: Valores de ensayo Granulométrico.....	114
Tabla N°24: Densidad aparente del suelo.....	117
Tabla N°25: Precipitaciones Mensuales del tiempo de la investigación.....	118
Tabla N°26: Suelo Movilizado de Parcela 1.....	119
Tabla N°27: Estimación de pérdida de suelo por Parcelas de Erosión con Clavos (PEC).....	122
Tabla N°28: Estimación de pérdida de suelo por el modelo de RUSLE.....	122
Tabla N° 29: Intensidad de precipitación para subcuenca 1 en los meses de mayo, junio y julio, 2019.....	126
Tabla N° 30: Intensidad de precipitación para subcuenca 2 en los meses de mayo, junio y julio, 2019.....	128
Tabla N° 31: Intensidad de precipitación para subcuenca 3 en los meses de mayo, junio y julio, 2019.....	129
Tabla N° 32: Elementos geométricos de la sección del canal.....	132

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico N°1: Precipitación anual en la zona bajo estudio (mm)	8
Gráfico N°2: Curvas IDF.....	108
Grafica N°3: Curva granulométrica, de partículas proveniente de ensayo de slake durability.....	114
Grafica N°4: Movilización de suelo en la parcela 1, mes de julio.....	119
Grafica N°5: Representación del suelo movilización en parcela 1, durante los meses de mayo y junio.....	120
Grafica N°6: Suelo movilizado de Parcela 1	121
Gráfico N°7: Cuantificación de pérdida de suelo por los métodos de RULES y PEC, en Canteas de Distrito Capital.....	123

INTRODUCCIÓN

Cuando se encuentra un interés económico sobre un agregado, se inicia labores mineras para la extracción y aprovechamiento de un determinado mineral o roca específica. Durante el desarrollo de las labores minera, se realiza planificación de las áreas de explotación y en ellas se ejecutan operaciones auxiliares, entre ellas tenemos el diseño de los drenajes para las aguas de minas generadas por las lluvias.

La erosión se incrementa en las zonas en donde la actividad humana altera la topografía, en el caso de la minería a cielo abierto con las constantes labores de arranque y acarreo del material, la roca y el suelo se encuentran expuestos constantemente y los agentes erosivos inician su labor, para empezar a formar sedimentos, los cuales son transportados a diversos lugares dentro de la mina y a los drenajes.

Actualmente el sistema de drenajes de Canteras del Distrito Capital, se encuentra comprendido de un grupo de cunetas y alcantarillas, con un alto grado de deterioro y obstruidas por efecto de la acumulación de sedimentos que se transportan por las aguas durante las épocas de máxima precipitación anual, esto ha ocasionado deterioro y alto costo en el mantenimiento de vías internas (dentro de la cantera) y externas (vía principal del Mamera-Junquito).

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el siguiente capítulo se presenta la definición del contexto de la investigación, comenzando con el planteamiento del problema, objetivo principal del trabajo, los objetivos específicos que permitieron cumplir con esta investigación, justificación, alcances y limitaciones de esta.

1.1. Planteamiento del problema

La minería como toda actividad realizada por el humano, es una de las que más afecta al equilibrio ecológico, ejemplo de ello tenemos la alteración y modificación de paisajes y drenajes, generación de sedimentos y ruidos, todos estos afectan al ambiente y a comunidades que se encuentran a sus alrededores.

Es importante mencionar que uno de los procesos que también toma forma para la afectación del ambiente es la erosión de los suelos y sedimentación de partículas, siendo en la minería a cielo abierto, una de las actividades que se genera diariamente. La erosión suele afectar en la actividad minera, especialmente en el desequilibrio de los taludes, debido a la disminución del espesor de los suelos, originando socavamiento, y causando el transporte de los sedimentos, que a su vez llenan los sistemas de drenajes (artificiales o naturales), produciendo derrame de los mismos.

Canteras del Distrito Capital, es una empresa que se dedica a la extracción de minerales para su uso en la construcción y su actividad minera se realiza a cielo abierto. Actualmente la empresa presenta un problema de desviación de aguas de lluvia, causando flujo de detritos, erosión e inestabilidad de los taludes inferiores y carreteras, debido a que carece de drenajes en el área de desarrollo especialmente en el nivel 15 de la Mina 2, como consecuencia de ello cada vez que comiezan los

periodos de lluvias, existe gran cantidad de transporte de sedimentos.

También es necesario mencionar que el sistema de drenaje con el que cuenta la cantera no es apto para llevar a cabo una cuantificación y control de arrastre de sedimentos.

Por lo tanto, la empresa no cuenta con datos de los sedimentos que son arrastrados por las cuencas que se encuentran dentro de la cantera y tampoco de los costos de producción que podrían generar el mantenimiento de los drenajes y frentes de explotación.

Es por ello que se realizó un estudio, desde la caracterización de los factores ambientales físicos-naturales de la zona hasta la evaluación de las condiciones del sistema de drenaje actual de la cantera, con el fin de canalizar las aguas de lluvias provenientes del nivel 15 de Mina 2 y calcular la cantidad de sedimentos que son arrastrados en los frentes de producción en los periodos lluviosos del año.

En consecuencia, el estudio permitirá aplicar una propuesta para la canalización de las aguas de minas y control de los sedimentos originados por producción y arrastre de las vertientes hacia la quebrada de Mamera.

1.2.Objetivo General

Proponer un diseño de sistema de drenajes, para la gestión integral de aguas de minas en el área de desarrollo, nivel 15 en Mina 2, Canteras del Distrito Capital, municipio Libertador.

1.3.Objetivos Específicos

1.3.1. Evaluar las condiciones ambientales e hidrológicas en Canteras de

Distrito Capital, entre ellos las variables físicas-naturales, para el cálculo del caudal y diseño de conductores de agua.

- 1.3.2. Identificar las posibles vertientes dentro de la cantera para definir los espacios que son afectados por las mismas en épocas lluviosas.
- 1.3.3. Cuantificar la cantidad de sólidos trasladados por las vertientes con fin de determinar la granulometría de los sedimentos, para el diseño de los drenajes.
- 1.3.4. Analizar a través de los ensayos de Slake Durability Test, la capacidad que tiene la roca de degradarse con factores ambientales.
- 1.3.5. Realizar un diseño de un sistema de drenajes para el manejo de aguas de minas en el área de desarrollo nivel 15 en Mina 2.

1.4. Justificación

Canteras del Distrito Capital, se encuentra ubicada en la zona industrial de la carretera Mamera - Junquito, la misma está dividida en dos (02) minas dentro de ella (Mina 1 y Mina 2). En esta zona la cantera colinda con dos quebradas que se hallan activas todo el año, las cuales se llaman Quebrada de Botadero y Quebrada Barandilla.

Durante los periodos lluviosos la cantera es susceptible de la constante erosión, especialmente producto de las lluvias; pero la misma no cuenta con un sistema de drenaje que proporcione la canalización adecuada para sus aguas.

Los drenajes en minas a cielo abierto se caracterizan por ser parte del conjunto de operaciones auxiliares que impide las inundaciones durante las actividades de laboreo: arranque, carga y acarreo. También proporcionan funciones de captadores de sedimentos producto de la erosión durante la época de lluvia.

Canteras del Distrito Capital no cuenta con información para manejo de sedimentos por falta de canalización de sus aguas, iniciando desde el punto más alto, como lo es el nivel 15 de Mina 2. Por lo tanto, es necesario realizar un estudio para el diseño de sistemas de drenajes, que eviten el transporte de los sedimentos hacia las vías de acceso y hacia los taludes.

1.5. Alcance y Limitaciones

El alcance en la investigación consistió en el estudio del volumen de los sedimentos que se genera en periodos de precipitación constantes, en las pendientes presentes en el área de estudio. Así como también la propuesta de nuevos canales de conducción de aguas.

Entre las limitaciones se encuentra que no se presentaban con frecuencia precipitaciones, por lo cual, las primeras semanas se realizó la recolección de información bibliográfica y la toma de muestras para procesarla en los laboratorios. También hubo limitación por parte de la empresa para el constante traslado en las áreas donde se ubicaron las parcelas de erosión y sedimentación.

CAPITULO II

PROYECTO MINERO

En el siguiente capítulo se da a conocer la información asociada con la ubicación y las características físicas del área de la explotación, así como también, la misión, visión y objetivos por los cuales se rige la empresa.

2.1. Ubicación Geográfica

Canteras del Distrito Capital se ubica (Figura N°1) llegando a la población de Antímamo, al oeste de la ciudad de Caracas, se toma el Nuevo Distribuidor Mamera, vía a la Nueva Carretera Mamera-Junquito y aproximadamente unos 1,5 kilómetros, se encuentra la entrada.

La misma cuenta con una ubicación geodésica que se encuentra enmarcada entre las siguientes coordenadas UTM, como se muestra a continuación:

- ESTE: 717.000 al 718.500
- NORTE: 1.156.000 al 1.157.500

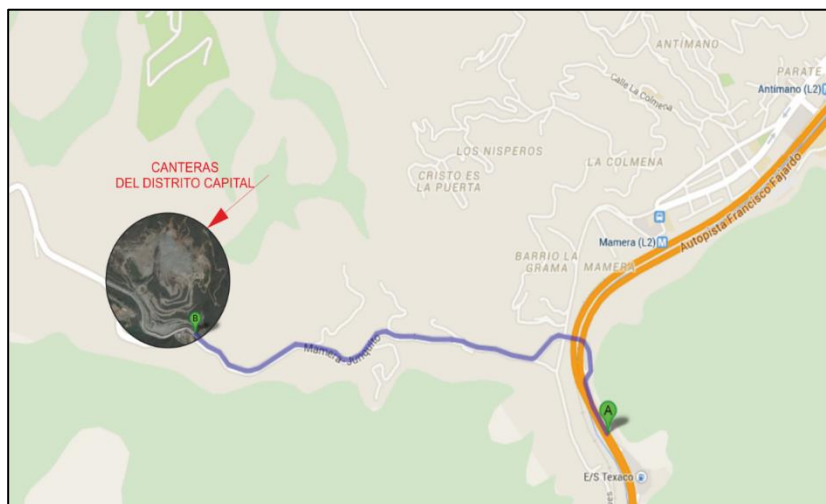


Figura N° 1: Mapa de Situación y Ubicación
Fuente: Google Earth 2019

2.2. Características Físicas-Naturales

Clima

Se presenta información correspondiente a lluvias medias mensuales y anuales, láminas de evaporación, temperaturas medias, tomando como referencia los datos de las estaciones más cercana al sector. A partir de los valores medios anuales de temperatura y precipitación se clasificaron las zonas de vida de acuerdo a la metodología de Köppen, se elaboró el balance hídrico de la zona a partir de los registros de precipitación de la estación de Macarao, El Carite y Cagigal.

A continuación, se describe brevemente la variación de cada variable climatológica disponible en el entorno de la cantera.

- **Precipitación**

La variable precipitación es uno de los parámetros de mayor importancia que condiciona los aspectos de diseño y construcción de proyectos, tales como: las estructuras de drenaje transversal y longitudinal, programas de ejecución de obras como terraplenes, desvíos de cauces, desásolves, movimientos de tierras en sus fases de excavación y relleno. Ejemplo de ello, en el año 2014, la variación temporal y espacial de la precipitación a escala mensual y anual 860,3mm.

- **Lluvias Medias Mensuales y Anuales**

En la Tabla N°1 se reflejan las láminas medias mensuales y totales anuales de precipitación (2014), registradas en las estaciones disponibles en el área de estudio.

Precipitación media anual

Estación El Carite	860,3 mm
Estacion Macarao-Dique	730,4 mm
Estación Cagigal	775,6 mm

Tabla N° 1: Precipitación anual en la zona bajo estudio (mm)

Fuente: Registros del MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales) CDC.

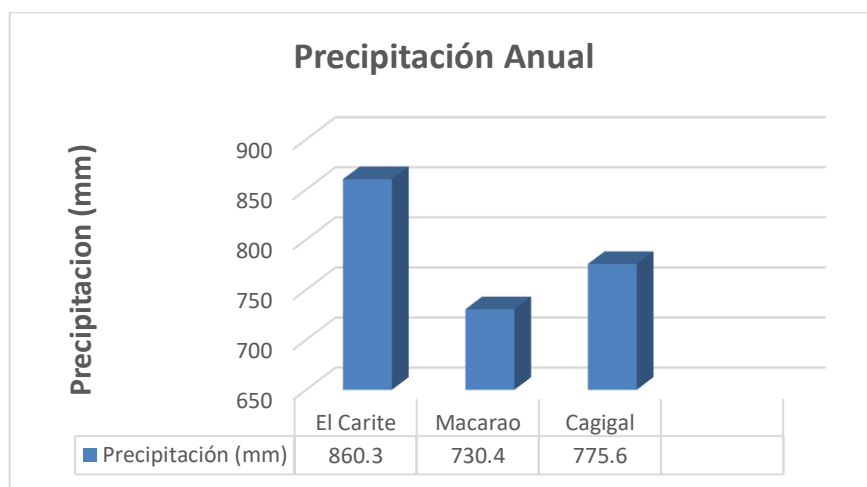


Gráfico N° 1: Precipitación anual en la zona bajo estudio (mm)

Fuente: Registros del MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales) CDC.

Estación	E	F	M	A	M	3	3	A	S	O	N	D	Anual
El Carite	22	13	8	41	85	128	117	118	99	114	69	41	860,3
Macarao-Dique	18,4	1,5	9/1	43	82,8	109	106,7	95,8	81,6	94,6	49,4	30,7	730,4

Tabla N° 2: Láminas de Lluvias Medias Mensuales y Totales Anuales (Mm)

Fuente: Datos del MARN CDC 2014

Estación	1.999	2.000	2.001	2.002	2.003	Promedio
Cagigal	1.040	817	677	634	710	775,6

Tabla N° 3: Láminas anuales de Precipitación, estación Cagigal (mm) CDC 2014

Fuente: Ministerio de la Defensa

Temperatura

Para el análisis de la temperatura, fueron escogidos las estaciones Macarao-Dique y El Carite, por ser las más representativas del área en estudio.

- **Temperatura Media Anual**

La temperatura media anual considerada, es la resultante del promedio de las mediciones del período de registro; el mayor valor de las temperaturas medias de las estaciones Macarao-Dique y El Carite fueron de 21,6°C y 20,4°C respectivamente, para el período 1977-1983. En la zona se registra una temperatura promedio de 20,5°C.

El mayor valor de las temperaturas máximas mensuales registrado en las estaciones estudiadas para el periodo 1977-1983, fue de 31,1°C para la estación Macarao-Dique y de 29,1°C para la estación El Carite, correspondiendo estas mediciones a los meses de Marzo y Abril respectivamente, enmarcadas ambas dentro del solsticio de verano.

- **Temperatura Mínima**

Los menores valores de las temperaturas mínimas mensuales registrados en las estaciones estudiadas para el periodo 1977-1983, fue de 10°C, para la estación Macarao-Dique y de 11°C para la Estación El Carite. En el caso de ambas estaciones, este valor menor fue observado durante el mes de enero. La temperatura mínima media anual para el mismo período fue de 13,2 °C.

En la Tabla N°4 siguiente, se observan los datos de temperatura promedio máxima y mínimas del periodo 1.999 al 2.003, aportados por la estación Cagigal, donde la temperatura promedio está por encima de los 20 °C, las máximas arrojan valore mayores de 25 °C y el valor mínimo está en 17.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA Y AÑO	TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL DEL AIRE (° C)		
	MEDIA	MÁXIMA	MÍNIMA
CAGIGAL			
1999	21,0	26,6	17,2
2000	20,6	26,4	17,0
2001	20,6	25,8	17,2
2002	21,7	27,5	18,1
2003	21,7	27,6	18,4

Tabla N°4: Valores de Temperatura Anual de la Estación Cagigal
Fuente: Ministerio de la Defensa

Suelos

Los suelos del sector se describen en función de la posición que tienen en el relieve. La primera descripción se refiere a los suelos que se presentan en las laderas y vertientes adyacentes a la depresión fluvial, por ser estos los más extendidos, luego se describen los suelos del fondo de valle y finalmente, los suelos formados por acumulaciones fluviales al principio y al final del área en estudio.

Debido a las altas pendientes de las laderas, no existen suelos propiamente dichos, sino en zonas de acumulación de material aluvial correspondientes a los fondos de valle y en algunas acumulaciones coluvio-aluviales ubicadas al pie de las

vertientes. Sin embargo, debe considerarse la existencia de mantos de alteración de la roca in situ en la media y alta vertiente.

En el caso de los suelos de fondo de valle, estos corresponden en general a acumulaciones de rellenos de materiales fragmentados y descompuestos de esquistos y gneises provenientes de las formaciones geológicas circundantes, y de aportes sedimentarios fluviales. Presentan una gran variabilidad granulométrica según el depósito, las condiciones de formación y la intensidad de los procesos de alteración.

Origen y Formación de los Suelos de Vertientes

Al área en estudio corresponden substratos litológicos o geológicos de tipo metamórficos de esquistos, esquistos cuarzo-micáceos con intercalaciones de cuarcita de las Esquitos Las Brisas, Antímamo y afloramientos de gneis y granodiorita del Complejo de Sebastopol (Dengo,1951).

El esquisto es una roca laminar muy fácilmente meteorizable, dando productos arcillosos, mientras la mayor porosidad del gneis, por su textura gruesa, facilita la penetración del agua y facilita la meteorización de la roca dando productos más gruesos como arenas y limos.

Las condiciones climáticas húmedas o muy húmedas e isohipertérmicas que existen en el área en estudio, son favorables al crecimiento y desarrollo de masas boscosas notables, que establecen igualmente un ambiente favorable para la activa alteración de las rocas y del material parental, y por tanto a la rápida formación de los suelos.

Adicionalmente debido a la cobertura vegetal, se facilita la penetración de agua en el suelo y mitiga la erosión del mismo, de tal manera se asegura la continuidad

del proceso de meteorización a través del tiempo con una velocidad de formación del suelo alta, lo que contribuye, al empobrecimiento edáfico por pérdida de material, por infiltración, lixiviación etc., permitiendo la formación de materiales de alteración poco plástico pero que pueden ser desplazados por movimientos en masa solifluidal.

A pesar de la fuerte pendiente en las laderas o faldas de las vertientes, y la presencia de otras menos fuertes, los suelos pueden tener alguna profundidad, si se incluyen en el perfil de alteración el *solum* y los horizontes saprofíticos, que en algunos casos pueden llegar a 1 m de profundidad, pudiendo contener acumulaciones argilosas, mientras en las cumbres o vigas, más susceptibles a la erosión, debido a su posición tope en el paisaje, los suelos son menos desarrollados y contienen solo pequeños horizontes con evidencias de acumulación argílica. Con respecto a la estabilidad mecánica, son suelos con heterometría alta, con drenaje interno muy favorable, que impide la acumulación de agua.

Así mismo, mucho del material meteorizable generan productos arcillosos, aunque no muy plásticos, tomando en cuenta que las arcillas se pueden haber acumulado en horizontes inferiores por lixiviación e iluviación, quedando por tanto en los horizontes superiores una mezcla de material grueso a medio, y/o limoso con valores de plasticidad baja, pudiendo pasar de estado sólido a líquido con muy poca cantidad de agua. La mayoría de los suelos de vertientes corresponden al orden de los Inceptisoles, Entisoles y Ultisoles según el sistema de clasificación del Soil Survey Staff del United States Department of Agriculture conocido como de la Séptima Aproximación(USDA,1951).

Descripción de los suelos de vertiente

A efectos de la descripción de los suelos de vertiente, se exponen primero las características de los de la parte superior, luego las de los suelos de cumbre y hombro,

posteriormente se describen los suelos de la vertiente propiamente dicha y se finaliza con los de falda de vertiente.

Suelos de cumbre y hombros de vertiente

Estos suelos ocurren en el lomo convexo de las líneas de cresta, cumbres y vigas que son generalmente estrechas, con pendientes suaves de menos de 5° pero donde los suelos resultan con poca profundidad, debido a que son adelgazados o removidos por sufrir erosión mecánica reciente. Son suelos delgados a moderadamente espesos, que a diferencia de los suelos ubicados en la vertiente son los únicos formados *in situ* a partir de la roca original. Corresponden a suelos incipientes, de poco desarrollo pedológico.

Se clasifican en el orden Inceptisol.

Circundando a los suelos de las líneas de cumbres y de vigas, se identifican los suelos de hombros, desarrollados a partir de material movilizado de la cumbre, también de geometría convexa, con pendientes de 30° a 40° o más, y por tanto con un evidente potencial de erosión que se observa actualmente por los extendidos mantos de suelo con proceso de repteo, solifluxión, lupias y terracetos y "pisadas de vaca". Las texturas más frecuentes son franco arenoso, franco, franco arcilloso, arenoso con grava. Corresponden al igual que los suelos de cumbres, a suelos incipientes, de poco desarrollo pedológico. Se clasifican tentativamente en el orden inceptisol.

- **Ladera de vertiente**

Fisiográficamente corresponden al tramo aproximadamente rectilíneo de las vertientes. Son suelos poco desarrollados y poco profundos con textura variada de

franco arenoso a franco arcilloso, con alta proporción de gravas y guijarros, los fragmentos de roca son heterométricos y en general se encuentra el esqueleto grueso y material terroso por debajo de los 30 cm. Por ser suelos formados en pendientes fuertes, siguen siendo suelos jóvenes e incipientes, aunque eventualmente existe algo más de maduración, por lo tanto, se clasifican tentativamente dentro de los órdenes **Inceptisol** y **Entisol**.

- **Falda de vertiente**

Corresponden al segmento inferior de las vertientes donde ocurre un cambio sustancial de la pendiente en los fondos de los vallecitos transversales principalmente y que generalmente están cubiertos por una asociación vegetal fuerte y bien desarrollada, lo que a su vez le confiere a estos suelos importantes cantidades de materia orgánica. Estos suelos son los más profundos y están formados por material transportado a lo largo de las vertientes y acumulados por el cambio de pendiente. Constituidos por materiales heterométricos y petrográficamente heterogéneos, son producto de un proceso poco selectivo de acumulación en masa que actualmente no es funcional, entre otras cosas por la menor pendiente y por la cobertura vegetal. Son suelos que se pueden clasificar tentativamente en el orden ultisol por su mayor desarrollo pedogenético.

Fragilidad de los suelos de vertiente

Por lo abundante de las lluvias, lo escarpado de las vertientes y la susceptibilidad de los materiales a los movimientos en masa, se genera un alto potencial de erosión, eficientemente controlado por la vegetación, en donde está presente, en condiciones actuales, pero la deforestación conducirá al truncamiento de estos suelos y a la pérdida de materia orgánica y de nutrientes. Es por esto que el

equilibrio entre masa boscosa y suelo es precario y toda intervención humana debe ser prudente y local, ya que cualquier alteración de las condiciones de equilibrio ambiental conducirá a la activación de la erosión lineal y al desarrollo de movimientos en masa.

El suelo presenta una textura franco arcilloso, compuesto de montmorillonita de mediana plasticidad y cohesión. La textura corresponde a la forma blocosa, con poca presencia de materia orgánica.

En cuanto a la permeabilidad del suelo, esta se presenta buena, debido a la presencia un poco homogénea de arena, arcilla y materia orgánica, lo que permite una buena recarga de los acuíferos, durante la etapa lluviosa.

2.3. Aspectos Geológicos de Canteras del Distrito Capital S.A. Geología Regional

CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A.

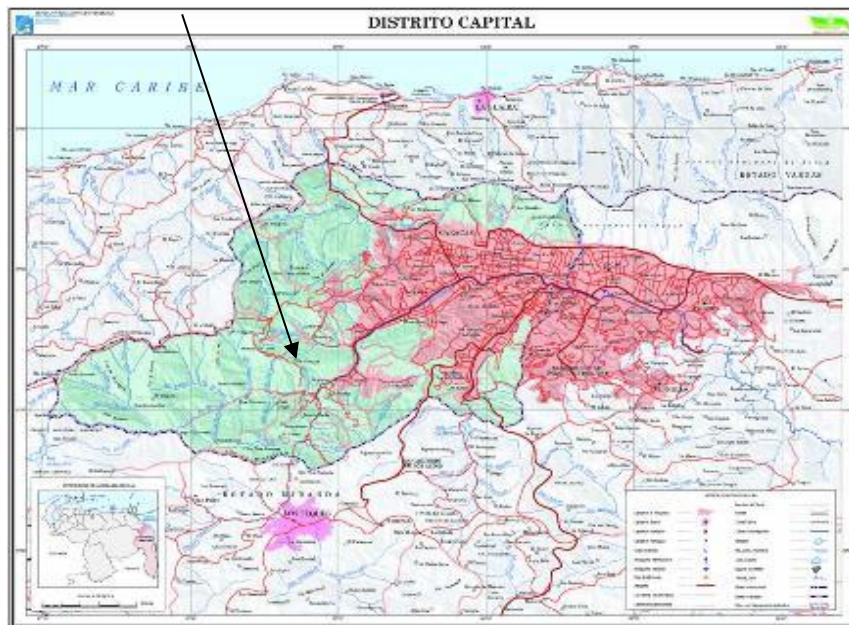


Figura N°2: Distrito Capital y estados Miranda, Aragua y Carabobo
Fuente: G. Dengo (1951)

Localidad Tipo

Dengo (1951) establece la localidad tipo a 0,5 km al norte de Antímamo, Distrito Federal (Hoja 6847, escala 1:100.000, Cartografía Nacional), cuyos afloramientos hoy en día están totalmente cubiertos por el urbanismo de la ciudad de Caracas. Muy buenos afloramientos aún están visibles en las canteras de la quebrada Mamera.

Actualmente Urbani (2018), establece que Cantera del Distrito Capital, pertenece a la Serranías del Litoral de la Faja Costera en la AP-BT (rocas de asociaciones mineralógicas de alta P – baja T), especialmente intercalándose con los terrenos de Las Mercedes y Carayaca.

Descripción Litológica

Dengo (1951) describe esta Formación como un mármol masivo de grano medio, color gris claro, con cristales de pirita, alternando con capas de esquistos cuarzo micáceos, y asociadas con cuerpos concordantes de rocas anfibólicas, algunas con estructuras de "boudinage". El mármol está formado de un 85-95% de calcita, con cantidades menores de cuarzo detrítico, muscovita (2,5%), grafito (2,5%) y pirita (2%).

El mismo autor describe, con detalle las anfibolitas glaucofánicas de esta Formación, incluyendo análisis químicos, indica que los mármoles son rocas estructuralmente competentes en relación a los esquistos que las rodean, pero incompetentes en relación con las rocas anfibólicas, mostrando pliegues de flujo alrededor de ellas y resultando así la estructura de "boudinage".

Schurmann (1950), igualmente estudia estas rocas glaucofánicas, presentando un mapa detallado de los diversos tipos litológicos en el sector de Antímano y Mamera.

En la región del Camino de los Españoles, Parque Nacional El Ávila, Ostos (1981), describe su unidad de esquistos cuarzo-muscovítico y mármol cuarcífero equivalente a esta Fase, encontrando los siguientes tipos litológicos: esquistos cuarzo-muscovítico, mármol y esquistos calcáreos, esquistos cuarzo-feldespático y feldespático, cuarcita muscovítica-feldespática, epidocita y glaucofanita granatífera.

