

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ACTUALIZACIÓN DE DATOS GEOLÓGICOS Y
GEOTÉCNICOS MEDIANTE EL EMPLEO DE
CARTOGRÁFICA DIGITAL Y APLICACION DE UN
ESTUDIO DE ORIENTACIÓN GEOTÉCNICA PARA EL
SECTOR FILAS DE MARICHE, ESTADO MIRANDA**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Fermín R. Jesús M.,
González G. Miguel A.
Para optar al Título de
Ingeniero Geólogo

Caracas, 2008

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ACTUALIZACIÓN DE DATOS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS MEDIANTE EL EMPLEO DE CARTOGRÁFICA DIGITAL Y APLICACION DE UN ESTUDIO DE ORIENTACIÓN GEOTÉCNICA PARA EL SECTOR FILAS DE MARICHE, ESTADO MIRANDA

Tutos Academico: Prof. Armando Díaz Quintero

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Fermín R. Jesús M.,
González G. Miguel A.
Para optar al Título de
Ingeniero Geólogo

Caracas, 2008

Caracas, (Junio, 2008)

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geología, Minas y Geofísica para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres Fermín R. Jesús M. y González G. Miguel A., titulado:

**“ACTUALIZACIÓN DE DATOS GEOLÓGICOS Y
GEOTÉCNICOS MEDIANTE EL EMPLEO DE
CARTOGRÁFICA DIGITAL Y APLICACIÓN DE UN
ESTUDIO DE ORIENTACIÓN GEOTÉCNICA PARA EL
SECTOR FILAS DE MARICHE, ESTADO MIRANDA”**

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

Prof. (Omar Marquez)
Jurado

Prof. (Prietro Di Marco)
Jurado

Prof. Armando Díaz Q.
Tutor Académico

DEDICATORIA

Este trabajo especial de grado está dedicada a ti Madre, ya que eres mi mejor amiga, eres la persona que me ha acompañado en las alegrías y en las tristezas, a ti que creíste en mí y me diste las armas para poder vivir y evolucionar, que me has dado siempre más de lo que tuvistes, que con tu amor llenaste mi ser y me hiciste lo que hoy soy.

A ti Padre, que aunque no estés conmigo, se que te sientes orgulloso por esta meta culminada, que me diste valor y esperanza, que fuiste un gran amigo en las buenas y en las malas, a ti que me enseñaste a soñar y ha saber esperar.

A mis hermanas Carolina y Cristina, que daría la vida entera por cada una de ellas ya que son parte de mi ser, por ser tan especiales, comprensivas y leales, por ser lo que amo y amaré mientras viva, a uds más que este trabajo le dedicare toda mi vida.

A mi abuela (Mamacarmen), parte esencial de mi vida, por su apoyo y comprensión en los buenos y malos momentos.

A Mary, por ser mi compañera y cómplice en muchos aspectos de mi vida, tú has sido alegría, esperanza y apoyo en los momentos más duros de mi vida.

A mi compañero de tesis Miguel Ángel, gracias por hacer posible un sueño, por apoyarme y estar ahí hasta en los momentos que ni yo mismo me soportaba, de verdad gracias.

Al personal del SIG Datanálisis, Angélica y Andrea que me dieron su apoyo, que me enseñaron el trabajo duro y a no descansar hasta conseguirlo.

A la Familia, que aunque no estén siempre conmigo son parte de mí.

A Dios, por iluminarme el camino que he recorrido y recorreré.

Jesús Miguel Fermín Risso

DEDICATORIA

Yo, Miguel González quiero agradecer con el alma y el corazón en la mano a mis padres por ser quienes son para mí, mis amigos y mis compañeros de por vida. Por darme la vida, por darme educación, por darme la oportunidad de ser profesional y por amarme por quién soy y no por los meritos que he logrado.

A mi hermano querido y mi hermanita bella, les agradezco por estar allí y por ser quienes son para mí, mis apoyos y mis cómplices en muchas cosas pero al mismo tiempo mis razones de seguir adelante con mi vida, la que elegí y planeo seguir.

A mis abuelos y abuelas, a mis tíos y tías, a Uds. por darme apoyo y cuidados cuando más los necesite.

A mis mejores amigos, Alfonso, José David, Ricardo y Richard, les agradezco con la vida todo su apoyo, ayuda e incluso regaños para seguir adelante y poderme graduar, ser un profesional y luchar por lo que quiero y deseo.

A mi amor, que es lo por lo que deseo luchar, que es lo que quiero y deseo, a ti te agradezco mas que con unas líneas, te agradezco con el alma y la vida misma.

Al personal de Oficina De Consultores Ambientales. C.A por mostrarme que los amigos se encuentran hasta en el trabajo.

A mis amigos de estudio, Rafa y Key, Leila, Cesar, Ramón, Perú, entre otros. A mis amigos “online”, Daniel Guaino, Daniel Alcala, John, Sergio Pérez y Rafael. A mis amigos fuera del ámbito de estudios y demás conocidos que me mostraron que la amistad no es solo una palabra vacía y que un amigo se puede encontrar en cualquier lado y bajo cualquier condición.

A mi compañero de tesis Jesús Miguel Fermín y su familia por darme la oportunidad de realizar este trabajo de grado bajo su tutela y apoyo.

Quiero hacer un agradecimiento no especial sino peculiar al Bachiller Lesme Gutiérrez, si puedo decir algo con propiedad es que gracias a ti, tu actitud y tus deseos de querer ser más que los demás a costa de ellos mismos es lo que ha hecho que me gradúe, indirectamente gracias a ti me estoy graduando en julio del 2008.

AGRADECIMIENTO

Un especial agradecimiento a mi Madre, por apoyarme, por creer en mí, por la comprensión que siempre me ha dado, por proporcionarme las armas para luchar en esta compleja vida.

A mis hermanas, agradezco el apoyo y la confianza que arrojaron en mí, sin ellas es posible que el cansancio y la desesperanza me hubieran alcanzado.

A mi tutor Prof. Díaz Quintero, por apoyar y creer en este trabajo, por las noches de desvelos que esta investigación le acarreo.

A mi compañero de tesis, por la oportunidad que me dio de formar un equipo con este trabajo, por el apoyo, por no dejarme solo, por acompañarme hasta el final a pesar de las muchas diferencias que teníamos.

A mis amigos, Mardonio, Carla, Darwin, las Napas, y demás amigos universitarios, por acompañarme, darme apoyo y facilitar mi vida.

Un especial agradecimiento a Jonny Santiago, porque sin él este trabajo no se hubiera concluido, un excelente amigo y profesional el cual nos dio su apoyo incondicional.

En fin agradezco a todos aquellos que de una manera o de otra dieron parte para que este trabajo concluyera.

Jesús Miguel Fermín

AGRADECIMIENTO

Yo, Miguel González quiero agradecer con el alma y el corazón en la mano a mis padres por ser quienes son para mí, mis amigos y mis compañeros de por vida. Por darme la vida, por darme educación, por darme la oportunidad de ser profesional y por amarme por quién soy y no por los meritos que he logrado.

A mi hermano querido y mi hermanita bella, les agradezco por estar allí y por ser quienes son para mí, mis apoyos y mis cómplices en muchas cosas pero al mismo tiempo mis razones de seguir adelante con mi vida, la que elegí y planeo seguir.

A mis abuelos y abuelas, a mis tíos y tías, a Uds. por darme apoyo y cuidados cuando más los necesite.

A mis mejores amigos, Alfonso, José David, Ricardo y Richard, les agradezco con la vida todo su apoyo, ayuda e incluso regaños para seguir adelante y poderme graduar, ser un profesional y luchar por lo que quiero y deseo.

A mi amor, que es lo por lo que deseo luchar, que es lo que quiero y deseo, a ti te agradezco mas que con unas líneas, te agradezco con el alma y la vida misma.

Al personal de Oficina De Consultores Ambientales. C.A por mostrarme que los amigos se encuentran hasta en el trabajo.

A mis amigos de estudio, Rafa y Key, Leila, Cesar, Ramón, Perú, entre otros. A mis amigos “online”, Daniel Guaino, Daniel Alcala, John, Sergio Pérez y Rafael. A mis amigos fuera del ámbito de estudios y demás conocidos que me mostraron que la amistad no es solo una palabra vacía y que un amigo se puede encontrar en cualquier lado y bajo cualquier condición.

A mi compañero de tesis Jesús Miguel Fermín y su familia por darme la oportunidad de realizar este trabajo de grado bajo su tutela y apoyo.

Quiero hacer un agradecimiento no especial sino peculiar al Bachiller Lesme Gutiérrez, si puedo decir algo con propiedad es que gracias a ti, tu actitud y tus deseos de querer ser más que los demás a costa de ellos mismos es lo que ha hecho que me gradúe, indirectamente gracias a ti me estoy graduando en julio del 2008.

**Fermín R, Jesús M.
González G, Miguel A.**

**ACTUALIZACIÓN DE DATOS GEOLÓGICOS Y
GEOTÉCNICOS MEDIANTE EL EMPLEO DE
CARTOGRÁFICA DIGITAL Y APLICACIÓN DE UN
ESTUDIO DE ORIENTACIÓN GEOTÉCNICA PARA EL
SECTOR FILAS DE MARICHES, ESTADO MIRANDA.**

**Tutor Académico: Prof. Armando Díaz Q. Tutor Industrial: Ing. Henry
Aldana.**

**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería
Geológica.
Año 2008.**

Palabras Claves: Estado Miranda, Filas de Mariches, Geología-Estado Miranda,
Geotecnia, ArcGis-Programa, Cartografía-Digitalizada

RESUMEN: El presente trabajo especial de grado se desarrolló con la finalidad de responder a la necesidad de identificar cuantitativa y espacialmente los niveles de riesgo geológico y orientación geotécnica. Este estudio se realizó en el área de Fila de Mariche, al sureste de la ciudad de Caracas en el Municipio Sucre del Estado Miranda. El objetivo de este estudio es realizar una actualización de datos tanto geológicos como geotécnicos de la zona con la finalidad primordial de elaborar un modelo de orientación geotécnica con herramientas digitales de análisis espacial y formas de relieve. La investigación constó de las siguientes fases: a) recopilación de datos bibliográficos y cartográficos para la elaboración de una base de datos digital, b) identificación de las variables a evaluar dentro de los análisis espaciales, c) elaboración de una metodología para la zonificación del riesgo geológico y orientación geotécnica basada en los procedimientos aplicados por el programa ArcGis 9.2 de la compañía ESRI para la generación de dichas variables, d) aplicación de la metodología en la zona de estudio.

Los resultados obtenidos fueron: del total de 18 km² que comprende la zona planteada para el estudio, un 35% se encuentra en un nivel de baja y muy bajo inestabilidad; por su parte el nivel de riesgo medio ocupa un 15% de la superficie; y los niveles alto y muy alto de riesgo abarcan el 40% del área de estudio.

INDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.2 OBJETIVOS.....	5
1.3 ALCANCES.....	6
1.4 UBICACIÓN.....	7
CAPÍTULO II	9
2.1 FISIOGRAFÍA.....	10
2.2 SUELOS.....	12
2.3 VEGETACIÓN.....	12
2.4 CLIMA.....	14
2.4.1 Clima Tropical Lluvioso.....	15
2.4.1.1 Distribución Estacional de la Precipitación.....	15
2.4.1.2 Régimen Térmico.....	16
2.5 HIDROGRAFÍA.....	17
2.6 GEOLOGÍA REGIONAL.....	19
2.6.1 Grupo y Unidad Formal.....	19
2.6.1.1 Grupo Caracas.....	19
2.6.1.2 Formación Las Mercedes.....	21
2.6.1.3 Formación Las Brisas.....	24
2.7 GEOLOGÍA LOCAL.....	26
2.8 TRABAJOS PREVIOS.....	28

CONTENIDO	Pág.
CAPÍTULO III	31
3.1. MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA.....	33
3.1.1. Desprendimientos.....	33
3.1.2. Deslizamientos.....	37
3.1.2.1. Deslizamientos Planares.....	38
3.1.2.2. Deslizamientos Rotacionales.....	39
3.1.2.3. Esparcimiento Lateral y Falla Progresiva.....	40
3.1.2.4. Deslizamiento de Escombros.....	41
3.1.3. Avalanchas.....	41
3.1.4. Flujo de Escombros.....	42
3.1.5. Repteo.....	42
3.1.6. Volcamientos.....	43
3.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES.....	43
3.2.1. La Topografía.....	44
3.2.1.1. Taludes Escarpados.....	44
3.2.1.2. Áreas de Concentración de Drenaje y Filtración.....	44
3.2.1.3. Áreas de Concentración de Fracturas.....	45
3.2.2. Estabilidad.....	45
3.2.3. Efecto de la Resistencia del Suelo y la Pendiente del Talud.....	46
3.2.4. Pluviosidad.....	46
3.2.5. Erosión.....	47

CONTENIDO	Pág.
3.2.6. Licuefacción Debido a Acciones Sísmicas.....	48
3.3. RIESGO GEOLÓGICO Y ORIENTACIÓN GEOTÉCNICA.....	49
3.3.1. Pendientes.....	50
3.3.2. Litología.....	54
3.3.3. Cinemáticos.....	57
3.3.3.1 Cinemáticos Estructurales.....	57
3.3.3.2 Cinemáticos Superficiales.....	58
3.3.4 Relieve.....	60
3.3.5 Uso de los Sistemas de Información Geográficos en el Modelado de Riesgo Geológico y Orientación Geotécnica.....	61
CAPÍTULO IV	63
4.1. METODOLOGÍA GENERAL.....	64
4.2. METODOLOGÍA PARA LA CREACIÓN DE BASE DE DATOS SIG.....	65
4.2.1. Tablas de la Base de Datos SIG.....	65
4.2.2. Estructuración Base de Datos.....	65
4.3 METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS.....	66
4.3.1. Extensión “Divide”	67
4.3.2. Modelo de Elevación Digital (MED)	68
4.3.2.1. Formato de Presentación MED.....	69
4.3.3. Modelo de Contorno.....	70
4.3.4. Modelo Orientación de Laderas.....	71
4.3.4.1. Algoritmo de Cálculo de Orientación de Laderas.....	72

CONTENIDO	Pág.
4.3.5. Modelo de Pendiente.....	75
4.3.6. Modelo de Riesgo Geológico.....	80
4.3.7. Modelo de Orientación Geotécnica.....	81
CAPITULO V.....	82
5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS SOBRE CLINOMETRIA O PENDIENTES.....	84
5.1.1 Pendientes Muy Suaves.....	84
5.1.2 Pendientes Suaves.....	85
5.1.3 Pendientes Medianas.....	85
5.1.4 Pendientes Fuertes.....	85
5.1.5 Pendientes Abruptas.....	86
5.1.6 Pendientes Muy Abruptas.....	86
5.2 ANÁLISIS DE PENDIENTES SEGÚN NIVELES DE ESTABILIDAD.....	86
5.2.1 Nivel de Pendiente Muy Estable.....	87
5.2.2 Nivel de Pendiente Estable.....	87
5.2.3 Nivel de Pendiente Moderadamente Estable.....	88
5.2.4 Nivel de Pendiente Inestable.....	88
5.2.5 Nivel de Pendiente Muy Inestable.....	89
5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ORIENTACIÓN DE LADERAS.....	90
5.3.1 Nivel Norte de Orientación de Laderas.....	91
5.3.2 Nivel Noreste de Orientación de Laderas.....	91

CONTENIDO	Pág.
5.3.3 Nivel Este de Orientación de Laderas.....	91
5.3.4 Nivel Sureste de Orientación de Laderas.....	92
5.3.5 Nivel Sur de Orientación de Laderas.....	92
5.3.6 Nivel Suroeste de Orientación de Laderas.....	92
5.3.7 Nivel Oeste de Orientación de Laderas.....	93
5.3.8 Nivel Noroeste de Orientación de Laderas.....	93
5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO.....	94
5.4.1 Zona Muy Inestable.....	94
5.4.2 Zona Inestable.....	94
5.4.3 Zona Medianamente Estable.....	95
5.4.4 Zona Estable.....	95
5.4.5 Zona Muy Estable.....	95
5.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ORIENTACIÓN GEOTÉCNICA.....	97
5.5.1 Zona Muy Inestable.....	97
5.5.2 Zona Inestable.....	98
5.5.3 Zona Parcialmente Estable.....	98
5.5.4 Zona Estable.....	99
5.5.5 Zona Muy Estables.....	99
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	100
REFERENCIAS CARTOGRÁFICAS.....	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

ÍNDICE DE CUADROS, TABLAS Y GRÁFICOS

CONTENIDO	Pág.
Cuadro 1.4 Coordenadas “Regven” de Puntos Limítrofes de Área de Estudio “Fila de Mariche”.....	8
Cuadro 3.1.1.A Clasificación de Movimientos de Remoción de Masa (Adaptado por HUNT 1984).....	34
Cuadro 3.1.1.B Clasificación Simplificada de los Movimientos de Laderas (Modificado por Canominas y García).....	35
Grafico 3.3.1.A Niveles de Aparición Porcentual de los Rangos de Pendiente Dentro del Área de Estudio.....	53
Grafico 3.3.1.B Tendencias del Drenaje Conforme Cruza Diferentes Zonas de Pendiente.....	54
Grafico 3.3.1.C Niveles de Predominancia de los Tipos de Vegetación de Acuerdo al Nivel de Pendiente Propia.....	54
Cuadro 3.3.2 Comparación entre Rasgos Mineralógicos Predominantes en las Unidades Formacionales Propuestas para la Zona de Trabajo y la Incidencia de los Procesos Geomorfológicos de Acuerdo a la Presencia de Vegetación.....	56
Cuadro 3.3.3 Comparación entre los Eventos Cinemáticos. Estructurales y Superficiales.....	60
Cuadro 4.2.2 TABLA DE BASE DE DATOS, Muestra de las Variables y su Código Utilizadas en la Elaboración de los Mapas Temáticos.....	66
Cuadro 4.3.5 Rangos de Pendientes (Valleé, M., 2006).....	78

CONTENIDO	Pág.
Cuadro 5.1 Clasificación Aplicada a los Rangos de Pendientes Utilizados.....	84
Cuadro 5.2 Clasificación Aplicada a los Rangos de Pendientes Utilizados de Acuerdo al Nivel de Estabilidad Presente.....	87
Grafica 5.2 Distribución Areal de los Diferentes Niveles de Estabilidad de Pendientes.....	89
Cuadro 5.3.A Orientación de Laderas según Rangos.....	90
Cuadro 5.3.B Base de Datos para Orientación de Laderas, Área de Estudio.....	93
Cuadro 5.4. Base de Datos para Riesgo Geológico, Área de Estudio.....	95
Grafica 5.4.A Porcentaje de Áreas Según el Riesgo Geológico.....	96
Grafica 5.4.B Superficie de Ocupación de las Zonas de Riesgo Geológico Determinadas para la Zona de Estudio.....	96
Grafica 5.4.C Porcentaje de Aparición de las Unidades Formacionales dentro del Área de Estudio.....	96
Grafica 5.4.D Extensión Areal de las Unidades Formacionales dentro de la Zona de Estudio.....	97

INDICE DE IMAGENES Y FIGURAS

CONTENIDO	Pág.
Figura 1.4. Ubicación, Zona de Estudio Global – Regional. Fila de Mariche, Estado Miranda.....	8
Figura 2.1.A Representación 3D de la Zona Estudiada.....	10
Figura 2.1.B Fisiografía de la Zona de Estudio “Fila de Mariche”.....	12
Imagen 2.3.A Desplazamiento de la Vegetación Autóctona de la Zona por parte de los Asentamientos Humanos en la Zona de Estudio.....	13
Imagen 2.3.B Zona de Estudio con Vegetación Herbácea.....	13
Imagen 2.3.C Zona de Estudio con Vegetación Herbácea y Arbustiva.....	14
Figura 2.5 Ortofotomapa de la Zona Estudiada.....	18
Figura 2.6.1.1 Grupo Caracas.....	20
Figura 2.6.1.2 Formación Las Mercedes.....	24
Figura 2.6.1.2 Formación Las Brisas.....	25
Figura 3.1.1.A Diagrama de Movimientos para Desprendimiento de Bloques.....	36
Figura 3.1.1.B Diagrama de Movimiento Generalizado para Volcamiento de Bloques.....	36
Figura 3.1.2.1.A Croquis Demostrativo de Deslizamiento de Bloques en Disposición Planar.....	38
Figura 3.1.2.1.B Croquis Demostrativo del Sistema Dinámico de un Deslizamiento en Forma de Cuña.....	38

CONTENIDO	Pág.
Figura 3.1.2.2 Croquis Demostrativo del Movimiento de un Derrumbe Rotacional.....	39
Figura 3.1.2.3 Croquis del Sistema Dinámico de un Esparcimiento Lateral o un Deslizamiento Rotacional Progresivo.....	40
Imagen 3.3.3.1 Imagen Muestral de un Proceso Cinemático Estructural.....	58
Imagen 3.3.3.2 Ejemplo Demostrativo de un Proceso Cinemático Superficial, Deslizamiento.....	59
Imagen 4.3 Digitalización de Curvas de Nivel.....	67
Figura 4.3.1 Ejemplificación de la Integración de Raster.....	67
Figura 4.3.2A MED, Modelo de Elevación Digital de la Zona Estudiada.....	68
Figura 4.3.2B Modelaje MED.....	69
Figura 4.3.2.1.A Modelo de Elevación Digital (MED) Basado en la Digitalización de Objetos Geométricos Definidos por las Coordenadas de sus Nodos y Vértices.....	69
Figura 4.3.2.1.B Modelo de Elevación Digital (MED) sobre Raster Basado en las Localizaciones Espaciales sobre una Retícula Regular de Puntos a los Cuales se le Asigna un Valor de Elevación.....	69
Figura 4.3.3 Modelo de Contorno.....	70
Figura 4.3.4 Ejemplificación de la Dirección Preferencial de la Orientación de las Laderas, Elaboración Propia Jesús Miguel Fermín 2008.....	71

CONTENIDO	Pág.
4.3.4.1 Modelo de Orientación de Laderas, Elaboración del Modelo de Orientación Utilizando la Herramienta Aspect Analyst del ArcGis 9.2 a partir del MED.....	75
4.3.5 Modelo de Pendiente, Elaboración del Modelo de Pendiente Utilizando la Herramienta Slope o Pendiente del ArcGis 9.2 a partir del MED.....	79

INTRODUCCION

El estudio de orientación geotécnica ha cobrado gran importancia debido a la afectación de una gran cantidad de población de los sectores populares del Distrito Capital. Con esta investigación se persigue zonificar la orientación geotécnica ante la ocurrencia de deslizamientos y movimientos de remoción de masa.

La Orientación Geotécnica se ha entendido como la combinación de Riesgo Geológico y Riesgo Geomorfológico (Orientación Geotécnica = Riesgo Geológico + Riesgo Geomorfológico) entendiéndose riesgo geológico como una medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, la salud, la propiedad o el ambiente debido a un evento geológico o a la litología presente en la zona afectada por las estructuras geológicas, se refiere a riesgo geomorfológico como la probabilidad de un efecto adverso a la vida, salud, propiedades, estructuras y ambiente en general causado por eventos modificadores del relieve y la topografía bajo procesos erosivos.

El área de estudio corresponde con una zona delimitada al sureste por la Quebrada El Cedral, al noreste con la Fila Trujillo, al noroeste con la Quebrada Tasmare y al suroeste con la Fila León, la cual se selecciono en conjunto con el Instituto de Geología y Minería de Venezuela (INGEOMIN) para la realización de el proyecto de Actualización Geológica y Geotécnica de Caracas.

Para llevar a cabo el objetivo antes mencionado el presente trabajo especial de grado se estructuró en cinco (5) capítulos a través de los cuales se aborda la problemática de ocurrencia de deslizamientos y procesos de remoción de masas en el área indicada, a saber:

El Capítulo I, corresponde al planteamiento del problema, la ubicación específica de la zona descripción de los objetivos a cumplir (tanto general como específicos).

Posteriormente en el Capítulo II, se precisan y organizan las ideas y conceptos relacionados con el problema de investigación, lo que implicó una descripción de las generalidades de la zona de estudio, de esta forma, se especificaron las facetas regionales y locales referidas al área de trabajo, aclarando primordialmente los aspectos de clima, vegetación, geología, entre otros.

El Capítulo III, está referido a las bases conceptuales que están implicadas en relación directa con la terminología aplicada en este trabajo especial de grado así como una tutoría básica del programa ArcGis 9.2 de la compañía ESRI.

El Capítulo IV está referido al procedimiento metodológico que se siguió para determinar los niveles de Riesgo Geológico y Orientación Geotécnica de la zona de estudio basados en los análisis de parámetros establecidos por el programa ArcGis 9.2 de la compañía ESRI, así como de la metodología utilizada para la generación de base de datos digitales dentro del programa en cuestión y los subsecuentes mapas temáticos creados a partir de dicha base de datos.