En la cartografía geológica de la zona de Puerto Cruz-Mamo, Talukdar y Loureiro (1982), reconocen su unidad de anfibolitas y mármoles, que posteriormente Urbani y Ostos (1989), la denominan como Fase Antímano, 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.

Ostos (1990), describe algunas de las rocas máficas de esta Fase aflorantes en la sección Chichiriviche-Colonia Tovar, siendo Anfibolita granatífera y esquistos albítico-clorítico. La Anfibolita tiene porfiroblastos de granate, mientras que el esquistos los tiene de albita con sombras de presión simétrica y bien desarrollada. Las asociaciones mineralógicas metamórficas indican un primer evento de alta relación P/T en la facies de la eclogita, siendo impreso por un segundo evento metamórfico de P/T intermedia en la facies de los esquistos verdes.

Urbani et al. (1997), estudian la mineralogía carbonática de los mármoles de los afloramientos de la punta oeste de la bahía de Chichiriviche, Distrito Federal, encontrando que carecen de dolomita, mientras que aquellos de Mamera lo presentan en muy pocas muestras y en muy baja concentración. En los trabajos ya mencionados de Ostos, Urbani y otros, el criterio para cartografiar esta Fase es la presencia de la asociación de rocas anfibólicas con mármoles.

Urbani (2018), estudia el Terreno Carayaca como las rocas de AP-BT como los esquistos azules y las eclogitas son fundamentales para entender los procesos de subducción que ocurren en las zonas de colisión entre placas. El Terreno Carayaca corresponde a un melange de complejo de subducción (Ostos, 1992), donde se mezclan elementos de corteza oceánica con elementos continentales. Una unidad formal minoritaria del Terreno, es el Mármol de Antímamo cartografiado en el área de Caracas, caracterizado por mármol masivo con intercalaciones de rocas máficas (anfíbolita granatífera, esquisto glaucofánico y eclogitas, usualmente en forma de cuerpos lenticulares y elongados (Schurmann, 1950; Dengo, 1950); Las eclogitas han sido retrogradadas sucesivamente a facies de esquisto azul (glaucofano), anfíbolita epidótica (anfíbol verde azul) y esquisto verde (clorita).

Terreno Las Mercedes se extiende en forma continua desde Cabo Codera hasta Tinaquillo y contiene dos unidades formales: El *Esquisto de Las Mercedes*, compuesto por esquisto grafitoso cuarzo muscovítico carbonático, también esquisto carbonático que grada a mármol masivo. La presencia omnipresente de grafito apunta a una sedimentación en una cuenca con condiciones anóxicas. El Esquisto de Las Mercedes después del Complejo San Julián, es la segunda unidad de mayor extensión areal de toda la Cordillera de la Costa.

Espesor

Considerando a la foliación como plano de referencia, el espesor aparente de esta unidad es de 40 m en la localidad tipo, según Dengo (1951), disminuyendo hacia el este y oeste. Al sur de San Pedro, Smith (1952), indicó un espesor aparente máximo de 300m.

Extensión Geográfica

Se han descrito afloramientos aislados desde la zona de Antímamo, hacia el oeste en San Pedro y hacia el este hasta La Florida (afloramientos hoy cubiertos por el urbanismo de la ciudad de Caracas), continúa la zona de afloramientos en una franja en el valle de la quebrada Tacagua, y de ahí hacia el oeste como una franja entre Mamo, Carayaca y Tarma, Distrito Federal. Los últimos afloramientos se han reconocido en la zona de El Palito, estado Carabobo.

Expresión Topográfica

En las zonas donde afloran mármoles masivos y gruesos se nota una topografía abrupta, con estructuras kársticas superficiales.

Contactos

Esta formación presenta contactos estructuralmente concordantes con las formaciones adyacentes: Las Brisas y Las Mercedes. En la zona de Antímamo 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 (Cantisano, 1989).

Geología Local

Localmente el marco geológico consiste de una secuencia estratigráfica transicional, de intercalaciones de esquistos cuarzo-micáceos, esquistos cuarzo-calcáreos-micáceos , mármoles lenticulares piritosos grises, mármoles cuarcíticos, anfibolitas granatíferas y/o piritosas de tonos verdosos y cuarcitas de grano fino gris claro también lenticulares, conformando en conjunto un sinclinal asimétrico fallado y diaclasado hacia la parte noroeste de la mina, cuyo eje tiene un rumbo general Noroeste-Sureste y buzando hacia el sureste. No obstante, esta estructura sinclinal desaparece hacia la parte media de la cantera hacia el sureste donde la estratificación presenta un rumbo general NE con un buzamiento medio a moderado hacia el Sureste. Véase (Figura N° 3)



Figura N°3: Secuencia Litológica de Lente de Mármol y Esquistos (Cota 1040 Oeste De La Cantera, Mina 1)

Fuente: Canteras del Distrito Capital S.A.

Los flancos del sinclinal se presentan suavemente plegados en ambos costados del eje conformando secuencias de pequeños anticlinales y sinclinales destacados por las diferencias en los colores de las diferentes litologías de la formación geológica.

Hacia el sureste de la mina la estructura sinclinal desaparece y la secuencia en su conjunto adopta localmente una estructura monoclinial con inclinación general hacia el sur-este.

Secuencia Litológica

Localmente, la secuencia litológica consiste de tope a base (noroeste a sureste), de una intercalación de esquistos cuarzo-micáceos muy meteorizados de colores rojizos, un mármol masivo de grano medio, color gris claro con cristales de pirita, una intercalación de esquistos cuarcítico-muscovítico-grafitosos, lentes delgadas de mármol gris oscuro, Anfibolitas (a veces intercaladas paralela y concordantemente a la foliación de la secuencia y a veces claramente intrusionando a la misma), cuarcitas delgadas gris claro y una gruesa capa de esquistos muy cuarzosos, calcáreos, micáceos con pirita y muy compactos, que ha sido la fuente principal de roca para agregados que se ha extraído en esta mina.

Toda la secuencia expuesta en la cantera mide litoestratigráficamente, de tope a base, unos 280 metros de espesor, es decir, desde la cota 1.300 a 1.020, la cual ha sido intensamente fallada y diaclasada. La secuencia litológica continúa por debajo de la cota 1.020, pero debido a restricciones de orden ambiental, la explotación se hará tomando como base esta cota.

Descripción Litológica

El mármol de grano medio y de color gris oscuro, está formado en general de un 85-95% de calcita, con cantidades menores de cuarzo detrítico, muscovita (2,5%), grafito (2,5%) y pirita (2%), aunque en algunos lentes locales el mármol se observa con más del 90%) de calcita el cual se observa en sectores en forma de láminas de pocos centímetros de espesor junto con los esquistos que lo envuelven y también en espesores mayores, pero de pocos metros y de poca continuidad lateral (Figura N° 4).



Figura N°4: Afloramiento De Mármol Al Noroeste De La Mina 1
Fuente: Canteras del Distrito Capital S.A.

Los esquistos presentes son esencialmente: esquistos calcáreo-muscovíticos \pm grafitosos, esquistos cuarzo-muscovíticos \pm granatíferos, esquistos cuarzo-muscovítico-graucofánico-granatíferos, predominando en la secuencia los esquistos cuarzo-muscovíticos generalmente calcáreos.

Las rocas anfibólicas se observan como pequeños cuerpos hacia el noroeste de la cantera con estructuras de "boudinage" y con cristales de pirita. Hacia el sureste, existe un gran cuerpo de anfibolita con porfiroblastos de granate que se observan

especialmente en las zonas de contacto con los esquistos cuarzo-calcáreos que la envuelven.

Esta roca se distingue claramente por su color verdoso y porque se presenta en forma de una roca masiva, localmente sin foliación, muy compacta y está asociada, en sus zonas de contacto, con vetas y vetillas irregulares de cuarzo, calcita y/o cuarzo y calcita con pirita, que evidencian zonas de alteración de contacto de hasta medio metro de espesor.

También es importante hacer notar que en diferentes áreas de la cantera se encuentran depósitos aluvionales de material granular, específicamente, entre las cotas 1060 a 1080 en el sector Oeste de la cantera, entre las cotas 1.140 y 1080 al sur y centro de la cantera, al lado de las vías de acceso (Figura N°5). Este material por sus características granulares, puede constituir materia prima para la planta de arena.



Figura N°5: Depósito de aluvión granular-arcilloso. (Cotas 1060-1090 al oeste de la mina)
Fuente: Canteras del Distrito Capital S.A.

2.4. Labores Mineras

El sistema de explotación de Canteras del Distrito Capital S.A. se realiza a cielo abierto, con bancos diseñados acorde a los equipos de excavación adquiridos para la producción de agregados triturados, que permitan estos bancos la altura suficiente para una óptima excavación y productividad sin descuidar los parámetros básicos de seguridad al darle a cada frente la inclinación de los taludes a unos 70° aproximadamente y 12 metros de altura ya que la geología local fue altamente activa, lo que generó zonas de alto diaclasamiento, fractura de la roca y cambios litológicos. Además, la presencia de tres tipos de roca (caliza, anfíbolita y esquisto) presente en toda la excavación hace que se requieran extraer de varios frentes de explotación los diferentes materiales para ser mezclados en las plantas de trituración y obtener agregados gruesos de la mejor calidad posible.

Las rampas de acceso fueron diseñadas de tal forma que no sobrepasen el 10% de pendiente equivalente a los 9° de inclinación de cada terraplén. Respecto a los anchos de vías se diseñaron rampas de hasta 14 metros de ancho operativo para facilitar el acceso en doble vía de los camiones roqueros en ambas direcciones y también para el tránsito de los equipos livianos de manera segura, evitando inconvenientes de riesgo o que puedan retrasar el proceso productivo y garantizar la seguridad en toda la operación minera.

El proceso de producción de la empresa comienza con la etapa de arranque y extracción que consiste en la conformación de pisos o área casi horizontales para comenzar la etapa de perforación en cada sector programado en los diferentes bancos de caliza, actualmente se cuenta con dos sectores denominados mina 1 y mina 2, la mina 1 no tiene actividad alguna en los últimos doce años y la empresa se ha concentrado en mejorar y rediseñar la mina 2, con resultados muy positivos en los últimos años.

Una vez efectuada la perforación con la cuadrícula programada, se procede a la ejecución de la voladura controlada para generar el menor ruido y sobre presión de la onda al ambiente utilizando explosivos y accesorios de punta en el mercado minero venezolano como los son el ANFO, los BOOSTERS de Pentolita, los detonadores Ezdet y las emulsiones explosivas. Una vez que el banco es detonado, los equipos de carga y acarreo ingresan a los frentes de explotación, se utilizan cargadores frontales 988B Caterpillar y se incorporaron equipos a la extracción como las excavadoras hidráulicas R964 Liebherr, donde estos equipos cargan los camiones Caterpillar 769C, camiones XCMG FY30 y camión B40D Bell , para trasladar todo este volumen a las plantas de trituración para el proceso de producción de arena o agregados finos y a la planta de piedra para la producción de agregados gruesos.

El material de sobretamaño que haya quedado luego de la voladura primaria, aunque con la tecnología de punta en explosiones se ha disminuido mucho este aspecto, se estima que se procesen mediante la implementación de un martillo hidráulico rompedor como el equipo excavador 320B Caterpillar y un nuevo equipo adquirido excavadora R916 liebherr con martillo F22, mitigando así, las voladuras secundarias.

Ya estando el material en estas plantas, es llevado por retritución y clasificación a los tamaños comerciales que son arena, piedra 1", piedra $\frac{3}{4}$, polvillo y ripio o rechazo de la planta.

Finalmente, el Producto es despachado cargando los camiones externos o privados por las tolvas destinadas (Figura N° 7) para tal fin.



Figura N°7: Tolvas de Despacho de Producto Final
Fuente: Canteras del Distrito Capital S.A

CAPÍTULO III

MARCO TEORICO

3.1. Antecedentes

Van Zanten (2004), en su TEG: “Diseño de manejo de aguas de mina, en el pit baqueta de la mina paso diablo, estado Zulia, como aporte al desarrollo sustentable de la región”, en el estudio propone la construcción de obras de drenaje para conducción de aguas de mina y retención de sólidos en suspensión hídrica y elaboró curvas IDF para el dimensionamiento de la canalización de aguas de escurrimiento.

Delgado, Ronald (2011), en su TEG: “Plan de recuperación integral del talud lado sur: alternativas de mitigación ambiental en la Cantera el Melero, Estado Miranda”. Donde se establecieron los criterios necesarios para planificar la recuperación integral de la zona afectada. Estos fueron, cálculo de reservas basado en el diseño geométrico establecido en el área norte de la cantera, diseño de drenajes para el manejo de aguas de escorrentías, plan de revegetación y selección de especies vegetales a plantar.

Castillo, Alba (2017), TEA: “Control de sedimentos en minería venezolana a cielo abierto”: El trabajo de ascenso expone de forma resumida diversas investigaciones en minería y ambiente, especialmente acerca del transporte de sedimentos en suspensión hídrica, en minas a cielo abierto en el territorio nacional; persiguiendo a su vez promover cambios en la gerencias técnicas de operaciones mineras para adecuar la gestión ambiental en minería, especialmente en la protección de los cuerpos de naturales de aguas.

Cova, José (2018), en su TEG: “Proponer un diseño del sistema de

control integral de sólidos en suspensión hídrica en las áreas de operaciones mineras, con la finalidad de adecuar el sistema de control actual y proponer recomendaciones para la expansión del desarrollo minero”. El propósito es la propuesta de un sistema de control integral de sólidos en suspensión hídrica, previa cuantificación de la pérdida de suelo se efectuó mediante el método experimental de Parcelas de Erosión con Clavos y la aplicación del modelo RUSLE, (siglas en inglés de Revised Universal Soil Loss Equation).

Bastitas, Yllevic (2018), en su TEG: “Propuesta de rediseño del manejo de agua de Mina Colombia como aporte a la gestión integral de aguas, municipio el callao, estado Bolívar”. El objetivo principal de este trabajo es elaborar una propuesta de rediseño del manejo de aguas de mina Colombia como aporte a la gestión integral de aguas. La metodología empleada es de tipo descriptiva-correlacional bajo el enfoque de la gestión integral.

Gonzalez, Edgardy y Quintero, Jose (2020), Minería de Campo: Evaluación del tanque de decantación y propuesta de activación para mejorar la calidad del agua vertida a la quebrada de Mamera, proveniente de la arenadora de Planta III de Canteras de Distrito Capital, S.A. El objetivo principal es que a través del mejoramiento del control de sedimento de la empresa, el tanque de decantación pueda verter el agua transportada dentro de la cantera a la quebrada de Mamera mucho más libre de sedimentos, así como mejorar la situación socio económica de la empresa al disminuir la acumulación de sedimentos en la quebrada.

3.2. Bases Teóricas

3.2.1. Gestión minera de recursos hídricos

El agua afecta prácticamente todas las etapas del ciclo de vida de una mina. La minería más eficaz y rentable se maneja mediante un plan de gestión de agua exhaustivo que justifica todos los posibles usos del agua e incluye medidas de mitigación para controlar los riesgos de manera proactiva (Schlumberger Water Services, 2008).

3.2.2. Gestión Integral de Recurso Hidricos (GIRH)

Global Water Partnership (GWP, 2009), define la GIRH, como: “un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.” En otras palabras, la GIRH significa que todos los usos del agua deben ser considerados de forma integrada para su administración, aprovechamiento y conservación, siendo la unidad lógica de gestión, la cuenca hidrográfica. Lo anterior implica que la distribución del agua y las decisiones de gestión deben considerar los efectos de cada uno de los usos, sin detrimento entre ellos, buscando un equilibrio entre la extracción del agua del sistema hídrico, la alteración de la calidad del agua del sistema por descargas puntuales o difusas de aguas residuales y la búsqueda de soluciones conjuntas.

3.2.3. Manejo de Aguas de Mina

Según Sánchez (1995), el objetivo del drenaje superficial es mejorar la

estabilidad del talud, reduciendo la infiltración de agua que aumenta las presiones de poro, y reduce los esfuerzos efectivos entre las partículas de la masa mineral; reduce además e incluso evita la erosión hídrica. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar las aguas de escorrentía, tanto del talud, como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio adecuado; en lo posible, debe ser desviada lejos antes de que penetren a las estructuras susceptibles al deslizamiento de masa. Esto puede lograrse con la construcción de zanjas interceptoras en la parte alta del talud, denominadas zanjas de coronación. En problemas de taludes no se recomienda la utilización de conducciones de agua por tuberías debido a la alta susceptibilidad a agrietarse o a taponarse, generando problemas de infiltración masiva concentrada.

3.2.4. Sistema de drenajes en minas a cielo abierto y principales componentes

Un sistema de drenaje tiene por objetivo proporcionar la recolección, transporte y lanzamiento final de aguas de escurrimiento superficial de modo que la integridad de los terrenos y las características de los cuerpos de agua receptores sean preservadas. De esta forma, el drenaje tiene por objetivo el control de la erosión, la minimización de la colmatación y la mantención de la calidad física y química de los cuerpos de agua receptores.

Según Sánchez (1995), los principales componentes para un sistema de drenaje están constituido por (Figura N°8):

- Una o más canaletas perimetrales implantadas en torno de la cava, de las pilas de estéril, eventualmente de las cuencas de desecho y de las áreas de apoyo operativo, con el objetivo de reducir la cantidad de agua de

escurrimiento superficial que penetra el área de operación.

- Canaletas longitudinales instaladas en las áreas más susceptibles a la erosión tales como taludes de corte en suelo, en las cavas, taludes de corte y de relleno de caminos y, principalmente de pilas de estéril; son canaletas en general implantadas al pie de los taludes y que recogen el agua que se escurre por ellos y por las cunetas.

- Canaletas transversales instaladas conjuntamente con las longitudinales, conducen las aguas recogidas en las cunetas hacia cotas inferiores.

- Cajas de pérdida de energía, que tienen la función de disminuir la energía cinética de las aguas que escurren por el sistema; están instaladas en la base de las canaletas transversales.

- Cuencas de decantación, instaladas en los puntos más aguas abajo de la mina, como por ejemplo al pie de las pilas de estéril, con el objetivo de promover la sedimentación de las partículas sólidas antes del lanzamiento de las aguas a los cuerpos receptores.

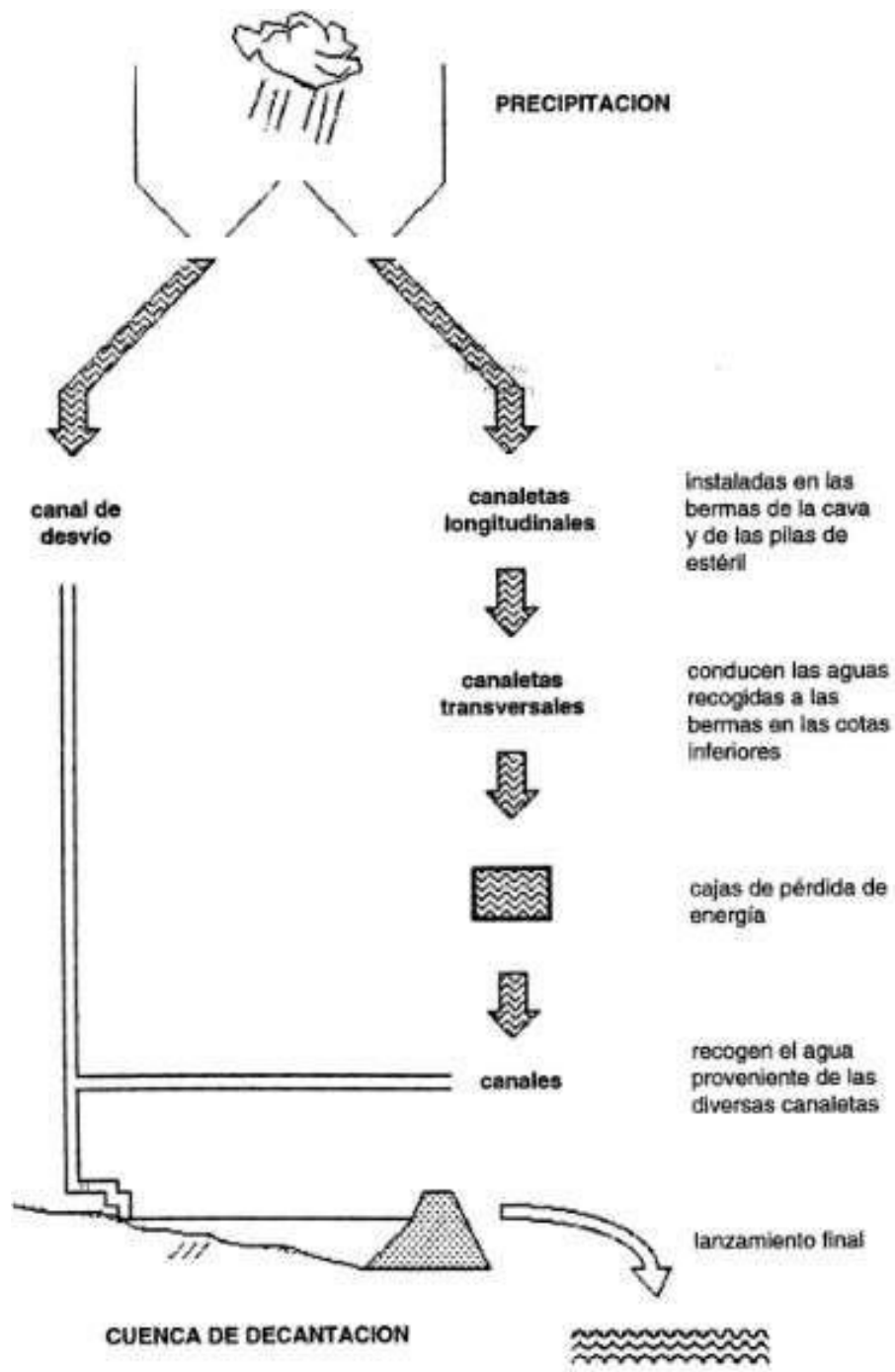


Figura N°8: Sistema de Drenaje.

Fuente: extraído de Drenajes de Minas a Cielo Abierto. Sánchez Luis 2012.

3.2.5. Criterios hidrológicos para el dimensionamiento de los drenajes

Para el dimensionamiento del sistema es necesario conocer el caudal afluente, particularmente en el caso de las cuencas de decantación. Ese caudal puede ser calculado a través de la fórmula racional, multiplicándose el total de agua precipitada en la cuenca de drenaje por el coeficiente de descarga; la cantidad de agua precipitada, a su vez, puede ser asumida como el producto de la intensidad pluviométrica (en milímetros de lluvia por unidad de tiempo) por el área de drenaje (Sánchez Luis, 2012). De esta forma, la expresión de la ecuación racional será:

$$Q = \frac{C * i * A}{3,6} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

Q = caudal (m³/s);

C = coeficiente de descarga (no dimensional);

i = intensidad de precipitación pluviométrica (mm/h);

A = área de la cuenca de drenaje (km²)

El caudal obtenido dependerá del tipo de precipitación utilizado, o sea, de cuál es la intensidad pluviométrica adoptada. Sólo presentan interés en el dimensionamiento de sistemas de drenaje los caudales de pico. El período de retorno deberá adoptarse en función del tipo de la obra. Evidentemente no tiene sentido dimensionar una cuenca de decantación en una mina, que tiene una vida útil limitada,

por lluvias decamilenarias, siendo razonable utilizar valores de 10 a 100 años dependiendo del tipo de estructura, de su porte y de los riesgos ambientales aguas abajo.

Ya el vertedero de una represa de desechos no debe ser dimensionado para períodos de 10 años, pues las consecuencias de un accidente en general son más graves. Además, las estructuras deben permanecer íntegras luego de la desactivación de la empresa, lo que no es el caso de cuencas de decantación que deben ser objeto de medidas de rehabilitación. Períodos de retorno de 1000 e inclusive de 10000 años son recomendados para represas de desechos.

El sistema de drenaje de pilas de estéril debe presentar también, buenas condiciones de funcionamiento luego de su desactivación. Sin embargo, la situación más crítica es al comienzo de su implantación, cuando los taludes y cunetas no fueron cubiertos todavía con nueva vegetación. A largo plazo, suponiendo un método constructivo adecuado, la pila debe presentar un buen drenaje interno y protección contra la erosión en superficie, de forma que el coeficiente de descarga disminuirá y los caudales serán menores.

3.2.6. Ciclo Hidrológico

La minería es una actividad que durante su fase de explotación genera un conjunto de cambios en el medio físico en donde se ejecute, entre ellos tenemos: la alteración de los recursos naturales, la contaminación de las aguas, entre otros; que a su vez originan permutaciones en el desarrollo del ciclo hidrológico.

Es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales,

condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación (Figura N°9).

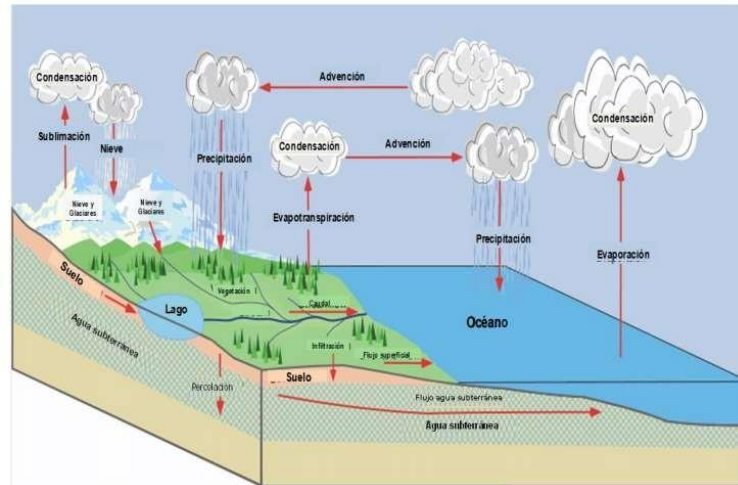


Figura N°9: Representación del Ciclo Hidrológico.

Fuente: www.eoearth.org/article/Hydrologic_cycle, adaptado por Ordoñez, 2011

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento). Chereque, 1989, se entiende como el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (superficial, sub-superficial, subterránea, etc.).

3.2.7. Sistema hidrológico

Guevara y Cartaya, 1991, definen que los fenómenos hidrológicos son muy complejos, por lo que nunca pueden ser totalmente conocidos. Sin embargo, a falta de una concepción perfecta, se pueden representar de una manera simplificada mediante el concepto de sistema (Figura N°10).