Por último el Capítulo V se realiza la zonificación de riesgo geológico y orientación geotécnica que implica la evaluación de las variables físico-naturales (precipitación, orientación de laderas, pendiente, suelos, vegetación e hidrografía) involucradas en el proceso estudiado.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos Generales

1.2.2 Objetivos Específicos

1.3 ALCANCES

1.4 UBICACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso de ocupación urbanística en Venezuela, a través del tiempo, ha mostrado un considerable incremento exponencial en cuanto a la expansión de las zonas de ocupación. Debido a este incremento en la determinación y uso de zonas de potencial desarrollo urbano, está ocurriendo que muchas de las zonas propuestas para tal uso, no han sido debidamente estudiadas, dando como resultado sectores en donde la estabilidad del terreno puede ser cuestionada. Debido a esto, se han hecho esfuerzos por incrementar la ejecución de los estudios geológicos y geotécnicos en diferentes áreas, sobre todo circundantes a la región capital que es donde se concentra la mayor densidad demográfica del país. Estos estudios dan cabida a una serie de ponderaciones que, luego de ser analizadas, permiten establecer una serie de polígonos con características similares que se pueden clasificar luego como áreas con diferenciación de variantes geológicas y geotécnicas.

Una vez se obtienen esas áreas se pueden categorizar, catalogar y estudiar de manera independiente para así determinar las zonas en donde es más factible la realización de un proyecto urbanístico y en gran escala.

Hasta la presente fecha, dentro del Distrito Metropolitano de Caracas, se han ejecutado numerosos estudios de orientación geotécnica, determinando el riesgo geológico-geotécnico, pero los mismos han sido realizados a escala local, y de manera individual para fines de interés personal y no público o investigativo. Sin embargo, en la década de 1970 el Ministerio de Energía y Minas creó una unidad de trabajo que dio los pasos iniciales del “Estudio Geotécnico del Área Metropolitana de Caracas sector central”, trabajo que fue culminado en el año 1985 por PIERO, F.; PASQUALE, D.; BARRIENTOS, C.; BASTARDO, S. y RAMIREZ, R., en el cual se realizó la integración de distintos factores, que produjeron la macro y microzonificación geotécnica a escala 1:10.000. Aparte del estudio mencionado, pocas instituciones gubernamentales se han dado a la tarea de completar un estudio geotécnico del Área Metropolitana de Caracas, entre estas

instituciones se encuentra el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN). Por esta razón hoy en día existe la necesidad de generar un mapa de orientación geotécnica, en zonas aledañas al Distrito Capital, a una escala que permita tomar una decisión viable para cualquier tipo de proyecto, es decir, a una escala manejable que permita obtener un resultado que se pueda considerar veraz.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos Generales

El objetivo principal de esta investigación es la actualización completa de los datos geotécnicos y geológicos de un sector de Filas de Mariche, Estado Miranda, basada en recopilación bibliográfica, cartográfica - temática y en el levantamiento de campo de la zona antes mencionada.

De manera global los objetivos primordiales que se siguieron en la realización de este trabajo son los siguientes:

- Estudio geológico detallado de superficie (escala 1:10.000), con el fin de aportar datos que contribuyan al conocimiento de la geología de la zona de Fila de Mariche, así como también contribuyan como base para futuros estudios que profundicen los conocimientos geológicos de la zona.
- Actualización de datos Geológicos y Geotécnicos de la zona de Fila de Mariche, Estado Miranda
- Actualización de cartografía digital, soportada por la elaboración de mapas temáticos de la zona estudiada, donde se incluyen los resultados de los estudios realizados en esta investigación.

1.2.2 Objetivos Específicos

Entre los objetivos específicos que se persiguieron a la hora de elaborar este trabajo especial de grado fueron los siguientes:

- Actualización de la base de datos geológicos y geotécnicos para la zona de Fila de Mariche, fundamentados en datos, tanto obtenidos en campo; como recopilados en estudios anteriores y apoyados por la elaboración de mapas temáticos de la zona de estudio.

- Generación de los mapas temáticos correspondientes a la actualización de la zona de estudio, a escala 1: 10.000.

- Mapa de base de zona de estudio (curva de nivel y red hidrográfica)
- Mapa de pendientes
- Mapa de orientación de las laderas
- Mapa geológico-estructural
- Mapa de riesgo geológico
- Mapa de orientación geotécnica

- Generación de resultados

1.3 ALCANCES

Los resultados obtenidos por esta investigación buscan unificar criterios de una manera clara, de todos los aspectos geológicos y geotécnicos de la zona de estudio, estableciendo estudios actualizados que sirven para tener un mayor conocimientos de los procesos que afectan al sector; y que sirven para generar soluciones a problemas de zonificación que se presenta frecuentemente, ya que son mal tratadas por falta de información geológica.

Otro alcance que se plantea es servir como herramienta informativa que haga comprender a las personas la complejidad geológica, en donde los riesgos ocasionados por las características geotécnicas del sector, ponen en peligro grandes edificaciones susceptibles a movimientos, trayendo como consecuencia las posibles pérdida humanas, que se podría evitar verificando los datos geológicos y geotécnicos de la área donde los complejos urbanísticos son planteados.

1.4 UBICACION

El área de estudio se encuentra situada al Sur-Este de la ciudad de Caracas, específicamente ubicada en Fila de Mariche, correspondiente al Municipio Sucre del Estado Miranda.

El área abarca aproximadamente 18 km², dentro de las cuales se encuentran localidades tales como Los Chaguaramos, El Picacho, El Guinche, Constancia, Etc. y una sección del río Guaire.

Situación limítrofe: Al norte limita con la ciudad de Caracas, en una línea imaginaria Universidad Simón Bolívar- La Unión- La lagunita correspondiente al Estado Miranda y Distrito Capital, al Sur con el estado Miranda, en una línea imaginaria desde el poblado del Pomaroso – La Ceiba, al este con el estado Mirada, al Oeste con el Distrito Capital y el Estado Miranda, Sus límites tienen las coordenadas mostradas en el Cuadro 1.1.

CUADRO 1.4 Coordenadas (regven) de puntos limítrofes de área de estudio en Fila de Mariche, Estado Miranda

NO	SO	SE	NE
<ul style="list-style-type: none"> • 739.783 E • 1.155.022 N 	<ul style="list-style-type: none"> • 739.783 E • 1.144.633 N 	<ul style="list-style-type: none"> • 751793 E • 1.144.633 N 	<ul style="list-style-type: none"> • 751793 E • 1.155.022 N



Figura 1.4 Ubicación Zona De Estudio Global – Regional, Fila de Mariche, Estado Miranda.

CAPITULO II

GENERALIDADES DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

2.1 FISIOGRAFIA

2.2 SUELOS

2.3 VEGETACIÓN

2.4 CLIMA

2.4.1 Clima Tropical Lluvioso

2.4.1.1 Distribución Estacional de la Precipitación

2.4.1.2 Régimen Térmico

2.5 HIDROGRAFIA

2.6 GEOLOGIA REGIONAL

2.6.1 Grupo y Unidad Formal

2.6.1.1 Grupo Caracas

2.6.1.2 Formación las Mercedes

2.6.1.3 Formación las Brisas

2.7 GEOLOGIA LOCAL

2.8 TRABAJOS PREVIOS

CARACTERISTICAS DE FILA DE MARICHE, ESTADO MIRANDA

2.1 FISIOGRAFIA

El área de estudio se encuentra ubicada en el flanco sur de la Cordillera de la Costa del Sistema Montañoso de Caribe, desde el norte de la ciudad de Caracas hasta la zona de Fila de Mariche, donde se identifica una gran complicación estratigráfica y estructural debido a los eventos geológicos y tectónicos que han afectado al lugar. (Figura 2.1.B)

Las tierras elevadas de la Cordillera de la Costa que se despliegan al Norte del valle de Caracas presentan paisajes muy irregulares cuyas alturas disminuyen de oeste a este.

Gran parte de la zona estudiada presenta un relieve que se caracteriza por las alternancia de quebradas, filas de laderas abruptas y subparalelas unas a otras; la mayoría de estas filas alcanzan elevaciones de 900m a 1100m aproximadamente con laderas de fuerte pendiente, cóncavas y las crestas de las filas son estrechas y agudas. (Figura 2.1.A)

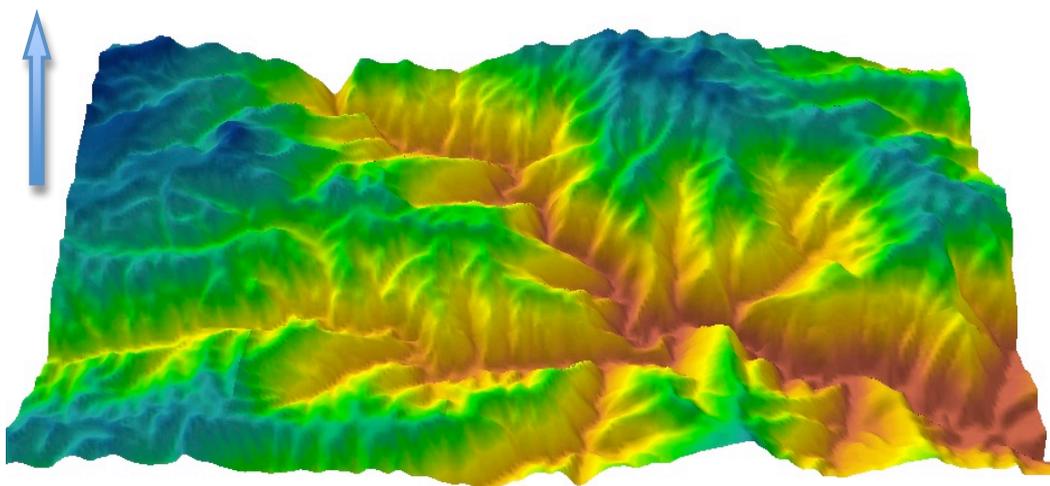


Figura 2.1.A Representación 3D de la zona estudiada (Fila de Mariche), donde se observa laderas de fuerte pendiente, cóncavas y las crestas de las filas son estrechas y agudas.

En cuanto a la fisiografía local, el área puede subdividirse, en dos zonas distintivas, la primera localizada al Norte y la segunda, que se extiende entre el área central de la zona hasta su extremo Sur.

En toda el área, se encuentran una serie de taludes irregulares y/o asimétricos, con una pendiente que fluctúa entre el 20% a mayores del 60%, y cuyas crestas principales tienen una orientación aproximada de N 60° O, con estribaciones secundarias que tienen una orientación preferencial E-W a N 80° E, adquiriendo en el extremo noroeste del área de estudio, una orientación aproximada N-S, existiendo una serie de pequeños drenajes de curso intermitente, en forma de V, que disectan los sectores en el área de estudio. En el extremo noreste de la zona se encuentra el curso principal presenta una orientación aproximada N 20° E, con cursos tributarios que desembocan en forma aproximadamente ortogonal con el anterior, conformando una especie de sistema de drenaje en forma de espina de pescado. Hacia el extremo centro norte del área, se encuentra la quebrada la Pereza que drena hacia el noreste formando un sistema de drenaje rectangular. Los pequeños valles y áreas de explayamiento de las quebradas, conforman zonas planas, las cuales están flanqueadas por estas laderas, que han sido intervenidas con propósitos urbanísticos.

Hacia la zona central del área de estudio se encuentra un valle intramontano, rodeado por laderas de alta a moderada pendiente, sobre el que se han asentado diferentes comunidades de desarrollos tanto controlados como espontáneos.

Desde la parte central de la zona hacia el sur, se ubica un sistema de valles y filas, que presentan una orientación aproximada E-W. Los valles son encajados en forma de V y disectan colinas de relieve muy abrupto, con pendientes superiores a los 45°. El tipo de drenaje preponderante es dendrítico en la cuenca alta y rectangular en la unión de los diferentes drenajes. Esta porción del área de estudio, presenta un relieve notoriamente más escarpado que la zona anterior.



Figura 2.1.B Fisiografía de la zona de estudio “Fila de Mariche” (rectángulo rojo), Modificado de ortofotomapa 6847-III-SE (Mapa izquierdo) y 6847_II_SO (Mapa derecho) a escala 1:25.000

2.2 SUELOS

Generalmente en las partes altas o zonas de cresta, se encuentra un material húmedo recubriendo un manto residual, que se muestra en forma de casquete, con bolsones difíciles de mapear, definiéndose con mayor porcentaje hacia la cota 1.090. Existe igualmente, material aluvional adyacente o en la zona de influencia de las vegas de los drenajes.

2.3 VEGETACIÓN

En la zona de estudio, específicamente en el área noreste y noroeste, existe una fuerte intervención antrópica desde hace tiempo por la acción de los asentamientos humanos, la cual ha traído como consecuencia que no exista casi vegetación natural primaria. (Imagen 2.3.A)



Imagen 2.3.A Desplazamiento de la vegetación autóctona de la zona por parte de los asentamientos humanos en la zona de estudio.

En las áreas de mal drenaje existentes en ciertas zonas, la tendencia es presentar formaciones de vegetación como herbácea y arbustiva. (Imagen 2.3.B)



Imagen 2.3.B Zona de estudio con vegetación herbácea

Hacia la área suroeste y sureste de Fila de Mariche la zona está condicionada por un aumento de la humedad y la escasa intervención humana, factores éstos que determinan la presencia de una formación vegetal más abundante.

Esta formación vegetal está caracterizada, entre otras cualidades, por algunos estratos arbórescentes, debajo de los cuales existe un denso estrato arbustivo. El piso está cubierto por un denso estrato de especies adaptadas a la zona. La riqueza en especies vegetales es notablemente mayor que en la zona norte del área estudiada. (Imagen 2.3.2)

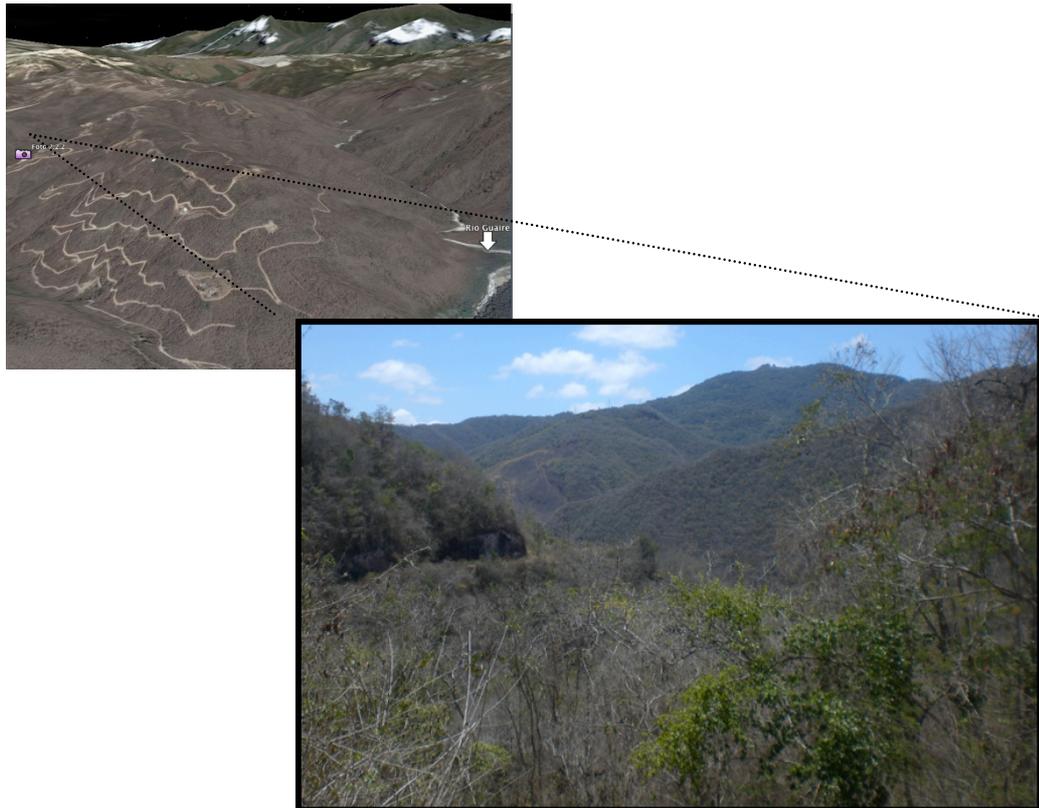


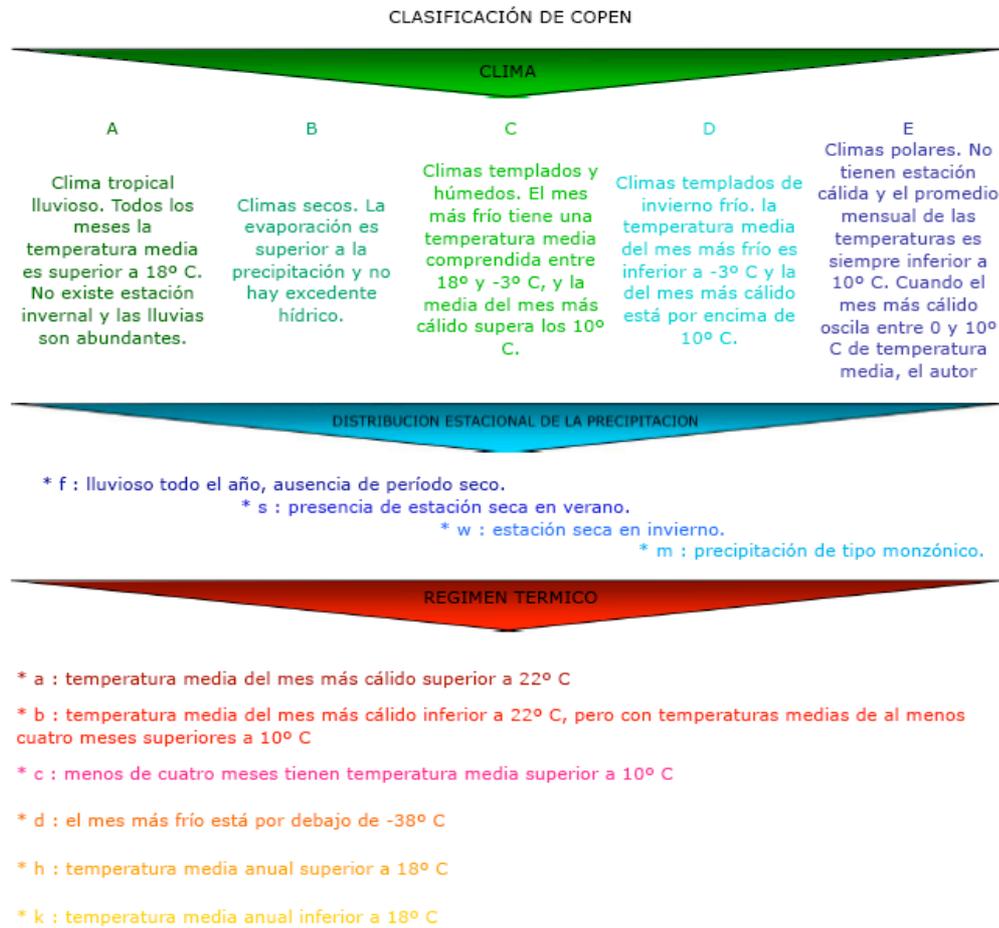
Imagen 2.3.C Zona de estudio con vegetación herbácea y arbustiva con presencia de estratos arbóreos, sobre expuesta a mapa espacial de la zona.

2.4 CLIMA.

La zona estudiada, se encuentra ubicada en un área subtropical, al que pertenece toda la región de Caracas y zonas aledañas.

Según la clasificación climática de Copen, cuya categorización engloba parámetros de valores medios anuales y mensuales de las temperaturas por las precipitaciones, la región de Fila de Mariche corresponde a un clima “Awa”, correspondiente a un clima tropical lluvioso (Cuadro 2.4)

Cuadro 2.4_ Clasificación de Copen.



2.4.1 Clima Tropical Lluvioso (A): es el clima más ajustado a las condiciones del país y está caracterizado por temperaturas elevadas durante todo el año, superiores a 18 ° C, con precipitaciones marcadas durante gran parte del año.

2.4.1.1 Distribución Estacional de la Precipitación (Aw): La subdivisión Aw de la clasificación de copen comprende a periodos pluviométricos encontrados en la zona, un primer período seco entre los meses de enero y marzo y un segundo período lluvioso durante el resto del resto del año, acentuándose las precipitaciones entre los meses de julio a septiembre cuando la precipitación anual oscila entre 600 y 1500 mm

Cuadro promedio de temperaturas máximas y mínimas Vs precipitación en el sector de Caracas- Fila de Mariches

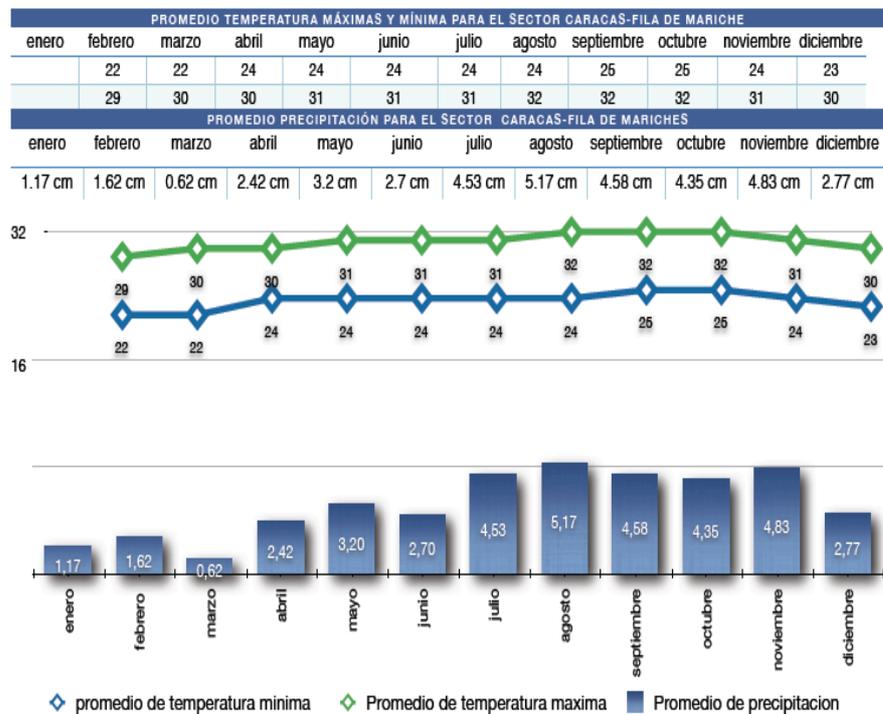


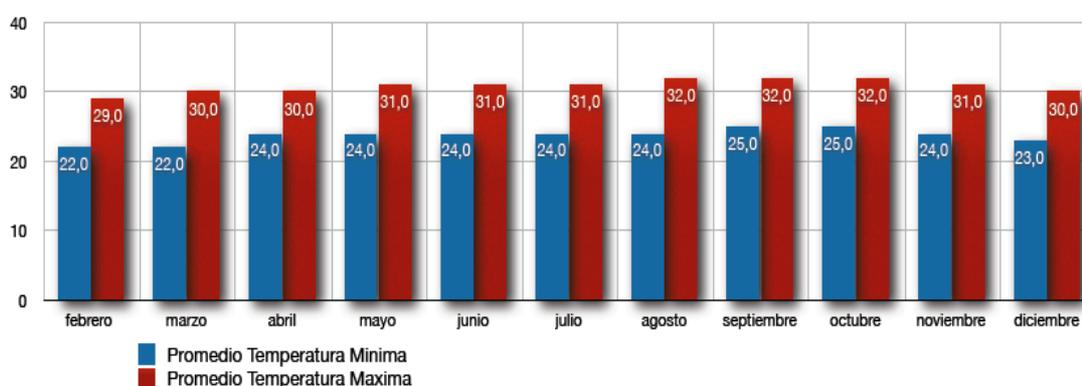
Figura 2.4.1.1_CUADRO PROMEDIO PRECIPITACION VS TEMPERATURA, promedios para la región de Fila de Mariche. Elaborado por Jesús Miguel Fermín con datos proporcionados por Fodeca.

2.4.1.2 Régimen Térmico (Awa): el clima de la zona de estudio se define como intertropical de montaña donde la precipitación anual varía entre los 900 y 1500 mm, con una temperatura media anual de aproximadamente de 22,5 °C, siendo la media del mes más frío de 21 °C (enero) aproximadamente y la media del mes más cálido de 24 °C (mayo), hay que denotar que la temperatura en la región tiene poca amplitud durante todo el año (menor a 10 °C) manteniéndose entre temperaturas que circulan entre 21 a los 24 °C aproximadamente (Figura 2.4.1.2).

PROMEDIO DE TEMPERATURAS ANUALES - SECTOR CARACAS-FILA DE MARICHE

PROMEDIO MENSUALES (TEMPERATURA)

enero	Prom. bajo: ND	Prom. alto: ND	Prom. precip.: 1.17 cm
febrero	Prom. bajo: 22°	Prom. alto: 29°	Prom. precip.: 1.62 cm
marzo	Prom. bajo: 22°	Prom. alto: 30°	Prom. precip.: 0.62 cm
abril	Prom. bajo: 24°	Prom. alto: 30°	Prom. precip.: 2.42 cm
mayo	Prom. bajo: 24°	Prom. alto: 31°	Prom. precip.: 3.2 cm
junio	Prom. bajo: 24°	Prom. alto: 31°	Prom. precip.: 2.7 cm
julio	Prom. bajo: 24°	Prom. alto: 31°	Prom. precip.: 4.53 cm
agosto	Prom. bajo: 24°	Prom. alto: 32°	Prom. precip.: 5.17 cm
septiembre	Prom. bajo: 25°	Prom. alto: 32°	Prom. precip.: 4.58 cm
octubre	Prom. bajo: 25°	Prom. alto: 32°	Prom. precip.: 4.35 cm
noviembre	Prom. bajo: 24°	Prom. alto: 31°	Prom. precip.: 4.83 cm
diciembre	Prom. bajo: 23°	Prom. alto: 30°	Prom. precip.: 2.77 cm



Gráfica representativa del promedio de temperaturas máximas y mínimas anuales del sector de Caracas-Fila de Mariche. Eje vertical representando en grados centígrados. Eje horizontal representando meses anuales. Datos alimentados por FORECA

Figura 2.4.1.2_Cuadro de temperaturas medias de la zona de Fila de Mariche. Elaborado por Jesús Miguel Fermín con datos proporcionados por Fodeca.

2.5 HIDROGRAFIA

En las parte de mayor altitud, las quebradas se presentan con un drenaje del tipo ramificado, al igual que en la parte norte, donde varía de dendrítico a subparalelo. Este patrón observado en la zona podría generarse en las zonas donde se presentan comportamientos homogéneo en respuesta a los procesos de erosión (STRANDBERG, 1975).

Entre los drenajes principales encontrados en la zona se encuentra el río Guaire; este río, después de cruzar de oeste a este el Valle de Caracas y recibir en el mismo diversas corrientes como las quebradas de Baruta, Chacaíto y Tocomé, entre otras, se abre paso por el este de Petare para rápidamente descender de altitud, en unos 13 Kms, para entrar en Fila de Mariche con una dirección preferencial de S45E, describiendo una trayectoria sinuosa en su recorrido. (Figura 2.5)



Figura 2.5 Ortofotomapa de la zona estudiada, representación en trazo azul del drenaje principal (río Guaire) describiendo sinuosidad en su recorrido S45W.

En forma generalizada los drenajes del área tienen un patrón predominantemente dendrítico en los cursos superiores, que tiene la tendencia a adquirir un cierto diseño rectangular, cuando desembocan en los cauces mayores.

2.6 GEOLOGIA REGIONAL

La zona de estudio al igual que la región de Caracas se ubican en la Cordilleras de la Costa, nombre dado por MENENDEZ (1966) y BELL (1968) al conjunto de rocas que afloran en la parte septentrional del macizo central de la Cordillera de la Costa que poseen características geológicas resaltantes.

MENENDEZ (1966) y BELL (1968), basaron sus estudios en los rasgos estructurales de las rocas que engloban esta cadena montañosa consiguiendo subdividir el área en grandes fajas con características estratigráficas definidas.

2.6.1 Grupo y Unidad Formal.

A continuación se establecerá una descripción del grupo y la unidad formal donde esta investigación se llevó a cabo, que contempla las características y descripciones según el Léxico Estratigráfico de Venezuela.

2.6.1.1 Grupo Caracas (Jurásico - Cretácico)

Aguerrevere y G. Zuloaga, 1937, p.12, estudiaron toda la localidad de Caracas y sus zonas aledañas introduciendo el nombre de “Grupo Caracas” describiendo dos tipos de formaciones mayoritarias: Formación Las Brisas y Las Mercedes, compuestas por secuencias de rocas sedimentarias de bajo grado.

Localidad tipo: La localidad para este Grupo corresponde generalmente a la zona de Caracas, caracterizada por las secuencias de rocas de las formaciones principales.

Descripción Litológica del Grupo Caracas y generalidades de las formaciones principales: La litología típica de la Formación Las Brisas es el esquisto cuarzo - muscovítico - feldespático (clorítico, así como metaarenisca y metaconglomerado también cuarzo - feldespático - micáceo. En la Formación Las Mercedes

predomina el esquistos cuarzo - calcáreo - muscovítico - grafitoso, de color gris oscuro.

Extensión geográfica: El Grupo Caracas aflora como antes se menciona en la zona de Caracas y sus alrededores, extendiéndose como una franja en sentido este – oeste desde el estado Yaracuy, hasta la zona de Barlovento en el estado Miranda. (Figura 2.5.1.1)

Contactos: URBANI Y OSTOS (1989), describen que los contactos entre las rocas de este Grupo con los del Complejo Ávila hacia el norte son tectónicos. Al igual que los contactos entre las formaciones Las Brisas y Las Mercedes que también se describen como tectónicos, mientras que entre las Formación Las Mercedes y Chuspita parece ser concordante y transicional según SEIDERS (1965).

Edad: Según Wolcott (1943) y Urbani (1969, 1973), la Formación las Brisas perteneciente al Grupo Caracas comprende una edad de Jurásico Tardío – Cretácico, mientras que las formaciones Las Mercedes y Chuspita fueron datadas como de edad Cretácico.



Figura 2.6.1.1_ *GRUPO CARACAS*, Representación de del Grupo Caracas englobando la zona de estudio (Punto Negro) en Fila de Mariche estado Miranda, Figura elaborada por Jesús Miguel Fermín con cartografía base tomada de Google Earth y datos de figura Aguerrevere y G. Zuloaga, 1937, p.12, Léxico Estratigráfico de Venezuela

2.6.1.2 Formación Las Mercedes.

Localidad tipo: la localidad tipo de la Formación las Mercedes fue establecida por Aguerrevere y Zuloaga (1937) en la hacienda, hoy urbanización las Mercedes al este de la ciudad de Caracas, donde han desaparecido todo afloramiento.

Descripción litológica: Aguerrevere y Zuloaga (op. cit.), definen esta formación como esquistos principalmente calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas, de un tinte rosado, gris, con zonas blancas cuando frescas, también definieron la "Fase Los Colorados de los esquistos Las Mercedes", como una "zona constituida por calizas oscuras en capas delgadas, interestratificadas con capas de esquistos micáceos y arcillosos, todo intensamente plegado en forma característica y la cual constituye un excelente estrato guía".

Wehrmann (1972) y la revisión de González de Juana et al. (1980, p. 317) la litología predominante consiste en esquisto cuarzo - muscovítico - calcítico - grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado "Caliza de Los Colorados". Las rocas presentan buena foliación y grano de fino a medio, el color característico es el gris pardusco. La mineralogía promedio consiste en cuarzo (40%) en cristales dispuestos en bandas con la mica, muscovita (20%) en bandas lepidoblásticas a veces con clivaje crenulado, calcita (23%) en cristales con maclas polisintéticas, grafito (5%), y cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica. El mármol intercalado con esquisto se presenta en capas delgadas usualmente centimétricas a decimétricas, son de color gris azulado, cuya mineralogía es casi en su totalidad calcita, escasa dolomita y cantidades accesorias de cuarzo, muscovita, grafito, piritita y óxidos de hierro. Oxburgh (op. cit.), incluye el conglomerado de Charallave en la parte superior de Las Mercedes, y discrimina una facies oriental, de esquistos grafiticos, en su mayoría no calcáreos, granatíferos, con capas cuarcíticas de 20-70 cm de espesor y esquistos micáceos granatíferos, donde las capas cuarzosas están ausentes; y una facies occidental más arenosa, menos grafitica y carente de capas calcáreas, con

abundante granate, y filitas gráficas de color variable, predominantemente negro en la parte superior de la sección.

Wehrmann (op. cit.), menciona metaconglomerados en su base, esquistos cloríticos y una sección en el tope, de filitas negras, poco metamorfizadas, con nódulos de mármol negro, de grano muy fino, similares a los de las formaciones La Luna y Querecual, sin hallar fósiles en ellos. Este mismo autor, indica que el tope de la formación se hace más cuarzoso y menos calcáreo en su transición hacia la Formación Chuspita. Seiders (op. cit.), menciona además, meta-areniscas puras, feldespáticas y cuarzosas, de estratificación de grano variable, a veces gradada.

Aguerrevere y Zuloaga (op. cit.), incluyen dentro de la formación una zona constituida por calizas oscuras y densas, en capas delgadas, interestratificadas con capas de esquistos micáceos y arcillosos, todo intensamente plegado, que denominan Fase Los Colorados, y que constituyen excelentes estratos guía. Dengo (op. cit.), Seiders (op. cit.), y Wehrmann (op. cit.), no coinciden con esta formación, ya que según ellos, tales calizas se encuentran en diferentes niveles en la sección.

Urbani et al. (1989-a) cartografían dos subunidades en la zona de Valencia - Mariara, estado Carabobo. La mayoritaria de esquistos calcíticos - gráficas y mármol, con una asociación mineralógica de cuarzo, calcita, muscovita, albita, grafito, clorita y epidoto. Una segunda subunidad minoritaria de cuerpos de mármol masivo, contentivo de calcita, cuarzo, muscovita, grafito y albita. En la zona de La Sabana - Chirimena - Capaya, Distrito Federal y Miranda, Urbani et al. (1989-b) reconocen cuatro unidades cartografiables, la primera y mayoritaria de esquistos gráficas y mármol, así como de mármol, de metaconglomerado cuarzo - feldespático - calcáreo, de metaconglomerado y metaarenisca y de esquistos albiticos - gráficas. Todas estas rocas corresponden a un metamorfismo de bajo grado en la facies de los esquistos verdes, zona de la clorita.

Característico de la formación, es la presencia de pirita, que al meteorizar, infunde una coloración rosada a rojo ladrillo a la roca. Smith (op. cit.), opina que la coloración rosada proviene de la meteorización de la sericita. Otra característica es la extraordinaria proporción de vetas de calcita recristalizada, en colores blanco, pardo y marrón, que ha sido identificada erróneamente como ankerita o siderita. En muestras de sondeos profundos con muestras no meteorizadas, esta coloración marrón de la calcita está ausente.

Muy poco se ha escrito sobre el ambiente en el cual se depositó la Formación las Mercedes. Oxburgh (op. cit.), sugiere dos fuentes principales de sedimento: una meridional, suplidora de cuarzo puro, y una occidental (Complejo de El Tinaco), para el material cuarzo-feldespático más joven. Presenta un esquema transgresivo hacia el sur, sobre una plataforma somera, en la cual se depositaron lutitas negras, con un facie oriental más arenoso.

Talukdar y Loureiro (1982), sugieren un ambiente euxínico en una cuenca externa a un arco volcánico. La estructura finamente laminada de las calizas, indica la sedimentación en un ambiente pelágico, mientras que los escasos restos de fósiles hallados, indican lo contrario.

Urbani et al. (1997) estudian mineralógicamente los mármoles de esta Formación en la zona de Birongo, estado Miranda, encontrando que la dolomita se encuentra en baja concentración predominando los mármoles calcíticos.

Extensión geográfica: En toda la extensión y en los flancos del macizo central de la Cordillera de la Costa, entre Carenero, estado Miranda, hasta el estado Cojedes.



Figura 2.6.1.2_ *FORMACION LAS MERCEDES*. Representación de la Formación Las Mercedes (Franga Roja) englobando la zona de estudio; cubriendo los Estados Miranda, Aragua, Carabobo, Yaracuy, Cojedes. Figura elaborada por Jesús Miguel Fermín con cartografía base tomada de Google Earth y datos de figura Aguerrevere y G. Zuloaga, 1937, Léxico Estratigráfico de Venezuela

2.6.1.3 Formación Las Brisas.

AGUERREVERE y ZULUAGA (1937), publicaron originalmente el nombre de “Conglomerado de las Brisas” para definir una unidad que posteriormente en 1938 llamaron Formaron Las Frisas. DENGO (1951) describió esta unidad como esquisto cuarzo micáceo con capas conglomeráticas.

La localidad tipo de esta unidad se encuentra localizada en Las Brisas, situada a unos 4 Km al sur del Valle, en la carretera Caracas - Charallave. Esta unidad esta bien expuesta en la carretera Caracas - Los Teques, La Mariposa, al sur y al norte de Baruta, la quebrada La Guairita, los sitios Los Naranjos, El Encantado, y El Peñón. Se extiende hacia los estados Miranda y Carabobo.

La formación Las Brisas ha sido definida como una secuencia de sedimentos metamorfizados que afloran en la región de caracas donde consiste principalmente en esquistos y gneises cuarzo-feldespático-micáceos, esquistos cuarzo-sericíticos - grafitosos con lentes, bloques y bandas de mármoles oscuros. Generalmente se encuentran capas de gneis microclínico - calcáreo asociado con los cuerpos calcáreos.

Esta unidad presenta textura esquistosa, con fuerte aumento de contenido feldespático. El color varía de gris claro a tonos verdosos y meteorizan a marrón claro.

Los horizontes de la Formación las brisas han sido denominados:

Fase Zenda, mármoles dolomíticos que gradan a través de etapas transicionales de destrucción mecánica.

WOLCOTT (1943), estudio una localidad fosilífera cerca de las cabeceras de la quebrada Care, Tributaria del río Guarenas. Los fósiles identificados pertenecen al genero Pecten (Camptonectes) sp. De edad Jurásico – Cretácico. Otra localidad fosilífera es mencionada por URBANI, (1969) en la Fase Zenda, ubicada en la cueva El Indio en la Guairita. Los fósiles encontrados pertenecen a pelecipodos Exogyra virgula (DEFRANCE) del piso Kimmeridgiense del Jurásico superior (DIAZ DE CAMERO, 1969).



Figura 2.6.1.3_ *FORMACION LAS BRISAS*. Representación de la Formación Las Brisas (Franja Roja) cubriendo los Estados Miranda, Aragua, Carabobo, Yaracuy, Cojedes. Figura elaborada por Jesús Miguel Fermín con cartografía base tomada de Google Earth y datos de figura Aguerrevere y G. Zuloaga, 1937, Léxico Estratigráfico de Venezuela.

2.7 GEOLOGÍA LOCAL

En el área estudiada afloran rocas metasedimentarias, estas se han agrupado en base a su composición mineralógica y textural. Están agrupadas en 3 tipos de litologías lo cual han sido designados por diferentes autores como constituyentes de las formaciones las brisas y las mercedes, unidades que según la literatura afloran en esta área.

Talukdar y Loureiro (1982), reconocen que la cartografía del Grupo Caracas se ha dificultado progresivamente, a causa de la proliferación de los tipos litológicos descritos para cada formación y que resulta evidente que varias de esas formaciones, están constituidas por las mismas litologías. Las diferencias entre ellas, se deben a sutiles cambios en las proporciones en que se combinan.

De acuerdo con estos criterios se han considerado conveniente emplear el término de unidades informales.

Cada unidad se ha definido agrupando tipos litológicos de composición mineralógica como textural y comportamientos mecánicos semejantes. A diferencia de lo usual en trabajos de carácter regional, donde las unidades litológicas se caracterizan por los tipos de rocas que la integran y por la proporción en que estos tipos se combinan.

Unidades de Filitas: las filitas constituyen la litología predominante del sector del área de estudio, sin embargo se pueden encontrar intercaladas con esquistos en las zonas de afloramientos de otras unidades.

En las filitas predomina el proceso de meteorización química, estando tan avanzadas en algunos sectores que favorecen el desarrollo de espesores de suelo residual.

El color de estas rocas, dependen del contenido de grafito; cuando este es alto (de 8 a 10%) el color es gris metálico a gris oscuro y cuando esta ausente es marrón blanquecino o marrón rojizo, debido a la presencia de oxido de hierro.

Unidades de esquisto cuarzo micáceos: esta unidad aflora principalmente en la parte norte del área estudiada.

Esta constituida por la asociación de tres tipos litológicos; esquistos cuarzo micáceos, esquistos cuarcitas y esquistos cloróticos epidoticos, los cuales guardan entre si relación litológica y estructurales.

Los esquistos cuarzo micáceos representan la litología mas frecuentemente encontrada en el área estudiada y se encuentran principalmente en la zonas aledañas a la hacienda El Guiche situada al norte del área de estudio.

Los esquistos son de color gris o marrón claro que por efecto de la meteorización cambian a tonalidades oscuras, casi negras o rojizas, debido al contenido de grafito o de oxido de hierro respectivamente.

Los espesores de suelo residual originados por la meteorización de esta litología son menores que en las filitas, limitándose casi siempre a la parte superior de los afloramientos de hasta 3 metros aproximadamente.

Estas rocas son de grano fino y exhiben intenso plegamiento de los planos de foliación e incluso vetas o boudines de cuarzo intercalados en la secuencia.

Unidad de Esquistos Calcáreos: esta unidad representa el tercer grupo de rocas en orden de abundancia, después de los esquistos cuarzo micáceos y de las filitas. Esta litología esta ampliamente distribuida, aunque difícil fijar un área específica de afloramiento. Estos se encuentran con mayor frecuencia al noreste del área de estudio.

Los esquistos calcáreos se encuentran en contacto lateral con las unidades de filitas y de esquistos cuarzo micáceos, la relación litológica es abrupta aun cuando la foliación generalmente puede mantenerse paralela.

Es común en estos esquistos la abundancia de vetas y boudines formados por cuarzos, calcitas y ocasionalmente por ankeritas, mineral que le da una coloración marrón distintiva.

Estos esquistos son de color gris claro y por efecto de la meteorización se alteran a grises con tonalidades rosadas, rojizos – violacias.

2.8 TRABAJOS PREVIOS

- AGUERREVERE Y ZULUAGA (1937), describen por primera vez la serie del Grupo Caracas, la cual descansa sobre un antiguo complejo ígneo. Definen esta serie conformada por los conglomerados Las Brisas, La Fase Conglomerática Zenda, Los Esquistos Las Mercedes y La Fase Los Colorados.
- DENGÓ (1951), Hace un estudio en la Región de Caracas, y describen las formaciones de rocas metamórficas basándose en características petrográficas a diferencia de Aguerrevere y Zuloaga (op.cit.) que usan designaciones binominales para las rocas sedimentarias, estos verifican facetas plegadas al sur del Ávila compuestas de estructuras simétricas cuyos ejes tienen rumbo N60 70 W y que existen en la región tres tipos de fallas, un sistema inverso que buzando al sur, uno con rumbo N60W y buzamiento sureste (Fallas del Ávila) y otro con rumbo E-W con buzamiento fuerte al norte.

- SMITH (1952), estudia la región Los Teques- Cúa, encuentra que las rocas de la Grupo Caracas han sufrido metamorfismo de grado bajo a medio, presentando esquistosidad bien definida, alineación bien desarrollada y en ciertas partes pliegues isoclinales donde se pueden distinguir filiación y estratificación, afirma que estas son esencialmente paralelas, siendo la mejor evidencia del tamaño de grano.
- SEIDERS, V.M (1969), estudia una zona al sureste de la ciudad de Caracas, reconoce en esta zona las formaciones las Brisas y las Mercedes concordantes e infrayacentes a una unidad definida como la Formación Chuspita. Señala que las formaciones del Grupo Caracas se diferencia por proporciones relativas de rocas y no por litologías distintivas y que las rocas de estas formaciones sufrieron las mayores deformaciones durante el Maastrichtiense- Paleoceno de régimen compresional que ocasiona volcamiento y un plegamiento más intenso en la parte norte del área.
- WEHRMANN (1972), analiza la estratigrafía del Grupo Caracas en la región de Guatire. Entre las conclusiones indica que el Complejo de Sebastopol es el basamento de la Cordillera de la Costa; que el Grupo Caracas se depositó en ambiente de plataforma al comienzo de la orogénesis Andina la cual generaron esfuerzos compresivos en sentido N-NO y S-SE causando plegamientos y fallamientos oblicuos en la cordillera; la Formación Peña de Mora es un complejo ígneo metamórfico equivalente a las Formaciones Las Brisas; que las calizas de Antimano son parte basal de la Formación Las Mercedes y La Formación Tacagua es una facies de esa formación.
- TABUKDAR y LOUREIRO (1982), estudiaron la zona norcentral de la cordillera de la costa, observando afloramientos de rocas metasedimentarias y metaígneas de origen diversos. Estos autores concluyen en que la historia metamórfica del área es compleja. Todos los tipos de rocas han sufrido un metamorfismo regional en la facies de

esquistos verdes. Estos autores también sugieren cuatro facies de plegamiento, la primera (fase F1) y la segunda (Fase f2) están relacionadas al primer evento metamórfico de alta relación P/T y el metamorfismo posterior (Facies de los esquistos verdes), las otras facies presente son post-metamórficas.

- FERRER, D y NEGRON (1973), estudiaron la zona de Fila de Mariche, sobre la quebrada Pereza, indicando que en este afloran esquistos sericiticos, calcáreos y grafitosos de la Formación Las Mercedes.
- MARQUEZ, R y SINGER (1977), estos autores trabajaron en la zonificación preventiva de riesgos geológicos de la Urb. Santa Mónica, donde se describen una geología urbana de alto detalle, concluyendo que para las formaciones presente las causas de deslizamientos son controladas por las estructuras geológicas de la zona en combinación con la litología de la misma. También se habla de las consecuencias de la meteorización de la zona en combinación con la acción de los planteamientos urbanístico del lugar para esa fecha.
- CABRERA (1984), la autora elabora un estudio geológico - geotécnico en la zona Fila de Mariche, Estado Miranda, encontrando dos familia de fallas principales, con direcciones SO - NO y otras NO - SE, la litología que se observa en la zona es correlacionable a la descrita en la Formación las Mercedes.

CAPÍTULO III

MARCO TEORICO

3.1. MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN DE MASA

3.1.1. Desprendimientos

3.1.2. Derrumbes

3.1.2.1. Derrumbes Planares

3.1.2.2. Derrumbes Rotacionales

3.1.2.3. Desparramamiento Lateral y Falla Progresiva

3.1.2.4. Deslizamiento de Escombros

3.1.3. Avalanchas

3.1.4. Flujo de Escombros

3.1.5. Repteo

3.1.6. Volteos.

3.2. FACTORES QUE INFLUENCIAN LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES

3.2.1. En Cuanto a La Topografía

3.2.1.1. Taludes Escarpados:

3.2.1.2. Áreas de Concentración de Drenaje y Filtración

3.2.1.3. Áreas de Concentración de Fracturas

3.2.2. Estabilidad

3.2.3. Efecto de la Resistencia del Suelo y la Pendiente del Talud

3.2.4. Pluviosidad

3.2.5. Erosión

3.2.6. Licuefacción Debido a Acciones Sísmicas

3.3. RIESGO GEOLÓGICO Y ORIENTACIÓN GEOTÉCNICA

3.3.1. Pendientes

3.3.2. Litología

3.3.3. Cinemáticos

3.3.3.1 Cinemáticos Estructurales:

3.3.3.2 Cinemáticos Superficiales:

3.3.4 Relieve

3.3.5 Uso De Los Sistemas De Información Geográficos En El Modelado

De Riesgo Geológico Y Orientación Geotécnica.

MARCO TEORICO

Generalidades: en el siguiente capítulo se darán a conocer una serie de términos relacionados con el ámbito geológico – geotécnico en cuanto a fenómenos de estabilidad de taludes, movimientos de remoción de masa y orientación geotécnica. Además se referirá la terminología utilizada en base a la digitalización de mapas mediante el programa ArcGis 9.2 y una serie de términos establecidos para la generación de los mapas utilizados en este trabajo de grado.

3.1. MOVIMIENTOS DE REMOCION EN MASA

Los deslizamientos de taludes ocurren de muchas maneras y aún persiste cierto grado de incertidumbre en su predicción, velocidad de ocurrencia y extensión del área afectada. Sin embargo, existen ciertos patrones que ayudan a identificar y reconocer áreas potenciales de colapsos, lo cual permite el tratamiento del talud para eliminar o reducir a un mínimo el riesgo de falla.

En el Cuadro 3.1.1 (A) se presenta una clasificación de fallas de taludes adaptada de Hunt (1984).

3.1.1. Desprendimientos

Son fallas repentinas de taludes verticales o casi verticales que producen el desprendimiento de un bloque o múltiples bloques que descienden en caída libre (Figura 3.1.1.A). La volcadura de los bloques generalmente desencadena un desprendimiento (Figura 3.1.1.B).

En suelos, los desprendimientos son causados por socavación de taludes debido a la acción del hombre o erosión de quebradas. En macizos rocosos son causados por socavación debido a la erosión. En algunos casos los desprendimientos son el resultado de meteorización diferencial.