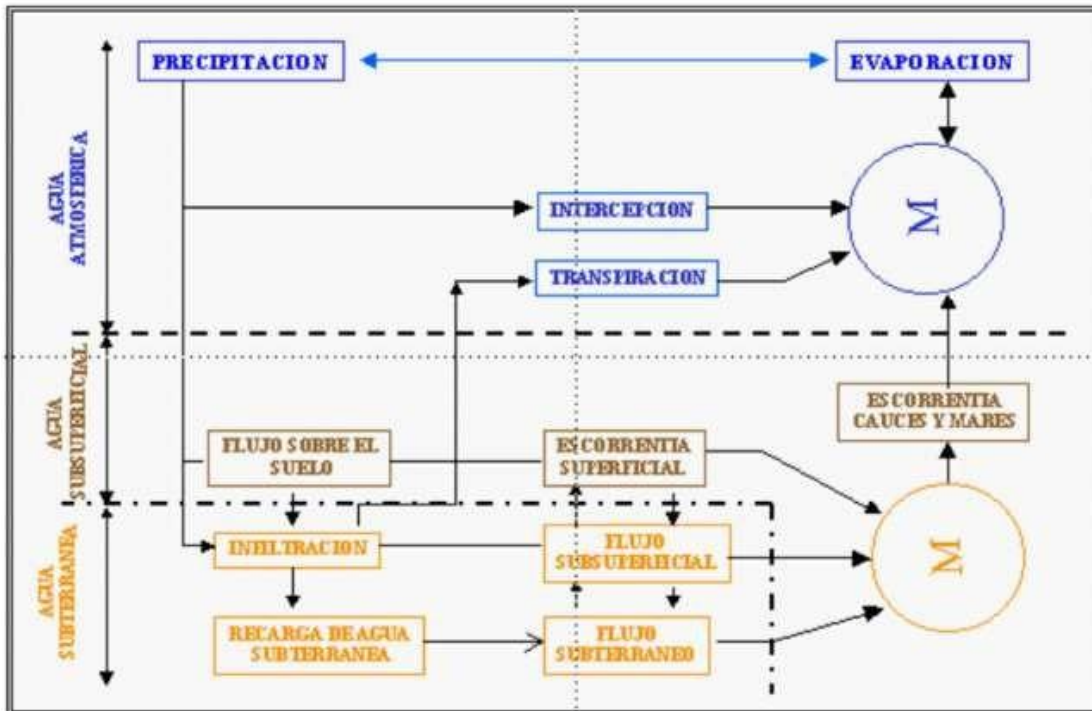


Figura N°10: Representación del Sistema Hidrológico.

Fuente: Estrela, 1992.

Un sistema viene a ser un conjunto de partes diferenciadas que interactúan como un todo. El ciclo hidrológico podría considerarse como un sistema, cuyos componentes son: precipitación, evaporación, escorrentía, y las otras fases del ciclo.

Precipitación

Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental (Musy, 2001). Para la formación de la precipitación se requiere la condensación del vapor de agua atmosférico. La saturación es una condición esencial para desbloquear la condensación. Los varios procesos termodinámicos son convenientes para realizar la saturación de las partículas atmosféricas inicialmente no saturadas y causar su condensación:

- Saturación y condensación isobárica (a presión constante),
- Saturación y condensación por presión adiabática,
- Saturación y condensación por presión de vapor de agua,
- Saturación por mezcla y turbulencia.

Existen diferentes tipos de precipitación: precipitación convectiva, precipitación orográfica y precipitaciones frontales, tal como se puede apreciar en la Figura N°11.

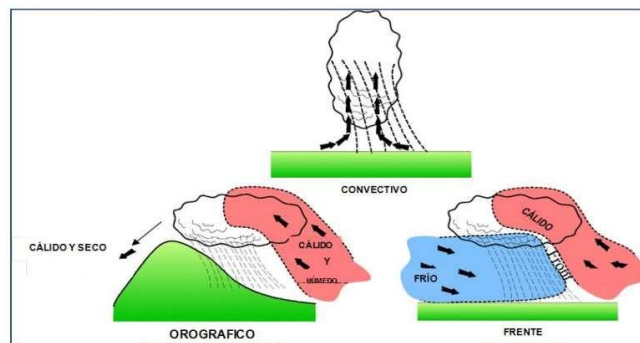


Figura N°11: Principales tipos de precipitación: convectiva, orográficas y frontales

Fuente: Musy, Andre, 2001.

Evaporación

Se define como el proceso mediante el cual se convierte el agua líquida en un estado gaseoso. La evaporación puede ocurrir solamente cuando el agua está disponible. También se requiere que la humedad de la atmósfera sea menor que la superficie de evaporación (a 100% de humedad relativa no hay evaporación más) (Figura N°12). El proceso de evaporación requiere grandes cantidades de energía. Por ejemplo, la evaporación de un gramo de agua a una temperatura de 100 ° Celsius requiere 540 calorías de energía de calor (600 calorías a 0 ° C).

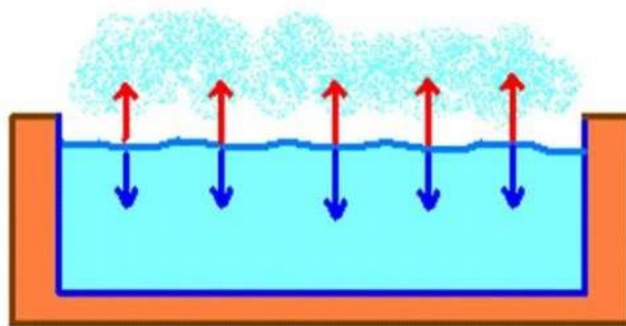


Figura N°12: Evaporación.

Fuente: www.sitiosolar.com

Condensación

El cambio en el estado de la materia de vapor a líquido que se produce con el enfriamiento. Normalmente se utiliza en meteorología cuando se habla de la formación de agua líquida en vapor. Este proceso libera energía de calor latente para el medio ambiente (Figura N°13).

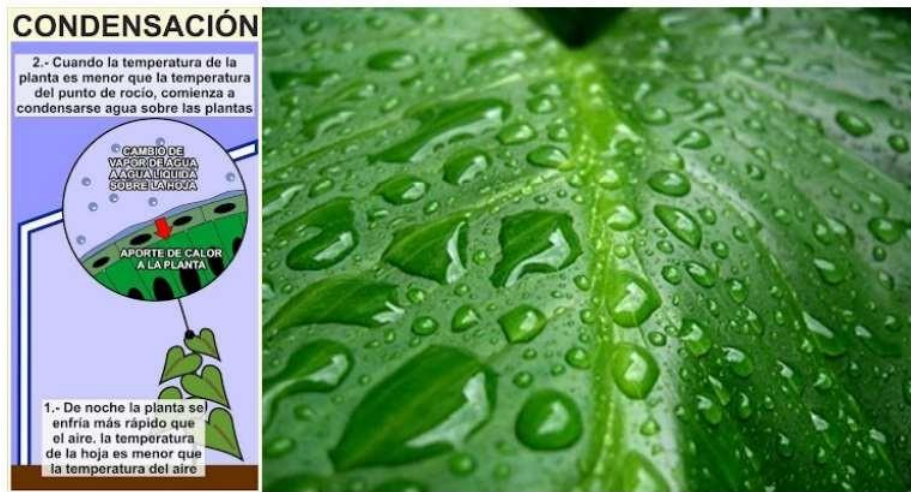


Figura N°13: Condensación

Fuente: <http://www.bancodeimagenesgratis.com/2010/08/gotas-de-rocio-sobre-las- hojas-verdes-7.html>
<http://elhocino-adra.blogspot.com/2012/03/calor-latente-una-de- fantasmas-fisicos.html>

Transpiración

Es la evaporación a través de las hojas. El proceso fisiológico de alimentación de las plantas se efectúa mediante el paso de ciertas cantidades de agua, portadoras de los alimentos, por el interior de ellas y ese tráfico solamente es posible gracias a la transpiración. (Figura N° 14).

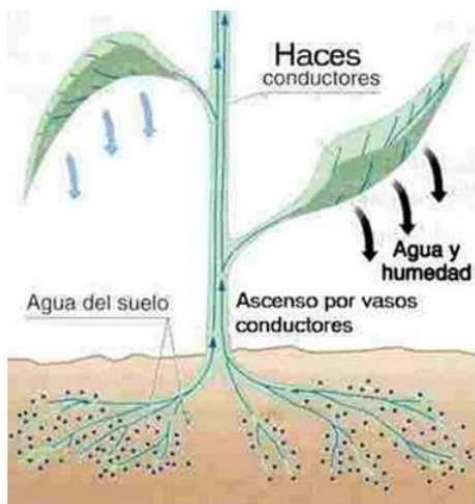


Figura N°14: Transpiración

Fuente: www.biogeodemagallanes

Intercepción

Es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal (Figura N°15) o los tejados, en general, parte de esta agua interceptada nunca alcanza al suelo porque se adhiere y humedece estos objetos y se evapora.

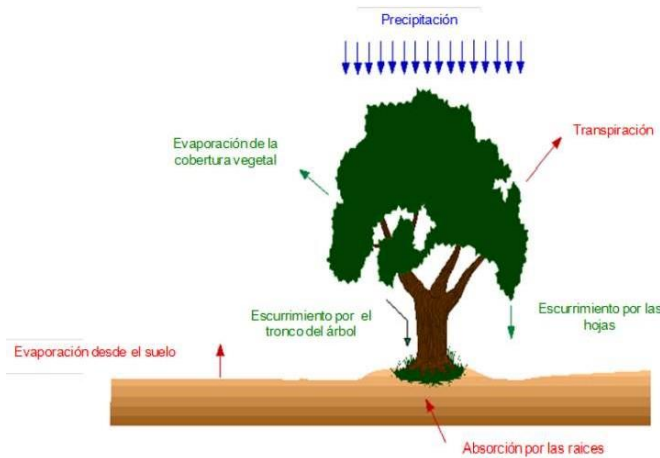


Figura N°15: Componentes que intervienen en la intercepción.

Fuente: Musy, André, 2001.

Infiltración del suelo

Es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo (Ver Figura N°16). La tasa de infiltración, en la ciencia del suelo, es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación. Se mide en pulgadas por hora o milímetros por hora. Las disminuciones de tasa hacen que el suelo se sature. Si la tasa de precipitación excede la tasa de infiltración, se producirá escorrentía a menos que haya alguna barrera física. Está relacionada con la conductividad hidráulica saturada del suelo cercano a la superficie. La tasa de infiltración puede medirse usando un infiltrómetro.



Figura N°16: Infiltración del Suelo.

Fuente: http://webs.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/esc_sub_infiltracion.html (Universidad Complutense de Madrid).

Escorrentía superficial

Es la porción de lluvia que no es infiltrada, interceptada o evaporada y que

fluye sobre las laderas. En realidad, la escorrentía superficial, la infiltración y la humedad del suelo son interactivas entre sí, por tal motivo se debe tener cuidado en seleccionar el modelo adecuado para cada caso (Figura N°17).

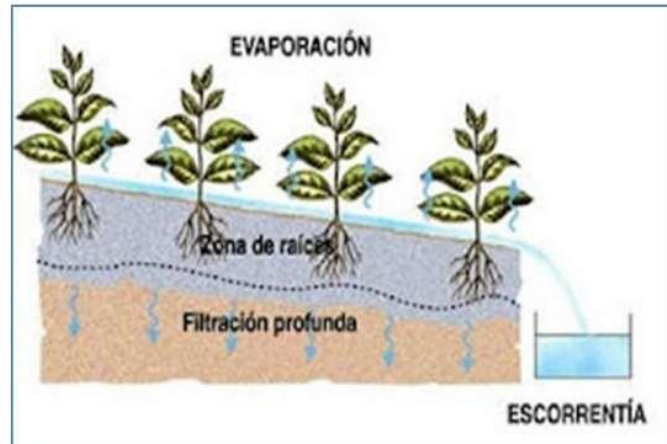


Figura N°17: Escorrentía superficial

Fuente: www.mariagdc93.blogspot.c

Escorrentía subsuperficial

Es el agua que ha sido previamente infiltrada y no alcanza el almacenamiento subterráneo o acuífero, por lo tanto, debe ser considerada como parte de la escorrentía.

3.2.8. Erosión, agentes erosivos y tipos de erosión

Usualmente, la erosión es considerada como un proceso más de la degradación de los suelos. Sin embargo, en términos más rigurosos, debería diferenciarse entre los mecanismos de degradación o deterioro y los de pérdida del recurso. Entre los últimos cabría citar la erosión y el sellado, mientras que entre los primeros el resto de los generalmente mentados en la literatura (contaminación, compactación, salinización, etc.). Debido a que el suelo no es un recurso natural

renovable a escala humana, su pérdida por erosión o sellado puede considerarse irreversible. En consecuencia, el problema ambiental que genera debe abordarse mediante medidas preventivas. Por el contrario, la degradación también suele admitir técnicas de rehabilitación. En la presente contribución desglosaremos los tipos de procesos que denominamos erosivos.

La erosión no es un proceso en sí mismo, sino la manifestación fenomenológica de una multitud de procesos que dan lugar a la pérdida del recurso suelo, sin que intervenga el sellado por infraestructuras y urbanismo. Así, una clasificación muy general permitiría discernir entre erosión hídrica, eólica y por laboreo. Las dos primeras también acaecen en condiciones naturales. Sin embargo, el hombre, mediante prácticas, tiende a acelerarla, hasta el punto de que las pérdidas no pueden ser compensadas por las tasas naturales de formación del suelo. Es en estas situaciones en donde se produce un grave problema ambiental. En casos extremos, puede llegar a generar la denominada desertificación, que no es más que la manifestación fenomenológica de la pérdida o degradación del suelo bajo ambientes áridos, semiáridos y seco-subhúmedos.

Por el contrario, la erosión por laboreo es un fenómeno genuinamente antrópico, ya que no intervienen directamente las fuerzas naturales (a excepción de la gravedad), sino la intervención humana a través de sus prácticas y tecnologías. La magnitud de este último proceso erosivo tan solo ha comenzado a ser reconocida recientemente, como ha ocurrido también con el sellado por asphaltización.

3.2.8.1. Agentes erosivos

A continuación, se describen algunos aspectos importantes relativos a los factores que o bien aceleran o bien controlan y regulan la erosión hídrica, dentro de los cuales se tiene la precipitación, las características topográficas, las características edáficas intrínsecas y la cubierta vegetal (Alberto Cabezas, 2011).

- **Lluvia:** la lluvia o precipitación es considerada la principal fuente de agua sobre el terreno; de su cantidad, intensidad y frecuencia depende el volumen de flujo que se desliza en capas uniformes.
- **Pendiente del terreno:** en condiciones normales, sería de esperar que la erosión se incrementara conforme lo hicieran el grado y la longitud de la pendiente, como resultado de los respectivos incrementos en velocidad y volumen de la escorrentía superficial. Además, mientras en una superficie plana el golpeteo de las gotas de lluvia arroja las partículas de suelo al azar en todas las direcciones, en condiciones de pendiente inclinada más suelo es salpicado hacia abajo de ella que hacia arriba incrementándose la proporción conforme lo hace el grado.
- **Material Parental:** la importancia del material parental en el análisis del fenómeno erosivo estriba en los rasgos hereditarios que de él se derivan en los suelos conforme avanza el proceso de meteorización.
- **Características internas de los suelos:** si bien han sido mencionados algunos de los factores de primera importancia en la explicación del fenómeno erosivo, es indudable el papel que cumplen algunas propiedades de los suelos -principalmente físicas- como coactores en tal fenomenología. Debe destacarse entonces el efecto que tienen sobre el proceso de infiltración la textura, el contenido de materia orgánica y la estructura del suelo, al imprimirle diferentes características de permeabilidad y erodabilidad. Ejemplo de su importancia se refleja en la consideración expresa de que son objeto en modelos paramétricos a efectos de estimar las pérdidas de suelo; este es el caso de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS) de Wischmeier y Smith, en la cual el factor K o de erodabilidad del suelo se determina a través de nomogramas que consideran las características textura, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad.

- **Vegetación:** la cubierta vegetal se desempeña como agente regulador en los fenómenos erosivos, controlando los excesos de agua en el perfil del suelo, disminuyendo las velocidades del flujo de escurrimiento e integrando el suelo como masa unitaria, entre otros beneficios. Sin embargo, su papel es variable de acuerdo a las características de porte, enraizamiento, hábito y velocidad de crecimiento, etc.; incluso en ocasiones puede favorecer las condiciones de inestabilidad de las laderas, como más adelante se anotará.

3.2.8.2. Tipos de procesos erosivos y cuantificación

Según Ibáñez Juan (2006), la erosión del suelo incluye varios procesos diferentes. Su caracterización y definición permite llegar a la siguiente clasificación:

Calificación de los procesos erosivos

- **Impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo:** dispersión de los agregados del suelo en sus partículas elementales (texturales. Puede formarse una costra superficial o un sello (sellado) que impide una adecuada infiltración del agua generando su pérdida por escorrentía superficial.
- **Erosión Laminar:** pérdida de suelo generada por circulación difusa del agua de escorrentía.
- **Erosión en Surcos:** suelo arrastrado por el flujo del agua que se canaliza y jerarquiza generando surcos.
- **Erosión en Cárcavas:** suelo arrastrado por el agua que, al generar cárcavas, estas suelen comenzar en forma de surcos.
- **Erosión en Badlands:** erosión en cárcavas profundas generaliza, que llega a eliminar toda la capa de suelo dando lugar a un paisaje “abarrancado”.

- **Erosión por sufusión (Piping):** desarrollo de una red de drenaje sub-superficial que termina por colapsarse. Suele acompañar a los paisajes de “Badlands”.
- **Bio- erosión:** erosión de las capas sub-superficiales del suelo causada por la acción de organismos vivos.
- **Erosión Mecánica:** pérdida de suelo causada por las labores de la labranza.
- **Nivelamiento del Terreno:** pérdida de suelo debida a la modificación humana del perfil original de una ladera o la construcción de terrazas.
- **Erosión de los cauces fluviales:** génesis de paisajes fluviales por incisión de las aguas pluviales o por el desplazamiento lateral de los propios cursos (erosión de márgenes fluviales).
- **Erosión costera o litoral:** erosión debida al efecto del oleaje y las mareas, por la que el mar gana terreno en detrimento de las superficies emergidas.
- **Erosión Glaciar:** génesis de los paisajes fríos, glaciares y periglaciares a causa de los flujos de hielo. Su avance suele acarrear la pérdida total de los suelos.
- **Desplazamiento de masas someras:** desplazamiento de suelo y a veces regolito que deja una cicatriz en hondonada y un lóbulo frontal sobresaliente. A menudo, muchos deslizamientos someros evolucionan hacia flujos de castlos (piedras, cantos, bloques de rocas). En principio, si no actúa otros procesos erosivos se puede hablar más de desplazamiento que de pérdida del recurso.
- **Erosión Eólica o deflación:** pérdida del suelo debido al efecto erosivo del viento consiguiente arrastre de los materiales edáficos arrancados.
- **Erosión Eólica (corrosión):** desprendimiento de partículas (abrasión) debido al impacto de partículas previas suspendidas o arrastradas por el viento que genera modelados o esculpidos muy característicos y a veces

bellos que reciben diversas denominaciones.

3.2.9. Suelo, tipos de suelos y densidad aparente del suelo

El suelo, según INIA Tacurembo (2015), es la capa superficial de la tierra y constituye el medio en el cual crecen las plantas. Es capaz de aportar los nutrientes fundamentales para el crecimiento de los vegetales y almacenar agua de lluvias cediéndola a las plantas a medida que la necesitan.

El suelo se extiende tanto en superficie como en profundidad; consta de varias capas llamadas horizontes, aproximadamente paralelas a la superficie.

Cada uno de los horizontes del suelo tiene distintas propiedades físicas y químicas, lo que se refleja en su aspecto. Al conjunto de horizontes de un suelo se le llama perfil (Figura N° 18).

Horizonte O: representa la parte superior del suelo, cubierta por materia orgánica fresca o parcialmente descompuesta, bajo unas condiciones aeróbicas. Es característico de los suelos formados en áreas forestales.

Horizonte A: es un nivel de color oscuro constituido por materia orgánica mezclada con material detrítico y en el cual la arcilla, los carbonatos, el hierro y el aluminio son mayoritariamente eliminados y transferidos por eluviación y lixiviación hacia horizontes más profundos.

Horizonte B: está caracterizado por un enriquecimiento en arcillas, hierro y aluminio, mediante eluviación o precipitación; también presenta humus, que a menudo se encuentra finamente dividido.

Horizonte C: está constituida por debajo de la zona de mayor actividad biológica. Mantiene características de la roca madre, que se encuentra fracturada, alterada por oxidación o, a veces, vuelta a cementar por carbonato, yeso, óxidos de hierro u otros materiales solubles.

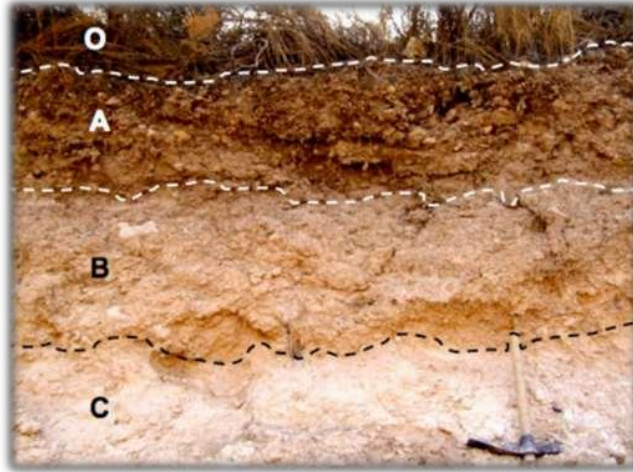


Figura N°18: Horizontes del suelo.

Fuente: INIA Tacurembo 2015.

3.2.9.1. Tipos de suelos

Suelos Zonales

Son aquellos que se forman cuando la influencia del clima domina sobre los demás factores, son suelos maduros y evolucionados. Ejemplos:

- **Suelos de latitudes altas**

Son suelos poco desarrollados, frecuentemente con una capa superficial helada, permafrost, que solo se deshiela en el corto verano, la vegetación es muy pobre a base de musgos, líquenes y algún arbusto; son los suelos de la tundra.

- **Suelos de latitudes medias:**
 - **Podsoles (suelos de taiga):** son suelos de clima frío o templado fresco, donde las abundantes precipitaciones provocan un lavado intenso del horizonte A. son suelos ácidos (las abundantes precipitaciones y la gran cantidad de humus de descomposición muy lenta provocan la acidez), con humus poco elaborado (las bajas temperaturas enlentecen la descomposición de la materia orgánica). El fuerte lavado al que se somete el horizonte A provoca que sea de color claro (podsol significa ceniza en ruso) y un horizonte B rico en minerales. Son suelos fértiles y suelen sustentar grandes bosques de coníferas (taiga) como abetos, pinos.
 - **Los suelos desérticos:** son pobres, carentes casi por completo de materia orgánica, son esqueléticos, costrosos o salinos. En zonas de clima extremo como la baja temperatura (tundra) o escasez de precipitaciones (desierto) los suelos no pueden formarse bien (horizontes mal definidos).
 - **Chernozen o chernozem (suelos negros esteparios):** se encuentran en las praderas de Europa Oriental con clima continental. De color negro con un horizonte A muy grueso y rico en materia orgánica (mueren muchas plantas en el período seco y no se descomponen con facilidad por la poca humedad) y sin horizonte B. No sustenta vegetación arbórea, sino herbácea y son muy fértiles. Es el suelo característico de las zonas de pradera y pastizales que ocupan grandes extensiones en Rusia, EEUU y Argentina. Son zonas continentales de veranos cálidos e inviernos fríos. Los períodos de sequía con fuerte evaporación resecan el suelo y los bosques no pueden subsistir. Por el contrario, abundan las gramíneas, que pueden soportar la sequedad.
 - **Suelos pardos:** caracterizados por presentar los horizontes A y B bien diferenciados. Sobre estos suelos se desarrolla una vegetación de árboles de hoja caduca (roble, haya, arce) por eso es abundante la materia orgánica. Las raíces de estos árboles absorben los cationes del horizonte B y los devuelven a la

superficie en forma de hojas secas. Este hecho, unido al ascenso iónico por capilaridad durante la estación seca, contribuye a la recuperación de cationes del suelo. También se forman suelos pardos en las zonas mediterráneas (suelos pardos mediterráneos) con vegetación de arbustos y encinas, pero más pobres en humus (debido a que el clima subárido no facilita el desarrollo de la vegetación) que los correspondientes a las áreas de bosque denso. También se encuentran los suelos rojos mediterráneos (terra rossa), en los que el clima seco crea condiciones oxidantes que proporcionan el color rojo. Son arcillosos, con un nivel B bien desarrollado y más pobres en materia orgánica que el anterior.

Suelos de latitudes tropicales y ecuatoriales:

Suelos lateríticos: se dan en climas cálidos con abundantes precipitaciones (clima ecuatorial, suelos de selvas tropicales). Debido a la alta temperatura y humedad son suelos de gran espesor por la intensa meteorización química. Sobre ellos se desarrolla una abundante vegetación, pero la elevada temperatura (25°C) y la intensa precipitación favorecen de tal manera la actividad bacteriana que la descomposición de la materia orgánica excede siempre a la acumulación de humus; por lo cual, el horizonte A es muy delgado y desprovisto de materia orgánica. La ausencia de humus propicia un pH básico (8), lo cual hace que los óxidos de aluminio y hierro sean prácticamente insolubles, en tanto que la sílice se hace soluble, de forma que las arcillas son destruidas y el hierro y el aluminio se acumulan progresivamente en el horizonte B en forma de óxidos e hidróxidos, dando lugar a una costra de gran dureza denominada laterita. La fertilidad de estos suelos es muy baja (hay mucha vegetación por la rápida descomposición y reciclaje de la materia, pero si se deja de aportar constantemente materia de los restos de seres vivos como sucedería con una deforestación antrópica, el suelo sería muy poco productivo.

Suelos intrazonales

Son aquellos condicionados por factores distintos al clima como son la roca madre o un mal drenaje (encharcamiento), es decir, el clima no es el factor predominante en la formación de estos suelos.

Leptosoles: debido a la roca madre:

- **Ranker (o leptosoles umbricos):** aparecen cuando la roca madre es silícea (granito, gneis, esquistos...).
- **Rendzinas (o leptosoles rendsicos):** cuando la roca madre es caliza (Ca CO₃).

Suelos halomorfos o Suelos salinos: suelos con muchas sales.

Suelos hidromorfos: debido al encharcamiento:

- **Gley:** Se caracterizan por permanecer encharcados y saturados de agua la mayor parte del año. En estas condiciones no se produce ni la lixiviación ni el ascenso por capilaridad. Por otra parte, el hierro no puede oxidarse (medio anaerobio) al no entrar en contacto con el aire, acumulándose en estado ferroso y dando lugar a coloraciones verdosas o gris azulada (gley).
- **Turberas:** En suelos encharcados la materia orgánica se acumula en superficie y cuando la vegetación es abundante, llegan a formarse las turberas, en las cuales se alcanzan condiciones anaeróbicas que permiten la conservación del carbono (la turba es rica en C).

Suelos azonales.

Suelos no evolucionados, son formados en fuertes pendientes o sobre materiales recientes, por lo tanto, son poco desarrollados e inmaduros.

- **Litosuelos:** fuertes pendientes, en los que la erosión es muy intensa.
- **Regosoles:** sobre materiales recientes (dunas, aluviones...), son suelos conformados por materiales sueltos no consolidados carentes de horizontes, como suelos arenosos, en los que el agua se infiltra con rapidez, sin producir apenas meteorización química ni la aparición de un manto importante de vegetación.

3.2.9.2. Densidad aparente del suelo

La organización de las partículas individuales del suelo en unidades mayores hace que el suelo sea un medio poroso, lo que permite establecer dos tipos de densidades, la densidad de las partículas (minerales y orgánicas) o densidad real y la del suelo en su conjunto o densidad de volumen o aparente (Porta y cols., 2008).

La densidad de las partículas, o densidad real, corresponde al peso de la unidad de volumen de los sólidos del suelo. Se determina obteniendo el peso seco de la muestra del suelo y el volumen ocupado por los sólidos de la muestra. El volumen se halla por medio de un aparato denominado picnómetro, y el procedimiento corresponde a la aplicación del principio de Arquímedes, es decir, determina qué volumen de líquido desplazan los sólidos al ser sumergidos.

Su cálculo sería el siguiente:

$$D.r \left(\frac{g}{cm^3} \text{ ó } \frac{Mg}{m^3} \right) = \frac{\text{Peso de los sólidos de la muestra o peso seco}}{\text{Volumen de los sólidos de la muestra}}$$

Su valor cambia en función del tipo de minerales del material madre y de la cantidad de materia orgánica del suelo. Puesto que la materia orgánica pesa mucho menos que un volumen igual de sólidos minerales, la cantidad de ese constituyente en

un suelo afecta marcadamente a la densidad de las partículas. Como consecuencia, los suelos superficiales poseen generalmente una densidad de partículas más baja que la del subsuelo (Buckman y Brady, 1977) (Tabla 1). La densidad de diversos minerales de formación del suelo es muy parecida. La mayoría de los suelos tienen un promedio de aproximadamente 2,65 g.cm-3 (Plaster, 2004) que corresponde al peso ponderado de las partículas minerales constituyentes más comunes y a un contenido bajo de materia orgánica (Cuadro N°5).

Materiales de los suelos	Densidad Aparente
Minerales de arcilla	2,00-2,60 Mg.m-3
Cuarzo, Feldespato	2,50-2,60 Mg.m-3
Minerales con elementos metálicos	4,90-5,30 Mg.m-3
Horizontes minerales	2,60-2,75 Mg.m-3
Horizontes orgánicos	1,10-1,40 Mg.m-3
Horizontes ricos en metales pesados	2,75 Mg.m-3
Valor medio para suelos minerales	2,65 Mg.m-3

Cuadro N°5: Valores de densidad real de los principales materiales y horizontes edáficos.
Fuente: Porta y Cols., 1999.

3.2.10. Método de Medición de Erosión Hídrica

La medición directa de los cambios en el nivel del suelo resulta adecuada cuando la erosión está localizada, los índices de erosión son elevados y la posición de la erosión es predecible, como en las tierras en pendiente deforestadas, o los pasos del ganado a través de los pastizales.

Mediciones Localizadas

Los resultados de las mediciones individuales de los cambios de nivel en un punto único varían considerablemente, pero este es un método sencillo y de bajo

costo que permite establecer una muestra de un gran número de puntos y obtener una estimación válida.

- **Varillas para la medición de la erosión**

Según FAO (1997), este método ampliamente utilizado consiste en clavar en el suelo una varilla medidora de manera que en su parte superior se puedan "leer" los cambios en el nivel de la superficie del suelo. Conocidas con diversos nombres como postes, estacas y otros, las varillas pueden ser de madera, hierro o cualquier otro material que no se deteriore, que sea fácil de obtener y barato. Las barras de hierro redondas utilizadas para reforzar el hormigón pueden utilizarse a un costo reducido. En algunos países en desarrollo, es posible que las cañas de bambú cortadas puedan ser más adecuadas (Figura N° 19) y menos codiciadas por los extraños.

La varilla debe ser de una extensión que se pueda clavar en el suelo para obtener un dato concreto: 300 mm es una longitud corriente, puede ser menor si se trata de un suelo poco profundo o mayor si se trata de un suelo suelto. Es preferible que tenga un diámetro de unos 5 mm, ya que un espesor mayor puede interferir con la corriente de superficie y provocar su desgaste. Un dispositivo rectangular o cuadrado dará una distribución al azar de puntos con un espaciamiento adecuado para la zona que se está estudiando.

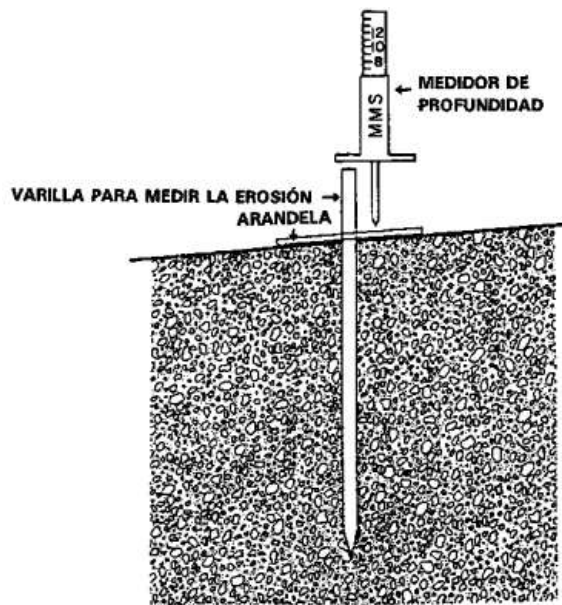


Figura N° 19: Varillas para medir el cambio del nivel de la superficie
Fuente: Métodos de Reconocimiento: Mediciones localizadas, FAO, 1997.

3.2.11. Erosión Media y Sedimentación Media

La erosión media se estima al sumar los incrementos en altura, medidos entre el tiempo i y el tiempo $i+1$, de todos los clavos de la parcela que denotaron la presencia de procesos erosivos, dividida esta sumatoria por el total de clavos presentes en la parcela. Esto define una altura de erosión promedio que normalmente se expresa en milímetros. Si este valor se transforma a metros y se multiplica por los 10.000 m que posee una hectárea, se tendrá una estimación de la erosión en m^3/ha . Asimismo, si este valor se multiplica por la densidad aparente del suelo, se tiene la expresión de la erosión en toneladas por hectárea de superficie.

Del mismo modo, es posible calcular la sedimentación producida en la parcela, pero considerando como sumatoria el valor decremental de la altura del clavo, lo que significa que se han verificado procesos de sedimentación. Así también, la sumatoria de los milímetros de los clavos que mostraron sedimentación, es dividida por el total de clavos de la parcela. Para llevar la expresión a m³/ha o ton/ha, se procede de igual forma a como se hizo con la erosión.

La expresión matemática que determina estos procesos, planteada por Cuitiño (1999) y posteriormente redefinida por Pizarro y Cuitiño (2002), se presenta a continuación:

$$X = Y * Da * 10 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

X = Suelo erosionado o sedimentado (ton/ha).

Y = Altura media de suelo erosionado o sedimentado (mm).

Da= Densidad aparente del suelo (ton/m³).

3.2.12. Erosión Neta

Se denomina como erosión neta (En) a la diferencia entre la erosión y la sedimentación ocurrida en una ladera, expresada en metros cúbicos por hectárea o toneladas por hectárea (Cuitiño, 1999). Se expresa como:

$$En = E - S \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

E_n = Erosión neta (ton/ha).

E = Erosión media de la parcela (ton/ha).

S = Sedimentación media de la parcela (ton/ha).

3.2.13. Suelo Movilizado

Se habla de suelo movilizado al cuantificar tanto la erosión media como la sedimentación ocurrida. La expresión matemática permite describir la totalidad de suelo que se movilizó en el terreno, en toneladas por hectárea (Cuitiño, 1999). Su expresión matemática es:

$$S_m = E + S \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

S_m = Suelo movilizado (ton/ha).

E = Erosión media (ton/ha).

S = Sedimentación media (ton/ha).

Basándose en el principio de medición de las parcelas con clavos de erosión, Hudson (1997) sugiere otros métodos factibles de aplicar como el pintar líneas por encima del nivel del suelo alrededor de rocas, de raíces de árboles o de cualquier otro elemento firme y estable. La erosión revelará una banda no pintada por debajo de la línea marcada, indicando pérdida de suelo. Asimismo, la instalación de cuellos de botella o evidenciar montículos de material en torno a árboles o a sus raíces, luego del paso de escorrentías, son otras iniciativas que permiten identificar impactos ambientales, pero no son tan precisas en las estimaciones.

3.2.14. Estimación de pérdida del suelo

Para la estimación de pérdida de los suelos, se han desarrollado varios métodos empíricos que permiten el cálculo de la erosión, según Williams y R. Srinivasan entre ellos tenemos:

Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (Universal Soil Loss Equation - USLE)

Es un método que utiliza seis factores: erosividad de la lluvia (R), susceptibilidad de erosión del suelo (K), largo de la pendiente (L), magnitud de la pendiente (S), cubierta y manejo de cultivos y residuos (C), y prácticas de conservación (P), para estimar la pérdida de suelos promedio (A) por el período de tiempo representado por R, generalmente un año (Ver Tabla N° 5).

$$A=R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (\text{Ecuación 5})$$

A	Es la pérdida de suelos calculada por unidad de superficie, expresada en las unidades seleccionadas para K y el período seleccionado para R, generalmente toneladas (t) hectárea (ha) ⁻¹ año ⁻¹ .
R	El factor lluvia y escurrimiento, es el número de unidades de índice de erosión pluvial (EI), más un factor para escurrimiento por derretimiento de nieve o aplicación de agua. El EI para una tormenta es el producto de la energía total de la tormenta (E) y su máxima intensidad en 30 minutos (I).
K	El factor susceptibilidad de erosión del suelo, es la tasa de pérdida de suelos por unidad EI para un suelo específico, medido en una porción de terreno estándar (22.13 m de largo, 9% pendiente, en barbecho y labranza continua).

L	El factor de largo de la pendiente es la proporción de pérdida de suelos en el largo de la pendiente específica con respecto a un largo de pendiente estándar (22,13 m).
S	El factor de magnitud de la pendiente es la proporción de pérdida de suelos de una superficie con una pendiente específica con respecto a aquella en la pendiente estándar de 9%, con todos los otros factores idénticos.
C	El factor cubierto y manejo, es la proporción de pérdida de suelo en una superficie con cubierta y manejo específico con respecto a una superficie idéntica en barbecho, con labranza continua.
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.

Tabla N° 5: Descripción de los parámetros para la ecuación de USLE.

Fuente: Williams y R. Srinivasan, 1978.

Wischmeier y Smith (1978) describen cada uno de estos factores y proporcionan métodos para evaluarlos. El USLE fue desarrollado para:

- Predecir el movimiento promedio anual de suelos desde una pendiente específica, bajo condiciones de uso y manejo específicos.
- Orientar la selección de prácticas de conservación para localidades específicas.
- Estimar la reducción de pérdida de suelos que se puede lograr con cambios de manejo efectuados por el agricultor; y

- Determinar el largo máximo de pendiente tolerable para un sistema de cultivo determinado.

Las ventajas del USLE incluyen facilidad de uso, simplicidad, y una base de datos amplia sobre la cual fue desarrollado. Sin embargo, tiene varias limitaciones. Los métodos para estimar los seis factores no se encuentran disponibles en muchos lugares fuera de los

Estados Unidos de Norteamérica. Su aplicación en praderas es limitada. Está basado sobre el supuesto de pendiente de terreno, suelos, cultivo y manejo uniformes. Es un procedimiento estadístico (empírico o "agrupado") que no contempla los procesos físicos de separación, transporte y sedimentación en forma mecánica. Finalmente, no fue diseñado para estimar rendimientos de sedimentación en cuencas complejas.

Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelos (Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE)

La metodología RUSLE fue desarrollada para superar algunas de las limitaciones de USLE. Sus avances incluyen:

- Computarización de algoritmos para facilitar los cálculos.
- Nuevos valores de erosividad de lluvias-escurrimientos (R) en el oeste de los Estados Unidos (condiciones áridas), basado en más de 1 200 localidades.
- Desarrollo de un término de susceptibilidad del suelo a la erosión estacionalmente variable (K) y métodos alternativos de estimación de K cuando el nomograma no es aplicable.
- Un nuevo método para calcular el factor cubierta-manejo (C), utilizando subfactores que incluyen uso previo de la tierra, cubierta de cultivos, cubierta vegetal del suelo (incluyendo fragmentos de roca en la superficie), y rugosidad del terreno.

- Nuevas formas de estimar los factores de largo y magnitud de la pendiente (LS) que consideran porcentajes de erosión en surcos e ínter-surcos.
- La capacidad de ajustar el LS para pendientes de forma variable; y
- Nuevos valores de prácticas de conservación (P) para cultivo en fajas alternadas, uso de drenaje subterráneo, y praderas.

RUSLE aún está siendo desarrollado, y tal vez se introduzcan otras modificaciones. Al igual que el USLE, el RUSLE no fue diseñado para estimar rendimientos de sedimento en pendientes complejas donde puede ocurrir sedimentación, ni en grandes cuencas.

3.2.14.1. Cálculo de parámetros de la ecuación modificada de RUSLE:

- **Factor Erosividad de la Lluvia (R)**

Depende de la intensidad de la lluvia y de la cantidad de agua caída en cada episodio de precipitación a lo largo de años. Se calcula como la suma de los productos de la energía cinética de cada episodio de lluvia por su intensidad máxima, considerando intervalos de 30 minutos.

$$R = \sum EI_{30}$$

(Ecuación 6)

Dónde:

E = Energía cinética de la lluvia

I_{30} = Intensidad máxima en 30 minutos de cada episodio (mm h-1).

Para su cálculo, se necesita disponer de información de estaciones pluviométricas que hayan registrado de forma detallada la cantidad de agua de lluvia en función del tiempo durante unos 10 años. Este factor se basa en que las lluvias de mayor intensidad

contienen una proporción mayor de gotas de tamaño grande, por lo que la energía cinética con que impactan sobre la superficie del suelo es también mayor. Existen diversas ecuaciones que relacionan la intensidad de la lluvia con la energía cinética equivalente, por ejemplo, la que fue propuesta por Wischmeier & Smith,

$$Ec = (0,119 + 0,0873 \log_{10} I)$$

(Ecuación 7)

Dónde:

E: Energía cinética (Mj.ha-1.mm-1).

I: Intensidad (mm/h).

I_{30} : Intensidad máxima en 30 minutos.

Como se ha mencionado, el factor de lluvia R, se define como el producto de dos características de la lluvia: la energía cinética E y la intensidad máxima durante 30 minutos I. El valor de R puede estimarse para un chubasco mediante la ecuación:

$$R = \frac{[\sum(1.231 + 0,89 * \log_{10} * I_j) * (I_j * T_j)] * I_{30}}{173,6}$$

(Ecuación 8)

Dónde:

I_j : Intensidad de precipitación para un incremento de intensidad (mm/h).

T_j : Período del incremento del chubasco (h).

I_{30} : Intensidad máxima de precipitación en 30 minutos.

j: Incremento del chubasco.

n: Número de incrementos del chubasco.

Si se calcula R como producto de las dos variables citadas, los valores de E pueden estimarse con una tabla donde están tabulados los valores, conociendo la intensidad de precipitación en una hora.

Es importante resaltar que la erosión es un fenómeno muy irregular que se origina de forma mayoritaria durante intervalos de tiempo relativamente cortos de precipitación muy intensa. Por lo tanto, las intensidades medias de precipitación diaria no sirven para estimar la agresividad de la lluvia. Sin embargo, Páez *et al.*, (1989), establecieron ecuaciones de regresión para determinar la erosividad de las lluvias mensualmente en varias localidades del país, en función de la lámina promedio mensual (L (mm)):

- San Felipe, Edo. Yaracuy: $R = -345,9 + 10,1 L$.
- Guanare, Edo. Portuguesa: $R = -258,2 + 9,38 L$.
- La Asunción, Edo. Nueva Esparta: $R = -251,7 + 10,0 L$.
- Maturín, Edo. Monagas: $R = -249,3 + 8,2 L$.
- Aragua de Barcelona, Edo. Anzoátegui: $R = -118 + 8,0 L$.
- Valencia, Edo. Carabobo: $R = -70,6 + 7,6 L$.
- Valle de la Pascua, Edo. Guarico: $R = -276,9 + 10,4 L$.
- Yaritagua, Edo. Yaracay: $R = -82,7 + 6,5 L$.
- La Paragua, Edo. Bolívar: $R = 237,9 + 8,7 L$.
- “Bosque seco tropical”: $R = -190,5 + 8,8 L$.

- **Factor Erosionabilidad (K)**

Expresa el conjunto de factores intrínsecos de cada suelo que influyen sobre la erosión, es decir, indica la vulnerabilidad específica de cada tipo de suelo. Representa la pérdida anual de suelo por unidad de factor R Cuando la USLE se emplea para estimar las pérdidas potenciales de suelo en función de distintos manejos o prácticas de conservación, se suele determinar el factor K mediante figuras que dan un valor aproximado en función del contenido de limo y arena muy fina, porcentaje de arena gruesa y contenido de materia orgánica del suelo. El siguiente ábaco es para la determinación gráfica del índice de erosionabilidad K (Figura N°20):

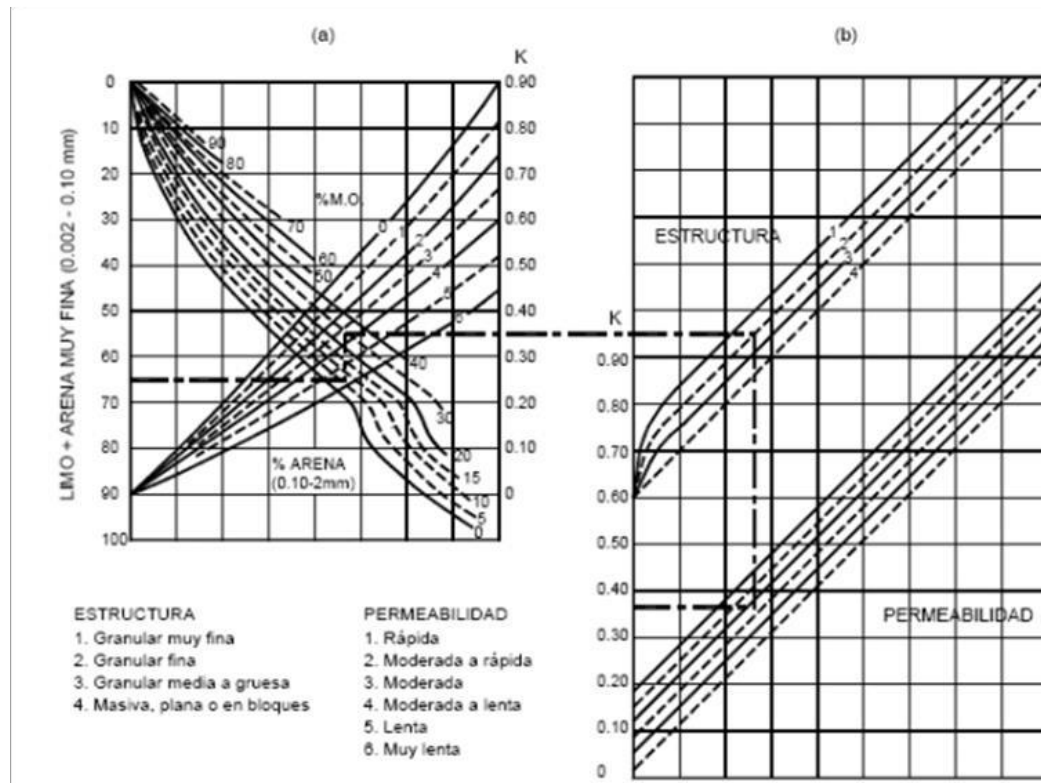


Figura N°20: Determinación gráfica del índice de erosionabilidad K.

Fuente: Suárez, (2001). 57

El método más completo para estimar K es el Nomograma de Wischmeier y Smith, (1978), el cual requiere datos sobre porcentaje de limo, porcentaje de arena muy fina, porcentaje de arena, porcentaje de contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad. En el caso de no contar con información tan detallada se pueden usar valores tabulados por Kirkby y Morgan, (1980), en el cual se utilizan valores obtenidos asociando la textura del suelo y contenido de materia orgánica. Estos valores tabulados pueden observarse en la Tabla N°6.

Textura del suelo	% de materia orgánica		
	< 0,5%	2%	> 4%
Arcilla	0,017	0,038	-----
Arcilla arenosa	0,018	0,017	0,016
Arcilla limosa	0,033	0,03	0,025
Arena	0,007	0,004	0,003
Arena fina	0,0021	0,018	0,013
Arena fina franca	0,032	0,026	0,021
Arena franca	0,016	0,013	0,011
Arena muy fina	0,055	0,047	0,037
Arena muy fina franca	0,058	0,05	0,04
Franco (grada)	0,05	0,045	0,038
Franco arcillolimoso	0,049	0,042	0,034
Franco arcilloso	0,037	0,033	0,028
Franco arenoarcilloso	0,036	0,033	0,028
Franco arenoso	0,036	0,032	0,025
Franco arenoso fino	0,046	0,04	0,032
Franco arenoso fino	0,062	0,054	0,043
Limo	0,079	0,068	0,055
Limo franco	0,063	0,055	0,043

Tabla N° 6: Valores de K asociados a la textura y al contenido de materia orgánica.

Fuente: Kirkby y Morgan, (1980).

- **Factores Topográficos (S, L)**

Expresan las pérdidas de suelo en función de la inclinación de la ladera y del recorrido máximo del agua de escorrentía a lo largo de una vertiente, siguiendo la línea de máxima pendiente. El factor L viene definido por el número de unidades de longitud de la parcela USLE estándar:

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

(Ecuación 9)

Dónde:

L = Valor del factor

l = Longitud de la ladera considerada en m

m = Exponente que depende del tipo de pendiente:

m = 0,6 para pendientes > 10%

m = 0,5 para pendientes 10-3%

m = 0,3 para pendientes <3 y de mucha longitud.

El factor S depende de la pendiente de la ladera, talud o parcela:

$$S = \frac{0,43 + 0,30s + 0,043s^2}{6,613}$$

(Ecuación 10)

Dónde:

S = pendiente en %

Muchas veces, se calculan de forma combinada los factores LS y se emplean nomogramas para su determinación gráfica aproximada. No se consideran la rugosidad ni la forma de la pendiente, por lo que en laderas irregulares puede dar resultados alejados de los reales.

Longitud de la pendiente (m)										
%	15	25	50	75	100	150	200	250	300	350
0,5	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15
1	0,10	0,12	0,15	0,17	0,18	0,21	0,23	0,24	0,25	0,25
2	0,16	0,19	0,23	0,26	0,29	0,32	0,35	0,37	0,40	0,40
3	0,23	0,27	0,33	0,37	0,41	0,45	0,50	0,54	0,57	0,60
4	0,30	0,37	0,48	0,57	0,64	0,75	0,84	0,92	0,99	1,00
5	0,37	0,48	0,70	0,84	0,96	1,18	1,36	1,52	1,67	1,80
6	0,47	0,60	0,86	1,05	1,21	1,48	1,71	1,91	2,10	2,20
8	0,69	0,89	1,26	1,55	1,79	2,19	2,53	2,83	3,10	3,30
10	0,96	1,24	1,75	2,15	2,48	3,04	3,50	3,92	4,29	4,60

Tabla N°7: Valores del factor topográfico (LS) para distintos grados y longitudes de pendiente.

Fuente: Wischmeier y Smith (1977).

- **Factor Cubierta del Suelo (C)**

El factor C de cobertura vegetal y uso del suelo incluye los efectos interrelacionados del tipo de cubierta vegetal, la secuencia de la misma en el caso de cultivos, la distribución de la precipitación, etc. En los terrenos recuperados en minería, cuando los suelos son depositados sobre los estériles, no existe inicialmente ninguna protección vegetal y el factor C=1. Sin embargo, con la aplicación de un mulch se puede reducir inmediatamente su valor hasta niveles aceptables. Los valores de C obtenidos con el mulch se encuentran tabulados en un gráfico y una tabla que muestra los diferentes tipos de cubierta existentes.

Tipo y altura de cobertura	Porcentaje de cubrimiento de suelo					
	Coeficiente C					
	0%	20%	40%	60%	80%	95- 100 %
Cobertura de pastos bajos	0.45	0.20	0.10	0.042	0.013	0.003
Cobertura de pastos y hierbas (0,5m)	0.36	0.17	0.09	0.038	0.012	0.003
Arbustos (2m)	0.40	0.18	0.09	0.040	0.013	0.003
Arboles (4m)	0.42	0.19	0.10	0.041	0.013	0.003

Tabla N°8: Valores de C para cobertura vegetal.
Fuente: Suarez, (2001).

% de área cubierta	Tipo de ordenación	
	Coeficiente C	
	Sin pastoreo	Con Pastoreo
100 – 75	0.001	0.003 – 0.0011
75 – 40	0.002 – 0.003	0.01 – 0.03
40 – 20	0.003 – 0.009	0.03 – 0.09

Tabla N°9: Valores de C para bosques.
Fuente: Suarez, (2001).

• Factor Prácticas de Protección del Suelo (P)

Representa la reducción de las pérdidas de suelo cuando se emplean técnicas de conservación, en comparación con las que ocurrirían si no se aplicaran. Permite evaluar

la eficacia de diversas técnicas de conservación de suelos en la reducción de la erosión y ser utilizado como instrumento de gestión, tales como el establecimiento de terrazas o bermas, diques o canales para la desviación de las aguas, entre otros. Este factor toma el valor 1 en la peor de las situaciones, es decir si tales obras no se realizan, y su valor disminuye cuanto más eficiente sea la medida tomada. La siguiente tabla N°12 recoge los valores de este factor en función de la pendiente de los taludes cuando se dispone de terrazas o diques de desvío.

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

Tabla N°10: Valores del factor P en función de la pendiente.

Fuente: Rodríguez y Alaya, (1990).

3.2.15. Ensayo de Slake Durability Test

Según las normas ASTM-D4644 y Cano, M (2013), se utilizan métodos que permiten cuantificar la durabilidad a la erosión de las rocas blandas, mediante ensayos de laboratorios. Los procedimientos a seguir son los siguientes (Figura N.º 21):

- Se prepara una muestra representativa de material rocoso por diez (10) fragmentos.
- Cada fragmento debe pesar entre 40gr o 60gr.
- Lo que dará un peso total de 450gr a 550gr
- Se colocará la muestra en uno de los tambores, se seca a 105°C y se

registra el peso A.

- Se monta un conjunto y se rellena el recipiente con agua destilada a 20°C, hasta un nivel de 20mm por debajo del eje del tambor.
- El tambor girara a 20 r.p.m durante un periodo de 10 min (primer ciclo).
- Se retira el tambor y se mete el tambor más la muestra en el horno a 105°C. Una vez seca se determina el peso B.
- Se repite el ciclo anterior (Segundo ciclo), volviendo ensayar la muestra y secándola para obtener el peso C.
- El tambor se limpia y se registra su peso D.



Figura N° 21: Procedimiento de Slake Durability Test.

Fuente: Universidad de Alicante.