CUADRO 3.1.1.A. Clasificación de movimientos de remoción de masa (adaptado por HUNT 1984)

Tipo de falla	Forma	Definición
Desprendimientos	Caída libre Volcadura	Desprendimiento repentino de uno o más bloques de suelo o roca que descienden en caída libre. Caída de un bloque de roca con respecto a un pivote ubicado debajo de su centro de gravedad.
Derrumbes	Planar Rotacional Desparramamiento lateral Deslizamiento de escombros	Movimiento lento o rápido de un bloque de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana. Movimiento relativamente lento de una masa de suelo, roca o una combinación de los dos a lo largo de una superficie curva de falla bien definida. Movimiento de diferentes bloques de suelo con desplazamientos distintos. Mezcla de suelo y pedazos de roca moviéndose a lo largo de una superficie de roca planar.
Avalanchas	De roca o escombros	Movimiento rápido de una masa incoherente de escombros de roca o suelo-roca donde no se distingue la estructura original del material.
Flujo	De escombros	Suelo o suelo-roca moviéndose como un fluido viscoso, desplazándose usualmente hasta distancias mucho mayores de la falla. Usualmente originado por exceso de presiones de poros.
Repteo		Movimiento lento e imperceptible talud abajo de una masa de suelo o suelo-roca

Cuadro 3.1.1.B. Clasificación Simplificada de los Movimientos de Laderas Modificado por Corominas a García (1997) con la Terminología en Inglés

TIPO DE MECANISMO	SUBTIPO	TIPO DE DESLIZAMIENTO	(INGLES)
Movimientos donde predomina la trayectoria vertical		Desprendimientos o caídas	Falls
Movimientos de giro de bloques determinados por la fracturación en escarpes		Vuelcos	Topples
Movimientos de grandes bloques al iniciarse la rotura	Superficies de desplazamientos planas o asimilables a ellas	Resbalamientos o deslizamientos Desplazamientos concordantes Desplazamientos discordantes	Slides
	Desplazamientos sobre superficies curvadas	Deslizamiento rotacional	Rotational slides
Movimientos de una masa desorganizada	Flujos	Reptación	Creep
		Coladas de tierra	Earthflows
		Soliflucción	Solifluction
		Corrientes de derrubios	Debris flows
		Golpes de arena y limo	Sand and silt flows
		Flujos de roca	Rock flows
		Avalanchas	Avalanches
Movimientos con extrusión plástica lateral		Expansión lateral	Lateral spreading
Otros movimientos	Deformaciones sin rotura o previas a la rotura	Reptación por fluencia	
		Cabeceo de estratos	Flexural toppling
		Combadura	Cambering
		Pandeo en valle	Bulging
		Deformaciones gravitacionales profundas	Sagging
	Rotura confinada	Confined failure	
	Movimientos complejos	Colapso de volcanes	
Flujos deslizantes		Flow slides	

Los desprendimientos o caídas son relevantes desde el punto de vista de la ingeniería porque la caída de uno o varios bloques puede ocasionar daños a estructuras o a otros taludes que se encuentren en la parte inferior y podría originar una destrucción masiva. Los desprendimientos se producen comúnmente en taludes verticales o casi verticales en suelos débiles a moderadamente fuertes y en macizos rocosos fracturados. Generalmente, antes de la falla ocurre un desplazamiento, el cual puede ser identificado por la presencia de grietas de tensión.

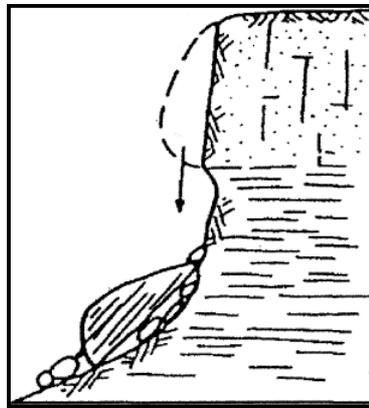


FIGURA 3.1.1.A Diagrama de movimiento para el Desprendimiento de bloques (Organización Panamericana de la Salud (OPS), 1997)

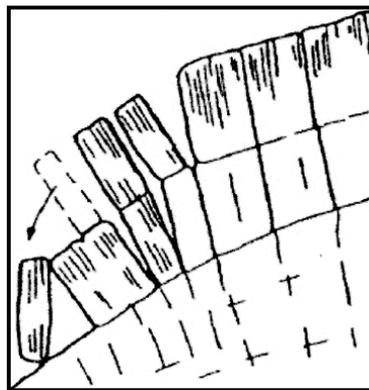


FIGURA 3.1.1.B Diagrama de movimiento generalizado para Volcadura de bloques (Organización Panamericana de la Salud (OPS), 1997)

3.1.2. Deslizamientos

Según lo plantea el U.S. Geological Survey en su URL <http://landslides.usgs.gov/>, se definen los movimientos gravitacionales como aquellos fenómenos de caída de fragmentos de rocas causados por eventos inherentes a la fuerza gravitacional, por lo cual no solo la gravedad es el factor causante, sino también factores como las propiedades de la roca (estructuras geológicas y litología) y la acción de fluidos.

Entre sus muchas variantes se encuentran la caída de bloques, el flujo de lodo, flujo de detritos, y la licuación del terreno. La caída de bloques se representa como el desprendimiento de suelo o roca en una ladera muy inclinada. El material desciende principalmente a través del aire por caída, rebotando o rolando. Ocurre en forma rápida sin dar tiempo a eludirlas, estas caídas de rocas pueden ocurrir debido a factores estructurales como diaclasas abiertas. Los flujos de lodo se forman en el momento en que la tierra y la vegetación son debilitadas considerablemente por el agua, alcanzando gran fuerza cuando la intensidad de las lluvias y su duración es larga. El flujo de detritos se representa como un flujo de lodo en donde se adicionan numerosos materiales como materia vegetal, clastos, se producen cuando ciertos derrumbes se cruzan con cursos de agua haciendo que este siga el cauce por lo cual se vuelve inestable e impredecible. El tamaño de los granos en un flujo de detritos es mayor que en un flujo de lodo pero la proporción Agua/Sedimento se mantiene (una porción de agua por dos porciones de sedimento). La licuación del terreno se da cuando el nivel freático excede su límite y además ocurre un movimiento telúrico que hace que el terreno colapse sobre si mismo generando el hundimiento.

Los deslizamientos se encuentran asociados a fallas en suelos y rocas, y de acuerdo con la forma de la superficie de falla se subdividen en rotacionales y planares.

3.1.2.1 Deslizamientos Planares

Los deslizamientos planares consisten en el movimiento de un bloque (o bloques) de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana bien definida. Estos derrumbes pueden ocurrir lenta o rápidamente.

Los deslizamientos planares en macizos rocosos consisten en el deslizamiento como una unidad o unidades (bloques) talud abajo, a lo largo de una o más superficies planas (Figura 3.1.2.1.A). También se puede generar una falla de cuña a lo largo de la intersección de dos planos, consistente de uno o varios bloques de pequeño a gran tamaño (Figura 3.1.2.1.B).

Los deslizamientos en bloque pueden ser destructivos especialmente en regiones montañosas donde los deslizamientos masivos de roca resultan desastrosos y en muchos casos no pueden ser previstos.

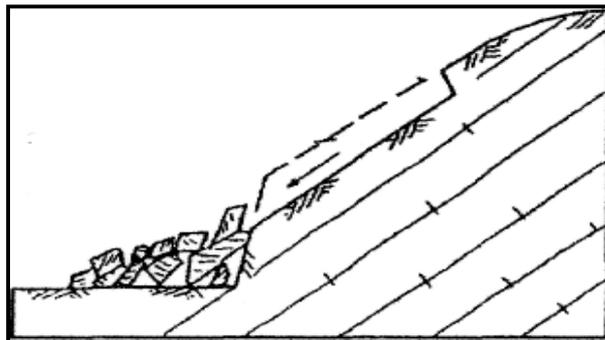


Figura 3.1.2.1.A Croquis demostrativo de deslizamiento de bloques en disposición planar (Organización Panamericana de la Salud (OPS), 1997)

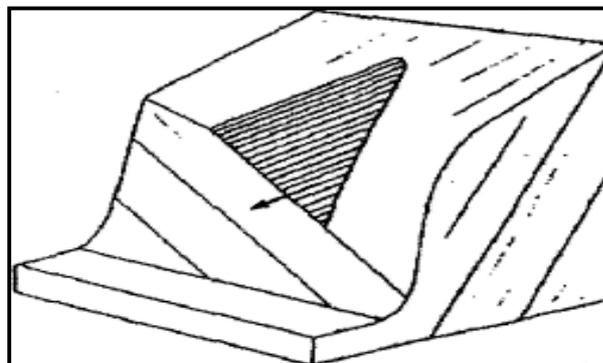


Figura 3.1.2.1.B Croquis demostrativo del sistema dinámico de un deslizamiento en forma de cuña (Organización Panamericana de la Salud (OPS), 1997)

Los deslizamientos planares suelen ocurrir en:

- Rocas sedimentarias que tengan un buzamiento similar o menor a la inclinación de la cara del talud.
- Discontinuidades, tales como fallas, foliaciones o diaclasas que forman largos y continuos planos de debilidad que interceptan la superficie del talud.
- Intersección de diaclasas o discontinuidades que dan como resultado la falla de un bloque en forma de cuña.

En general, durante los periodos iniciales de la falla se generan grietas de tracción con un pequeño desplazamiento, luego se pueden observar escarpes frescos que dejan los bloques con posterioridad al movimiento. En algunos casos, este movimiento deja sin vegetación la zona deslizada y los escombros quedan expuestos al pie del talud.

3.1.2.2. Deslizamientos Rotacionales

Los Deslizamientos Rotacionales tienden a ocurrir lentamente en forma de cuchara y el material comienza a fallar por rotación a lo largo de una superficie cilíndrica; aparecen grietas en la cresta del área inestable y abombamientos al pie de la masa deslizando (Figura 3.1.2.2). Al finalizar, la masa se desplaza sustancialmente y deja un escarpe en la cresta.

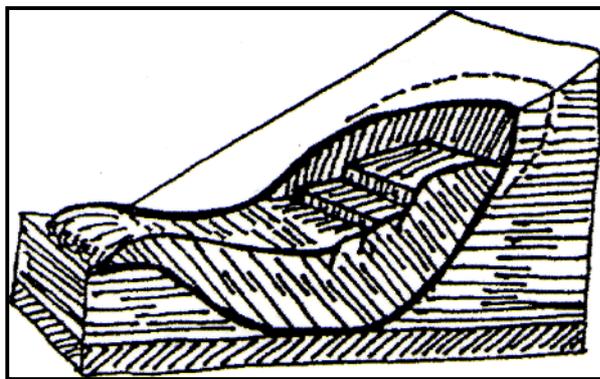


Figura 3.1.2.2. Croquis demostrativo del movimiento de un derrumbe rotacional (Organización Panamericana de la Salud (OPS), 1997)

La principal causa de este tipo de falla es el incremento de la inclinación del talud, meteorización y fuerzas de filtración; sus consecuencias no son catastróficas, a pesar de que el movimiento puede causar severos daños a estructuras que se encuentren en la masa deslizante o sus alrededores. Cuando se presentan algunos signos tempranos de falla los taludes pueden ser estabilizados.

En las etapas tempranas del deslizamiento se forman grietas de tensión, luego de la falla parcial se genera una serie de pequeños hundimientos y escarpes, y al momento de la falla total se pueden apreciar varios escarpes en la superficie además de grietas de tensiones concéntricas y profundas, así como una gran masa de material incoherente al pie del talud.

3.1.2.3. Esparcimiento Lateral y Falla Progresiva

Los esparcimiento laterales son una forma de falla planar que ocurre en suelos y rocas. La masa se deforma a lo largo de una superficie plana que representa una zona débil, tal como lo ilustra la Figura 3.1.2.3 Los bloques se separan progresivamente por tensión y retrogradan.



Figura 3.1.2.3 Croquis del sistema dinámico de un esparcimiento lateral o un deslizamiento rotacional progresivo (Organización Panamericana de la Salud (OPS) ,1997)

Este tipo de falla es común en valles de ríos y se asocia también con arcillas firmes y duras usuradas, lutitas y estratos con buzamiento horizontal y una zona continua de debilidad. También se presenta en coluvios con pendientes suaves que se encuentran sobre suelos residuales o rocas.

Los desparramamientos laterales pueden activarse repentinamente por eventos sísmicos. Sin embargo, bajo acciones gravitacionales se generan grietas de tensión. Durante la falla progresiva, las grietas de tensión se abren y los escarpes forman grandes bloques.

3.1.2.4.Deslizamiento de Escombros

En los deslizamientos de escombros, una masa de suelo o mezcla de suelo y fragmentos de roca se mueven como una unidad a lo largo de superficies planas con alta inclinación. Estos deslizamientos ocurren de manera progresiva y pueden convertirse en avalanchas o flujos. Las principales causas de deslizamientos de escombros son el incremento en el contenido de humedad, debido a la infiltración de agua y la inclinación del talud. La ocurrencia de este tipo de deslizamiento es común en suelos residuales y depósitos coluviales que reposan sobre una superficie de roca.

3.1.3. Avalanchas

Las avalanchas son el movimiento rápido de escombros, de suelo o de roca y puede o no comenzar con la ruptura a lo largo de una superficie de falla, en el cual toda la vegetación, el suelo y la roca suelta pueden ser arrastrados.

Las principales causas de avalanchas son el elevado contenido de humedad, debido a la infiltración de agua, la alta pluviosidad, el derretimiento de nieve, los sismos o el deslizamiento gradual de los estratos de roca. Las avalanchas ocurren de manera brusca sin previo aviso y generalmente son impredecibles. Los efectos pueden ser desastrosos y pueden sepultar extensas áreas al pie del talud.

Las avalanchas son características de zonas montañosas con pendientes muy inclinadas en suelos residuales donde la topografía causa concentración de la escorrentía. También se puede presentar en zonas de roca muy fracturada

3.1.4. Flujo De Escombros

Son movimientos plásticos o fluidos, en agua y raramente en aire, en los cuales la masa se rompe y fluye durante el movimiento. En muchos casos este proceso comienza como caída, deslizamiento o volteo y posteriormente es transformado en flujo.

Este tipo de falla es similar a las avalanchas, excepto que la cantidad de agua es mayor y por ello la masa fluye como lodo. La principal causa es el aporte de grandes cantidades de agua, debido a las lluvias y material suelto en la superficie.

3.1.5. Repteo

Es un proceso muy lento que afecta a la parte superficial del suelo, y se produce porque los materiales, al acumular agua o hielo, aumentan de volumen y producen el levantamiento de la superficie, y posteriormente descienden al secarse. Estos movimientos tienen como efecto el deslizamiento de los materiales.

El repteo consiste en un lento e imperceptible movimiento o deformación del material de un talud frente a bajos niveles de esfuerzos que generalmente afectan a las porciones más superficiales del talud, aunque también puede afectar a porciones profundas cuando existe un estrato poco resistente. El repteo es el resultado de la acción de fuerzas de filtración o gravitacionales y es un indicador de condiciones favorables para el deslizamiento.

El repteo es característico en materiales cohesivos y rocas blandas como lutitas y sales, en taludes moderadamente empinados a empinados.

Los rasgos característicos del repteo son la presencia de pequeñas crestas paralelas y transversales a la máxima pendiente del talud y postes de cerca inclinados.

3.1.6. Volcamientos.

Este mecanismo es común en masas rocosas con discontinuidades casi verticales y ocurre cuando la resultante de las fuerzas aplicadas a un bloque pasa o cae fuera de un punto pivote en la base del mismo y alrededor del cual se produce el volteo.

3.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES

Los deslizamientos en taludes ocurren de muchas maneras y existe cierto grado de incertidumbre en su predicción. Sin embargo, conocer los deslizamientos que han ocurrido en el área de interés constituye un buen punto de partida para la detección y evaluación de potenciales deslizamientos en el futuro.

Para conocer los deslizamientos pasados se puede revisar diversas fuentes, tales como periódicos locales, revistas nacionales o internacionales especializadas en el tema, mapas de zonificación de casos de inestabilidad geológica, inventarios de riesgos geológicos, etc.

No siempre es posible conseguir documentación escrita de ocurrencias previas de deslizamientos, por lo que la información de los vecinos del sector «i los hay- constituye generalmente una valiosa fuente de información.

El tipo de información solicitada a los vecinos sería la descripción de deslizamientos previos en el área, el comportamiento de los taludes durante el período de lluvias, comportamiento durante eventos sísmicos, presencia de antiguas lagunas que se hayan secado, existencia de grietas en construcciones de la zona, grietas en el terreno, inclinación de postes, cercas o árboles con deformaciones, etc.

3.2.1. La Topografía.

La topografía actual es el producto de millones de años de desarrollo y modificación a lo largo de diferentes procesos geológicos. Este proceso es continuo y los deslizamientos de taludes constituyen unos de los mecanismos de modificación (Schuster and Krizek 1976). La geología representa un factor primordial en la estabilidad de un talud y existen muchos factores geológicos que ilustran el potencial del deslizamiento de taludes.

El relieve y la topografía están determinados por la geología del área, lo que permite estimar la susceptibilidad al movimiento en el nivel regional. En general, los deslizamientos pueden ocurrir en cualquier tipo de relieve si las condiciones están dadas, sin embargo, la experiencia de trabajar y observar distintos tipos de relieves ha demostrado que los deslizamientos son más comunes en ciertos tipos de relieves. A continuación se incluye una breve descripción de las características de estos relieves.

3.2.1.1. Taludes Escarpados

En terrenos escarpados los deslizamientos pueden ocurrir en cualquier tipo de material. Sin embargo, la causa más común de derrumbe en taludes escarpados es el deslizamiento a lo largo del contacto con la roca de suelos residuales o coluviales. El material meteorizado o suelto no puede mantener la misma pendiente que la roca, por ello, una fuerte lluvia o un corte al pie del talud pueden activar el deslizamiento de la masa suprayacente.

3.2.1.2. Áreas De Concentración De Drenaje Y Filtración

Un estudio cuidadoso de la red de drenaje y áreas de concentración de agua es extremadamente importante. Es probable que ocurran filtraciones con el subsecuente deslizamiento en áreas debajo de reservorios, canales de irrigación o depresiones con

agua estancada. Es importante reconocer el peligro potencial de las áreas derivadas de drenaje superficial, especialmente en rocas porosas y fracturadas.

3.2.1.3. Áreas de Concentración de Fracturas

El movimiento de taludes puede estar estructuralmente condicionado por superficies débiles tales como fallas, diaclasas, planos de estratificación y foliación. Estas estructuras pueden dividir un macizo rocoso en una serie de unidades individuales que pueden actuar independientemente una de la otra. Por ello, el macizo rocoso no puede ser considerado como un medio continuo sino como una serie de bloques individuales; estos planos de debilidad facilitan el flujo de aguas y desarrollo de vegetación, lo cual debilita los bloques y reduce la resistencia al deslizamiento. Por lo tanto, se debe buscar cuidadosamente las áreas con pequeño espaciamiento entre las diaclasas, especialmente cuando estas se cruzan y dividen el macizo rocoso en pequeños bloques que lo hace más inestable.

3.2.2. Estabilidad

Los mapas topográficos representan una excelente fuente de información para la detección precoz deslizamientos y, algunas veces, se puede identificar en ellos grandes áreas de deslizamiento. En los mapas topográficos, la escala y el intervalo de las curvas de nivel facilitan la identificación de los deslizamientos. Esta identificación se puede llevar a cabo mediante:

Características topográficas evidentes, por ejemplo, pendientes empinadas (curvas de nivel con poco espaciamiento) en el escarpe de un deslizamiento, topografía con pequeñas elevaciones o montículos dentro de la masa deslizante (curvas de nivel que siguen un patrón irregular y no simétrico con depresiones poco profundas), presencia de masa separada y características de flujo en la parte baja.

Curvas de nivel onduladas, vías locales dañadas con niveles desiguales y otras deformaciones superficiales reflejadas en las líneas de transmisión o en las cercas.

Movimientos menores o irregularidades en zonas de pendientes empinadas, acantilados, bancos, áreas de concentración de drenaje, etc.

La identificación de deslizamientos en mapas topográficos se verá repotenciada por la escala del mapa base y por ende por el intervalo de las curvas de nivel del mismo.

3.2.3. Efecto de La Resistencia del Suelo y la Pendiente del Talud

El suelo tiene dos comportamientos básicos ante la aplicación del esfuerzo cortante. Uno, a través de la fricción intergranular de las partículas que lo integran y la otra por medio de fuerzas que unen a las partículas entre sí. La primera se llama también condición drenada o a largo plazo y la segunda, condición no drenada o a corto plazo.

3.2.4. Pluviosidad

La pluviosidad tiene un efecto primordial en la estabilidad de los taludes ya que influye en la forma, incidencia y magnitud de los deslizamientos. En suelos residuales, generalmente no saturados, el efecto acumulativo puede llegar a saturar el terreno y activar un deslizamiento. Con respecto a la pluviosidad hay tres aspectos importantes: El ciclo climático en un período de años, por ejemplo, alta precipitación anual versus baja precipitación anual; La acumulación de pluviosidad en un año determinado en relación con la acumulación normal; Intensidad de una tormenta específica.

Guidicini e Iwasa (1977) realizaron un estudio sobre la ocurrencia de deslizamientos en relación con la pluviosidad y establecieron el coeficiente del ciclo como parámetro fundamental que toma en cuenta la pluviosidad. El coeficiente del ciclo fue definido como la precipitación acumulada hasta el día de la falla, en porcentaje del promedio de la precipitación anual. El estudio cubrió nueve áreas de la región

montañosa costera de Brasil, la cual presenta un clima tropical caracterizado por una estación seca de junio hasta agosto y una estación húmeda desde enero hasta marzo. Los resultados del estudio indican que la acumulación de precipitación causa un incremento en la saturación del terreno que eleva el nivel freático, por lo tanto, una tormenta durante la estación seca o al comienzo de la estación húmeda tendría un efecto menor en la estabilidad del talud que una tormenta de la misma intensidad el final de la estación húmeda.

3.2.5. Erosión

La erosión puede ser causada por agentes naturales y humanos. Entre los agentes naturales se pueden incluir el agua de escorrentía, aguas subterráneas, olas, corrientes y viento. La erosión por agentes humanos incluye cualquier actividad que permite un incremento de la velocidad del agua, especialmente en taludes sin protección, como la tala de árboles u otro tipo de vegetación que ayuda a fijar el suelo y mejorar la estabilidad del talud.

La erosión puede causar la pérdida de soporte de fundación de estructuras, pavimentos, rellenos y otras obras de ingeniería. En terrenos montañosos, incrementa la incidencia de taludes inestables y puede resultar en la pérdida de vías u otras estructuras.

La sedimentación y arrastre de aluviones son otros efectos importantes de la erosión que en los lagos o embalses incrementan la turbidez de las aguas y crean un peligro para la vida acuática, contaminan el agua potable y reducen la capacidad de almacenamiento de los embalses y por tanto su vida útil.

Existen ciertos procedimientos para controlar la erosión y sedimentación. En bancos de ríos y canales, la protección se puede proveer con estructuras de retención, revestimiento de concreto y cascajo. En taludes, la protección consiste en:

Sembrar vegetación de rápido crecimiento además de instalar un sistema de control del drenaje superficial; Instalar fajinas en la dirección transversal del talud, las cuales

se pueden sujetar con estacas; Sellar las grietas superficiales con concreto, suelo o asfalto para prevenir la infiltración, lo cual reduce la erosión.

3.2.6. Licuefacción Debido a Acciones Sísmicas

La mayoría de las fallas de los taludes en suelos no cohesivos, durante sismos se debe al fenómeno de licuefacción en suelos no-cohesivos, sin embargo, también se han observado fallas en suelos cohesivos durante algunos eventos sísmicos de gran magnitud.

La licuefacción es un fenómeno que consiste en una caída brusca de resistencia al corte de un suelo granular en condiciones no drenadas, la cual puede ser activada por la repetida aplicación de pequeños incrementos o decrementos de esfuerzos de corte inducidos por vibraciones del terreno asociadas con terremotos o explosiones. La pérdida de resistencia es de tal magnitud que momentáneamente el suelo alcanza la consistencia de un fluido pesado y se originan grandes deformaciones.

Los fenómenos de licuefacción se han observado generalmente en depósitos aluviales recientes compuestos por granulares, como los que se encuentran típicamente en los deltas o zonas de inundación de ríos y lagos.

Los parámetros más relevantes en la evaluación del potencial de licuefacción son: la granulometría (tamaño, gradación y forma de granos); la densidad relativa del depósito.

Estas características son determinadas por el método de deposición, la edad geológica y la historia de esfuerzos del depósito.

Las arenas finas limpias y las arenas limosas no-plásticas que contienen menos de 10% de finos son las más susceptibles a la licuefacción porque tienen la tendencia a depositarse de manera suelta y presentan una permeabilidad baja para impedir el drenaje durante las vibraciones del terreno.

3.3. RIESGO GEOLOGICO Y ORIENTACION GEOTECNICA

Los movimientos de ladera o deslizamientos constituyen un riesgo geológico (Ayala et al., 1987) de origen natural o inducido, que debe tenerse en cuenta en la planificación del territorio, sobretodo en áreas montañosas. Sin embargo, la percepción de este tipo de procesos naturales es baja en comparación a las inundaciones, los volcanes o los terremotos. Ello se debe, en gran parte, al menor número de víctimas mortales producidas por los deslizamientos aunque no ocurre así con las pérdidas materiales causadas por ellos. Los deslizamientos, en general, tienen lugar en zonas de difícil acceso y poco pobladas lo que causa impactos a pequeña escala y de poca consideración, a excepción de algunos eventos catastróficos como el de Aterían en el Reino Unido (Bishop et al., 1969). El del Nevado Huascarán en Perú (Plafker y Ericksen, 1979), el del Mount Saint Helen en Estados Unidos (Voight et al., 1983) y el de Vaioní en Italia (Shuster, 1996) entre otros. Aunque también es cierto que los deslizamientos han sido una de las principales causas de daños y pérdidas de vidas humanas en algunos terremotos recientes (Kobayashi, 1981; Keefer, 1984; Plafker y Galloway, 1989; Schuster, 1996). En enero de este mismo año 2001 se produjo un gran deslizamiento provocado por un fuerte terremoto en El Salvador, que enterró una parte del barrio de Las Colinas en Santa Tecla. Además, en los últimos años, la creciente demanda de servicios como turismo y actividades deportivas en áreas de montaña, ha incrementado el uso y frecuentación de las mismas ampliando las áreas pobladas que pueden verse afectadas por deslizamientos.

Los factores influyentes dentro del riesgo geológico y Orientación Geotécnica son los siguientes:

- Pendientes.
- Litología y Estructuras Geológicas
- Relieve y Procesos Geomorfológicos
- Orientación de las laderas
- Intensidad del Proceso de Meteorización.