El índice de durabilidad (I_d) de los diferentes ciclos se obtiene a partir de las masas secas determinadas antes y después de cada ciclo.

$$I_{d_1} = \frac{B-D}{A-D} \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$Id_2 = \frac{C-D}{A-D} \quad (\text{Ecuación 12})$$

3.2.16. Ensayo de Cerchar

Los ensayos de abrasión determinan la resistencia al desgaste de la roca. Dichos ensayos incluyen el desgaste cuando la roca está sometida a un material abrasivo, cuando está sometida al desgaste en contacto con metales o cuando está sometida al desgaste producido por el contacto entre rocas.

Según la American Society for Testing Materials (ASTM) en su norma ASTM D7625, se obtiene el índice Cerchar para estimar el valor de la abrasividad. El ensayo consiste en medir el diámetro de la superficie circular producida por el paso de una aguja en una muestra, dicha huella es dejada por un cono de acero en la superficie fresca de la roca. En la Tabla N°13 se muestra la clasificación cualitativa y cuantitativa del índice Cerchar para algunos tipos de roca.

<i>Tipo de roca</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Índice Cerchar</i>
Gneis, pegmatita, granito	Extremadamente abrasiva	>4.5
Anfibolita, granito	Altamente abrasiva	4.25 - 4.5
Granito, gneis, esquistos, piroxenos, arenisca	Abrasiva	4.0 - 4.25
Granito, gneis, dolerita	Moderadamente abrasiva	3.5 - 4.0
Arenisca	Poco abrasiva	1.2 - 2.5

Caliza	Muy poco abrasiva	<1.2
---------------	-------------------	------

Tabla N°11: Clasificación cuantitativa, cualitativa y tipos de rocas según el índice Cerchar.

Fuente: Ensayos geotécnicos de suelos y rocas Universidades de Alicante y de La Laguna.

Tomás, R., Santamarta, J.C., Cano, M. Hernández-Gutiérrez, L.E., García-Barba, J.(2013).

El índice de abrasividad cerchar (CAI), es el diámetro del plano del desgaste de la punta producida por el rozamiento, expresado en décimas de milímetros, y está comprendido entre 0 y 6; en la figura N°22 puede verse el desgaste producido por el ensayo.

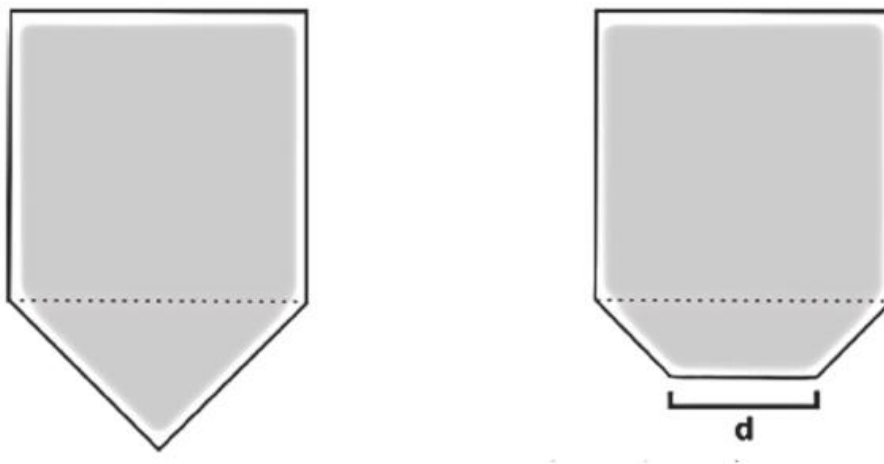


Figura N° 22. Esquema de la punta de acero antes y después del ensayo cerchar.

Fuente. Universidad de Oviedo.

La forma de obtener este índice es a partir de la siguiente expresión:

$$CAI = 0,000254 \sum_{i=1}^{10} d_i \quad (\text{Ecuación13})$$

Donde:

d_i = diámetro de huella.

La abrasividad también se puede medir a partir del índice Schimazek, este índice se expresa como:

$$F = Q \cdot d_{50} \cdot S \cdot t \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

F = coeficiente de abrasividad (N/m)

Q = contenido en cuarzo equivalente en minerales abrasivos (%)

d_{50} = diámetro medio (mm) St = resistencia a tracción (N/mm²)

Según este índice de abrasividad en la Tabla N° 14, la roca es la siguiente:

<i>Abrasividad F (Kg/cm=</i>	<i>Rozabilidad</i>
0.2-0.3	Muy Buena
0.3-0.4	Buena
0.4-0.5	Moderada
0.5-0.6	Regular
0.6-0.8	Mala
0.8-1.0	Muy mala

Tabla N° 12: Calificación cuantitativa y cualitativa de índice Schimazek.

Fuente: Kelly E. y Spottiswood D

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

El en capítulo se presenta de forma detallada, el método que se utilizó para el desarrollo de la investigación, cuyo objetivo principal es proponer una gestión integral de las aguas de minas en Canteras del Distrito Capital. En el mismo se describen los procedimientos elegidos para la selección de la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos y los análisis de los datos recolectados en campo.

4.1. Tipo de Investigación

El método que se utilizó para el trabajo de investigación es de tipo cuantitativa, ya que se presentaron valores de pérdida de sedimentos de los suelos por medio de análisis físicos y matemáticos. De esta manera también se aplicó la investigación correlativa.

Según Hernández y Baptista (2014), “este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables”.

Durante el desarrollo de la investigación se realizó recorridos, en donde se identificaron las vías de acceso al nivel 15 de Mina 2 y los lugares en donde se encuentran las escorrentías, productos de precipitaciones. También se recolectaron muestras que nos permitieron realizar los análisis de laboratorio, para estimar la granulometría de los sedimentos y a través del ensayo de Slake Durability Test, calcular la erosión del suelo.

4.2 Diseño de la Investigación

Diseño No Experimental

Así mismo, un diseño no experimental de tipo transicional o transversal, según, Hernández y Baptista (2014), son los que recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e intercalación en un momento dado (o describir comunidades, eventos, fenómenos o contextos) Es como tomar una fotografía de algo que sucede. Es aquella en donde se recolecta datos en un solo momento, en un tiempo único.

Hernández y Baptista (2014), afirman que el diseño transicional descriptivo tiene como objeto indagar la incidencia y los valores en que se manifiesta una o más variable (dentro de un enfoque cuantitativo) o ubicar, categorizar y proporcionar una visión de una comunidad, un evento, un contexto, un fenómeno o una situación (describirla, como su nombre lo indica dentro del enfoque cualitativo). El procedimiento consiste en medir o ubicar a un grupo de personas, objetos, situaciones, contextos, fenómenos, en una variable o concepto (generalmente más de una variable o concepto) y proporcionan su descripción. Son, por lo tanto, estudio puramente descriptivo y cuando establecen hipótesis, estas son también descriptivas.

Para el desarrollo de la investigación se requiere diseñar un sistema de drenajes en el nivel 15 de la mina 2, que permitirá realizar una gestión integral de las aguas de la mina.

4.3. Población y Muestra

Población, es un conjunto de personas, seres u objetos a los que se refieren los resultados de la investigación. De acuerdo a Ludwig (2016), una población es finita cuando tiene un número limitado de elementos (ejemplo: todos los habitantes de una comunidad); una población es infinita cuando no es posible contar a todos sus elementos (ejemplo, la población de insectos en el mundo).

Por tanto, la población se estudió en el trabajo de investigación son todas las áreas de la mina que son afectadas por efectos de la erosión.

La muestra es un sub-conjunto o parte de la población seleccionada para describir las propiedades o características; es decir, que una muestra se “compone de algunos de individuos, objetivos o medidas de una población” (Silva, 2001). La muestra debe ser representativa en cantidad y calidad; la cantidad será con base a procedimientos estadísticos y la calidad cuando reúne las características principales de la población en relación con la variable en estudio.

La muestra se localizó especialmente en el área de desarrollo, especialmente en el nivel 15 de la mina 2, ya que la misma no cuenta con un sistema de drenajes y cuando hay épocas de precipitación máximas, existe un transporte continuo de sedimentos que obstaculizan las vías de acceso.

4.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Recopilación de información para el trabajo de investigación se dividió en cuatro (4) etapas: en la toma de material técnico, actividades de campo, ensayo de laboratorios y diseño de drenajes. Es importante destacar que para cada una de las etapas se aplican técnicas e instrumentos diferentes para lograr un avance efectivo de la investigación.

Técnicas de recolección de datos

Inicialmente se recopiló información climatológica (durante los meses mayo, junio y julio de 2019), para evaluar las condiciones meteorológicas y el comportamiento de las mismas en la mina y así tomar los datos referentes al transporte de sedimentos para seleccionar un sistema de drenaje para las aguas de la mina. Y a través de herramientas de hoja de cálculo (Excel de Microsoft ®), se diferenciaron las características de terreno mediante los datos tomados en campo.

Durante esta etapa los datos obtenidos se analizaron bajo los parámetros de sistema hídrico, con la cuantificación de erosión del suelo y el transporte de los sedimentos. Los datos fueron vaciados en un formato en Excel de Microsoft ®, ordenado en filas y columnas (Tabla N° 15)

Medición del suelo						
Fecha						
Erosión / Sedimentación						
Parcela N° :						
Fila	Columna					
N°	1	2	3	4	5	6
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tabla N° 13: Material usado para recopilar información de las parcelas de erosión con clavos.

Fuente: Elaboración Propia.

Luego en la etapa de campo se hizo el reconocimiento de la geología presente en el espacio de investigación y se localizó las posibles fuentes generadoras de sedimentos, a través de la meteorización, erosión y las labores mineras (acarreo); y se realizó la recolección de muestras pertinentes de los lugares focalizados.

En la preparación de las muestras para realizarlos los ensayos de laboratorios, se rigieron por normas ASTM – D422 para la metodología de análisis de granulometría de los suelos y la metodología para los ensayos de Slake Durability Test.

Instrumentos

Para ejecutar las etapas de campo y laboratorio, planteadas para el desarrollo de la investigación, se utilizaron diversos instrumentos para la recolección de las muestras de laboratorio.

Instrumentos de campo:

- Libreta de Campo: se usó para el registro y toma de datos del área de estudio
- Piqueta: permitió extraer las muestras para los ensayos de laboratorio.
- Varillas para medir la erosión: se usaron un total de 108 varillas, con una longitud de 30cm, de las cuales se pintó (de color rojo) y se dejó descubierto cinco (5) cm para observar los cambios producto de la erosión y de la sedimentación.
- Mandarria: se utilizó para romper fragmentos de rocas y clavar las varillas

de las parcelas de erosión.

- Cinta métrica: se usó para medir las dimensiones de las parcelas.
- Bolsas plásticas: en ella se colocaron las muestras de rocas para los ensayos de laboratorios y de esta manera conservar sus propiedades de humedad.
- Tubo PVC: se utilizó para medir la velocidad de infiltración del agua en el suelo y poder calcular la densidad aparente del suelo.

Instrumentos de Laboratorios:

- Contenedores de Aluminio: se usaron para secar las muestras en el horno.
- Horno: se utilizó para el secado y deshidratación de las muestras.
- Equipo Slake Durability: se utilizó para realizar las simulaciones de durabilidad de la roca mediante la humectación y secado de la muestra durante dos (2) ciclos.
- Equipo de ensayo de abrasividad y dureza de Cerchar.
- Baterías de tamices ASTM: se utilizó para obtener la curva granulométrica de los sedimentos concentrados en el agua usada durante el ensayo de Slake Durability.
- Peso Electrónico: se utilizó para obtener el peso de las muestras, húmedas y secas.

4.5 Procedimiento Experimental

Se presenta a continuación la Figura N° 23, donde se expresan las actividades desarrolladas en las cuatro etapas en la que consistió la investigación (Recopilación de Datos, Campo, Actividades de Laboratorio y Diseño de los Canales de Aguas de Minas). La realización de las diversas tareas proporcionó que el cumplimiento del objetivo planteado.

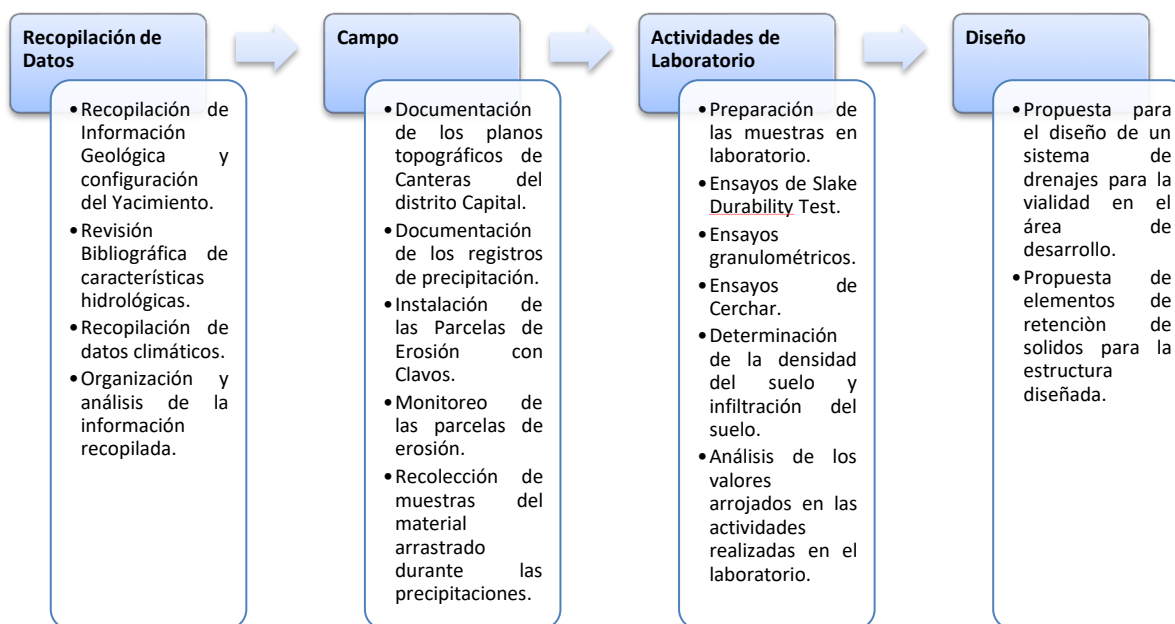


Figura N°23: Etapas de procedimiento de la Investigación.
Fuente: Elaboración Propia.

4.5.1. Etapa de Recopilación de Datos

Antes de todo inicio de un trabajo de investigación se realiza previamente una recolecta de información técnica para empezar a estructurar la investigación, en la misma se inició con la recopilación de información geológica presente en el área de estudio, con los datos provenientes de la empresa.

Luego con apoyo de personal que labora en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Venezuela (INAMEH), se tramito gestiones que permitieron obtener datos referentes a los últimos periodos de pluviosidad de las estaciones pluviométricas cercanas a la zona de estudio en el año 2018.

También se hizo uso del servidor Giovanni NASA, que permitió la descarga

de material importante para el registro de pluviosidad de la zona.

4.5.2. Etapa de Actividades de Campo

Durante esta etapa se planificaron actividades de campo de recolección y medición de datos, para ello se ejecutaron varias salidas de campo, donde se realizaron las siguientes actividades:

- Documentación y registro de las precipitaciones del área de estudio.
- Preparación de los clavos para la instalación de las parcelas (Figura N°24).
- Instalaciones de las Parcelas de Erosión con Clavos (Figura N°25).



Figura N°24: Clavos (Vigas) para la instalación de la PEC.

Fuente: Elaboración propia.



Figura N°25: Instalación de Parcela #3 de Erosión por Clavos previamente instalada.
Fuente: Elaboración Propia.

- Medición de las parcelas de erosión con clavos, luego de cada precipitación (Figura N°26).



Figura N°26: Medición de Parcela #3 de erosión.
Fuente: Elaboración Propia.

- Recolección de muestras, para realizarles el ensayo de laboratorio de Slake Durability y a su vez ensayos granulométricos (Figura N° 27).



Figura N° 27: Recolección de Muestras.
Fuente: Elaboración Propia.

4.5.3. Etapa de Laboratorio

Para el desarrollo de la investigación se realizaron ensayos de laboratorios, que permitieron el resultado de tasas de erosión mediante el desgaste de la roca.

4.5.3.1. Ensayos de Slake Durability,

Se realizó para someter las muestras tomadas en campo, a condiciones de calor y de simulacros de transporte hídrico.

Durante la realización del ensayo (Figura N°28), cada muestra fue pesada antes de ser sometida a las condiciones, es decir; antes del primer ciclo húmedo las muestras fueron pesadas (Figura N° 29), también se realizó lo mismo al sacarlas de cada ciclo (fueron pesadas húmedas) y luego al secarse en el horno (Figura N° 30) se pesaron nuevamente para realizar el segundo ciclo de ensayo.



Figura N° 28: Equipo de Slake Durability (sin muestra).
Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°29: Muestra pesada antes de ser sometida al primer ciclo del Ensayo de Slake Durability
Elaboración: Elaboración Propia.



Figura N° 30: Horno utilizado en laboratorio para secar las muestras luego de cada ciclo de Slake Durability.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.3.2. Ensayo Granulométrico vía seca

Se realizó ensayo granulométrico vía seca, a las partículas desprendidas durante el ensayo de Slake durability de la primera muestra. El procedimiento a seguir fue (Figura N°31):



Figura N° 31: Muestra originada por el ensayo Slake Durability, después de su primer y segundo ciclo.

Fuente: Elaboración Propia.

- Luego de culminar los dos ciclos del ensayo de Slake Durability, se mantuvo en reposo el envase de la máquina de SLD donde se encontraba la muestra 2593-SLD por 20 min.
- Después de que precipitara la mayor parte de las partículas suspendidas en el envase, se procedió a retirar el exceso de líquido al recipiente en donde se encontraba la muestra 2593- SLD.
- Se tomó peso del particulado en húmedo (Figura N°32).

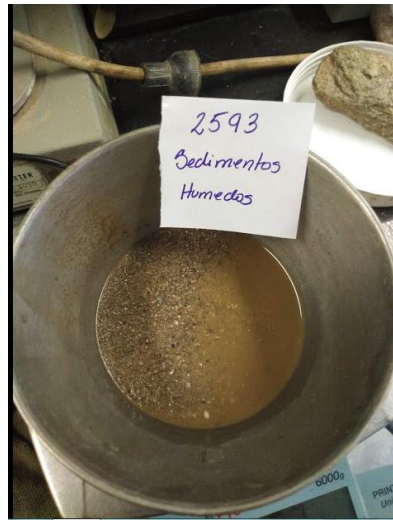


Figura N°32: Muestra de sedimentos en estado húmedo.

Fuente: Elaboración Propia.

- Se colocó la muestra húmeda en el horno a una temperatura de 105°C (Figura N° 33), hasta que la muestra de sedimentos se secase, en un periodo de 40min aproximadamente.

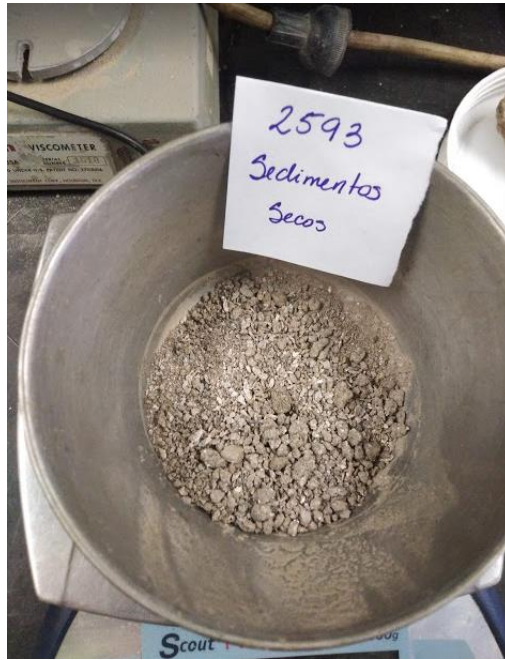


Figura N°33: Muestra de sedimentos en estado seco.
Fuente: Elaboración Propia.

- Luego de secar el material, el mismo se pasó por una batería de tamices y se procedió al tamizado (Figura N°34).



Figura N°34: Batería de tamices para realizar granulometría de los sedimentos.
Fuente: Elaboración Propia.

- Luego de tamizar la muestra se pesó nuevamente (Figura N°35).

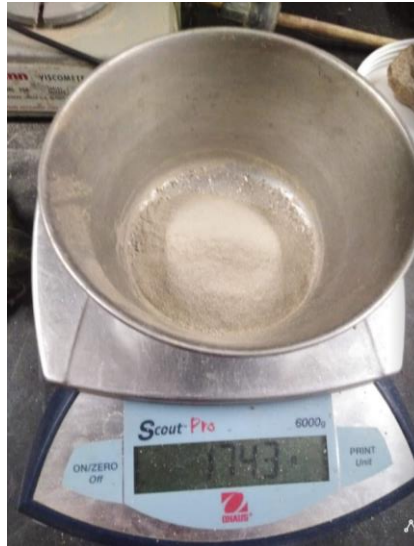


Figura N° 35: Sedimentos ya tamizados y pesados.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.3.3. Ensayo de Abrasividad de Cerchar.

Para la realización del ensayo de abrasividad de Cercha, se tomaron muestras en el área de estudio, especialmente de los frentes presentes en la vía de acarreo al desarrollo.

El ensayo consiste en pasar una punta de acero con extremo cónico por la superficie de las muestras tomadas (una punta para cada muestra), con un recorrido total de 10mm, en un ángulo 90° a la muestra y un peso total de 2kg. La abrasividad de la roca se expresa en base al diámetro producido por el desgaste de la punta de acero, representando el Índice de Cerchar ese diámetro expresado en decimas de milímetro.

Procedimiento de preparación para realizar el ensayo de Cerchar:

- Se toma la muestra y se coloca en el equipo de ensayo (Figura N°36) en conjunto con la punta cónica y se realiza la inspección de las puntas a utilizar (Figura N°37).



Figura N°36: Muestra colocada para iniciar el ensayo de Cerchar.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura N° 37: Puntas de Acero para el ensayo de Cerchar
Fuente: Elaboración Propia.

- La posición de la muestra con respecto al equipo es colocando la cara de la muestra donde se aprecien todas las foliaciones a 90° de la punta de acero (Figura N°38).



Figura N°38: Colocación de la muestra en la cara con más foliaciones.

Fuente: Elaboración Propia.

- Luego se dispone a dejar caer la punta de acero hacia la cara de la muestra y hacer un movimiento (adelante o hacia atrás) de 10mm, en una secuencia de 6 veces.
- Después se retira la punta de acero, la cual es llevada a laboratorio, para medir el diámetro de desgaste.

4.5.3.4. Cálculo de la Densidad Aparente del suelo

- Se tomó muestra del suelo en cada una de las zonas en donde se encontraban dispuestas las parcelas de erosión por clavos (Figura N°39).



Figura N°39: Toma de muestra de suelo con tubo PVC, en áreas cercanas a las parcelas de erosión con clavos.

Fuente: Elaboración Propia.

- Las muestras fueron tomadas con un cilindro de PVC que cuenta con una altura de 9 cm y un diámetro de 7 cm, como en la Figura N°40.



Figura N°40: Cilindro PVC, para toma de muestra y capacidad de infiltración.

Fuente: Elaboración Propia.

- Para tomar las muestras los cilindros fueron introducidos al suelo 4 cm de profundidad, obteniendo el volumen de la muestra tomada.
- Luego al llevar las muestras al laboratorio, inicialmente fueron pesadas en su estado original (húmedas), en diferentes envases y las mismas se llevaron al horno a una temperatura de 100°C y tomaron 40 min en secarse (Figura N°41).



Figura N°41: Horno para el secado de la muestra de densidad de suelo aparente.
Fuente: Elaboración Propia.

- Luego se pesaron nuevamente en seco (Figura N°42) y con su peso y el volumen del sólido con el que fue tomado la muestra se obtuvo las densidades aparentes del suelo.



Figura N°42: Peso de la muestra de suelo aparente.
Fuente: Elaboración Propia.

4.5.3.5. Infiltración del suelo

La infiltración es designada como el proceso de entrada de agua al suelo, generalmente de manera vertical. El cálculo de infiltración del suelo se realiza para

saber que tanto pudiera degradarse el suelo por erosión hídrica y conocer el caudal de aguas residuales.

- El ensayo se realizó en un costado de las parcelas de erosión con clavos (Figura N°43).



Figura N°43: Ensayo para medir la infiltración de los suelos.

Fuente: Elaboracion Propia.

- Se tomó un cilindro PCV de 9cm de altura y 7 cm de diámetro, el cual se introdujo en el suelo 1 cm de profundidad, poniendo en cuenta el Infiltrómetro de Cilindro Simple.
- Se vertieron 156.94 ml de agua en el cilindro, como se aprecia en la figura N° 44.



Figura N°44: Ensayo realizado cerca de las parcelas de erosión con clavos y con el líquido (agua) dentro del Cilindro.

Fuente: Elaboracion Propia.

- Luego se tomó el tiempo en el que el agua se fue infiltrando en el suelo y con la ecuación de:

$$V = \frac{d}{t}$$

4.6. Análisis de los Datos

Con todas las actividades realizadas para el desarrollo de la investigación, cada una arrojaron resultados con valores cuantitativos luego de la medición de las parcelas de erosión con clavos, las cuales permitieron evaluar los procesos erosivos en la zona de investigación, calculando la erosión y sedimentación de las parcelas.

Además, con los datos obtenidos en laboratorio, se pudo determinar el comportamiento del suelo cuando es sometido a alteraciones en sus propiedades físicas.

4.7. Etapa de Diseño

Tomando los resultados obtenidos y la información recopilada a lo largo de la investigación (en las etapas anterior), se realizaron las siguientes actividades:

- Diseño de estructuras hidráulicas para el sistema de control integral de las aguas de minas, mediante el software HCANALES.
- Medidas para un monitoreo preventivo, velando por la propuesta del drenaje diseñado en las zonas donde existe mayor actividad de erosión hídrica.
- Propuesta de elementos de retención de sólidos en las estructuras hidráulicas diseñadas.
- Monitoreo de las zonas donde el impacto ambiental sea altamente resaltante por la erosión hídrica.

CAPITULO V

ANÁLISIS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los análisis de los diferentes datos que se han obtenido durante la investigación, campo y oficina. Relacionando los parámetros de precipitación y la capacidad de erosión obtenida de las parcelas que fueron colocadas en el área de la investigación, obtener resultados a los datos tomados y discutir los resultados de los cálculos para dar respuesta a un diseño de control de las aguas de mina.

5.1. Construcción de lluvia de diseño

La construcción de las lluvias de diseño son un input clave para la construcción de estructuras hidráulica (canalización de las aguas de lluvias) inicialmente se usa el cálculo de las curvas IDF.

Canteras del Distrito Capital, cuenta con poca información sobre el comportamiento de los recursos naturales, respecto a su influencia en el suelo del área de explotación, por lo tanto, se realizó un conjunto de actividades que permitieron la evaluación de la erosión hídrica a través de la recolección de datos pluviométricos, que permiten la estimación del agua que precipita en la zona de estudio.

En la tabla N°16 se registran las precipitaciones máximas mensuales, con un registro de serie de años de 1998 al 2018 con el servidor Giovanni NASA, con un rango de percepción de 1 mm. Esta tabla es de suma importancia porque permite la construcción de la lluvia de diseño, representando los máximos y mínimos de precipitación por un período de 20 años.

Se observa que la tabla presenta variaciones en la disminución de las precipitaciones, como consecuencia de las variaciones climáticas presente por los fenómenos naturales en el planeta, ejemplo de ellos es el Fenómeno de El Niño y La Niña. Otra acotación es que en la tabla se refleja un patrón de que cada tres (03) años los máximos de precipitación más altos se reflejan en el mes de julio y diciembre, predominando, una secuencia de creciente al mes de diciembre, donde alcanzo un máximo de precipitación de 97.90mm/mes.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máximo	
1998	73	67	71	50	55	76	65	58	58	65	60	48	76,00	Jun
1999	68	42	48	59	65	80	70	55	65	43	38	42	80,00	Jun
2000	92	84	88,7	87,3	91,2	90,5	90,5	90,2	87,9	88,8	88,8	93,9	93,90	Dic
2001	89,9	78,6	88	84	89	89,8	92,7	92	84	86,9	87	90	92,70	Ago
2002	91,8	79,1	87,8	83	90	90,5	89,8	91,8	84,2	88,2	88	89,8	91,80	Ene
2003	89	79	87,8	85,9	88	87,7	92	90	87,9	87,7	84,4	92,8	92,80	Dic
2004	88	84	85,9	84	89	91	90,8	90	86,5	88	87,5	92,9	92,90	Dic
2005	91,6	79,1	87,9	83,7	88,1	88,6	92	91	85	90,8	86,6	93,8	93,80	Dic
2006	93	79	90	85	90	90,1	91,6	91,7	87	88,8	88	94	94,00	Dic
2007	86	77	85,8	84	88,4	91	89,9	91,6	86	88,5	87,5	91,9	91,90	Dic
2008	91	84	90	87,6	89,9	91,9	95	92	88,1	88,2	87,7	92	95,00	Jul
2009	92	81,9	89,6	85,8	89,1	93,8	94,5	89,6	88	89	88,6	94,3	94,50	Jul
2010	92,2	81,8	87,8	84	88,2	91	95,6	93,7	87	90,8	90,2	95,9	95,90	Dic
2011	95	84,8	90	87,8	89,9	92	92,2	91	87	90,3	90,8	92,3	95,00	Ene
2012	91,7	84,3	89,8	87	90,1	92,1	97,8	96,3	96	89	89,2	97,9	97,90	Dic
2013	91,8	80,8	87,7	85	91,2	92,2	97	94,3	89	89,9	92	93	97,00	Jul
2014	91	82	88,8	84,2	89	92,3	93,9	94,2	89,8	87	88	92,1	94,20	Jul
2015	90,1	79	86	81	85,1	96	94,1	96,2	87,8	89	89,8	93,7	96,20	Ago
2016	94,1	84,3	87,8	84	89,7	93,9	94,3	95,7	88	90	88,3	93,9	95,70	Ago
2017	90	79,2	87,2	84,8	90	92	94	94,1	86,8	89,9	86,9	94	94,10	Ago
2018	90,2	78	86	83	87	90,8	93	91,8	85	86,7	86,2	92,8	93,00	Jul
MAX	95,00	84,80	90,00	87,80	91,20	96,00	97,80	96,30	96,00	90,80	92,00	97,90	97,90	

Tabla N°14: Precipitaciones Máximas mensuales, en Canteras de Distrito Capital, durante los años 1998-2018.

Fuente: Tomado de datos y gráficos del Satélite Giovanni.

Luego de lo antes expuesto, los eventos pluviométricos medidos en Canteras del Distrito Capital se realizaron en los meses de mayo a julio de 2019, con la finalidad de dar comienzo al diseño a la Función de Distribución de probabilidad de Gumbel, para determinar las curvas IDF y los tiempos de retorno en las precipitaciones.

5.2. Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel

Los datos ya obtenidos por las actividades pluviométricas realizadas son tomadas para determinar las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) y analizar los Tiempos de retornos (TR) de los eventos de precipitación y así usarlos para ajustar los valores de distribución máximos y calcular los valores extremos, mediante la siguiente Ecuación 15:

$$F_{(x)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}} \quad (\text{Ecuación 15}).$$

Para obtener la distribución de probabilidades mediante Gumbel, se usaron los valores de precipitaciones máximas que se registraron mensualmente, asumiendo que durante estos eventos lluviosos ocurre los desprendimientos más significativos de la capa de suelo (Tabla N°17). Como se mencionó anteriormente los meses con mayores precipitaciones son con frecuencia julio y posteriormente diciembre.

N°	Año	Mes	Precipitación (mm)	
		Max. Precip.	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1998	Junio	76,00	281,44
2	1999	Junio	80,00	163,23
3	2000	Diciembre	93,90	1,26
4	2001	Agosto	92,70	0,01
5	2002	Enero	91,80	0,95
6	2003	Diciembre	92,80	0,00
7	2004	Diciembre	92,90	0,02
8	2005	Diciembre	93,80	1,05
9	2006	Diciembre	94,00	1,50
10	2007	Diciembre	91,90	0,77
11	2008	Julio	95,00	4,95
12	2009	Julio	94,50	2,97
13	2010	Diciembre	95,90	9,76
14	2011	Enero	95,00	4,95
15	2012	Diciembre	97,90	26,25
16	2013	Julio	97,00	17,84
17	2014	Julio	94,20	2,03
18	2015	Agosto	96,20	11,72
19	2016	Agosto	95,70	8,55
20	2017	Agosto	94,10	1,75
21	2018	Julio	93,00	0,05
21		Suma	1948,3	541,0

Tabla N°15: Distribución de probabilidades pluviométricas según los parámetros de Gumbel
Fuente: Elaboracion Propia.

Con los registros de las precipitaciones y el programa Microsoft® Excel 2016, se calcularon valores de: sumatoria de los datos, la media de la muestra y la desviación estándar. Posteriormente, se obtuvieron los parámetros de Gumbel, α y u , mediante las fórmulas mostradas en la Tabla N° 16.

Cálculo de Variables Probabilísticas

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 92,78\text{mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 5,2\text{mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 4,06\text{mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 90,44\text{mm}$$

Tabla N°16: Cálculo de variables probabilísticas mediante la Distribución de Gumbel.

Fuente: Elaboracion Propia.

Dónde:

\bar{x} : Media de la muestra.

S: Desviación típica de la muestra.

Los resultados obtenidos fueron:

- Valores de probabilidad:

Sumatoria = 1.948,3 mm.

Media de la muestra = 92,78 mm.

Desviación estándar = 5,2 mm.

- Los parámetros de Gumbel que resultaron fueron:

$$\alpha = 4,06 \text{ mm.}$$

$$u = 90,44 \text{ mm. (Tabla N°16).}$$

Luego de obtener los parámetros de Gumbel, se realizan los ajustes necesarios y se obtienen las curvas IDF, en la Tabla N°19, se muestran los nuevos valores para: el periodo de retorno, probabilidad de ocurrencia, la variable reducida y la corrección de los intervalos de precipitación.

Además, con las precipitaciones obtenidas (\hat{X}_T) las mismas se multiplicaron por 1,13, para conseguir la corrección por el intervalo fijo de observación y las magnitudes más aproximadas a las obtenidas con las lluvias máximas reales.

<i>Periodo Retorno</i>	<i>Variable Reducida</i>	<i>Precip. (mm)</i>	<i>Prob. de ocurrencia</i>	<i>Corrección de intervalo fijo</i>
<i>Años</i>	<i>YT</i>	<i>XT'(mm)</i>	<i>F(xT)</i>	<i>XT (mm)</i>
2	0,3665	91,9218	0,5000	103,8716
5	1,4999	96,5182	0,8000	109,0656
10	2,2504	99,5614	0,9000	112,5044
25	3,1985	103,4065	0,9600	116,8494
50	3,9019	106,2591	0,9800	120,0727
100	4,6001	109,0905	0,9900	123,2723
500	6,2136	115,6336	0,9980	130,6660

Tabla N°17: Cálculo de Precipitaciones Máximas Probables para diferentes frecuencias.
Fuente: Elaboración con ecuaciones de Gumbel.

Con los resultados obtenidos con la Tabla N°17, existe la probabilidad del 1% de que los 130,66 mm sea superado en 24hrs, y esto corresponde a un evento centenario, por el contrario, el 99% de la probabilidad que la precipitación en un intervalo de 24hrs o menor pueda alcanzar un máximo entre 103,87mm a 130,66mm.

Por lo tanto, con los tiempos de retorno restantes, puede hacerse un análisis similar, asumiendo que las reservas mineras actualmente dispuesta en el plan de explotación vigente se encuentran por el orden de cinco (05) décadas.

Según los datos arrojados y análisis, las estructuras de conducción de las aguas de minas se diseñaron considerando una precipitación promedio de 100mm, reflejando que los eventos de precipitación según el periodo de retorno son de cada dos (02) años, esto dependerá de la intensidad, tiempo de concentración y duración de cada evento.

Consecutivamente se obtuvo los valores de corrección del intervalo fijo, para calcular precipitaciones máximas diaria, asumiendo que el coeficiente para la relación de lluvia de duración 24 horas, como se muestra en la tabla N° 18.

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	103,87	109,06	112,50	116,84	120,07	123,27	130,66
18 hr	X18 = 91%	94,52	99,24	102,37	93,47	109,26	112,17	118,90
12 hr	X12 = 80%	83,09	87,25	90,00	93,47	96,05	98,61	104,53
8 hr	X8 = 68%	70,63	74,16	76,50	79,45	81,64	83,82	88,85
6 hr	X6 = 61%	63,36	66,53	68,62	71,27	73,24	75,19	79,70
5 hr	X5 = 57%	59,20	62,16	64,12	66,60	68,44	70,26	74,47
4 hr	X4 = 52%	54,01	56,71	58,50	60,76	62,43	64,10	67,94
3 hr	X3 = 46%	47,78	50,17	51,75	53,75	55,23	56,70	60,10
2 hr	X2 = 39%	40,50	42,53	43,87	45,57	46,82	48,07	50,95
1 hr	X1 = 30%	31,16	32,71	33,75	35,05	36,02	36,98	39,19

Tabla N°18: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración.

Fuente: Elaboracion Propia.

Con los resultados obtenidos en la tabla anterior (Tabla N° 18) de precipitación máxima y los tiempos de duración, se usaron para realizar los cálculos de la intensidad de las lluvias según el periodo de retorno, mediante la siguiente ecuación 17:

$$I = \frac{P [mm]}{t_{duración} [hr.]} \quad (\text{Ecuación 17})$$

En la tabla N°21, se presentan los resultados obtenidos para la representación de la intensidad de la lluvia para diferentes eventos de tiempo.

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hrs) según el Periodo de Retorno						
Horas	Min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24	1440	4,32	4,54	4,68	4,86	5,00	5,13	5,44
18	1080	5,25	5,51	5,68	5,19	6,07	6,23	6,60
12	720	6,92	7,27	7,50	7,79	8,00	8,21	8,71
8	480	8,82	9,27	9,56	9,93	10,20	10,47	11,10
6	360	10,56	11,08	11,43	11,87	12,20	12,53	13,28
5	300	11,84	12,43	12,82	13,32	13,68	14,05	14,89
4	240	13,50	14,17	14,62	15,19	15,60	16,02	16,98
3	180	15,92	16,72	17,25	17,91	18,41	18,90	20,03
2	120	20,25	21,26	21,93	22,78	23,41	24,03	25,47
1	60	31,16	32,71	33,75	35,05	36,02	36,98	39,19

Tabla N°19: Intensidades de lluvia, a partir de Pd, según su Duración de precipitación y frecuencia.
Fuente: Elaboracion Propia.

5.3. Diseño de las curvas IDF, para Canteras del Distrito Capital S.A.

Lo subsiguiente a realizar fue la construcción de las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia), para las mismas se utilizó el método propuesto por Aparicio (1997), donde se analiza el comportamiento de las variables involucradas, relacionándolas simultáneamente a una familia de curvas, mediante la siguiente ecuación:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n} \quad \text{(Ecuación 18)}$$

Donde:

I: Intensidad (mm/hr).

t= Duración de la lluvia (min u hr).

T= Período de Retorno (años).

K,m,n= Parámetros de ajuste lineal.

Con la finalidad de graficar las curvas IDF, se calcularon los parámetros K, m y n para la fórmula de intensidad, mediante regresiones potenciales, dando como resultado los valores en la Tabla N°20. Los cálculos de los parámetros matemáticos de las curvas IDF de retorno se detallan en el Anexo II.

Valores de regresión lineal

Constante de regresión (K)	Coefficiente de regresión (m)	Coefficiente de regresión (n)
390,0290	0,04109	-0,6188

Tabla N°20: Resumen de los valores de regresión lineal para distintos años.

Luego de obtener los valores de los coeficientes de regresión lineal válida para la cuenca hidrográfica donde se localiza la labor minera, se utilizaron los datos obtenidos en la ecuación de intensidad (Ecuación 18), de la siguiente manera:

$$I = \frac{390,0290 * T^{0,041097}}{0,61885 T}$$

Luego se sustituyeron las variables de periodos de retornos y los tiempos de duración, para obtener distintos valores de intensidades respecto a la duración y frecuencia como se muestra en la Tabla N°21, los cuales se utilizarán para graficar las curvas IDF de la zona de estudio.

Tabla de intensidades - Tiempo de duración

Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	148,22	96,52	75,10	62,85	54,75	48,91	44,46	40,93	38,05	35,65	33,61	31,85
5	153,91	100,22	77,98	65,27	56,85	50,78	46,16	42,50	39,51	37,02	34,90	33,07
10	158,36	103,12	80,24	67,15	58,49	52,25	47,50	43,73	40,65	38,09	35,91	34,02
25	164,43	107,08	83,32	69,73	60,73	54,25	49,32	45,41	42,21	39,55	37,28	35,33
50	169,19	110,17	85,72	71,74	62,49	55,82	50,74	46,72	43,43	40,69	38,36	36,35
100	174,07	113,36	88,20	73,82	64,30	57,44	52,21	48,07	44,69	41,87	39,47	37,40
500	185,98	121,11	94,23	78,86	68,69	61,36	55,78	51,36	47,75	44,73	42,17	39,96

Tabla N°21: Intensidades y Tiempo de duración de precipitaciones.

Los valores arrojados por la ecuación 18 son para distintas intensidades, las cuales varían de los dos (02) años a los 500 años. A pesar de que la vida útil del yacimiento tiene un tiempo de duración de 50 años, se analizaron las curvas IDF para periodos de retornos hasta de 500 años.

Al obtener los resultados de la tabla N°21, por consiguiente, se generaron el conjunto de curvas IDF a través del método pluviométrico. En dicha figura existe una recta para cada uno de los periodos de retorno (T). a medida que aumenta la duración de la tormenta (t), disminuye la intensidad (I). y a medida q aumente el período de retorno al mismo tiempo aumenta el valor de la intensidad máximas establecida para la zona de estudio de 100mm/hr.

El análisis de las curvas IDF, se utilizaron para el cálculo de los caudales generados en los causes superficiales que se generan mediante las precipitaciones, para la propuesta del diseño de drenajes para las aguas de minas y las estructuras de retención de sólidos (Véase el grafico N°2).

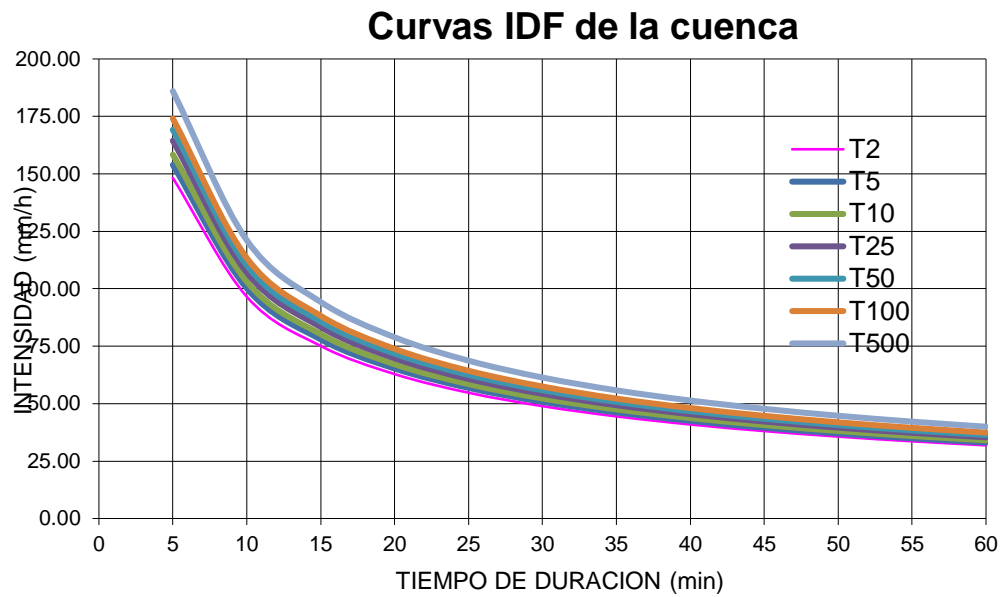


Gráfico N° 2: Curvas IDF
Elaboración: Propia

5.4. Evaluación de la Erosión Hídrica

La evaluación de la erosión hídrica se realizó a través de la instalación y medición de las columnas de sólidos (acumulación o pérdida), con las Parcelas de Erosión con Clavos (PEC). Para la colocación de las parcelas en los espacios de estudios, se realizaron reconocimiento de campo de las tres (03) áreas posiblemente ocurriera mayor movilización de sedimentos y se concretó mediante la apreciación de cárcavas dejadas por precipitaciones anteriores (Figura N°45)



Figura N°45: Cárcavas producto de precipitaciones anteriores.

Fuente: Elaboración Propia.

Los procesos erosivos identificados en campo fueron:

- Erosión por salpicadura (gotas de lluvia).
- Erosión laminar.
- Erosión por cárcavas.

Cada uno de estos procesos conlleva uno con el otro, por ejemplo: al iniciar una precipitación el suelo se encuentra totalmente seco, cuando el mismo se satura, las gotas de lluvias con la intensidad con la que llegan al suelo salpican y van generando agujeros que si la precipitación se intensifica empiezan a generarse surcos (erosión laminar), si los mismos no son restablecidos (relleno de los surcos), se agrava la disposición del suelo y se van generando erosión por cárcavas.

Cuando se decidió ubicar las parcelas, para captar el mayor índice de erosividad se instalaron parcelas de $4m^2$ en cada sector, las mismas estaban constituidas por:

- Cantidad de clavos: 36 clavos
- Longitud de los clavos= 30cm.
- Profundidad de penetración en el suelo= 25cm

Todo esto implica que la medición con las parcelas de erosión con clavos tuvo aproximadamente 110 clavos, para el estudio total. Los mismos fueron pintados (pintura roja) para marcar el nivel inicial del suelo. La instalación de las parcelas fue el 26 de abril del 2019. Las mediciones iniciaron el 28 de mayo de 2019 y se efectuaron con una regla (de 30cm) a cada costado de los clavos, expresando su magnitud en milímetros, como se muestra en la Figura N° 46.



Figura N°46: Medición de los clavos de las parcelas de erosión.

Fuente: Elaboración Propia.

Los datos de volúmenes obtenidos fueron tomados de manera periódica luego

de cada precipitación con un máximo de dos (02) días, para evitar errores por efecto de la humedad del suelo. Cuando se realizaban las mediciones se observó que el proceso de erosión hídrica que más se presentaba era el de la salpicadura cuando la precipitación superaba 18mm, esto concluye que luego de la salpicadura rompe la estructura del suelo, aparecía la escorrentía, ocasionando el desprendimiento y el transporte del suelo erosionado (Anexo I).

Las mediciones de precipitaciones máximas desde 1998 hasta el 2018, se registraron al formato digital, con el formulario mostrado en forma de tabla en el Capítulo V, en la Tabla N°16; este proceso permitió que el cálculo de los datos tomados en campo fuera manejables en la herramienta digital de Microsoft Excel 2016, y obtener los resultados en tiempos menos prolongados.



Figura N°47: Instalación de las Parcelas de Erosión con Clavos.

Fuente: Elaboración Propia.

5.5. Recolección de muestras

Durante la actividad y estudio de campo (geológico-geotectónico), se visualizaron taludes, sistemas de drenajes naturales y las parcelas experimentales

instaladas en el complejo minero. Para ello, se tomaron tres (03) muestras de taludes en la zona de estudio, las cuales fueron preservadas en bolsas plásticas para mantener sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas (Figura N°48).



Figura N°48: Recolección de muestra en la vertiente natural de Canteras de Distrito Capital.
Fuente: Elaboración Propia.

5.6. Ensayos de Laboratorio

Para proseguir con la investigación, se realizaron ensayos de laboratorios en la Facultad de Ingeniería especialmente en la Escuela de Petróleo de la Universidad Central de Venezuela, en ellos se pudieron realizar los siguientes ensayos:

5.6.1. Ensayos de Slake Durability

Al realizar el ensayo, se prepararon las muestras para llevarlas a un peso aproximado de 50gr cada trozo de roca (10 trozos), luego, fueron colocadas en el cilindro e introducidas en el agua para encender la máquina. Luego de los dos (02) ciclos de hidratación de las muestras estas arrojaron los siguientes resultados en la Tabla N°22:

Muestras	Id1	Id2
2593	5,34%	7,44%
2594	2,52%	3,33%
2595	8,52%	13,33%

Tabla N°22: Resultados de los índices de durabilidad (Id) de los ensayos de Slake Durability.
Fuente: Elaboración Propia.

Concluyendo con ello la roca es competente y su erosión no influye en el transporte de sedimento, ya que los índices de durabilidad se clasifican en el grupo de muy baja según Goodman, 1980.

5.6.2. Ensayo de Granulometría vía seca

Se realizó una clasificación granulométrica por malla (tamiz) para el material grueso, este material fue el excedente de los ensayos de Slake Durability. Se utilizaron tamices de regular mallado 34, 40, 50, 70, 80, 100 y 200, como lo dice la norma ASTM D-422. Luego de sacar las muestras de la máquina de slake durability, se pesó en húmedo y se llevó al horno para que se secase, estuvo en el proceso de secado aproximadamente unos 45min, luego se pesó nuevamente el material y dispuesto en la batería de tamices, para empezar la separación. Dicho procedimiento muestra los valores obtenidos en la Tabla N° 23.

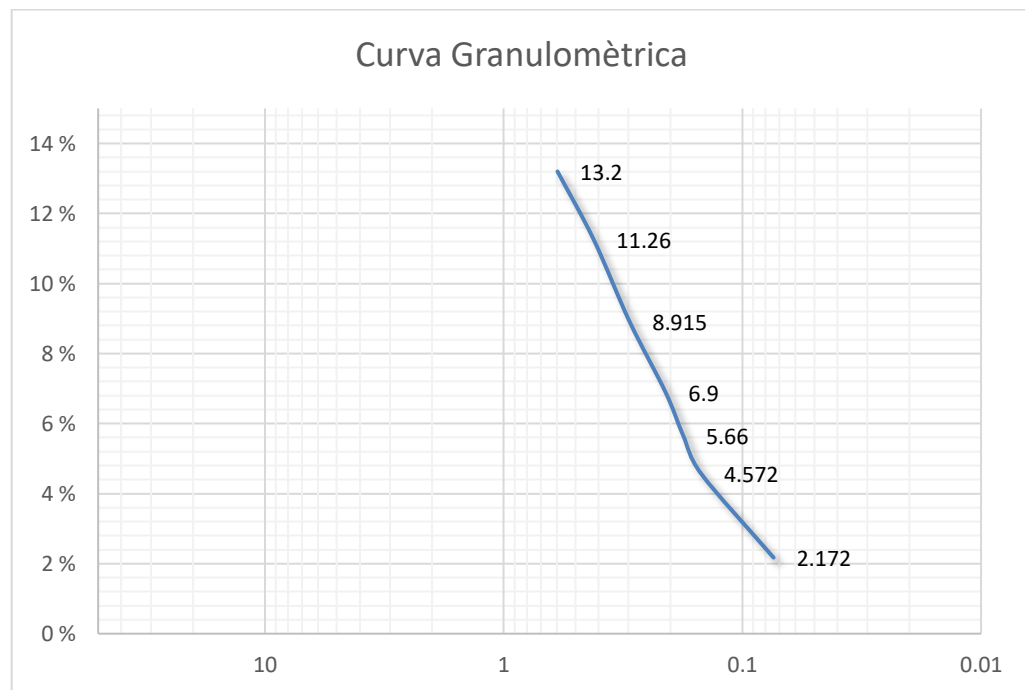
Malla N°	Malla (mm)	Peso retenido	% Retenido	%Retenido acumulado	% Pasante
30	0,595	151,9	86,8	86,8	13,2
40	0,42	155,3	1,94	88,74	11,26
50	0,297	159,4	2,35	91,09	8,92
70	0,21	163,3	2,02	93,1	6,9

80	0,177	165,1	1,24	94,34	5,66
100	0,149	167	1,09	95,43	4,57
200	0,074	171,2	2,4	97,83	2,17
P200		174,3	1,77	99,6	0,4
Total		175	99,6		

Tabla N°23: Valores de ensayo Granulométrico.

Fuente: Elaboración Propia.

Tomando en consideración de cada uno de los porcentajes de muestra que pasa por cada tamiz, se presenta la Grafica N°3, la cual representa gráficamente la curva granulométrica, teniendo como resultado que el particulado que se desprende pertenece a un grupo de suelos tipo limo arcillosos, estos fragmentos de roca se desprenden por la fuerza hidráulica del agua (precipitaciones).



Grafica N°3: Curva granulométrica, de partículas proveniente de ensayo de slake durability.

Fuente: Elaboración Propia.

5.6.3. Ensayo de Abrasividad de Cerchar

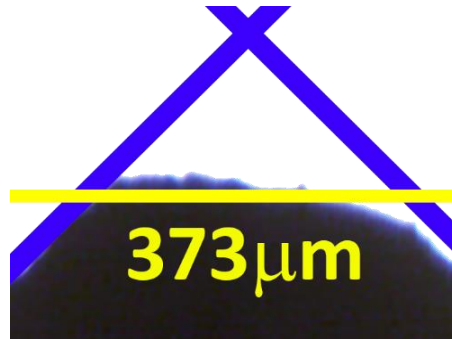
Las muestras de roca 2611-1 y 2611-3 estipulan un valor de abrasividad de 2,72 y 1,53, según lo determina la Tabla N°6 (Véase en el Capítulo II), clasificándolo como “Poco Abrasiva”, mientras la Tabla N°7 la clasifica con un coeficiente de razonabilidad “Muy Buena”. Los parámetros obtenidos para la muestra 2611-2 son más elevados, obteniendo un índice de abrasividad de 3,73, la clasificación propuesta para la tabla N°6, la coloca en un rango de abrasiva, mientras que la Tabla N°7 la clasifica con un coeficiente de razonabilidad “Buena” (ver reportes de abrasividad Método de Cerchar en anexo IV).