3.3.1. Pendientes

En el área de estudio “Filas de Mariches” los rangos de pendiente juegan un papel importante en la formación de procesos geomorfológicos ya que delimitan las zonas en donde estos pueden ocurrir. A partir de los datos de pendientes obtenidos se realizaron dos mapas, uno donde se identifican las pendientes en grados y otro donde se identifican las pendientes en porcentajes. Los rangos de pendiente más relevantes dentro de la zona de estudio son los que van desde 25% a 45% y más. Los rangos de pendiente descritos son los siguientes:

- **Pendientes de 0 a 10%:** son pendientes muy bajas o casi planas. Su distribución general es irregular y heterogénea a lo largo del área y presenta una peculiaridad, su distribución lineal las cuales describen el curso de las quebradas, esto se debe a que dentro de las quebradas hay puntos o tramos de pendiente 0 debido a la misma litología, se podría decir que las zonas con pendiente muy baja dentro de las quebradas se refleja como las zonas en donde se encuentran los saltos de agua, por sobre los saltos de agua se encuentra una especie de planicie formada por la misma litología dura que forma el dicho salto. Una última ubicación, son las zonas donde pasa la vialidad; por lo cual la pendiente en esa zona debe ser lo más baja posible y permisible por el terreno, de manera que los vehículos puedan circular sin contratiempos lo cual describe los bandeamientos. El tipo de vegetación presente en estas zonas de baja pendiente es eminentemente Bosque Semi-deciduo, para todos aquellos casos en donde la pendiente no haya sido modificada o intervenida por el hombre, es decir, terrenos vírgenes.

- **Pendientes de 10 a 20%:** este rango comprende a las zonas de pendiente baja a moderada. Refleja las zonas en donde se ha dado intervención antrópica reciente y actual y zonas en donde las pendientes no son pronunciadas como por ejemplo: cimas de filas secundarias y terrazas artificiales y/o naturales. Este tipo de pendientes son muy útiles como zonas de construcción urbana porque requieren poco trabajo de reacomodo y de maquinaria. Dividiendo estas zonas de pendiente de acuerdo a su ubicación lo que obtenemos es que la vegetación varía

considerablemente de un tipo a otro, en las zonas bajas donde se encuentra esta pendiente la vegetación es eminentemente alta (bosque semi-decíduo con apariciones de matorral arbustiva) mientras que en las zonas altas donde se ubica esta pendiente la vegetación tiende a ser más baja (matorral arbustiva media y herbazal). Esta diferenciación de la vegetación nos dice que su crecimiento y proliferación no solo depende del factor pendiente sino también de la altura, que es un factor que viene entrelazado con la exposición a los elementos, indudablemente una vegetación de alturas considerable esta más expuesta al viento y al agua por lo cual las vegetaciones de bajo tamaño tienden a ser más resistentes ante esos efectos. Dentro de los drenajes también se encuentra este tipo de pendiente y se representa como zonas llanas en donde se depositan los sedimentos de grano fino y muy fino.

- **Pendientes de 20 a 30%:** este tipo de pendientes son moderadas y son buenas para trazar vialidad y edificaciones pequeñas ya que a pesar de que el nivel de pendiente es mayor que en los tipos de pendiente anteriores, la cantidad de modificaciones y nivelaciones que deben hacerse son mínimas. La ubicación de este tipo de pendientes se restringe a zonas como topes de filas, cimas de colinas redondeadas y planos de inundación de drenajes por lo cual en la zona de estudio se pueden ubicar bordeando los drenajes donde su cauce se amplía en las cimas de las lomas o filas secundarias. Este tipo de pendiente es importante ya que a este ángulo en donde empiezan a depositarse los sedimentos medios y finos en los drenajes. En este punto el drenaje pierde fuerza de arrastre y empieza a depositar los sedimentos de grano medio a fino por lo cual este punto representa un sector donde la gradación es buena. El tipo de vegetación predominante es matorral arbustiva alta y de bosque semi-decíduo baja en los tramos de baja altura y en los tramos de mayor altura como cimas de colinas y topes de filas secundarias la vegetación es matorral arbustiva media y herbazal. Este tipo de pendientes se originan por dos factores, uno es la deposición de sedimentos que genera un nuevo terreno plano sobre uno ya inclinado y el otro es el aplanamiento del terreno debido a diversos factores geológicos, es decir, en terrenos altos como cimas de colinas se produce un redondeamiento de la misma debido a la erosión el terreno, suavizando las imperfecciones y dejando tras

de si un terreno más estilizado y redondeado, que en algunos tramos se pueden presentar rellanos.

- **Pendientes de 30 a 40%:** este tipo de pendientes se ubica bordeando las zonas de pendientes menores y se caracteriza por ser un paso intermedio entre las altas pendientes y las moderadas. El tipo de vegetación presente es matorral arbustivo en su mayoría ya que las vegetaciones de bosque semi-decíduo se dan mejor en zonas de pendientes bajas y cercanías a drenajes estables. No se recomienda realizar edificaciones importantes en zonas con estas pendientes ya que de deberán tomar medidas de prevención como cortes o estabilización de taludes, además debido a que es una zona intermedia entre las pendientes altas y las moderadas poseen cierta actividad dinámica cuando ocurre una incidencia de lluvias importante. Si esta zona de pendientes se encuentra desprovista de capa vegetal se puede volver inestable ante las lluvias. En la zona de estudio este tipo de pendientes no se visualizan mucho sino bandeando o bordeando contornos de pendientes más moderadas o más altas y su extensión areal es mínima. Esta zona se utiliza mayormente como tramos para la colocación de tuberías de aguas ya que la gravedad y la pendiente ayudan al flujo dentro de la tubería desde zonas más altas. En las pendientes de este rango los drenajes tienden a comportarse de manera lineal o pseudolineal, únicamente cambiando o modificando su curso debido a interrupciones en el cauce o grandes obstáculos geológicos, estructurales, naturales o artificiales pero a manera general mantienen una trayectoria lineal que viene dada debido a la pendiente, un incremento en la pendiente provoca que el agua aumente su velocidad y al aumentar su velocidad también aumenta su potencial dinámico y su poder de arrastre por lo cual antiguos obstáculos que obligaban al drenaje a cambiar el curso cuando las pendientes son más bajas ahora pueden ser fácilmente erosionados o cortados por el paso del agua.

- **Pendientes de 40% en adelante:** son un tipo de pendientes de alto ángulo de inclinación en el sentido geotécnico, es decir, a pesar de que el ángulo de pendiente límite es 22° o más, ya estas pendientes mayores no pueden ser consideradas para proyectos de construcción a gran escala ni para sistemas urbanos

desarrollados porque el terreno necesita un tratamiento de nivelación y estabilidad mayores a los antes mencionados. El tipo de vegetación presente en estas zonas de pendiente es matorral arbustiva en sus primeros grados y conforme se va aumentando la pendiente se pasa a una transición entre matorral arbustivo y herbazal para luego llegar a una vegetación eminentemente herbazal en las pendientes más altas. Este tipo de pendiente dentro de la zona de estudio se encuentra muy distribuido a lo largo del área. Ocupa casi el 80% de la extensión de la zona, dejando solo tramos lineales para las demás pendientes que representan líneas de quebradas, líneas de filas y filas secundarias. A partir de pendientes de 35° ya no se puede construir debido al alto riesgo a deslizamientos. Se recomienda que para la zona de estudio no remover la capa vegetal en las zonas de alta pendiente (30° o mayores a 50%) ya que la remoción de la capa vegetal deja sin protección al suelo y se vuelve inestable ante los procesos erosivos. En el caso en donde sea estrictamente necesario la remoción de la capa vegetal para la construcción de vialidad o terraplenes urbanísticos se recomienda tomar las medidas de prevención y contención de deslizamientos necesarias para el caso y así poder evitar posibles percances durante las temporadas de lluvias. Se distribuyen de manera homogénea en toda el área de estudio y a pesar de que representan un gran renglón de pendientes cuando se hace la conversión a grados se tiene por estimado que las pendientes mayores a 45° no pueden utilizarse en planes urbanísticos por lo que esto en realidad nos da un zonificación aparente de las áreas que pueden utilizarse para la ocupación urbana.

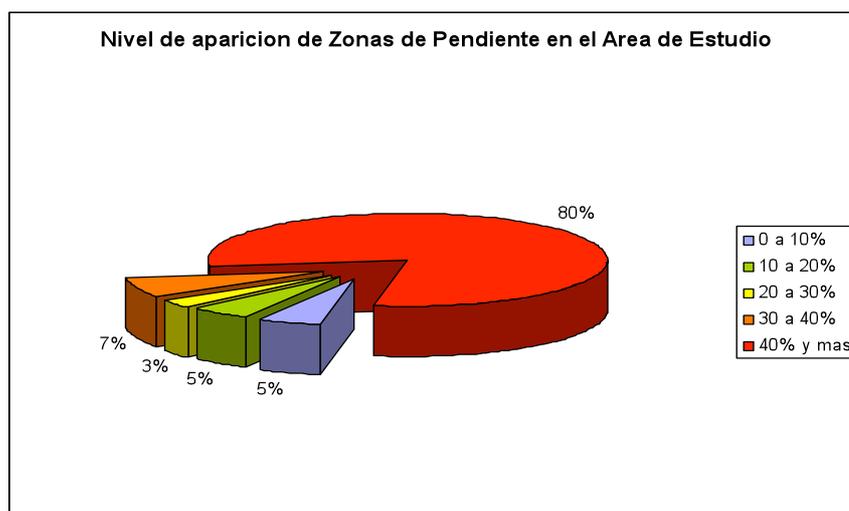


Grafico 3.3.1.A Niveles de aparición porcentual de los rangos de pendiente dentro del área de estudio (elaboración propia, González 2008)

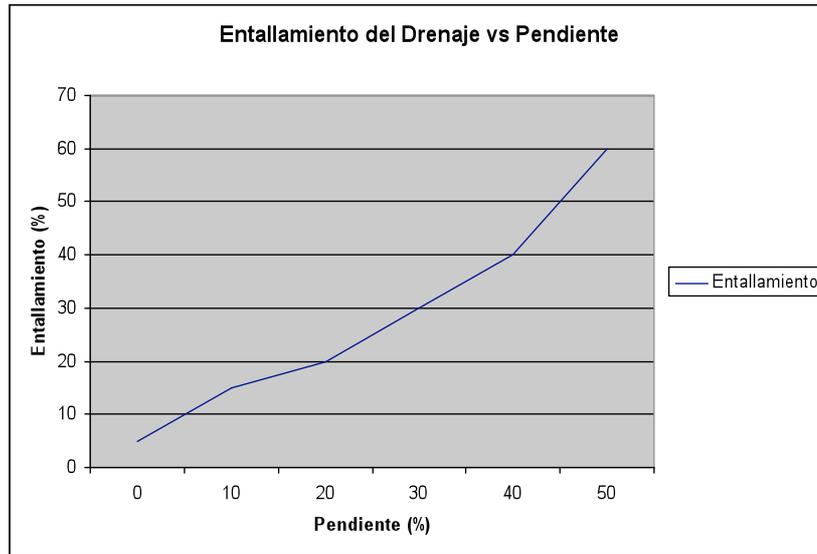


Grafico 3.3.1.B Tendencia del entallamiento del drenaje conforme cruza diferentes zonas de pendientes (elaboración propia. González 2008)

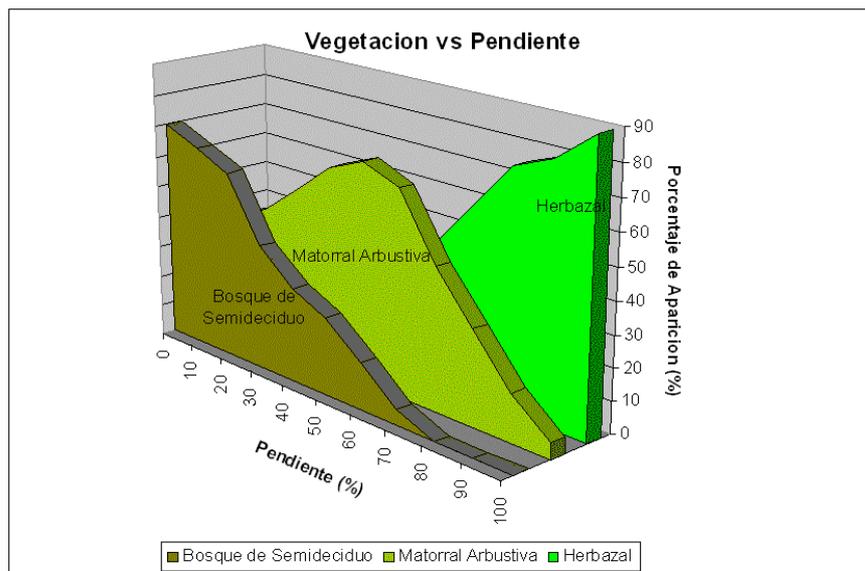


Grafico 3.3.1.C Niveles de predominancia de los tipos de vegetación de acuerdo el nivel de pendiente presente (elaboración propia, González 2008)

3.3.2. Litología

La geología presente en el área de Filas de Mariche corresponde a unas facies de régimen litológico de moderada meteorización; datos corroborados en campo demostraron que los niveles de meteorización de la roca eran moderados o intermedios lo cual nos da dos indicios fundamentales. Uno de ellos son los indicios

de susceptibilidad relativa de la roca ante los agentes erosivos, como lo son la escorrentía de drenajes, la infiltración y la erosión por factores antrópicos y eólicos entre otros. El otro indicio es la acción que tiene la presencia de la capa vegetal sobre el terreno y la litología, se entiende que la vegetación también puede funcionar como un agente erosivo de las rocas y el suelo como por ejemplo la acción de las raíces como agentes horadores y la acción de extracción de sales minerales y agua de la roca por parte de las misma raíces pero en este caso la mayor acción de la capa vegetal es de protección ante los agentes erosivos ya que mantiene a la roca alejada del entorno erosivo externo haciendo que esta se preserve y se mantenga más estable durante la temporada de lluvias. La foliación y los planos en los que ellas se mueven también juegan un papel importante como un factor dentro de los procesos que ayudan a la formación de los relieves y las geofórmulas. En el caso de la litología se puede mencionar que litologías diferentes ayudan a originar relieves diferentes, es decir, un tipo litológico más competente (más duro o más resistente ante la erosión) produce relieves altos y escarpados, una litología blanda o menos competente produce relieves intermedios y suavizados y una litología poco competente es erosionada produciendo relieves bajos como valles o planicies de inundación. El modelado final del relieve lo realiza la erosión por lo cual al relacionar la litología con la erosión se obtiene que las litologías más duras presentan más resistencia ante la erosión y las litologías mas blandas o menos competentes presentan menos resistencia.

Las litologías presentes en el área de estudio son caracterizadas por presentar una debilidad ante la humedad retenida por la vegetación, también poseen un bajo grado de resistencia a la erosión producida por la incidencia biótica o de agentes biológicos lo cual nos arroja como resultados que bajo la capa vegetal la roca se encuentra en proceso de descomposición gradual debido a los factores antes mencionados. Esto genera una cara de roca descompuesta rica en nutrientes pero poco compacta y gracias a la capa vegetal se mantiene uniforme y estable. Los agentes geológicos que modelan o suavizan el relieve eliminan las formas en pico y escarpes presentes.

Los drenajes como fenómeno modificador del relieve y relacionándolo con la litología nos presenta que la escorrentía busca su camino a través de las litologías menos resistentes al paso del agua como en este caso son los esquistos fáciles de erosionar. Hay que tener en cuenta que a pesar de que una litología se mantenga uniforme en una extensión areal considerable eso no quiere decir que sea homogénea en todos sus puntos, por lo cual el drenaje pasará por aquellos sectores en donde la debilidad sea mayor.

Como ya se había mencionado antes la foliación juega un papel importante dentro del modelado del terreno y más aun en los procesos de geodinámica superficial, para el caso en donde los planos de foliación estén por encima del plano del corte del talud o del plano de la ladera ese sector se convierte en una zona de potencial deslizamiento, si a eso se le añade una litología poco competente ante los agentes erosivos y además se retira la capa vegetal se obtiene un área en donde el deslizamiento de material ante cualquier periodo de lluvia relativamente prolongado es casi una certeza.

En la zona “Filas de Mariche” se presentan una serie de litologías que de acuerdo a su resistencia relativa a los diferentes procesos erosivos, determinan la incidencia que poseen con respecto a los procesos geomorfológicos; a continuación se muestra el cuadro comparativo:

	Nivel de Incidencia	Muy Baja	Baja	Moderada	Alta	Muy Alta
Unidades Litológicas (Esquistos)	Cuarzo Micaceos			Con Vegetación		Sin Vegetación
	Cuarzo Micaceos con trazas calcareas		Con Vegetación		Sin Vegetación	
	Cuarzos Micaceos Calcareos	Con Vegetación		Sin Vegetación		
	Cuarzo Biotíticos			Con Vegetación	Sin Vegetación	

Leyenda:	
Con Vegetación	Con Vegetación
Sin Vegetación	Sin Vegetación

Cuadro 3.3.2. Comparación entre rasgos mineralógicos predominantes en las unidades formacionales propuestas para la zona de trabajo y la incidencia de los procesos geomorfológicos de acuerdo a la presencia de vegetación.

Como se muestra en el cuadro comparativo, para diferentes asociaciones litológicas, la acción de los procesos geomorfológicos es diferente y varía aun más con la presencia de la capa vegetal. Las litologías menos afectadas por los procesos son aquellas en donde los carbonatos se hacen presentes; por lo cual se establece una relación directa entre la presencia de carbonatos con el relieve, es decir, el relieve viene dado por litologías resistentes a la erosión y la erosión junto con otros factores importantes se traduce en la generación de procesos geomorfológicos por lo cual una litología más resistente a la erosión se resume en una litología menos a propensa a sufrir procesos geomorfológicos significativos y en el caso de Filas de Mariche esa litología esta caracterizada por la presencia de carbonatos ya sea en trazas o dentro de su mineralogía. Además la presencia de capa vegetal juega un papel importante como ya se ha mencionado extensamente.

3.3.3. Cinemáticos

Los procesos cinemáticos se pueden dividir en dos grupos fundamentales:

3.3.3.1 Cinemáticos Estructurales: este grupo engloba a las estructuras de deformación estructural tales como fallas y plegamientos que pueden generar movimientos y por ende procesos geomorfológicos que modifican el terreno. En otra instancia, las fallas presentes en el área de estudio son un modelador del terreno ya que en algunos sectores de la zona los drenajes cambian su curso para continuar por la línea superficial por donde pasa la falla y una vez que la falla termina su trayectoria el drenaje vuelve a su curso original pero trasladado por el desplazamiento de la falla. Esto se demuestra en una serie de drenajes que siguen una trayectoria muy lineal y paralela entre ellos, por lo cual se determinaron una serie de fallas o sistema de fallas que mantienen a los drenajes con este patrón, el modelo de la serie de fallas concuerda con el modelo estructural propuesto para la zona de estudio. Las deformaciones producidas por anticlinales y sinclinales son la base esencial para formación de relieves, los sinclinales generan relieves deprimidos o negativos mientras que los anticlinales generan relieves positivos o de elevación, en muy pocos casos ocurre lo contrario y se dan cuando existe periodos de alta

erosión o aplanamientos e incluso periodos orogénicos que levantan zonas incluyendo sinclinales formando lo que se llama sinclinal colgado. Una falla genera una abertura en el terreno desprovista de vegetación por lo cual se genera una porción de terreno en la cual puede actuar fácilmente la erosión, generando un socavamiento en un surco de la falla creando así cortes de talud naturales. Estos taludes son susceptibles a deslizamientos y si la foliación lo permite, el deslizamiento puede ser más pronunciado. Esto nos dice que hay cierto tipo de estructuras que generan modificaciones en el terreno más que otras dependiendo de la serie de factores que actúan para cada una de ellas.

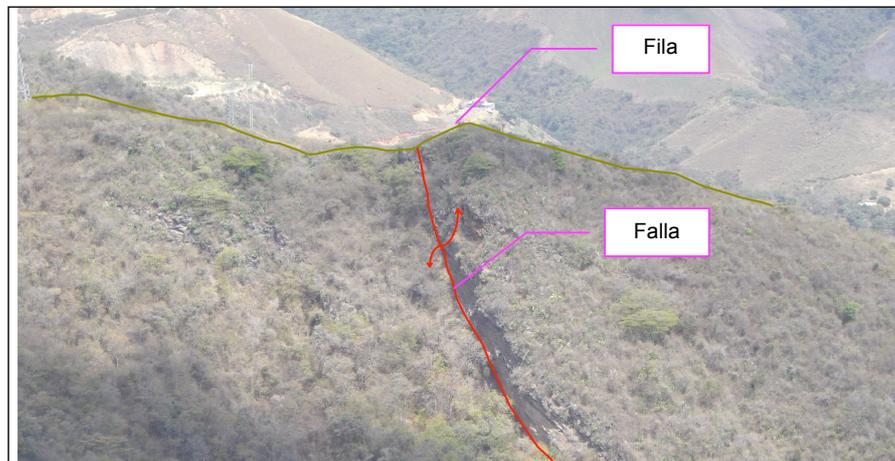


Imagen 3.3.3.1 Imagen muestral de un Proceso cinemático estructural (Fuente: Proyecto de Microzonificación Urbanística "Mamera". OCA 2008)

3.3.3.2 Cinemáticos Superficiales: se define como el grupo de procesos en donde ocurre movimiento pero a nivel superficial en el terreno, estos no son más que deslizamientos y derrumbes. Los deslizamientos son fenómenos en donde ocurre un movimiento del terreno con su consecuente traslado pero sin alterar su composición ni morfología general a cambio que los derrumbes son fenómenos en donde ocurre movimiento y traslado de material en el cual se da un cambio forma y morfología. En cuanto a estos procesos cinemáticos superficiales, se puede decir que vienen de la mano con fenómenos como la erosión, infiltración excesiva de agua, falta de vegetación, baja estabilidad en los taludes, paralelismo entre los planos de debilidad de la roca y el plano de corte de la ladera entre otros. Estos son los procesos a los cuales se debe tener mas cuidado ya que son los que ocurren con mayor frecuencia y

prontitud por lo cual pueden afectar zonas pobladas cercanas si no se toman medidas pertinentes de prevención. En las zonas donde se observan estos procesos superficiales es porque la capa vegetal es bastante delgada o en muchos casos ausente. Pero la ausencia de capa vegetal por si sola no es un factor generador de nuevas topoformas a través de procesos geomorfológicos; sino se destaca más como un evento precursor para los mismos. Al existir una zona de terreno sin vegetación y con alta pendiente, esta queda expuesta a que sea suavizada en los contornos por la erosión eólica, además de que es propensa a deslizamientos debido a la incidencia de agua que puede generar inestabilidad.

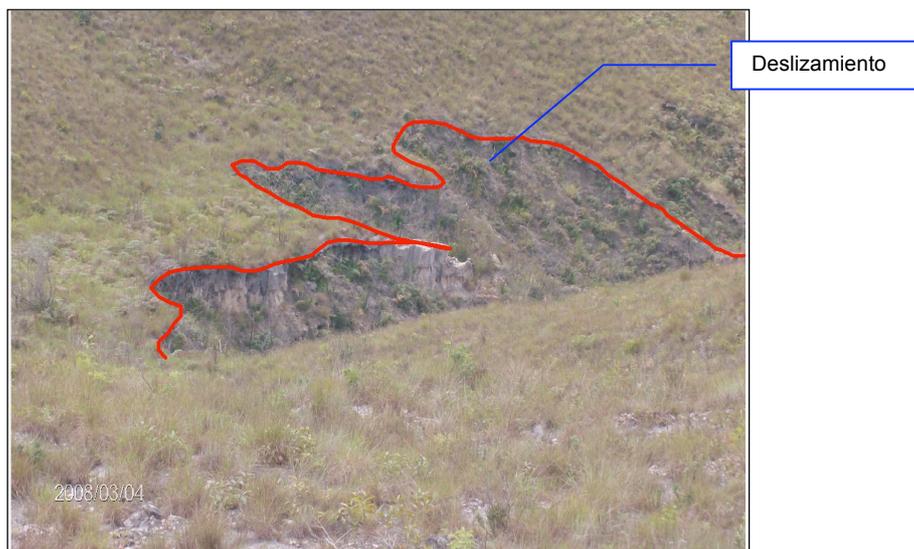


Imagen 3.3.3.2. Ejemplo Demostrativo de un proceso cinemático superficial, deslizamiento (Fuente: Proyecto de Microzonificación Urbanística “Mamera”. OCA 2008)

La imagen anexa muestra un proceso cinemático superficial (deslizamiento) en donde se muestra la zona de operación y la incidencia de la capa vegetal. Nótese que la capa vegetal en el deslizamiento es de un color diferente al resto del área, más opaca, eso nos dice que la vegetación es anterior al deslizamiento y se está secando aun.