Muestra 2611-1



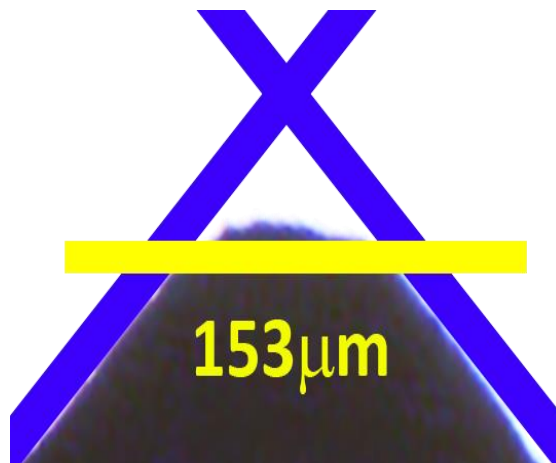
Valor CAI= 2,72 Alta

Muestra 2611-2



Valor CAI= 3,73 Alta

Muestra 2611-3



Valor CAI= 1,53 Media

5.7. Densidad aparente del suelo

Para el análisis de la densidad aparente, se recolectaron diferentes muestras del suelo en la zona de estudio, se utilizó un cilindro de plástico (Tubo PVC) de 7 cm de diámetro y 9 cm de altura. Luego de haberse extraído las muestras del suelo se preservaron en bolsas plásticas para conservar sus propiedades y fueron llevadas al laboratorio para realizarle el ensayo. En la Tabla N°24 se muestra el valor de la densidad aparente de suelo presente en cantera de Distrito Capital.

Densidad aparente del suelo en Canteras de Distrito Capital S. A

1.57 gr/m³

Tabla N°24: Densidad aparente del suelo.

Fuente: Elaboración Propia.

Vale destacar que la densidad aparente del suelo es un indicador de la compactación del mismo. La densidad del suelo afecta a la infiltración de las aguas, la porosidad, disponibilidad de nutrientes y a la actividad de microorganismos en el suelo.

5.8. Evaluación de los procesos erosivos

Canteras del Distrito Capital S.A, se divide en dos (02) áreas de explotación, sin embargo, donde presenta gran parte del suelo residual se encuentra en el sector de Mina 2, exactamente en la zona de la investigación que es el en área de Desarrollo. En la misma tiene un recorrido de aproximadamente 1,2Km abarcado desde la cota 1.109,7 msnm hasta 1.306,98 msnm; la inclinación promedio en esta vía de acceso al área de Desarrollo es de 8°.

Durante la investigación se obtuvo precipitaciones mensuales menores a los 80 mm, como lo muestra la Tabla N°25, sin embargo, esto es variable producto a los efectos de los fenómenos naturales como El Niño.

Precipitaciones mensuales 2019

Mes	Mayo	Junio	Julio	Total
Precipitación (mm)	37,6	52,8	76	166,4

Tabla N°25: Precipitaciones Mensuales del tiempo de la investigación.

Fuente: Elaboración Propia.

Para la medición de la PEC, se realizaron como se mencionó al inicio del capítulo (durante un periodo variable), se procuraron realizar cada dos (02) días después de cada evento de precipitación, para evitar los errores por efecto de la humedad en el suelo. Se realizo de esta manera ya que se utilizaron los conceptos por Cuitiño y Pizarro (2002), donde explican la aplicación y procesos del método.

Los resultados obtenidos por la erosión hídrica, sedimentación, erosión neta y suelo movilizado se reflejan en la Tabla N°26. La canalización natural de las aguas de escurrimiento y la inclinación de la vía de acceso, permitieron el transporte de los sólidos hacia las PEC, lo que contribuyó al momento de realizar las mediciones del suelo movilizado.

Es de vital importancia que los valores arrojados del suelo movilizado corresponden a la adición de la erosión y sedimentación de los valores de la densidad aparente del suelo en seco, en cambio la erosión neta se debe a la diferencia de ellos (como se expresan en las ecuaciones 2, 3 y 4 presentadas en el capítulo II). Esto permitió establecer un balance entre la pérdida y ganancia de suelo en la zona de estudio.

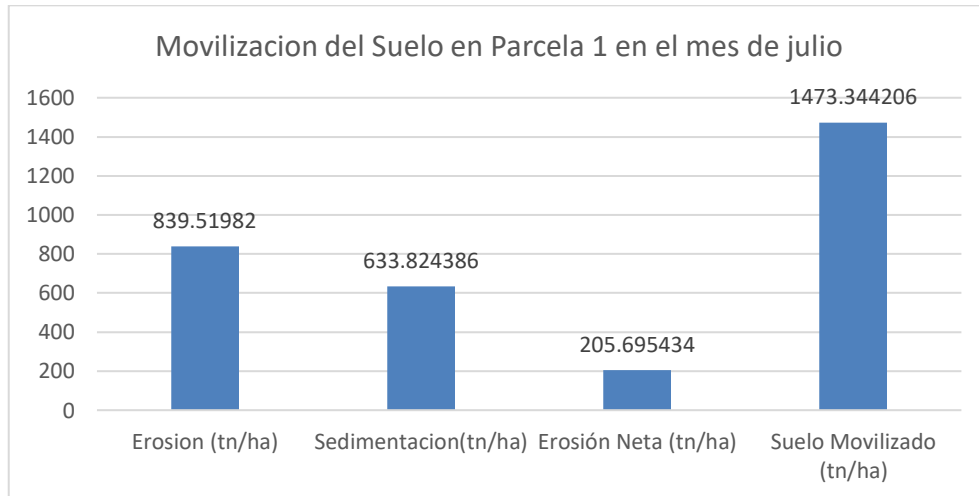
Suelo Movilizado Parcela 1

Mes	Erosión (mm)	Erosión (m3/ha)	Erosión (tn/ha)	Sedimentación (mm)	Sedimentación (m3/ha)	Sedimentación (tn/ha)	Erosión Neta (tn/ha)	Suelo Movilizado (tn/ha)
May	27,51	275,06	431,850	20,68	207,68	326,06	105,79	757,91
Jun	44,45	444,47	697,813	34,37	343,67	539,57	158,25	1237,38
Jul	53,47	534,726	839,519	40,37	403,71	633,82	205,7	1473,34
Total	125,43	1254,26	1969,18	95,42	955,06	1499,45	469,73	3468,63

Tabla N°26: Suelo Movilizado de Parcela 1.

Fuente: Elaboración Propia.

Los valores representados evidencian la movilización del suelo de la Parcela 1, durante los meses de la investigación (mayo, junio y julio). Donde la erosión media más alta se ve observa en el mes de julio dando un total de 839,52 tn/ ha, por lo tanto, las cifras indican que el proceso dominante en esta parcela fue la erosión (Grafica N°4).

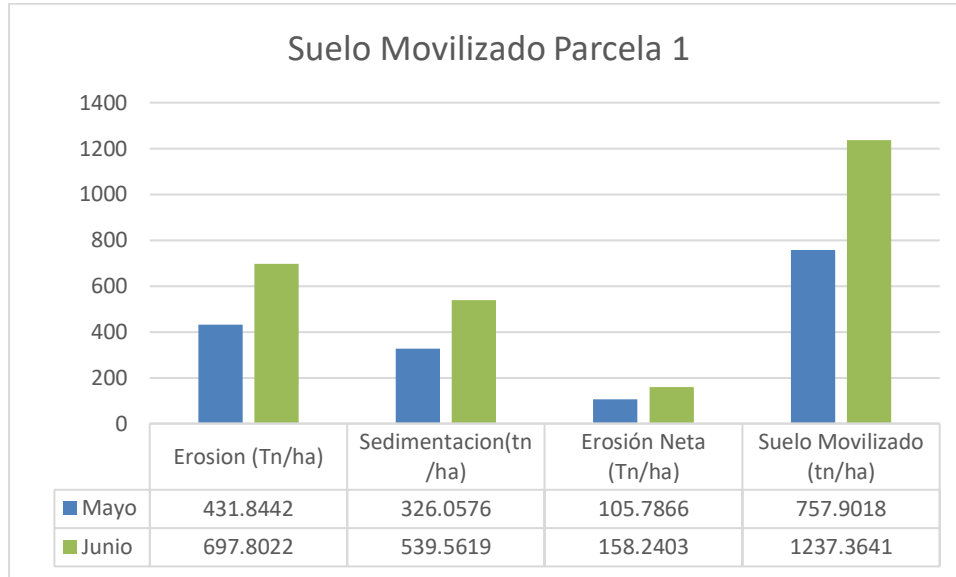


Grafica N°4: Movilización de Suelo en la parcela 1, mes de julio.

Fuente: Elaboración Propia.

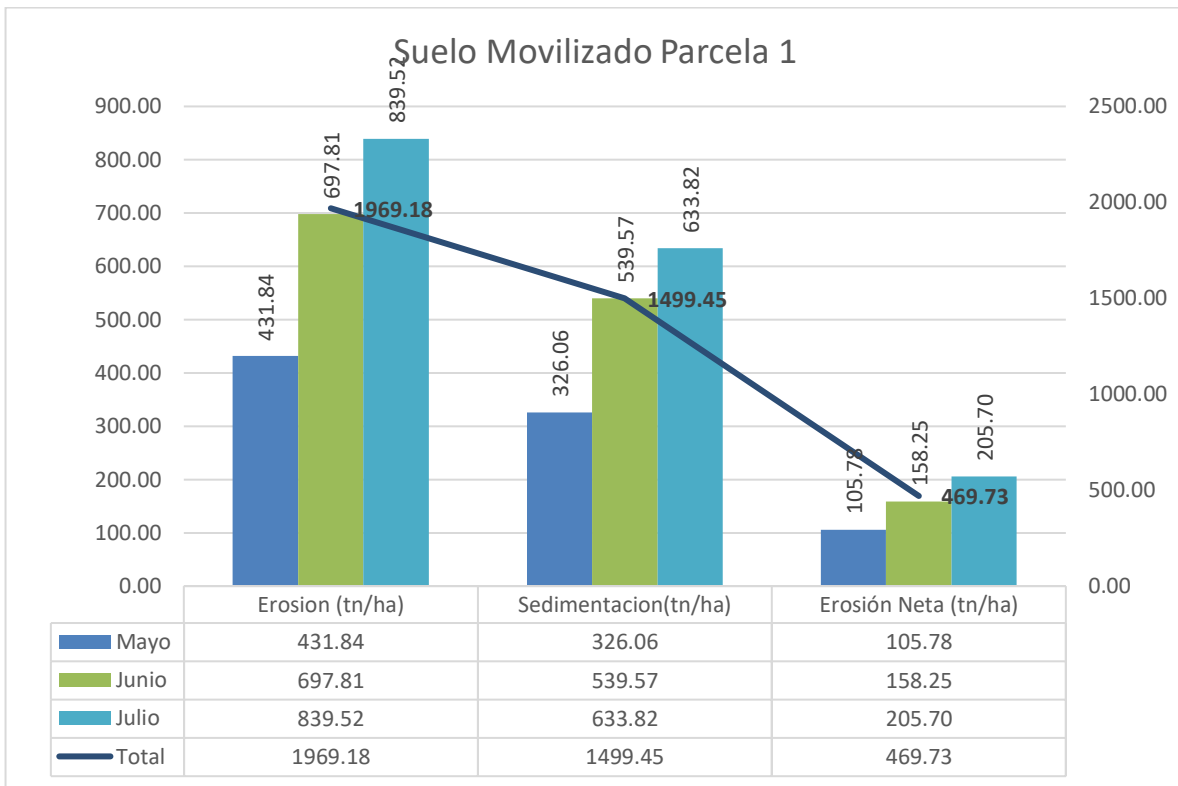
Seguidamente se observa que el mes de mayo y junio también tuvo como proceso dominante la erosión del suelo arrojando resultados de erosión media de 431,85 tn/ ha (mayo) y 697,81 tn/ ha (junio) obteniendo un suelo movilizado de 757,90 tn/ ha

(mayo y 1.237, 37 tn/ ha (junio). Tomo esto se aprecia en la Grafica N°5.



Grafica N°5: Representación del suelo movilización en parcela 1, durante los meses de mayo y junio.
Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados señalan que la erosión neta en Canteras del Distrito Capital S.A, para los periodos anteriormente mencionado alcanzo un total de 469,73 tn/ ha, siendo julio el mes con mayor influencia con 205, 69 tn/ ha, como se muestra en la gráfica N°6, lo cual concuerda, ya que los máximos de precipitación registrados se encuentran en los meses de julio y diciembre.



Grafica N°6: Suelo movilizado de Parcela 1.
Fuente: Elaboración Propia.

Para tener valores con mayor consolidación, también se realizó la estimación de la pérdida de suelo, utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE), para tener mayor precisión en los resultados, ya que con ambos métodos se pueden hacer una correlación en el momento que se desee realizar cualquier calculo. En la Tabla N°27 y la Tabla N°28 se muestran los resultados obtenidos por PEC y el método de RUSLE.

Cuantificación de suelo por clavos de erosión (tn/ ha)

Mes	Precipitación (mm)	Cuantificación de suelo por clavos de erosión (tn/ ha)			
		Erosión	Sedimentación	Erosión Neta	Suelo Movilizado
Mayo	37,6	1.366,29	982,63	383,65	2.348,92
Junio	52,8	2.283,23	1.678,69	604,54	3.961,93
Julio	76	2.823,18	2.509,97	313,17	5.333,11

Tabla N°27: Estimación de pérdida de suelo por Parcelas de Erosión con Clavos (PEC).

Fuente: Elaboración Propia.

Cuantificación de suelos por RUSLE (tn/ ha)

Mes	Precipitación (mm)	R	K	LS	C	P	A	Erosión Potencial
Mayo	37,6	140,38	0,033	3,99	1	1	18,48	18,48
Junio	52,8	274,14	0,033	3,99	1	1	36,08	36,08
Julio	76	478,3	0,033	3,99	1	1	62,94	62,95

Tabla N°28: Estimación de pérdida de suelo por el modelo de RUSLE

Fuente: Elaboración Propia.

Luego de analizar los datos obtenidos por los métodos de medición de la erosión del suelo, la cuantificación mediante el método de RUSLE con respecto al método de PEC, son muy diferentes, a pesar de utilizar la misma precipitación para ambos métodos. También se obtuvo la granulometría del suelo para identificar el tipo de suelo.

Con la diferencia de los valores obtenidos con ambos métodos se puede discutir, que no es viable que se utilice un único método para determinación de la erosión de los suelos, ya que se necesitan datos confiables que se realicen en campo, porque los métodos numéricos como RUSLE, tienen muchas variables que es deben ajustarse a las diferentes condiciones de los espacios de estudio.

En la grafico N° 7, se aprecia el comportamiento de ambos métodos, notándose que aunque las precipitaciones en junio fueron menores a las de julio se generó mayor tasa de erosión neta con 604.54 tn/ha calculada con el método de PEC y la erosión potencial se presenta que en el mes de julio con un valor de 62.94 tn/ha con el método de RUSLE.

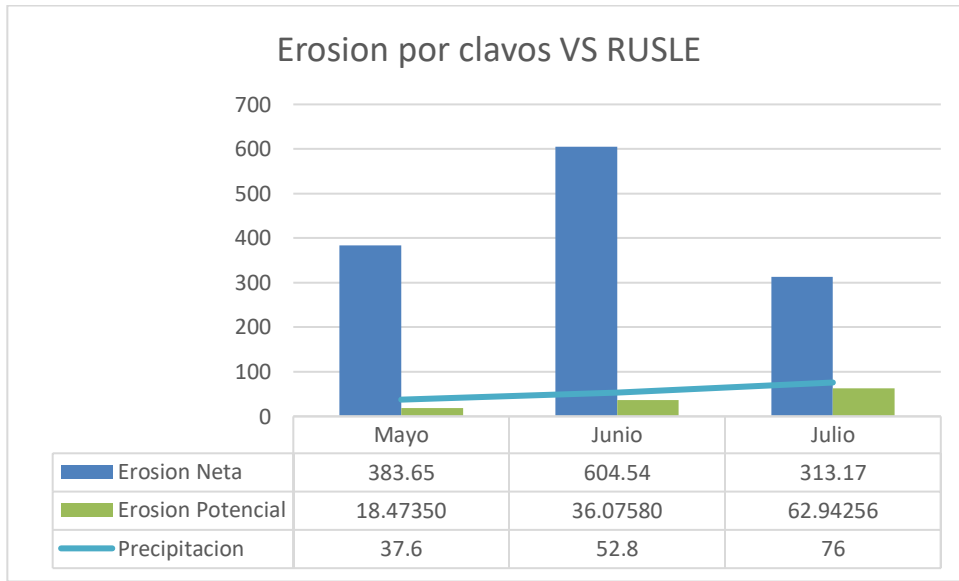


Gráfico N°7: Cuantificación de pérdida de suelo por los métodos de RULES y PEC, en Canteas de Distrito Capital.

Fuente: Elaboracion Propia.

5.9. Criterios Hidrológicos (Caudal de diseño)

Luego de la ubicación de la zona de estudio en mapas topográficos e imágenes aéreas, se observó a su vez la ubicación de cuencas hidrográficas que le aportan agua a las zonas de operaciones mineras. Por lo tanto, se realizó la delimitación de las tres (03) cuencas y su ubicación con respecto a las operaciones mineras. Las subcuencas fueron denominadas 1, 2 y 3 en sentido noreste-sureste, como se refleja en la figura N° 49.

Con los valores obtenidos de los registros de precipitaciones diarias (Anexo IV),

se calculó el caudal de la cuenca hidrográfica (Q), mediante la ecuación 1 (Capítulo III, sección 3.4), utilizando el coeficiente de escorrentía para la pendiente pronunciada (Tabla N° 9).

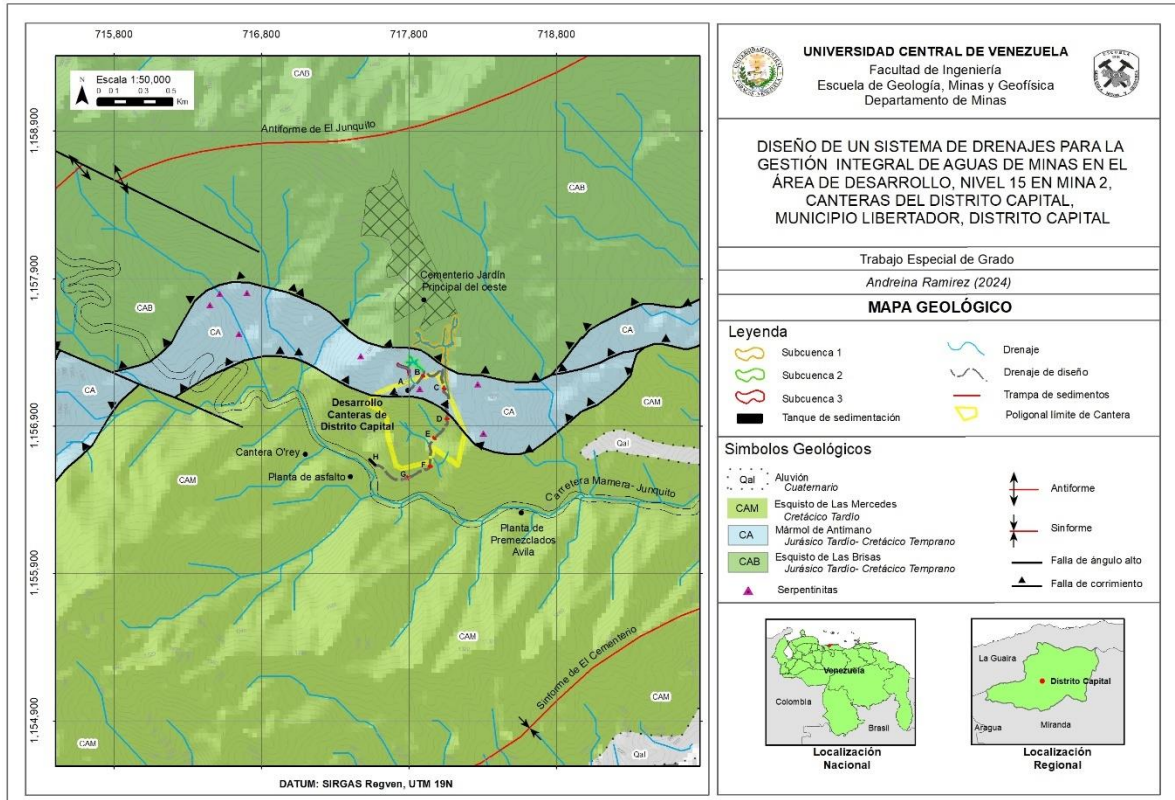


Figura 49: Mapa geológico y con subcuencas hidrográficas que aportan sedimentos a Canteras de Distrito Capital.

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura N°50, se puede apreciar la subcuenca 1, la cual comprende un área de 2,34 km², de esa superficie, la cual recoge las escorrentías que van a los drenajes naturales, los cuales atraviesan el área minera. Con su alta interacción de las aguas superficiales que intervienen en mina, ésta es una de las vertientes más activas, induciendo el transporte de los sedimentos erosionados en las vías de acarreo, y se depositan en la quebrada de Mamera, tendiendo a sedimentar la misma, acarreado obstáculos al tránsito por la carretera próxima.

Con los cálculos realizados mediante la Ecuación 10 (Fórmula Racional, mencionada en el Capítulo III), los resultados obtenidos se encuentran en la Tabla N°29.

Intensidad de precipitación en subcuenca 1				
Meses	Coefficiente	I (mm/hr)	A (km²)	Q(m³/s)
Mayo	0,70	14,4	16,04	42,412
Junio	0,70	13,6	16,04	46,160
Julio	0,70	14,8	16,04	44,912

Tabla N° 29: Intensidad de precipitación para subcuenca 1 en los meses de mayo, junio y julio, 2019.

Fuente: Elaboracion Propia.

La subcuenca 2 como se muestra en la Figura N° 51, cuenta con aguas orientadas Noreste de la mina, está vertiente cuenta con un área 2,54 km² y los sedimentos arrastrados quedan estancados en la vía de acceso al desarrollo, específicamente en el nivel 10 (cota 1275 m.s.m).

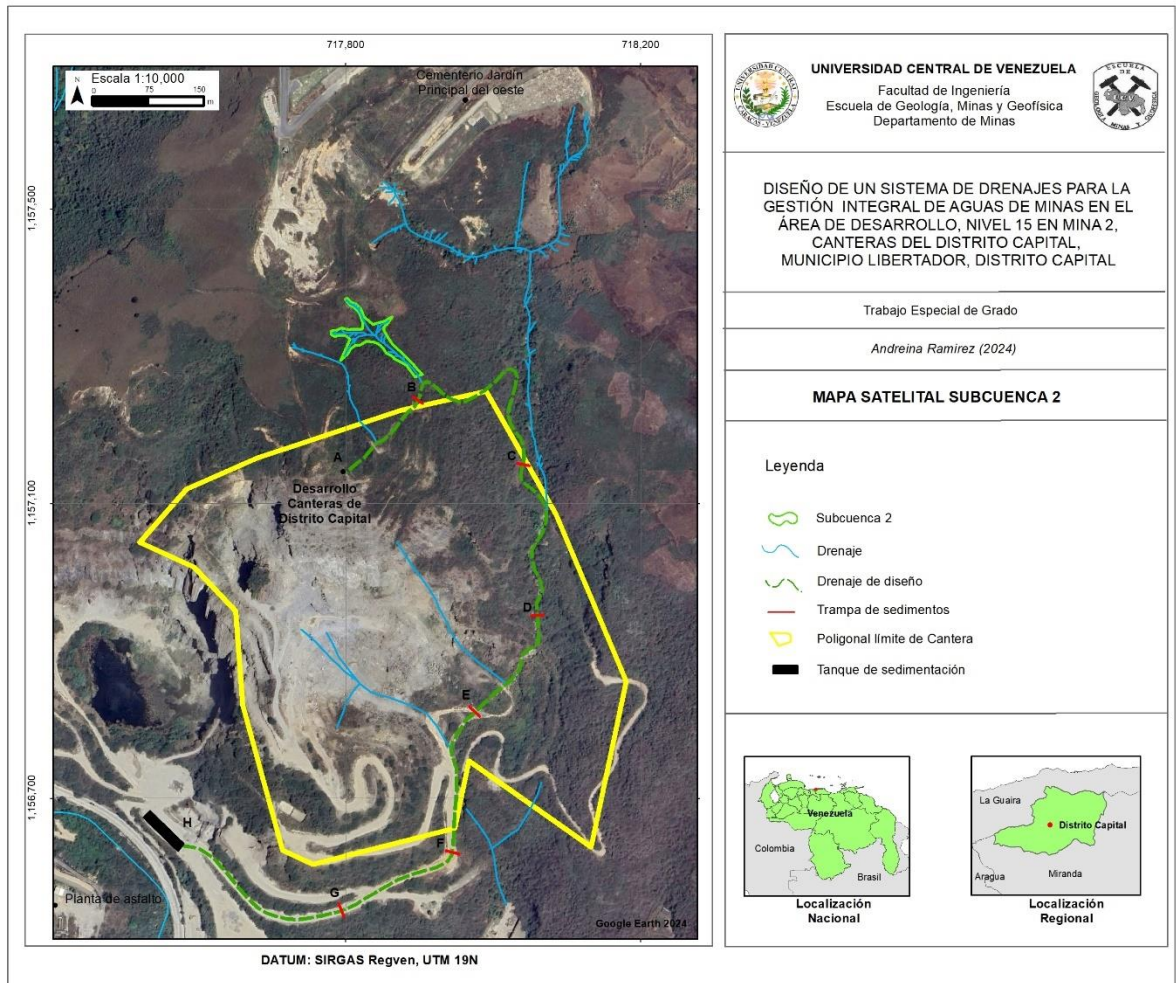


Figura N°51: Mapa con subcuenca hidrográfica 2
Fuente: Elaboracion Propia.

La subcuenca 2 y la subcuenca 3 (Véase la Figura N°52) se encuentra en el mismo yacimiento, por lo cual mantienen las mismas condiciones morfológicas, su vegetación es escasa y con el mismo coeficiente de escorrentía. Se procedió a realizar los cálculos de los caudales afluentes de cada subcuenca (2 y 3), tomando en cuenta la precipitación máxima de los meses evaluados. Obteniendo como resultados los valores que se muestran en la Tabla N°30 y Tabla N° 31.

Intensidad de precipitación en subcuena 2				
Meses	Coefficiente	I (mm/hr)	A (km ²)	Q(m ³ /s)
Mayo	0,70	14,4	2,54	7,112
Junio	0,70	13,6	2,54	6,717
Julio	0,70	14,8	2,54	7,309

Tabla N° 30: Intensidad de precipitación para subcuena 2 en los meses de mayo, junio y julio, 2019.

Fuente: Elaboracion Propia.

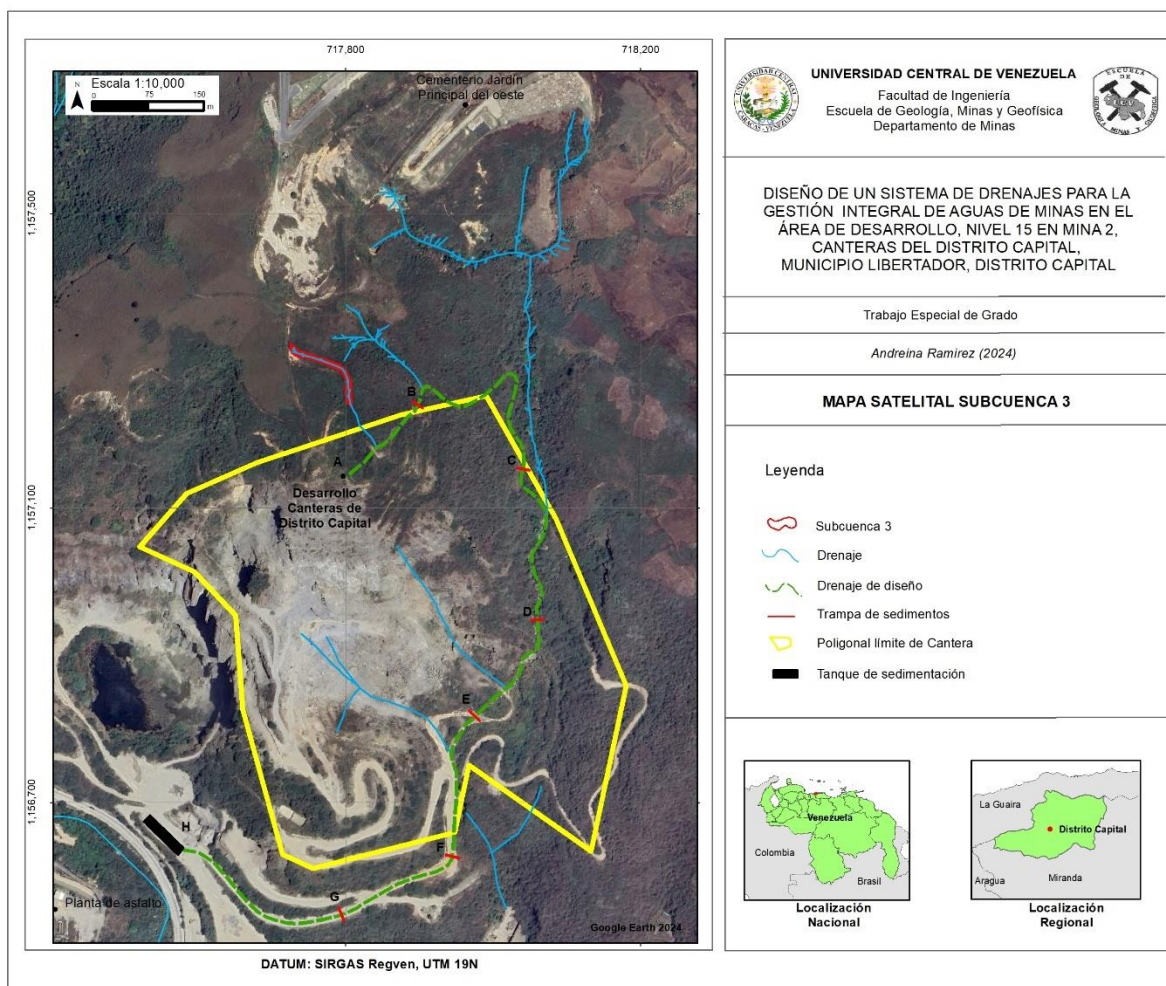


Figura N°52: Mapa con subcuena hidrográfica 3.

Fuente: Elaboracion Propia.

Intensidad de precipitación en subcuena 3				
Meses	Coefficiente	I (mm/hr)	A (km²)	Q(m³/s)
Mayo	0,70	14,4	0,663	1,79
Junio	0,70	13,6	0,663	1,69
Julio	0,70	14,8	0,663	1,85

Tabla N° 31: Intensidad de precipitación para subcuena 3 en los meses de mayo, junio y julio, 2019.

Fuente: Elaboracion Propia.

Analizando los valores arrojados por los cálculos de los caudales de las tres (03) subcuencas se puede apreciar que el volumen de agua que se concentra en la subcuena 1, aportando 46,160 m³/s, es mayor que las demás vertientes. Esto se debe a que la vertiente 1 tiene una mayor extensión de territorio con respecto a las otras dos subcuencas.

También se debe recalcar que las precipitaciones varían en tiempo y espacio y que la inclinación del terreno incide en el aumento local de la mismas, al provocar el desprendimiento de las masas de aire saturadas de vapor de agua.

Es importante tomar en cuenta que las aguas de estas subcuencas inciden en las vías de acceso (hacia la mina y las áreas administrativas) de Canteras de Distrito Capital y no tienen un diseño de canales que permitan canalizar las aguas de escorrentías, por lo cual se tomó en cuenta el caudal máximo entre las subcuencas, en este caso el de la subcuena 1, para el diseño de las estructuras para el control de aguas.

5.10. Control de aguas superficiales

Las obras de drenaje superficial que trabajan directamente sobre las vías de

acceso o carreteras se consideran como longitudinales o transversales, según su posición que estas guarden con respecto al eje de la vía.

De tal manera Canteras de Distrito Capital, cuenta con vías de acceso a las áreas de laboreo, que tienen un drenaje transversal al lado de la vía, cuya estructura se encuentra altamente deteriorada por el transporte de sedimentos de grandes dimensiones ya que no fue construida con proyección a largo plazo (Figura N°53), es por ello, que se requiere un plan para mejorar el diseño y dimensión de dichos canales.



Figura N°53: Canales preexistentes en vialidad de Mina 2, Canteras de Distrito Capital.
Fuente: Elaboracion Propia.

5.11. Canal de conducción de agua

Para la revisión y registro final de las aguas provenientes de minas se debe cumplir con elementos que ayudan a la conducción del agua, por ende, una vez determinado el caudal de las cuencas y conociendo la topografía del yacimiento, con intervención del programa informativo HCANALES, fue factible diseñar una estructura hidráulica, que se ajustara a los requerimientos y parámetros ya

establecidos en la mina.

Se diseñó un canal geométrico trapezoidal, debido a que se ajusta a las condiciones prexistente en la mina y es posible realizar con los equipos existente en la cantera.

Con las proyecciones de las precipitaciones que se obtuvieron anteriormente, se calculó el tamaño de canalización y la estructura geométrica (Figura N°54); con un alto de 0.90 metros y una base 0.60 metros, que permitirá el transporte y retención de los sedimentos, tomando en cuenta el caudal promedio total de las tres (03) cuencas de 17,79 m³/s; arrojando una velocidad critica de 1.13 m/s.

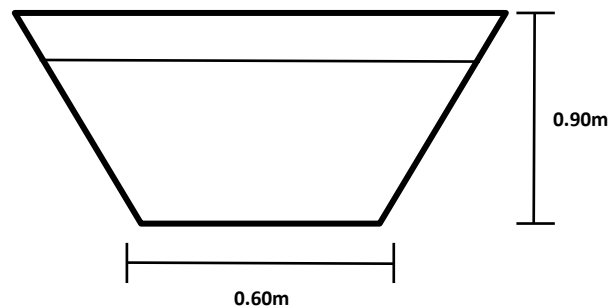


Figura N°54: Canal de geometría trapezoidal.

Fuente: Elaboracion Propia.

Con el uso de software antes mencionado y partiendo de los parámetros de la fórmula de Manning:

Coefficiente de rugosidad (n) = 1;

Ancho de solera (T) = 060,

Gradiente longitudinal (S) = 0,8 % para toda la zona

Aprovechando el uso del Software HCANALES, pudimos realizar el cálculo de la de la máxima eficiencia hidráulica y la mínima infiltración (Tabla N°32).

Donde:

A: área hidráulica (m²).

R: radio hidráulico (m).

v: velocidad (m/s)

F: número de Froude

E: energía específica (kJ/kg).

Elementos geométricos de la sección del canal

Canal trapezoidal	S	N	Q	R	v	A	F	E	Tipo de flujo
Máxima eficiencia	0,8	1	17,79	1,407	1,12	15,84	0.21	2,88	Subcrítico
Mínima infiltración	0,8	1	17,79	1,346	1.09	16,31	0.25	2,08	Subcrítico

Tabla N° 32: Elementos geométricos de la sección del canal.

Fuente: Elaboracion Propia.

Con los datos obtenidos (Ver Figura N°55) en la sección trapezoidal, la variación de la velocidad se debe a que la solera (base del canal) y el tirante del agua (trayectoria del canal) sufre modificaciones. También dependerá del tipo de material con el que construyan el canal y los sedimentos que queden depositados en el mismo (limos, gravas o arcillas).

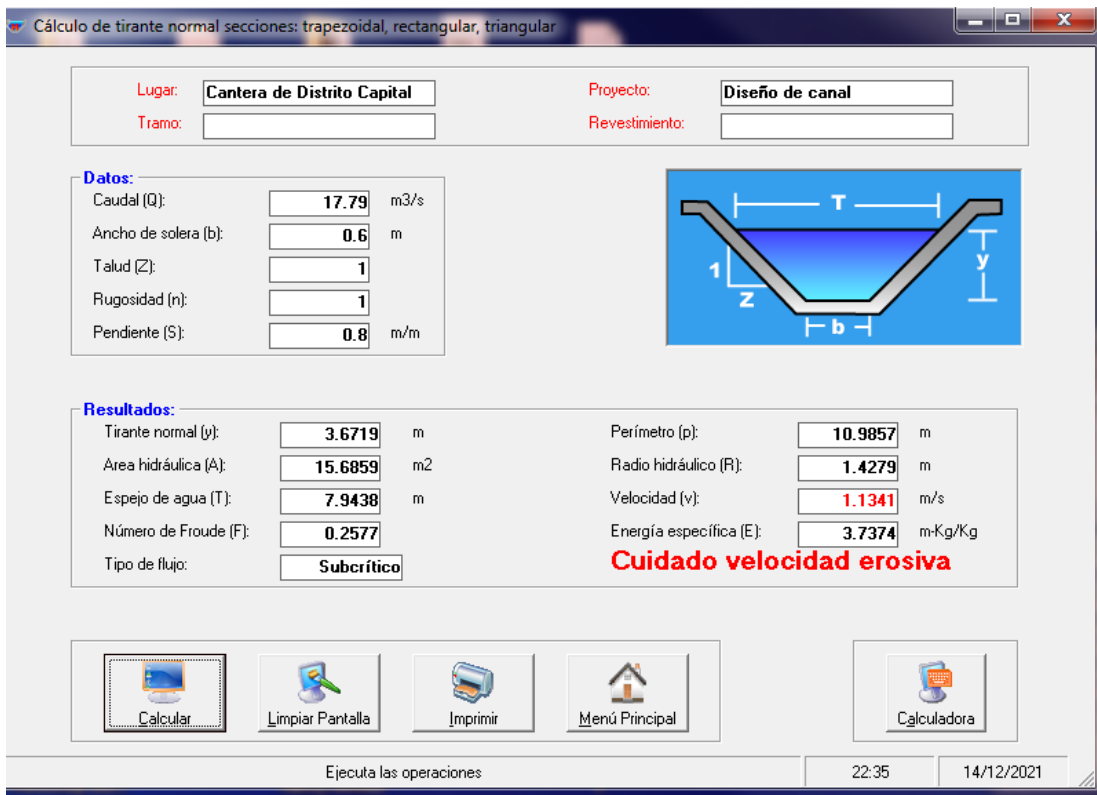


Figura N°55: Software HCANALES con datos obtenidos para una sección trapezoidal.
Fuente: Elaboracion Propia.

En la figura N°56, se presenta de forma espacial la estructura y localización del drenaje diseñado para Mina 2, el cual cuenta con una longitud de 1.489 m, desde el nivel 15 hasta el tanque de decantación; tendrá una inclinación de 25°; también, se evidencia las estructuras de retención de sólidos, propuestas para minimizar la energía cinética del agua durante la trayectoria del drenaje.

un tanque de decantación cuya estructura geométrica es rectangular, el mismo cuenta en su interior con una pared de piedra de 1" que funciona como otro elemento de retención de sólidos.

El tanque cumple con unas siguientes dimensiones (Figura N°57):

Ancho: 6,50 m

Largo: 59,40m

Profundidad: 4,70 m



Figura N°57: Representación gráfica de las dimensiones del tanque de decantación

Fuente: Minería de Campo Gonzalez y Quintero, 2020.

De los resultados de González y Quintero (2020), el tanque de decantación puede soportar un volumen aproximado disponible para almacenamiento de fluidos en el tanque de decantación es de 1.332,73 m³ por lo que tardaría en llenarse aproximadamente 2 semanas durante las cuales el sólido en suspensión en el fluido ira decantando en el fondo del tanque.

5.12.2. Espigones

Según Guzmán Montejo (2017, México), "los espigones son estructuras interpuestas al flujo de la corriente y son implementadas en zonas con corrimientos marginales, de acuerdo con su naturaleza, generan flujos turbulentos en la vecindad de su influencia".

Con el diseño de drenaje que inicia en el Nivel 15 de Mina 2 hasta el tanque de decantación (longitud total del drenaje 1.489m), se propone construir tramos con seis (06) espigones que permitirán ir disminuyendo la cantidad de sedimentos y minimizar la energía cinética con la que inicia el caudal de agua provenientes de las cuencas antes mencionadas (Figura N°58).

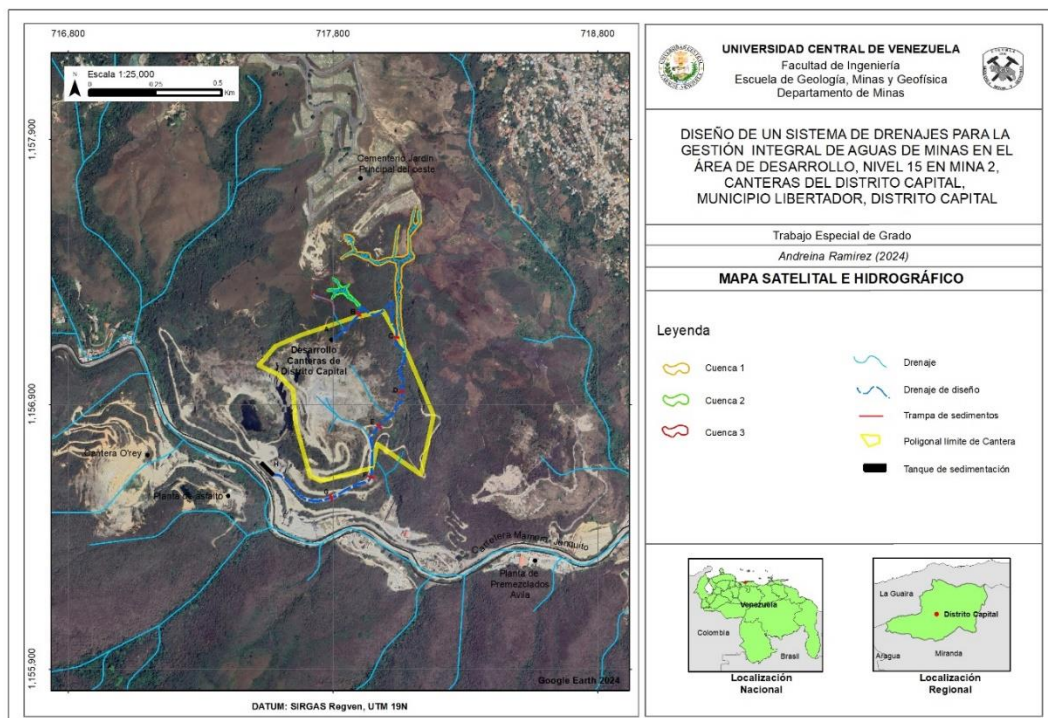


Figura N°58: Propuesta de Drenaje y Espigones.
Fuente: Elaboracion Propia.

CONCLUSIONES

Para la propuesta de un diseño de sistema de drenajes para la gestión integral de aguas de minas en el nivel 15 en mina 2, canteras del Distrito Capital, municipio Libertador; se realizaron actividades de investigación, que permitió la recopilación bibliográfica y levantamientos de datos en campo bajo el enfoque de la gestión integral y agua de escurrimiento en superficie.

Relativo a la construcción de lluvia de diseño

Durante las actividades de recopilación y procesamiento de datos, permitió calcular los caudales de las cuencas hidrográficas de la Cantera, y con los registros de precipitación en estaciones climatológicas.

- Con el satélite TRMM de la NASA se identificaron precipitaciones en una ventana de tiempo de 20 años (1998-2018), utilizando la clasificación metodológica de Thornthwaite, lo que permitió completar el balance de agua proveniente de la precipitación sobre la superficie de la Cantera, debido a que la mina no cuenta con una estación meteorológica.
- La lluvia de diseño permitió calcular la máxima precipitación en un mes en la superficie de la Cantera, registrada durante el mes de julio de 2012, con un valor de 97,80mm.
- Se calculó el máximo de precipitación en 24 horas, durante el mes de julio de 2019, con un valor de 14.80mm.
- Existe la probabilidad del 1% de que sea superado los 130,66 mm en 24hrs, y esto corresponde a un evento centenario, por lo contrario, el 99% de la probabilidad que la precipitación en un intervalo de 24hrs o menor pueda alcanzar un máximo entre 103,87mm a 130,66mm.

Medición de la Erosión

Durante la etapa de campo se observó que la erosión con mayor influencia es el proceso por salpicadura, que a su vez conlleva a la erosión por cárcavas.

Se midieron tasas de erosión y las cantidades de suelo movilizado, mensuales, entre mayo y julio de 2019, mediante experimentos en campo, con el uso de parcelas de erosión por clavos (PEC), encontrándose que el proceso dominante fue la erosión:

- Durante el mes de mayo se midió una erosión neta de 383, 65 tn/ha, mientras que el suelo movilizado alcanzo las 2.348,92 tn/ha. La cantidad de erosión media 1.366,29 tn/ha y al mismo tiempo la sedimentación fue de 982.63 tn/ha.
- En junio las medidas de erosión neta fueron de 604,54, 65 tn/ha, mientras que el suelo movilizado alcanzo las 3.961,93 tn/ha. La cantidad de erosión media 2.283,23 tn/ha y al mismo tiempo la sedimentación fue de 1.678,69 tn/ha.
- El mes de julio se midió una erosión neta de 313, 17 tn/ha, mientras que el suelo movilizado alcanzo las 5.333,11 tn/ha. La cantidad de erosión media 2.823,18 tn/ha y al mismo tiempo la sedimentación fue de 2.509,97 tn/ha.

Las vías de acceso en donde fueron ubicadas las parcelas de erosión con clavos (PEC) tienen un promedio de pendiente de 35°, estos terrenos sin vegetación tuvieron un suelo movilizado de 757,909 tn/ha, con solo alcanzar un mínimo de precipitación en el mes de mayo de 37,6 mm.

El grado de la pendiente y su longitud, influyen directamente en la velocidad y volumen de las aguas de escorrentías, lo cual son factores que influyen directamente en la erosión.

Referente al diseño

Se diseñó un canal de geometría trapezoidal, ya que se mantiene parte de la estructura principal existente en los canales de desagua de las vías ya que se trata de una labor que deberá efectuarse a bajos costos, facilidad de mantenimiento y conservación de este.

Las dimensiones del canal fueron propuestas en el capítulo (análisis y resultados), sin embargo, quedara bajo el consentimiento de la Gerencia de Minería, quien priorizará la labor de mantenimiento que produzca la erosión en el fondo y paredes del canal.

Se propone la activación del tanque de decantación para minimizar el impacto socio ambiental originado por no tratar las aguas con sólidos en suspensión.

La implementación de espigones en la trayectoria del drenaje propuesto permitirá mantener el control de sedimentos provenientes de las cuencas que alimentan a las subcuencas internas de la cantera.

RECOMENDACIONES

La minería como actividad económica para el desarrollo y construcción de viviendas (en caso de Canteras de Distrito Capital), no es solo se basa en operaciones unitarias que se encargue de la explotación; también está comprometido la acción de mantener los espacios y ecosistemas dentro de la zona de explotación, por lo que se recomienda lo siguiente:

Realizar un estudio de las precipitaciones a detalle, en los meses identificados con mayor precipitación, desde mayo a julio y a su vez extenderlos hasta los meses de septiembre; debido a que estas precipitaciones son las que recargan la hidrología superficial de la zona de estudio.

Hacer una buena planificación de la vialidad de la mina, la misma cuenta con 3,8 km dividido en tres (03) tramos, los cuales requieren reparación y construcción de canales y bermas.

Realizar mantenimiento y reparación de la laguna de decantación existente en Canteras de Distrito Capital; ya que con ella podrán tener control de los sedimentos que son erosionados de las zonas de vulnerabilidad de la mina; así mismo, hacerle su mantenimiento preventivo.

Con la tasa de erosión determinada durante la investigación, se deberá realizar un monitoreo que permitirá crear una base de datos y tomar en cuenta distintos factores que ayudan a la erosión de la superficie en futuros proyectos; con los resultados de las mediciones constantes permitirán cuantificar los sedimentos que son depositados a la quebrada de Mamera.

Ejecutar la propuesta del diseño de drenaje, que permitirá tener un buen control de los sedimentos que son trasladados hasta la laguna de decantación y parte de los sedimentos que son depositados en la Quebrada Mamera.

Crear en el área de Gestión Ambiental de la empresa, un grupo que se dedique al monitoreo y control de los elementos de retención de sedimentos (laguna de decantación y mantenimiento de espigones); este equipo deberá tener un cronograma de supervisión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

T.E.G: Trabajo especial del grado.

ASTM D422 “Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils”

ASTM D7625-10 “*Standard test method for laboratory determination of abrasiveness of rock using the cerchar method, American society of testing and materials*”.

Bastitas, Yllevic (2018). “*Propuesta de rediseño del manejo de agua de Mina Colombia como aporte a la gestión integral de aguas, municipio el callao, estado Bolívar*”. T.E.G. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Cabezas, Alberto (2011). *Erosión y los agentes erosivos*. (Archivo PDF).

Campos, G. y Sosa, V. (2011). Estrategias metodológicas para la elaboración de tesis de posgrado. México, Porrúa.

Cano, M., García-Barba, J., Santamarta, J.C., Hernández, L.E., Rodríguez, J.A., Zamora, R. (2013). Prácticas de Ingeniería del Terreno. Universidades de Alicante y de La Laguna. (Archivo PDF).

Chereque, M. OW, V., (1989. Hidrología para estudiantes de ingeniería civil Pontificia Universidad Católica del Perú, obra auspiciada por CONCYTEC. Lima, Perú, 223 pp.

Cova, José (2018): “*Proponer un diseño del sistema de control integral de sólidos en suspensión hídrica en las áreas de operaciones mineras, con la*

finalidad de adecuar el sistema de control actual y proponer recomendaciones para la expansión del desarrollo minero". T.E.G. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Cuitiño, H. (1999). *"Evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos de la precordillera andina y valle central de la VII región"*. T.E.G. Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Forestales. Talca, Chile.

Delgado Ronald (2011): *"Plan de recuperación integral del talud lado sur: alternativas de mitigación ambiental en la cantera el melero estado Miranda"*. T.E.G. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

DENGO G. (1951) Geología de la Región de Caracas. Bol. Geol. Caracas. Vol. 1 No 1 pp. 41-115.

Global Water Partnership, America Central (2013). *Guía para la aplicación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) a nivel municipal*. (Web en Línea). Disponible en: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/guia-girh-a-escala-municipal.pdf Consultado el 01 de febrero de 2019.

González y Quintero (2020). *"EVALUACION DEL TANQUE DE DECANTACIÓN Y PROPUESTA DE ACTIVACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA VERTIDA A LA QUEBRADA DE MAMERA PROVENIENTE DE LA ARENADORA DE PLANTA III DE CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A"*. Informe de Minería de Campo. Unjiversidad Cenral de Venezuela, Caracas.

Guevara, E. y Cartaya, H. 1991. HIDROLOGIA. Una introducción a la Ciencia Hidrológica Aplicada. GUECA EDICIONES. Valencia, Venezuela, 358 p.

Guzmán Montejo (2017, México). *"CORRIENTES SECUNDARIAS EN CURVAS DE RÍOS CON ESPIGONES, USANDO TÉCNICAS ACÚSTICAS"*

(Artículo en línea). Disponible en:
https://www.imta.gob.mx/potamologia/images/potamologia/CV-profesores-curso/DR.%20FCO.%20JAVIER%20APARICIO%20Curso%20Quer%C3%A9taro_3.pdf. Consultado 02 de febrero de 2019

Hernández y Baptista (2014). *“Metodología de la Investigación” Sexta Edición*. (Archivo PDF)

Ibáñez Juan (2006). *La erosión del suelo: Tipos de procesos erosivos*. (Web en Línea). Disponible en:
<http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/03/11/15557> Consultado el 15 de diciembre de 2018.

INIA Tacurembo (2015). *Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas*. (Archivo PDF).

Ludewig,C. (2016) *Metodología de la investigación*. Disponible en:
<http://www.smo.edu.mx/colegiados/apoyos/muestreo.pdf> Consultado el 15 de enero de 2019.

Musy, A. 2001. Cours "Hydrologie générale". Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. IATE/HYDRAM. Laboratoire d'Hydrologie et Aménagement. Capítulo 1, 2, 3, 4 y 5.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 1997. *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*. (Web en Línea). Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s00.htm#Contents> Consultado el: 10 de enero de 2019. Roma.

Sánchez, L. (1995). *Drenaje de Mina a Cielo Abierto” Volumen I*. Oficina regional de ciencia y tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Montevideo. Uruguay.

Santiago (2015). *El suelo: origen, estructura, composición. La utilización del suelo. La contaminación del suelo. Métodos de análisis del suelo.* (Web en Línea). Disponible en: <https://www.oposinet.com/temario-de-biologia/temario-1-biologia/tema-17-el-suelo-origen-estructura-y-composicin-la-utilizacin-del-suelo-la-contaminacin-del-suelo-mtodos-de-anlisis-del-suelo/> Consultado el 05 de enero de 2019.

Schlumberger Water Services (2008). *Gestión Minera de Recursos Hídricos* (Web en Línea). Disponible en: http://www.infomine.com/Suppliers/PublicDoc/Schlumberger/SWS_Mining_Brochure_Spanish.pdf. Consultado el 17 de enero de 2019.

Silva, M. (2001). Apuntes para la elaboración de un proyecto de investigación social. México, UNAM.

USDA (United States Department of Agriculture) (1951) Soil Survey Manual. Handbook No. 18, Soil Survey Staff, Bureau of Plant Industry, Soils and Agricultural Engineering, United States Department of Agriculture, Washington DC, 205 (Web en Línea). Disponible en: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2016447>. Consultado el 18 de mayo de 2019.

Van Zanten (2004). *“Diseño de manejo de aguas de mina, en el pit baqueta de la mina paso diablo, estado Zulia, como aporte al desarrollo sustentable de la región”*. T.E.G. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Williams y R. Srinivasan (1987). *Predicción de la erosión hídrica y eólica del suelo* (Web en Línea). Disponible en: <http://www.fao.org/3/t2351s/T2351S03.htm#Predicci%C3%B3n%20de%20la%20erosi%C3%B3n%20h%C3%ADdrica%20y%20e%C3%B3lica%20del%20suelo>