En el cuadro 3.3.3 se muestra una comparación entre los eventos cinemáticos estructurales y los eventos cinemáticos superficiales y la acción que tienen los

procesos geomorfológicos ante ellos, tomando en cuenta presencia o carencia de capa vegetal

		Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
Estructurales	Fallas			Con Vegetación	Sin Vegetación	
	Anticlinales		Con Vegetación		Sin Vegetación	
	Sinclinales			Con Vegetación		Sin Vegetación
superficiales	Deslizamientos			Con Vegetación	Sin Vegetación	
	Derrumbes		Con Vegetación			Sin Vegetación
	Otros			Con Vegetación		Sin Vegetación

Leyenda	
Sin Vegetación	Sin Vegetación
Con Vegetación	Con Vegetación

Cuadro 3.3.3. Comparación entre los eventos cinemáticos. Estructurales y superficiales (Elaboración propia, González, 2008)

3.3.4 Relieve

El relieve depende de muchos factores que controlan su generación, este tipo de factores son la pendiente, la carencia y presencia de vegetación, la litología, las estructuras presentes, el clima entre otros. En el caso de Mamera, se presenta un relieve de valles estrechos, valle tectónico y colinas. Los valles fluviales se forman por la acción de las aguas de escorrentía en zonas donde el cauce del drenaje puede fluir sin restricción, el drenaje forma su recorrido a través del menor trayecto posible para llegar a su afluente, dando en sus primeros tramos un entallamiento cerrado (etapa joven del drenaje) y luego ampliando su entallamiento (etapa media a madura del drenaje), una vez que la pendiente se horizontaliza el nivel de entallamiento del drenaje se atenúa dejando tras de sí un relieve plano en la desembocadura del drenaje. Como se muestra las pendientes juegan un papel importante en el modelado del terreno y en su función como factor condicionante de procesos geomorfológicos, a medida que la pendiente aumenta la incidencia del agua se hace más marcada, es decir, conforme la pendiente aumenta el drenaje se entalla más en la roca pero se necesita menos agua absorbida por el terreno para que ocurra un deslizamiento, a cambio si nos dirigimos a la base de la ladera donde hay menos pendiente el entallamiento del drenaje se atenúa y se necesita más agua absorbida para que se produzca un

deslizamiento. A esto se le añaden otros factores geomorfológicos que también actúan y pueden originar deslizamientos. El relieve alto viene a consecuencia de litologías más duras y estructuras de deformación positivas que levantan el terreno. Los relieves bajos vienen dados por litologías menos competentes, acción de la erosión sobre el terreno más marcada y por sobre todo el entallamiento de los drenajes como se mencionó anteriormente.

3.3.5 Uso de los Sistemas de Información Geográficos en el Modelado de Riesgos Geológicos y Orientación Geotécnica.

El término SIG procede del acrónimo de Sistema de Información Geográfica (En inglés GIS, *Geographic Information System*).

Técnicamente se puede definir un SIG como una tecnología de manejo de información geográfica formada por equipos electrónicos (*hardware*) programados adecuadamente (*software*) que permiten manejar una serie de datos espaciales (información geográfica) y realizar análisis complejos con éstos, siguiendo los criterios impuestos por el equipo científico (personal).

Un SIG está definido como una herramienta para recolectar, ordenar, recuperar, transformar y desplegar datos espaciales del mundo real, con un propósito específico. Funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

El sistema de información geográfica separa la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma (Figura 3.3)

Las ventajas del uso de los SIG para la evaluación de la susceptibilidad y/o amenaza, son principalmente la capacidad de almacenar ordenadamente gran cantidad de datos georreferenciados, la rapidez de procesamiento y actualización de los mismos, así como la facilidad para la combinación y representación gráfica de ellos, incluyendo el procesamiento de múltiples fases del modelo que de otra manera tomarían demasiado tiempo. La primera aplicación del uso de SIG para la zonificación de la susceptibilidad y/o amenaza, fue reportada por Newman (1978). Actualmente los SIG, son usados para casi todos los estudios de susceptibilidad y/o amenaza por movimientos de masa en el mundo y se siguen desarrollando metodologías para la aplicación de las técnicas de análisis, la mayoría de las aplicaciones para análisis cualitativos.

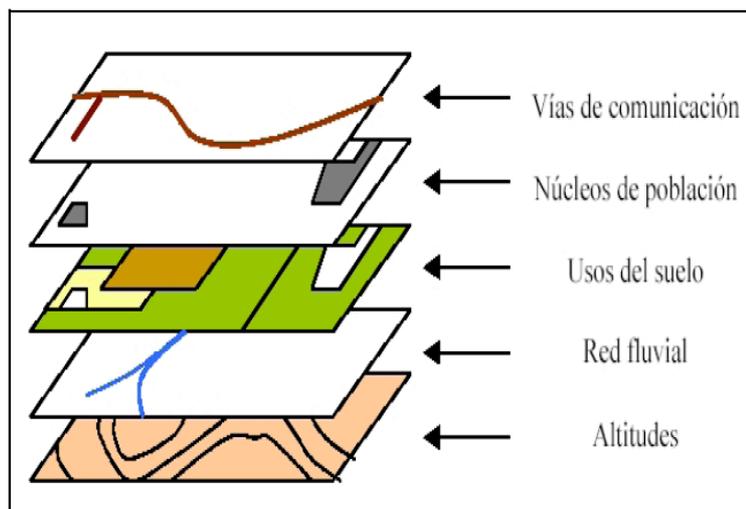


Figura 3.3.5 Análisis multicriterio complejo con SIG
(<http://es.wikipedia.org/wiki/SIG>).

Cada metodología y técnica de modelado puede aportar valiosos resultados al conocimiento del problema, si se establecen con claridad tanto la escala de trabajo, como una objetiva recolección y manejo de los datos, sumado a una adecuada presentación de los resultados.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1. METODOLOGIA GENERAL

4.2. METODOLOGIA PARA LA CREACIÓN DE BASE DE DATOS SIG

4.2.1. Tablas de la Base de Datos SIG

4.2.2. Estructuración Base de Datos

4.3 METODOLOGIA PARA LA GENERACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS

4.3.1. Extensión “Divide”

4.3.2. Modelo de Elevación Digital (MED)

4.3.2.1. Formato de Presentación MED

4.3.3. Modelo de Contorno

4.3.4. Modelo Orientación de Laderas

4.3.4.1. Algoritmo de Cálculo de Orientación de Laderas

4.3.5. Modelo de Pendiente

4.3.6. Modelo de Riesgo Geológico

4.3.7. Modelo de Orientación Geotécnica

METODOLOGÍA DE TRABAJO

En el siguiente capítulo se describen una serie de metodologías, las cuales se utilizaron como base fundamental para la realización de este trabajo de grado. Basados en la recolección de datos tanto cartográficos como bibliográficos y la subsecuente generación de bases de datos digitales que contenían dichos argumentos, por medio del programa ArcGis 9.2 de la compañía ESRI se procedió con la generación de mapas temáticos, y así con el inicio de la metodología general. Una vez culminada la fase de digitalización y desarrollo de la cartografía digital base se procedió con el análisis espacial de las variables obtenidas y así, con la generación de los modelos geotécnicos y de estabilidad a través de la integración estadística y visual de las diferentes variables que incorporaran la base de datos elaborada dando así el inicio a la fase de desarrollo del modelo de orientación geotécnica que representa el objetivo final de este trabajo de grado.

4.1 METODOLOGIA GENERAL

La etapa inicial de la metodología utilizada en el presente trabajo especial de grado consistió en la recopilación y análisis de la información existente sobre la zona de estudio, la cual se dividió en tres fases:

Fase 1: **Recopilación Documental:** Comprendió la recopilación del material bibliográfico para la documentación teórica sobre la zona de estudio en general. Durante esta fase todo el material bibliográfico recopilado fue clasificado de acuerdo al tipo de información extraída del mismo.

Fase 2: **Recopilación Cartográfica:** Consistió en la recopilación del material cartográfico y de campo para la generación de la base de datos cartográfica digital y, por ende, la generación de los mapas temáticos propuestos.

Fase 3: **Análisis Espacial Para La Delimitación De La Zona:** Para lograr un adecuado sistema de información fue necesario delimitar la zona de estudio, a fin de tener un mejor manejo de la información y lograr un efectivo vaciado de los datos, es decir, hallar un área delimitada que permitirá la integración cartográfica sustentada con la base de datos armada para esta investigación.

4.2 METODOLOGIA PARA LA CREACIÓN DE BASE DE DATOS SIG

La Base de Datos se relaciona con la cartografía mediante un código identificativo que une el mapa con las tablas de la Base de Datos. Estas tablas son numéricas y pueden modificarse en cualquier momento.

A su vez, dichas tablas van aumentando en número, a medida que los datos que se van adquiriendo de la información geológica van siendo incorporados al Sistema de Información Geográfica (SIG).

4.2.1 Tablas de la Base de Datos SIG

La elaboración de las tablas de base sirve como plataforma donde se afincara los datos de cada uno de los mapas temáticos que se elaboraron en este trabajo especial de grado y contienen todas las referencias geológicas – geotécnicas obtenidas anteriormente en las fase de recopilación bibliográfica y de campo.

4.2.2 Estructuración Base de Datos

Esta fase comprendió la filtrado a detalle de la base de datos SIG en la cual se ordenan todas las variables cruzando las tablas para generar una nueva base de datos de mayor orden jerárquico, que contienen los nuevos datos depurados y filtrados (Cuadro 4.2.2)

Cuadro 4.2.2 *TABLA DE BASE DE DATOS*, Muestra de las variables y su código utilizadas en la elaboración de los mapas temáticos.

<i>VARIABLES</i>	<i>CODIGO</i>
<i>Curvas de Nivel Principal</i>	19
<i>Curvas de Nivel Secundarias</i>	20
<i>Drenajes Principal</i>	30
<i>Drenajes secundarios</i>	31
<i>Pendientes</i>	3,4,5,6,7,8,9
<i>Orientación de Laderas</i>	50.51.52.53.54.55,56 57,58,59
<i>Litología</i>	60,61
<i>Estructura</i>	70

4.3 METODOLOGIA PARA LA GENERACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS

Una vez generada la estructuración de la base de datos se procedió a la elaboración de los mapas temáticos; digitalizando en forma de vectores todos los datos geológicos y geotécnicos de la zona, para esto se empleo el programa ArcGis 9.2.

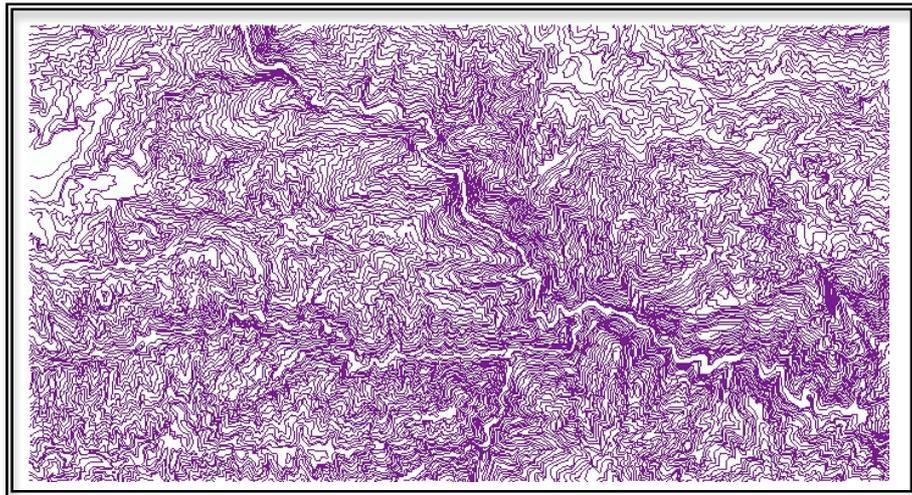


Imagen 4.3_Digitalización de Curvas, Digitalización de curvas de nivel, secundarias y primarias en ArcGis 9.2 de la zona estudiada.

A Continuación, se explican las principales funciones y características de las herramientas contenidas en la ArcToolbox de la extensión 3D Analyst de ArcGIS 9.2 que sirvieron para la elaboración de los modelos que se elaboraron en esta investigación.

4.3.1 Extensión “Divide”

Con esta extensión se categorizó los valores de dos raster ingresados; a fin de unificar los parámetros. El raster de salida resultante estará definido por aquellos parámetros coincidentes en los raster analizados. (Imagen 4.3.1)

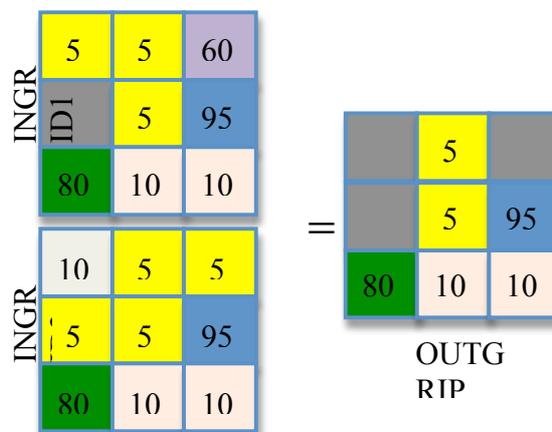


Figura 4.3.1_ Ejemplificación de la Integración de raster, ejemplo de integración de datos de dos raster con datos coincidentes unificados en raster de salida.

4.3.2 Modelo de Elevación Digital (MED)

El Modelo Digital de Elevación (MED) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la elevación de la superficie del terreno. La unidad básica de información de un MED es un valor de elevación Z , al que acompañan los valores correspondientes de X e Y , que expresados en un sistema de proyección geográfica permiten una precisa referenciación espacial.

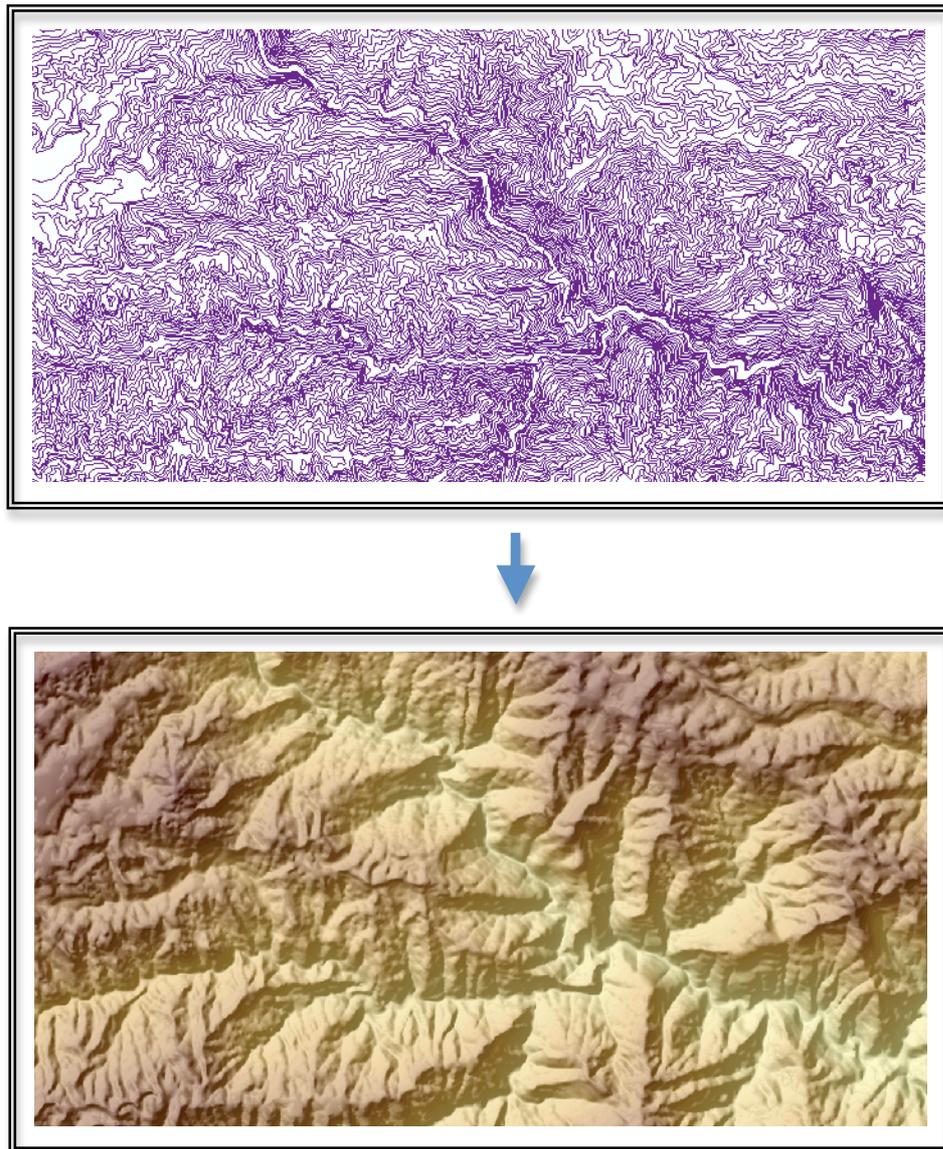


Figura 4.3.2A *MED*, Modelo de Elevación Digital de la zona estudiada, generado a través del mapa temático de las curvas de nivel

Existen varias formas de representar estos modelos de elevación de acuerdo a la estructura y organización de los datos. Clásicamente dos formas son las más comunes de presentar los modelos (Felicísimo, 1994):

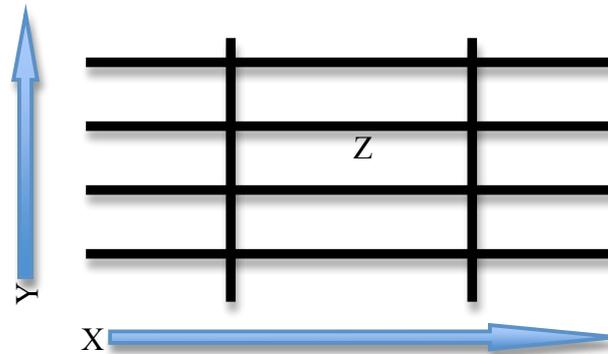
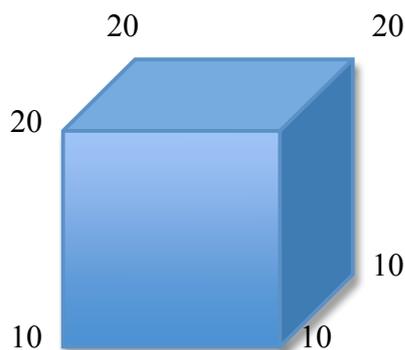


Figura 4.3.2B *Modelaje MED*, representación espacial de los datos que integran un MED con sus valores X.Y.Z en un sistema de proyección espacial.

4.3.2.1 Formato de Presentación MED

1. Vectorial: basado en entidades u objetos geométricos definidos por las coordenadas de sus nodos y vértices.
2. Raster: basado en las localizaciones espaciales sobre una retícula regular de puntos a los cuales se le asigna el valor de elevación.



Figura_4.3.2.1.A Modelo de elevación digital (MED) basado en la digitalización de objetos geométricos definidos por las coordenadas de sus nodos y vértices.

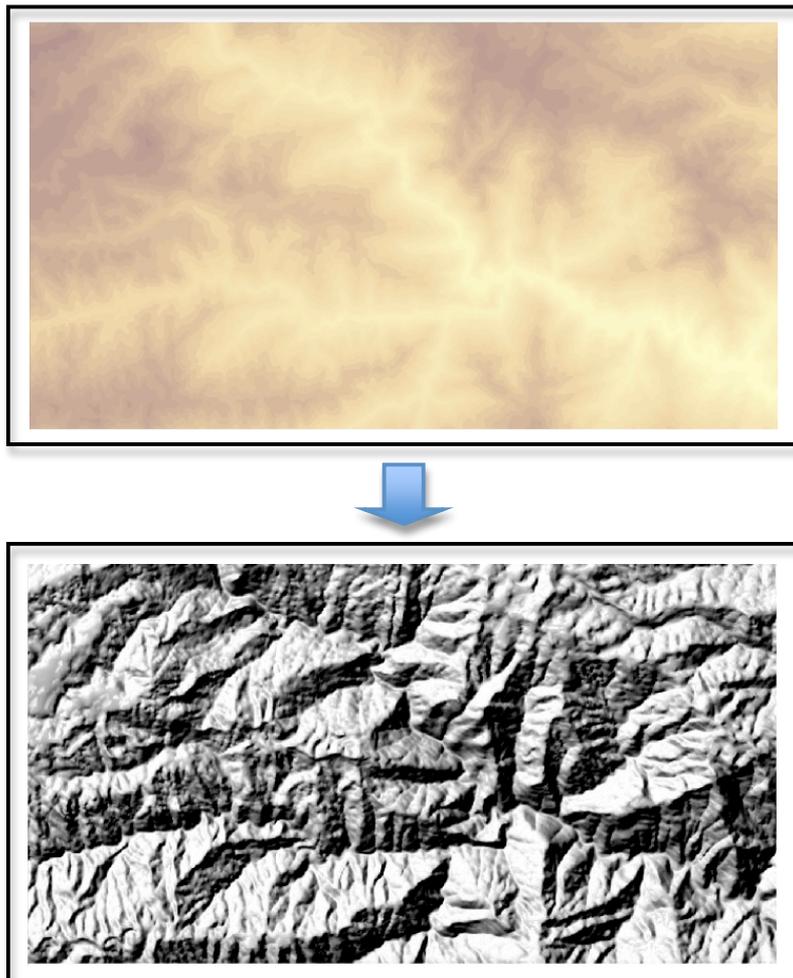
5	5	60
75	5	95
80	100	25

Figura_4.3.2.1.B Modelo de elevación digital (MED) sobre raster basado en las localizaciones espaciales sobre una retícula regular de puntos a los cuales se les asigna un valor de elevación.

4.3.3 Modelo de Contorno

Un modelo de contorno muestra la variación de z con respecto a X e Y por el espaciado entre las curvas de nivel. Mucho espacio entre las curvas de nivel indica que z varía lentamente, mientras que un espaciado pequeño indica un cambio rápido en z . Otra cosa importante es valor de k (Nivel de exageración de proporción de Z respecto a X y Y). Para proyectar una buena ilusión tridimensional en un mapa de contorno es importante elegir los valores de k de forma que estén las curvas de nivel estén espaciadas uniformemente.

Para la elaboración del modelo de contorno utilizado en este trabajo especial de grado se dispuso de la herramienta Contour Analyst del ArcGis 9.2 la cual crea isolíneas o contornos a partir de una superficie raster.



4.3.3_ *Modelo de Contorno*, elaboración del modelo de contorno utilizando la herramienta Contour Analyst del ArcGis 9.2 a partir del MED.

4.3.4 Modelo Orientación de Laderas

Para la obtención del modelo de orientación de laderas se utilizó la herramienta Aspect, esta función obtiene la orientación de las laderas a partir de un raster de superficie. Identifica la dirección basándose en un algoritmo que analiza los valores de elevación de las 8 celdas contiguas a la celda de análisis. La orientación de laderas también puede ser equivalente al concepto de “dirección de la pendiente”. Los valores resultantes de celda representan el ángulo en el sentido de las manecillas del reloj. De existir celdas que representen sectores planos el valor asignado para éstas será de -1.

Cómo funciona la orientación de laderas o Dirección de la pendiente

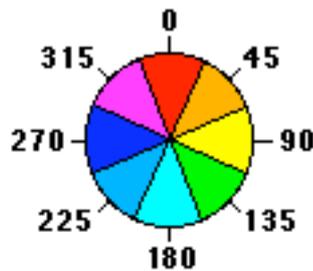


Figura 4.3.4 Ejemplificación de la dirección preferencial de la orientación de las laderas, elaboración propia Jesús Miguel Fermín 2008.

Conceptualmente la función “Aspect” ajusta a un plano los valores Z de un conjunto de celdas aledañas de 3 por 3 que rodean a la celda proceso del centro. La dirección del plano a calcular representa la orientación de la ladera de la celda.

4.3.4.1 Algoritmo de Cálculo de Orientación de Laderas

Una ventana de 3 x 3 visita cada celda en el raster de Superficie y para cada celda en el centro de esta ventana se realiza un cálculo mediante un algoritmo que analiza los valores existentes en el interior de las 8 celdas circundantes. Estas celdas son identificadas con letras que van desde la “a” hasta la letra “i”. Donde “e” representa la celda sobre la cual el análisis de orientación de ladera o aspect está siendo realizado.

El ritmo de cambio en la dirección X para la celda “e” es calculado mediante el siguiente algoritmo:

a	b	c
d	e	f
g	h	i

El ritmo de cambio en la dirección X para la celda “e” es calculado mediante el siguiente algoritmo:

$$(Dz/Dy) = \frac{[(g + 2h + i) - (a + 2b + c)]}{8}$$

El ritmo de cambio en la dirección Y para la celda “e” es calculado mediante el siguiente algoritmo:

$$(Dz/Dx) = \frac{[(c + 2f + i) - (a + 2d + g)]}{8}$$

Considerando los ritmos de cambio en las direcciones X e Y para la celda “e”, la orientación de ladera o aspecto se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Aspect} = 57,29578 \times \text{atan2}((Dz/Dy), -(Dz/Dx))$$

El valor de la orientación es luego convertido a una dirección angular (0° a 360°) de acuerdo con la siguiente regla:

- Si aspect < 0
- Celda = 90.0 - aspect
- Aspect > 90.0
- Celda = 360.0 - aspect + 90.0
- Celda = 90.0 - aspect

Ejemplo De Cálculo De Orientación De Ladera.

A modo de ejemplo, será calculado el valor de orientación a la celda de valor 92 ubicada al centro de la ventana de análisis.

101	92	85
101	92	85
101	91	84

El ritmo de cambio en la dirección X para la celda “e” es el siguiente:

$$(Dz/Dx) = \frac{[(c + 2f + i) - (a + 2d + g)]}{8}$$
$$(Dz/Dx) = \frac{[(85 + 170 + 84) - (101 + 202 + 101)]}{8}$$
$$(Dz/Dx) = -8,125$$

El ritmo de cambio en la dirección Y para la celda “e” es el siguiente:

$$(Dz/Dy) = \frac{[(g + 2h + i) - (a + 2b + c)]}{8}$$
$$(Dz/Dy) = \frac{[(101 + 182 + 84) - (101 + 184 + 85)]}{8}$$
$$(Dz/Dy) = -0,375$$

De esta manera, La orientación es la siguiente:

$$\text{Aspect} = 57,29578 \times \text{atan2} ((Dz/Dy), -(Dz/Dx))$$
$$\text{Aspect} = 57,29578 \times \text{atan2} ((-0,375), (8,125))$$
$$\text{Aspect} = -2,64$$

Considerando que el valor calculado es menor a Cero, la regla final a aplicar es la siguiente:

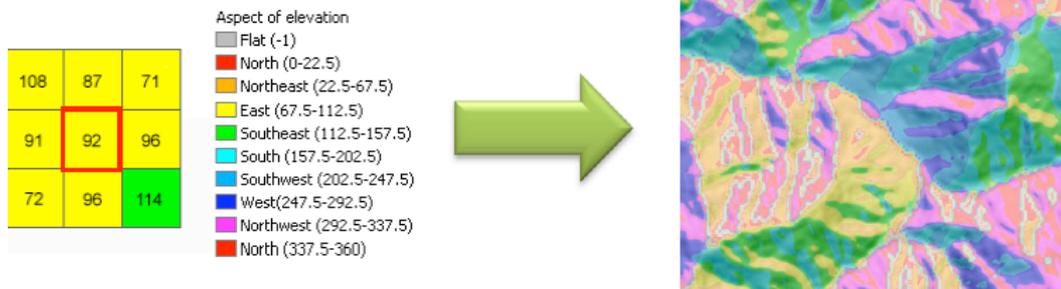
$$\text{Celda} = 90.0 - \text{aspecto}$$

$$\text{Celda} = 90 + 2.64$$

$$\text{Celda} = 92.64$$

$$\text{Celda} = 90 - (-2.64)$$

El valor de 92,64 indica que la orientación de la celda es en la dirección Este



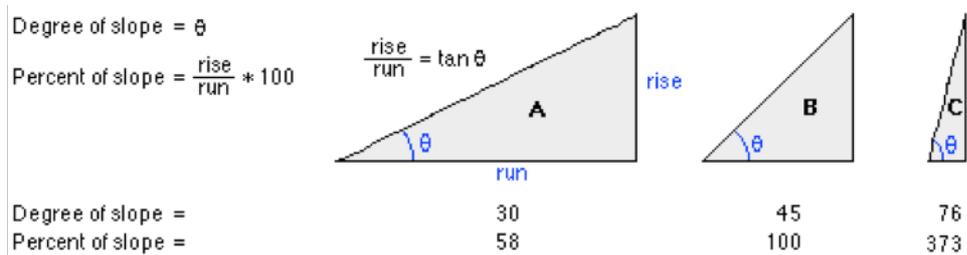


4.3.4.1 Modelo de Orientación de Laderas, elaboración del modelo de orientación utilizando la herramienta Aspect Analyst del ArcGis 9.2 a partir del MED.

4.3.5 Modelo de Pendiente

Para la elaboración del modelo de pendiente se utilizó la herramienta “Slope” o Pendiente, esta permite calcular la tasa máxima de cambio existente entre los valores de una celda y los valores de las celdas inmediatamente adyacentes a ella. Esto significa que esta herramienta es capaz de identificar los valores de inclinación para cada una de las celdas analizadas, las cuales son tomadas a partir

de un Raster de Superficie. Conceptualmente la función “Slope” ajusta a un plano, los valores Z de un conjunto de celdas aledañas de 3 por 3 que rodean a la celda proceso ubicada en su centro. La dirección del plano a calcular representa la orientación de la ladera de la celda y por lo tanto la inclinación o pendiente que esta tenga. A menor pendiente, más plano el terreno. Mientras que a mayor pendiente, mayor es la inclinación del terreno. El Raster de pendiente puede ser calculado para dos tipos de unidades. Grados Sexagesimales (0° a 360°) y porcentaje (0 a 100%). La pendiente en porcentaje equivale a dividir la elevación por la distancia y multiplicar su resultado por 100. Considerando el triangulo B (imagen abajo). Cuando el ángulo es de 45 grados. La altitud y la distancia poseen el mismo valor y por lo tanto el porcentaje de pendiente es de 100 %. A medida que el ángulo de la pendiente aumenta hacia la vertical (90°) como en el triangulo C. el porcentaje de pendiente comienza a aproximarse al valor infinito.



El algoritmo de la pendiente

El ritmo de cambio de la superficie (o delta) tanto en la dirección horizontal (Dx/Dx) como en la vertical (Dz/Dy) del centro de las celdas determinan la pendiente. El algoritmo básico utilizado para calcular la pendiente es el siguiente:

Pendiente en radianes:

$$\text{atan}\sqrt{[(Dz/Dx)^2 + (Dz/Dy)^2]}$$

Considerando que la pendiente es medida comúnmente en grados, se utiliza el siguiente algoritmo:

$$\text{atan}\sqrt{[(Dz/Dx)^2 + (Dz/Dy)^2]} \times 57,29578$$

Los valores de la celda centro y sus 8 celdas aledañas determinan los deltas horizontales y verticales. Las celdas aledañas son identificadas con letras que van desde la “a” hasta la “i” y donde “e” representa la celda sobre el cual se realiza el proceso de cálculo.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

El delta en la X dirección para la celda “e” se calcula mediante el siguiente Algoritmo:

$$(Dz/Dy) = \frac{[(g + 2h + i) - (a + 2b + c)]}{(8 \times \text{Tamaño de Celda } y)}$$

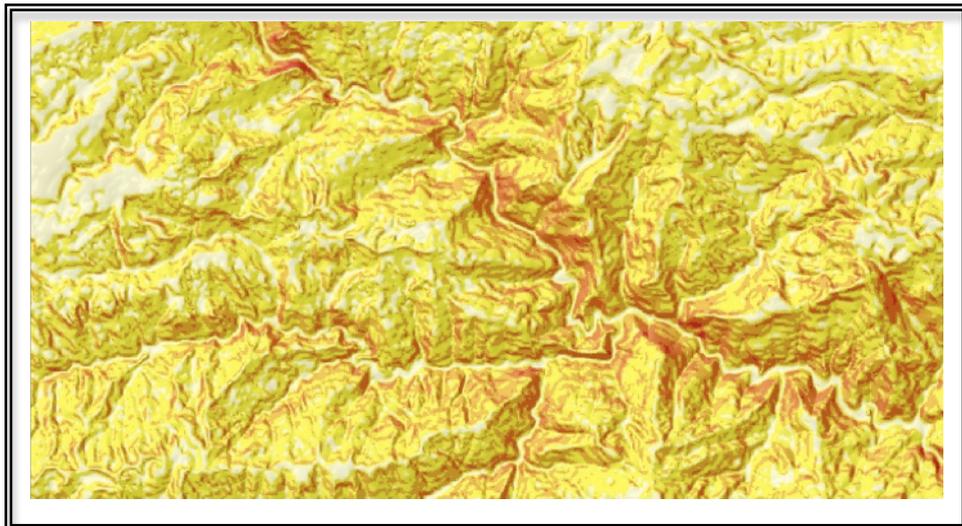
El delta en la Y dirección para la celda “e” se calcula mediante el siguiente

$$(Dz/Dx) = \frac{[(c + 2f + i) - (a + 2d + g)]}{(8 \times \text{Tamaño de Celda } x)}$$

Rangos Utilizados en la Elaboración de Modelo de Pendiente

Cuadro 4.3.5 Rangos de pendientes (Valleé, M., 2006).

Pendientes en grados	Grado de estabilidad
0° a 3°	Estable
3° a 11°	Parcialmente Estable
11° a 21°	Parcialmente Inestable
21° a 31°	Inestable
31° a 45°	Muy Inestable
> 45°	Muy Inestable



4.3.5 _Modelo de Pendiente, elaboración del modelo de pendiente utilizando la herramienta Slope o Pendiente del ArcGis 9.2 a partir del MED.

4.3.6. Modelo de Riesgo Geológico:

Para la generación de modelo de Riesgo Geológico se realizó la integración tanto cartográfica como dentro de la base de datos de las variables “Litología” y “Estructuras y Contactos”. La Litología se categorizó de acuerdo al nivel de resistencia ante los procesos erosivos de las unidades litológicas presentes en la zona de estudio, a esta categorización se le añaden los valores de datos geológicos de rumbo y buzamiento de foliación con la finalidad de enfatizar en la relación que existe entre el nivel de meteorización de la roca con los patrones de foliación de la misma. Para la cuantificación de las variables se realizó un procedimiento numérico que consistió en asignarle un valor numérico a las diferentes categorías de resistencia de la roca ante la erosión y meteorización, esta numeración va del valor 0 al valor 20, siendo el 20 representada por las zonas con mayor resistencia a la erosión y el valor 0 representante de las zonas con menor resistencia ante la erosión. Para el caso de las estructuras y los contactos se categorizaron de acuerdo al nivel de incidencia de dichas estructuras dentro del terreno. Al igual que con la litología se cuantificó con valores numéricos que van del 0 al 20 siendo, en este caso, el valor 0 representante de las zonas con mayor nivel de incidencia de las estructuras sobre el terreno y el valor 20 representante del menor nivel de incidencia.

Una vez que las ponderaciones han sido establecidas se procede a integrar la base de datos a manera de suma. Ya que cada celda dentro de la base de datos posee un valor de la variable “Litología” y un valor de la variable “Estructuras y contactos”, estos valores se suman generando un nuevo resultado numérico. Este

resultado número se categoriza dentro de un sistema de clasificación que se divide de acuerdo a intervalos numéricos que van desde el valor 20 hasta el valor 40, siendo el valor 20 el representante de las zonas con mayor riesgo geológico y el valor 40 el representante de las zonas con menor riesgo geológico.

4.3.7. Modelo de Orientación Geotécnica

Para la elaboración del modelo de orientación geotécnica se realiza un procedimiento de integración de datos directamente de la base de datos digital generada tomando en cuenta las variables de pendiente, riesgo geológico, riesgo geomorfológico y orientación de las laderas. A diferencia de la metodología anterior, en esta modelo ya las ponderaciones numéricas están establecidas por lo cual se procede directamente a la integración de datos por suma. Para cada celda se suman los valores numéricos de las variables estudiadas y esta suma arroja como resultado un nuevo valor numérico que posteriormente entra dentro un sistema de clasificación dividido por intervalos que van desde el 40 al 100, siendo el valor 40 y menores, representantes de las zonas de mayor riesgo o muy inestables y el valor 100 el representante de las zonas con menor riesgo o muy estables.

CAPITULO V

ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS SOBRE CLINOMETRIA O PENDIENTES

5.1.1 Pendientes muy Suaves

5.1.2 Pendientes Suaves

5.1.3 Pendientes Medianas

5.1.4 Pendientes Fuertes

5.1.5 Pendientes Abruptas

5.1.6 Pendientes Muy Abruptas

5.2 ANÁLISIS DE PENDIENTES SEGÚN NIVELES DE ESTABILIDAD

5.2.1 Nivel de Pendiente Muy Estable

5.2.2 Nivel de Pendiente Estable

5.2.3 Nivel de Pendiente Moderadamente Estable

5.2.4 Nivel de Pendiente Inestable

5.2.5 Nivel de Pendiente Muy Inestable

5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ORIENTACIÓN DE LADERAS

5.3.1 Nivel Norte de Orientación de Ladera

5.3.2 Nivel Noreste de Orientación de Ladera

5.3.3 Nivel Este de Orientación de Ladera

5.3.4 Nivel Sureste de Orientación de Ladera

5.3.5 Nivel Sur de Orientación de Ladera

5.3.6 Nivel Suroeste de Orientación de Ladera

5.3.7 Nivel Oeste de Orientación de Ladera

5.3.8 Nivel Noroeste de Orientación de Ladera

5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO

5.4.1 Zona Muy Inestable

5.4.2 Zona Inestable

5.4.3 Zona Medianamente Estable

5.4.4 Zona Estable

5.4.5 Zona Muy Estable

5.5 ANALISIS DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ORIENTACION GEOTECNICA

5.5.1 Zona muy Inestable

5.5.2 Zona Inestable

5.5.3 Zona Parcialmente Estable

5.5.4 Zona Estable

5.5.5 Zona muy Estables

5.6 CONCLUSIONES

CAPITULO V

ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS SOBRE CLINOMETRIA O PENDIENTES

El estudio Clinométrico o de Pendientes en la zona de Filas de Mariche se realizo categorizando dichas pendientes en rangos, en el caso del presente estudio se clasificaron en cinco (5) categorías representativas:

Rango de Pendientes (grados)	Clasificación
0° a 5°	Muy Suave
5° a 15°	Suave
15° a 25°	Mediana
25° a 35°	Fuerte
35° a 45°	Abrupta
45° y mas	Muy Abrupta

Cuadro 5.1 Clasificación aplicada a los rangos de pendientes utilizados

5.1.1 Pendientes muy Suaves:

Comprenden a aquellas pendientes de muy baja inclinación. Estas pendientes se ubican mas en tres disposiciones fundamentales; artificialmente en sectores bajo intervención antrópica como zonas de aplanamiento urbanístico, áreas de construcción o segmentos de vialidad entre otros, y de forma natural en áreas de desembocadura de quebradas y drenajes principales, se expresan como zonas de depósitos aluviales al final del cauce de las quebradas y demás áreas de escorrentía de agua.

Espacialmente este rango de pendientes ocupan aproximadamente un 3% del espacio areal total de la zona de estudio.

5.1.2 Pendientes Suaves:

Están representadas por las pendientes entre 5° y 15°. Este rango de pendientes es un característico de zonas de transición en los drenajes y demás cursos de escorrentía ya que bajo estas pendientes es donde se empiezan a depositar los sedimentos de grano fino. Por ende se clasifican a estas pendientes como áreas dentro de los cursos de escorrentías dispuestas de manera lineal o no lineal y en sectores de transición de la topografía como pies de colinas y anillos topográficos circundantes a los topes de las mismas. La vegetación encontrada en estos rangos de pendientes depende de la altura a la cual se disponga de las mismas, en el caso de los pies de colinas la vegetación es eminentemente arbórea mientras que en los topes de las colinas la vegetación es herbácea o arbustiva en su mayoría. Ocupa alrededor de un 8% de la totalidad espacial del área de estudio.

5.1.3 Pendientes Medianas:

Este rango de pendientes esta ubicado en segmentos mas que todo semi lineales dentro de los cursos de escorrentía de la zona de estudio y en las declinaciones topográficas que dan cabida a pendientes mas altas. Se consideran estas pendientes como medianas debido a que su potencial de inclinación y nivel de aparición con respecto a las pendientes más altas es proporcional a la suma de los niveles más bajos de pendientes. La vegetación promedio para este rango de pendientes es arbustiva alta a media en los tramos topográficos altos y arbórea baja a media en los tramos topográficos bajos. Ocupa un 12% del espacio total areal de la zona de estudio.

5.1.4 Pendientes Fuertes:

Estas zonas son el preámbulo de las zonas de pendientes empinadas en el área de estudio. Su ubicación porcentual esta alrededor del 17% del espacio total del mapa. La vegetación que la cubre esta dada por una combinación de los tres tipos con la variante de que la proporción entre ellas varia de acuerdo al régimen de

altitud que se presenta en ese punto, a rasgos generales la proporción se establece como: **vegetación arbustiva alta > arbustiva media y baja > herbácea alta y media > arbórea baja y media.**

5.1.5 Pendientes Abruptas:

A partir de este rango de pendientes el tipo de vegetación presente se enmarca más en los renglones arbustivo bajo y herbáceo alto y medio. Se encuentran ubicados en su mayoría en los estratos topográficos altos, centrándose en laderas empinadas segmentos centrales de valles estrechos. Su ubicación espacial es de aproximadamente del 20% dentro del espacio areal total de la zona de estudio. Dentro de los cursos de escorrentía este tipo de pendientes se dispone de manera lineal ya que el nivel de entallamiento del drenaje produce ese efecto, el drenaje adquiere tal fuerza que tiende a tomar una dirección semilineal para así aprovechar la gravedad y tener mayor poder erosivo.

5.1.6 Pendientes Muy Abruptas:

Este tipo de pendientes se categorizan como las de mayor inclinación y se expresan dentro del área de estudio de manera bastante homogénea cubriendo toda la extensión restante. Espacialmente estas pendientes ocupan el restante 37% por lo cual se consideran como el renglón de mayor extensión espacial dentro de área de estudio. La vegetación presente en estas zonas de pendientes es eminentemente herbácea alta, media y baja.

5.2 ANÁLISIS DE PENDIENTES SEGÚN NIVELES DE ESTABILIDAD

Una vez realizado el análisis de pendientes de acuerdo a su nivel de inclinación referencial sobre la topografía se procedió con la categorización de dichas pendientes de acuerdo al nivel de estabilidad que presentan, esta clasificación se

estableció eminentemente a partir de parámetros cuantitativos de inclinación sobre la superficie.

La clasificación planteada y utilizada para el análisis de niveles de estabilidad Clinométrico es el mostrado a continuación en el cuadro 5.2:

Nivel de Pendiente (grados)	Clasificación de Estabilidad
0° a 15°	Muy Estable
15° a 25°	Estable
25° a 35°	Moderadamente Estable
35° a 45°	Inestable
> 45°	Muy Inestable

Cuadro 5.2 Clasificación aplicada a los rangos de pendientes utilizados de acuerdo al nivel de estabilidad presente

5.2.1 Nivel de Pendiente Muy Estable:

En este rango de inclinación se consideran a las pendientes como muy estables debido a que el potencial de deslizamiento posible bajo esta inclinación es mínimo pero aun así no puede ser descartable. En superficie estas pendientes muy estables ocupan 14.91 kilómetros cuadrados lo cual se representa como un 19.43% del espacio total de superficie del área de estudio. A pesar de que esta área comprende las zonas de depositación de sedimentos finos y los sedimentos aluviales que aun no se consolidan no se consideran inestables debido a la muy baja pendiente. Se necesita más inclinación topográfica para que estos sedimentos adquieran acción cinemática.

5.2.2 Nivel de Pendiente Estable:

Este nivel de pendiente a pesar de presentar mayor inclinación aun se considera relativamente estable debido a que en el caso específico de la zona de estudio estas pendientes se encuentran recubiertas en su gran mayoría por una muy densa

capa vegetal. Los elementos de posible inestabilidad en este rango son por la ausencia de capa vegetal en conjunto con planos de foliación no favorables ante el plano del talud o de las laderas y el alto nivel de meteorización que podría presentar la roca por la ausencia de capa vegetal. Ocupa alrededor de un 28.64% del la superficie total del terreno de estudio dando aun un poco mas de un cuarto del total de la superficie estudiada, lo cual se traduce en 21.9 kilómetros cuadrados.

5.2.3 Nivel de Pendiente Moderadamente Estable:

Son pendientes entre 25° y 35° de inclinación lo cual las establece con moderada estabilidad debido a que esa condición esta mayormente sujeta al clima, es decir, durante el periodo de lluvias estas zonas de pendientes son mas activas dinámicamente por lo cual son más inestables a cambio que en la estación seca la zona se hace más estable. Estos factores también son relacionados con las ausencias o presencias de capa vegetal. Ocupa alrededor del 31.24% lo cual se traduce en un 23.98 kilómetros cuadrados.

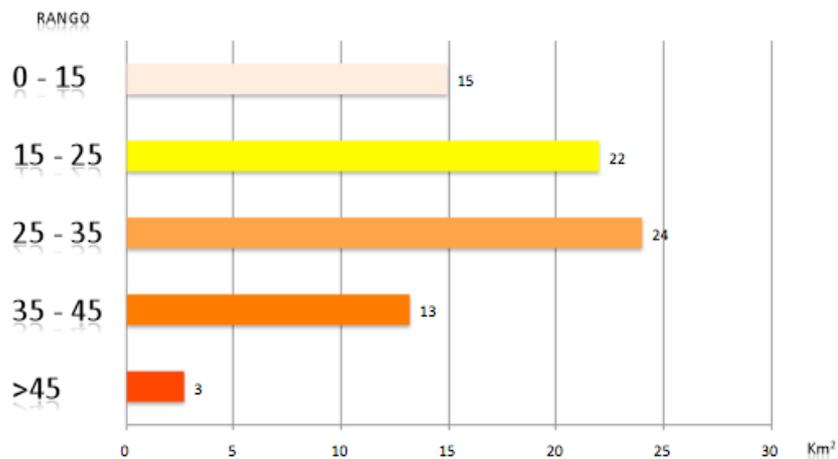
5.2.4 Nivel de Pendiente Inestable

Este nivel de pendiente representa el preámbulo a las zonas de inestabilidad debido al alto nivel de inclinación presente, a partir de 35 grados la vegetación tiende a cambiar a arbustiva media y herbácea, por ende no es una vegetación que mantenga la uniformidad del terreno y mas aun si la disposición de esa capa vegetal es irregular, es decir son sectores desnudos debido a erosión difusa, estos sectores son mas propensos a generar movimientos de masa bajo condiciones propensas. La distribución espacial de este nivel de pendiente es de alrededor de 13.17 kilómetros cuadrados lo cual se traduce en un 17.16% de la superficie total del área de estudio.

5.2.5 Nivel de Pendiente Muy Inestable

A partir de este nivel de pendiente se contabilizan las pendientes mayores a 45° que se consideran altamente inestables debido a que la capa vegetal presente es eminentemente herbácea irregular dependiendo del tipo de suelo. Además las zonas con este tipo de pendiente tienden a ser altamente propensas a deslizamientos durante las épocas de lluvias prolongadas. La extensión superficial de este nivel de pendiente se representa como el restante 3.50% lo cual se expresa en 2.68 kilómetros cuadrados.

En la grafica 5.2 se muestra la distribución areal de los diferentes niveles de estabilidad de pendientes en la zona de estudio.



Grafica 5.2 Distribución Areal de los Diferentes Niveles de Estabilidad de Pendientes

5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ORIENTACIÓN DE LADERAS

El mapa de orientación de laderas se genera de acuerdo a los datos de clinometría y la disposición de la recta de máxima pendiente de las curvas de nivel. Dicha orientación de la recta de máxima pendiente es la que genera la orientación de ese sector, y la agrupación de varios sectores adyacentes con la misma orientación forman un polígono o una serie de polígonos lo cual representa la orientación de la ladera en esa área.

La clasificación utilizada en el análisis de la orientación de laderas es la representada en el cuadro 5.3.

Cuadro 5.3.A Orientación de laderas según rangos

Orientación de la Ladera	Rango de orientación (grados)
Norte	0° a 22.5° y 337.5° a 360°
Noreste	22.5° a 67.5°
Este	67.5° a 112.5°
Sureste	112.5° a 157.5°
Sur	157.5° a 202.5°
Suroeste	202.5° a 247.5°
Oeste	245.5° 292.5°
Noroeste	292.5° a 337.5°

5.3.1 Nivel Norte de Orientación de Ladera:

Este nivel de orientación de laderas representa a aquellos polígonos, y por ende, los sectores de laderas que poseen una orientación norte. La orientación norte se determino por medio de dos barridos de ángulos de 22.5° cada uno, el primero es de 0° a 22.5° y el segundo es de 337.5° a 360° . La ubicación de estos sectores de polígonos se encuentra mayormente en una disposición tabular que se orienta de noroeste a sureste pasando por el centro de la zona de estudio. Esta orientación concuerda con la topografía ya que en la región central de la zona de estudio cruza de un lado a otro el río Guaire generando una ladera continua del lado sur del río. La extensión areal de estas laderas es de 10.3 kilómetros cuadrados lo cual se representa referido a porcentaje de superficie en 13.48% del espacio de superficie total del área de estudio (Cuadro 5.3.B).

5.3.2 Nivel Noreste de Orientación de Ladera:

En este nivel se representan los polígonos que poseen una orientación dentro de un intervalo de ángulo de 22.5° a 67.5° . La disposición de estos sectores de laderas dentro del área de estudio viene dada por una disposición bastante irregular a lo extenso del mapa, concentrándose solamente en el sector central del área de estudio debido a la proximidad del río guaire que genera la mayoría de las laderas de la zona y dependiendo de la orientación del río y la presencia de afluentes en ese punto y su orientación entonces se darán diferentes tipos de orientaciones de laderas. En el caso de este nivel de orientación de ladera el porcentaje de superficie que ocupa es de alrededor de 12.6% que se traduce en 9.7 kilómetros cuadrados (Cuadro 5.3.B).

5.3.3 Nivel Este de Orientación de Ladera:

Se representa este nivel como todos aquellos polígonos cuya recta de máxima pendiente esta orientada hacia el este en un intervalo de ángulo de 65.7° a 112.5° . Se encuentra ubicado de manera irregular a lo largo de la extensión de área de

estudio mostrando una singular concentración en la zona este del mapa. La extensión superficial de este nivel de orientación es de 10.1 kilómetros cuadrados, lo cual se traduce en un 13.16% de la extensión superficial porcentual total del área de estudio (Cuadro 5.3.B).

5.3.4 Nivel Sureste de Orientación de Ladera

En este nivel de orientación de laderas los polígonos descritos en el mapa generado tienden a dispersarse en la zona sur del área de estudio. Su área de disposición superficial es de 11.4 kilómetros cuadrados, lo cual se traduce en un 14.8% de la extensión superficial total de la zona de estudio. Se presentan como polígonos alargados y delgados que se concentran más en la zona suroeste pero a rasgos generales la separación entre los mismos es bastante amplia.

5.3.5 Nivel Sur de Orientación de Ladera

En este nivel de orientación de laderas las rectas de máxima pendiente de orientan hacia el sur con un ángulo de barrido que va desde los 157.5° a los 202.5°. La disposición de los polígonos es irregular y muy escasa debido a que el arreglo del drenaje principal produce un subsiguiente arreglo en las laderas que lo encierran. La extensión superficial de este nivel de orientación de ladera es de 11.3 kilómetros cuadrados lo cual se presenta como un 14.7% de la extensión superficial areal de la zona de estudio (Cuadro 5.3.B).

5.3.6 Nivel Suroeste de Orientación de Ladera

Para este nivel de orientación de ladera la recta de máxima pendiente entra en un rango de ángulo entre 202.5° y 247.5°. La disposición espacial de este nivel de orientación se ubica más que todo en la zona central del área de estudio. Ocupa 9 kilómetros cuadrados, lo cual se traduce en un 11.78% del espacio superficial total del área de estudio aproximadamente.

5.3.7 Nivel Oeste de Orientación de Ladera

En este nivel de orientación de ladera, la recta de máxima pendiente se orienta dentro de un intervalo de ángulo que va desde 247.5° hasta 292.5°. Se disponen de forma irregular con ciertas concentraciones en la parte central del área de estudio debido a la incidencia del drenaje principal en esa zona. La superficie que ocupa la agrupación de estos polígonos es de 6.6 kilómetros cuadrados, lo cual se expresa en porcentaje como un 8.63% del total de la superficie porcentual estudiada.

5.3.8 Nivel Noroeste de Orientación de Ladera

Finalmente se presenta el nivel de orientación de ladera correspondiente a la dirección noroeste. Esta orientación se delimita por el barrido de ángulo que va desde 292.5° hasta 337.5°. La disposición dentro del área de estudio es irregular y su arreglo concentrado se ubica en la parte sureste de la zona de estudio. La superficie areal que ocupa es de 8.3 kilómetros cuadrados lo cual se expresa de manera porcentual como el restante 10.75% del espacio total de la zona de estudio.

Cuadro 5.3.B Base de Datos Para Orientación de Laderas, Área de Estudio

Orientación	Area (m ²)	Area (km ²)	% (Areal)
NORTE	10345429,47	10,345	13,48
NORESTE	9716830,823	9,717	12,66
ESTE	10102571,73	10,103	13,16
SURESTE	11362724,08	11,363	14,81
SUR	11289581,37	11,290	14,71
SUROESTE	9046093,326	9,046	11,79
OESTE	6625825,909	6,626	8,63
NOROESTE	8254843,291	8,255	10,76

5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO

El análisis de riesgo geológico para el presente estudio consistió en la integración de los datos geológicos interpretados de la bibliografía sobre las unidades formacionales presentes en la zona y las estructuras geológicas incidentes en el área de estudio. Una vez realizada la integración de la base de datos digital se procedió a representarlos en un mapa temático bajo las categorías de riesgo que se presentan en el Cuadro 5.4.

Cuadro 5.4. Base de Datos Para Riesgo Geológico, Área de Estudio

Rango	Categorías	AREA (M)	AREA (KM)	%
<20	Muy Inestable	233010,0078	0,23	0,31
20 - 25	Inestable	2233622,597	2,23	2,92
25 - 30	Medianamente Estable	30419279,74	30,42	39,83
30 - 35	Estable	3723576,663	3,72	4,88
>35	Muy Estable	39768245,39	39,77	52,07

5.4.1 Zona Muy Inestable

Estas zonas comprenden aquellos sectores en donde la resistencia de la roca a la erosión y meteorización, y por ende, su competencia, se encuentra comprometida debido a la debilidad de la roca en sus componentes minerales fundamentales además de la acción de estructuras de fallamiento y quiebre de relativo orden de incidencia y extensión territorial. Ocupa un 0.31% del espacio total territorial de la zona de estudio, lo cual representa en área un 0.31 kilómetros cuadrados.

5.4.2 Zona Inestable

En estas zonas se representan las áreas en donde la litología es poco competente debido a la ausencia de mineralogías resistentes a la erosión como cuarzos y calcitas, además de la presencia de estructuras de fallamiento de considerable extensión e incidencia. La extensión territorial que ocupan es de 2.23 kilómetros cuadrados lo cual se traduce en un 2.92% del espacio territorial porcentual total del área de estudio.

5.4.3 Zona Medianamente Estable

En esta zona de riesgo geológico se categorizan las áreas cuyas litologías son moderadamente resistentes ante la erosión y la presencia de estructuras geológicas de moderada incidencia y poca extensión territorial. La superficie de ocupación de esta zona es de 30,42 kilómetros cuadrados, lo cual se traduce en términos porcentuales en un 39,82 % del espacio areal total de la zona de estudio.

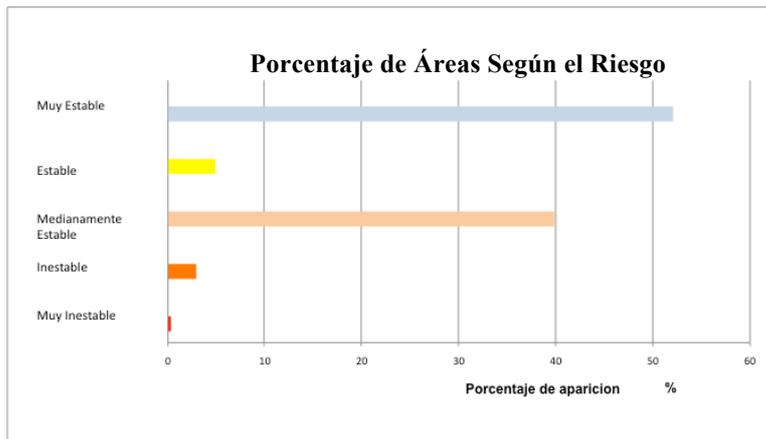
5.4.4 Zona Estable

En esta zona los polígonos poseen características litológicas bastante resistentes ante la erosión, el nivel de competencia se considera alto debido a la alta presencia de cuarzo y minerales calcáreos en la roca. Las estructuras geológicas presentes no son de gran extensión superficial por lo cual su nivel de incidencia dentro del terreno es mínimo. La superficie que ocupan estos sectores es de 3.72 kilómetros cuadrados y en forma porcentual representa 4,87 % del espacio porcentual total.

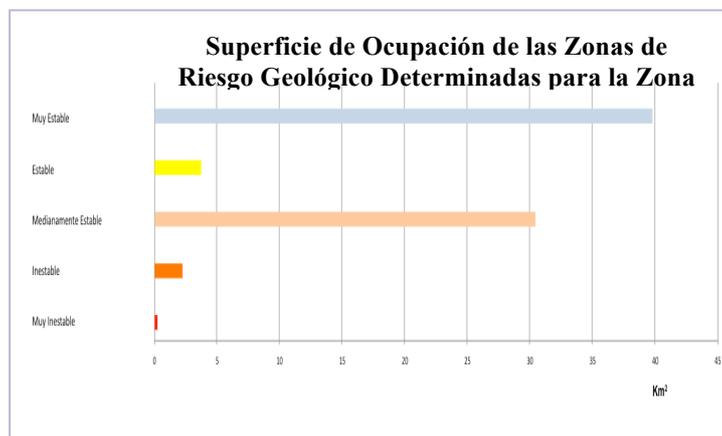
5.4.5 Zona Muy Estable

Para esta zona de estabilidad los caracteres litológicos de resistencia a la erosión y meteorización son bastante altos, el nivel de consolidación de la roca y la abundancia de los minerales resistentes la hacen más competente ante los procesos erosivos. Además la presencia de estructuras de deformación y quiebre es mínima. La extensión superficial que ocupa es de 39,77 kilómetros cuadrados ubicándola como la zona de mayor extensión territorial dentro del sistema de clasificación propuesto. Su representación porcentual representa el restante 52,06%.

En las graficas 5.4.A y 5.4.B se muestran de manera más visual el porcentaje de aparición de las zonas de riesgo geológico propuestas y la extensión areal de dichas zonas dentro de la zona de estudio respectivamente.

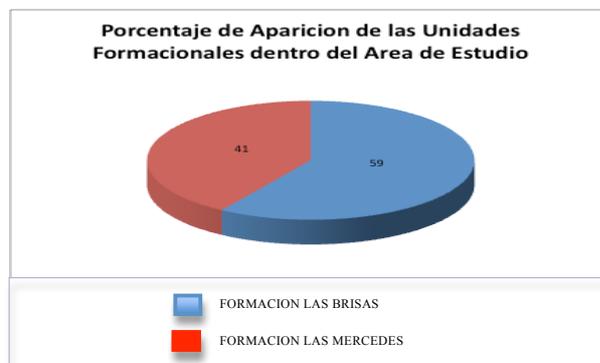


Grafica 5.4.A Porcentaje de Áreas Según el Riesgo Geológico

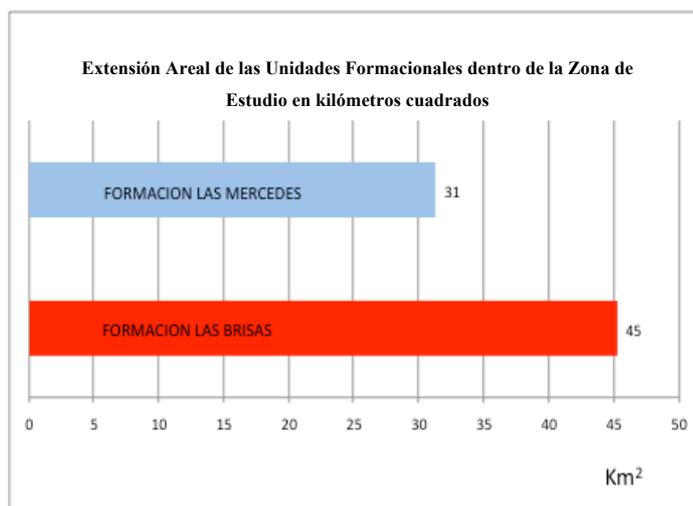


Grafica 5.4.B Superficie de Ocupación de las Zonas de Riesgo Geológico Determinadas para la Zona de Estudio

En las graficas 5.4.C y 5.4.D se muestra de manera visual el porcentaje de aparición de las unidades litodémicas presentes dentro de la zona de estudio y la extensión superficial que ocupan respectivamente.



Grafica 5.4.C Porcentaje de Aparición de las Unidades Formacionales dentro del Área de Estudio



Grafica 5.4.D Extensión Areal de las Unidades Formacionales dentro de la Zona de Estudio

5.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ORIENTACIÓN GEOTÉCNICA

Una vez integrados los datos cartográficos finales dentro de la base digital se procedió con la generación del mapa temático de orientación geotécnica que representa las zonas de inestabilidad potencial tomando en cuenta variables geológicas, estructurales, de orientación de laderas y de clinometría. El sistema de clasificación planteado para dicho mapa fue el siguiente arrojando los siguientes resultados:

5.5.1 Zona Muy Inestable

Dentro de la zona de estudio se representan estas áreas como potenciales zonas de riesgo a deslizamientos y movimientos de remoción en masas debido a que las pendientes encontradas son mayores a 45° de inclinación, la inclinación de la ladera es a favor de los datos de foliación obtenidos en campo y recopilados en la bibliografía actualizada. Los caracteres litológicos corresponden a la Unidad Formacional Las Mercedes lo cual viene representado por litologías competentes a moderadamente competentes con relativa debilidad ante la meteorización. Se ubica más que todo en la zona sureste del área de estudio. Tiene un aproximado de 25% de extensión areal en la superficie estudiada.

5.5.2 Zona Inestable

Para esta categorización se tomaron en cuenta las pendientes entre 35° y 45°, litologías poco competentes con baja resistencia a la erosión, estructuras geológicas de gran extensión territorial y de posible incidencia sobre el terreno, orientaciones de laderas paralelas a los datos de filiación y diaclasas recopilados en campo y recolectados a través de la bibliografía. Litológicamente hablando se encuentra mayormente ubicada dentro de la Unidad Formacional Las Mercedes debido a su poca resistividad ante los procesos erosivos potenciales. Ocupa aproximadamente un 15% del espacio areal de la zona de estudio. Se distribuye principalmente en la zona este del área con pocas concentraciones superficiales en el sector oeste.

5.5.3 Zona Parcialmente Estable

Dentro de esta zona, las áreas se encuentran caracterizadas por una litología mas resistente ante la erosión pero la proporción de minerales competentes aun es baja, la incidencia de estructuras de deformación y quiebre se limita a medianas extensiones. Las pendientes registradas fluctúan entre los 25° y los 35°. Las orientaciones preferenciales de las laderas ya son opuestas a los datos de filiación encontrados en campo y recopilados en la bibliografía. Su extensión porcentual fluctúa alrededor del 15% del espacio total del área de estudio. Se distribuye de manera heterogénea y aleatoria en toda el área estudiada. Los caracteres litológicos que la conforman corresponden a las dos formaciones presentes.

5.5.4 Zona Estable

Para esta zona la pendiente promedio varia entre 15° y 25° lo cual lo hace mucho mas estable en cuanto a potencialidad de movimientos de remoción en masa aunque no se descarta la posibilidad de ocurrencia debido a la presencia de una estación climática lluviosa. La litología presente es de favorable resistencia ante la erosión y procesos meteorizantes debido al aumento en los porcentajes de aparición de minerales competentes. La orientación de las laderas ya no se presenta paralela a los datos de foliación recopilados en campo ni en la bibliografía. La extensión areal de esta zona tiene un 17% aproximado que se encuentra distribuido de manera irregular a lo largo de toda la zona estudiada. Las litologías presentes en esta zona están comprendidas por las dos unidades formaciones encontradas y descritas en el área de estudio.

5.5.5 Zona Muy Estable

Según las características que la definen esta zona es la mas favorable para tomar en cuenta en un proyecto de desarrollo urbanístico planificado. La litología presente es muy competente ante la erosión hídrica y eólica que son los tipos más fundamentales de erosión presentes en la zona de estudio, representada mayormente por la Formación Las Brisas. Las pendientes presentes varían entre 0° y 15° principalmente, ubicándose entre los rangos de pendientes más bajos, y por ende, más estables. La orientación preferencial de las laderas se plantea opuesta a los datos de foliación recopilados tanto en campo como en la bibliografía. Las estructuras de deformación no presentan gran incidencia dentro de la estabilidad de las laderas y taludes y su extensión territorial no es significativa. Abarca el restante 28% de la extensión areal total del mapa. Se encuentra ubicada en la zona noroeste del área estudiada.

5.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Existen variaciones entre los estudios utilizados para la actualización y los generados a través de la base cartográfica digital. Esto es debido a los siguientes factores:

a).- El nivel de detalle que el sistema cartográfico digital genera y utiliza es mucho mayor al utilizado en años atrás en los estudios geológicos y geotécnicos.

b).- La cartografía realizada en los trabajos previos fue realizada a mano por los autores, aunque en ningún momento se pone en duda su trabajo, capacidades de generación de mapas e interpretación de datos de campo, no se puede descartar la posibilidad de la ocurrencia de errores humanos mientras que, como se dijo anteriormente, el nivel de detalle y precisión en el sistema cartográfico digital merma esta posibilidad.

c).- La diferencia de tiempo entre un estudio y otro dentro de la misma zona de trabajo crea discrepancia entre los resultados. Enfatizándose esta diferencia en variables como la intervención antrópicas, los cambios de vegetación (ausencia, reaparición e inserción de nuevas especies aloctonas), reactivación de procesos geomorfológicos y generación de nuevos procesos. He incluso en el ámbito geológico estructural se pueden generar diferencias debido a que los estudios recientes dan la posibilidad de ser mas específicos y aumentar el detalle en cuanto a la ubicación de los contactos geológicos y el alcance de fallas, entre otros.

Se realizó una completa base de datos digital de variables geológicas y geotécnicas de la zona que puede ser usada en futuros trabajos y proyectos.

Se realizaron los mapas temáticos de Pendientes (clinometria), Geología y Estructuras geológicas, Orientación de Laderas, Riesgo Geológico y Orientación

Geotécnica utilizando una base de datos digital y la integración de dichos datos bajo el programa ArcGis 9.2 desarrollado por la compañía ESRI.

Se clasificaron las pendientes de acuerdo a 5 rangos de inclinación en grados: de 0° a 5° (Muy Suave), de 5° a 15° (Suave), de 15° a 25° (Mediana), de 25° a 35° (Fuerte), de 35° a 45° (Abrupta) y mayores a 45° (Muy Abrupta). Adicionalmente se clasificaron las pendientes de acuerdo a su estabilidad: Muy Estable, Estable, Moderadamente Estable, Inestable y Muy Inestable, siendo el más representativo el rango de pendiente abrupto a muy abrupto, para el caso del estudio clinométrico y el rango muy inestable para el estudio de estabilidad clinométrica, lo cual significa que en la zona de estudio existe un mayor riesgo a movimientos gravitacionales de masa.

Se clasificaron los rangos de orientación preferencial de las laderas en 8 categorías representadas por un barrido de 45 grados cada una: Norte, Noreste, Este, Sureste, Sur, Suroeste, Oeste y Noroeste, basado en el resultado obtenido para esta zonificación se puede estimar que la región de estudio presenta una orientación de laderas generalizada sureste lo cual tiene como principal interpretación la dirección preferencial en que el material generado durante los procesos de remoción en masa se dirige hacia el cauce más cercano.

Se clasificaron los rangos de Riesgo Geológico de acuerdo al nivel de competencia de la roca y el nivel de incidencia de las estructuras dando como resultado una categorización de 5 clases: Muy Estable, Estable, Medianamente Estable, Inestable, Muy Inestable, de acuerdo a la zonificación obtenida en este estudio predomina la zona muy estable, el riesgo geológico corresponde a la interacción entre los factores litológicos y estructurales, en esta zonificación no se toma en cuenta factores geotécnico, basados en este estudio previo se tiene que la zona puede ser usada para urbanismo.

Se realizó el estudio de Orientación Geotécnica de la Zona de acuerdo a la integración de todas las variables anteriormente estudiadas, para la cual se

establecieron 5 categorías de Clasificación: Muy Estable, Estable, Parcialmente Estable, Inestable y Muy Inestable, predominando las zonas muy estables, en esta zonificación se toma en cuenta el factor clinométrico, el cual actúa como el factor de mayor influencia, aumentando la inestabilidad. Tomando en cuenta que el factor más influyente es la clinometría, se puede planificar el urbanismo del área de estudio teniendo en cuenta estos factores, para el mayor aprovechamiento de terreno, debido a que el riesgo geológico existente como tal, es bajo.

Los estudios realizados, además de la base de datos generada y los mapas temáticos diseñados sirven como referencia o apoyo a futuros estudios geológicos y geotécnicos en el área de Filas de Mariche y pueden ser extrapolados a otras localidades cercanas.

De acuerdo a las conclusiones obtenidas y expuestas anteriormente se recomienda lo siguiente:

Reducir la escala de trabajo de los estudios y los mapas si se requiere un análisis mas detallado para el caso de un desarrollo de planeacion urbanística en la zona de Fila de Mariche.

Ampliar el área de estudio a fin de poseer una base de datos cartográfica digital de las zonas adyacentes al presente estudio y así mejorar y actualizar los conocimientos geológicos y estudios geotécnicos de dichas zonas.

Para el caso en donde se plantee esta zona estudiada para la integración dentro de un plan de desarrollo urbanístico se recomienda potencializar dicha zonificación urbanística en las zonas Estables y Muy estables categorizadas en el estudio de orientación geotécnica planteado en este trabajo de grado debido a que complementa una zonificación con las características geológicas y geotécnicas mas favorables para la edificación de estructuras y demás edificaciones urbanas.

En el caso en donde la zonificación planteada para un desarrollo urbanístico no sea suficientemente extensa se recomienda el uso de la zonificación parcialmente

estable descrita en el estudio de orientación geotécnica para aumentar el área de desarrollo siempre y cuando dichas áreas adicionales sean tratadas con procedimientos de estabilización de terreno y laderas.

Se recomienda el diseño y construcción de tacones, bermas, zanjas de drenaje, entre otros como elementos de estabilización para terrenos y taludes de corte con el fin de preservar el rango de estabilidad dentro de las zonas.

Realizar un plan de reinserción vegetal tanto autóctona como alóctona en las laderas y taludes de corte en donde se haya realizado remoción para la subsecuente utilización en planes urbanísticos y de desarrollo habitacional, con el fin de mantener la capa vegetal y así proteger el suelo de los agentes erosivos que generan inestabilidad.

Ampliar el estudio geotécnico a través de análisis detallado de suelos por medio de perforaciones y ensayos de laboratorio con el fin de aumentar el nivel de detalle en la clasificación geotécnica de la zona estudiada.

REFERENCIAS CARTOGRÁFICAS

Para la realización de este proyecto se tomaran las siguientes hojas cartográficas como base para la actualización y documentación visual de la zona en la cual se planea realizar el estudio.

Cartas Topográficas:

- AREA METROPOLITANA DE CARACAS, Sector Nor-Este. Estado Miranda. **I-47**. Escala 1:5000

- AREA METROPOLITANA DE CARACAS, Sector Nor-Este. Estado Miranda. **I-48**. Escala 1:5000

- AREA METROPOLITANA DE CARACAS, Sector Nor-Este. Estado Miranda. **I-49**. Escala 1:5000

- AREA METROPOLITANA DE CARACAS, Sector Nor-Este. Estado Miranda. **J-47**. Escala 1:5000

- AREA METROPOLITANA DE CARACAS, Sector Nor-Este. Estado Miranda. **J-48**. Escala 1:5000

- AREA METROPOLITANA DE CARACAS, Sector Nor-Este. Estado Miranda. **J-49**. Escala 1:5000

Ortofotomapas:

- ORTOFOTOMAPA DE LA REPUBLICA DE VENEZUELA, El Nogal. 6847-II-SO. Escala 1:25000

Mapas Temáticos:

HERNANDEZ M, Joaquín A. LUJAN V, Miguel Ángel. Estudio Geológico – Geotécnico de la zona ubicada en la Fila de Mariches, Distrito Sucre, Estado Miranda. Mapa de Análisis de Estabilidad Números 4 y 5. Escala 1:5000

HERNANDEZ M, Joaquín A. LUJAN V, Miguel Ángel. Estudio Geológico – Geotécnico de la zona ubicada en la Fila de Mariches, Distrito Sucre, Estado Miranda. Mapa de Pendientes Números 4 y 5. Escala 1:5000

HERNANDEZ M, Joaquín A. LUJAN V, Miguel Ángel. Estudio Geológico – Geotécnico de la zona ubicada en la Fila de Mariches, Distrito Sucre, Estado Miranda. Mapa de Riesgos Geológicos Números 4 y 5. Escala 1:5000

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGUERREVERE Y G. ZULOAGA. (1937) *Léxico Estratigráfico de Venezuela*. Caracas Venezuela.

CABRERA, M y LEDY, M (2007) *Zonificación del Riesgo por Deslizamientos en las Cuencas de las Quebradas El Algodonal y La Yaguara, Municipio Libertador, Distrito Capital*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central De Venezuela.

CABRERA, M. (1984) *Geología y Geotecnia de la zona Noreste del sector Los Mariches, Distrito Sucre, Estado Miranda*. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

ETXEBERRIA, P. *Propuesta de una Metodología para Crear mapas de Peligros Naturales en Quipuzcoa Utilizando SIG Geofocus* (Artículos) N°5, p. 250-267. ISSN 1578-5157

FRANCESCHINI, F. (1985) *Geología y Geotecnia del área metropolitana de Caracas, zona de Filas de Mariches, Dtto Sucre, Edo. Miranda*. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

HERNANDEZ, J. y LUJAN, M. (1985) *Estudio Geológico – Geotécnico de la zona ubicada en la Fila de Mariches, Distrito Sucre, Estado Miranda*. Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES *Generalidades Acerca de los Deslizamientos de Tierras* (Documento en línea) El Salvador. www.snet.gob.sv

SINGER, A. (1977) *Síntesis Regional de la Evolución Geomorfológica de la Cordillera de la Costa en el Área de Caracas* V Congreso Geológico Venezolano, Memorias, Tomo V, p. 55-76

SUAREZ, J. *Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales* Ing. Civil, Profesor de la Universidad de Santander

ZAMBRANO, H.; HERNANDEZ, J. (2005) *Estudio de Deslizamientos de Laderas Activadas por Acción Sísmica en Caracas*. FUNVISIS, IV Coloquio sobre Micro zonificación Sísmica, Barquisimeto

ZAMORA, J. (2007) *Actualización del mapa geotécnico y aplicación de una metodología de susceptibilidad a deslizamientos en el Distrito Metropolitano de Caracas*. Trabajo especial de grado, Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas