

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**ANÁLISIS ESPACIAL POR ÁLGEBRA DE CAPAS Y MANEJO DE  
SENSORES REMOTOS APLICADO A RIESGO GEOLÓGICO USANDO  
COMO BASE DATOS GEOTÉCNICOS DEL ALINEAMIENTO DEL  
METRO DE LOS TEQUES ENTRE PROGRESIVAS 2+000 Y 5+850**

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los bachilleres  
López V. Freddy O.  
Palma V. Luis A.  
Para optar al título de ingeniero geólogo

Caracas, abril 2010

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ANÁLISIS ESPACIAL POR ÁLGEBRA DE CAPAS Y MANEJO DE SENSORES REMOTOS APLICADO A RIESGO GEOLÓGICO USANDO COMO BASE DATOS GEOTÉCNICOS DEL ALINEAMIENTO DEL METRO DE LOS TEQUES ENTRE PROGRESIVAS 2+000 Y 5+850**

**Tutor Académico:** Ing. Enrique Toribio

**Tutor Industrial:** Ing. Alonso Vera Lupi

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los bachilleres  
López V. Freddy O.  
Palma V. Luis A.  
Para optar al título de ingeniero geólogo

Caracas, abril 2010

Caracas, abril de 2010

## **CONSTANCIA DE APROBACIÓN**

Los abajo firmantes, miembros del jurado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres, titulado:

**ANÁLISIS ESPACIAL POR ÁLGEBRA DE CAPAS Y MANEJO DE  
SENSORES REMOTOS APLICADO A RIESGO GEOLÓGICO USANDO  
COMO BASE DATOS GEOTÉCNICOS DEL ALINEAMIENTO DEL METRO  
DE LOS TEQUES ENTRE PROGRESIVAS 2+000 Y 5+850**

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

Prof. Pietro De Marco

Jurado

Prof. Mauricio Hernández

Jurado

Prof. Enrique Toribio

Tutor Académico

## DEDICATORIA

*A la Pachamama...*

*Palma V. Luis A.*

*A mis Padres, mi Hermana,  
mi Hija y a mi amada Coca Cola,  
sin ella acompañándome todo  
esto hubiese sido imposible*

*López V. Freddy O.*

## AGRADECIMIENTOS

*Luis A. Palma V.*

*A mis Padres Luis Palma y Elsa Vioria*

*Mis Hermanos Luis Guillermo, Elsa y Victoria*

*A mi familia Palma, Vioria, Herrera, Aristimuño, Ortiz, Mítil y allegados*

*A mis amigos...*

## AGRADECIMIENTOS

*Freddy O. López V.*

A Dios, ya que sin sus incontables coñazos y lecciones no hubiese tenido la voluntad de terminar esto, creo que simplemente lo hice para demostrarle que sin importar lo que me golpeen en esta vida, luego de tropiezos y caídas igual termino lo que me propongo.

A mis Padres, por apoyarme siempre incondicionalmente y entender que todo en el mundo tiene su lugar y su momento y respetar el ritmo de mi vida.

A mi Hermana Zuhita, por estar siempre allí con la disposición de ayudarme y darme una mano siempre que tiene la oportunidad.

A mi Hija Ariana Bethsabé, tu llegada y tu ausencia siempre han sido causa de motivación en mi vida.

A mis hermanos de la vida, Michel, Edgardo, Gabriel y Eladio, porque siempre sin importar lo lejos y ocupados que estén, me dejan saber que cuento con ellos.

A mi gran amiga Verónica Montero, solo Dios y yo sabemos lo mucho que me ha ayudado en esta vida.

A mis hermanos musicales, Era, Goyo, Alex, Corrado, César y Ronnie, por todo el éxito obtenido juntos hasta ahora y todo el que a la vida le falta por darnos...y nos dará!

A Heidi Santoro, el gran amor de mi vida, mi musa de siempre y fuente de inspiración, que sin importar que no podamos estar juntos en este marco situacional, siempre seremos almas gemelas y estaremos juntos en cualquier nivel espiritual en el que nos encontremos.

A mi gran amigo Mijail Olivar, sin esas palabras de aliento y regaño incorporado un día comiendo hamburguesas en el puente de Carrizal creo que nunca hubiese hecho esa gran reflexión interna que me motivó a ponerle corazón a esto, mil gracias men!

A mi compañero de Tesis Luis Palma “El Pelúo” por creer en este proyecto y haber hecho su mejor esfuerzo para sacarlo adelante.

A mis buenas amigas de la vida, Maribel Ravelo y Ally Rojas, por siempre estar allí y aportar su grano de arena a tiempo y sin espera, siempre que las he necesitado.

## AGRADECIMIENTOS

A mis Tios Giovanni, David y Alfredo, por ayudarme siempre en la medida de sus posibilidades y estar pendientes de mí.

A mis grandes amigos que han transitado todo este camino conmigo durante el tiempo que duró Mauricio Hernández, Alejandro Mendoza, Pancho Mendoza, Antonio León, Wadih Zahkia, Katherina Búkor, Mijail Olivar, Rossmar Pedrique, Adriana Zambrano, Mónica Salomón, Andrés Velázquez, Marco Álvarez, Javier Oropeza, Enrique Toribio, Walter Guillén, Ricardo Vélez, Enzo Caraballo, Iliana Aguilar, Patricia Zurita, Woodwarde Guevara, Pedro Pablo Omaña, Ángel Chacón, Alexandra Gerbasio, Carolina Ramirez, Víctor Torres, Amalys Rodríguez, Bernardo Lopes, Yordis Caraballo, , Aldo Bustos, Marlys Reveti, Paula Baquero, Daniela Castro, Verónica Villarroel, Yoxela Corniel, Gustavo Villegas, Elizabeth López, Jossef Cheik, José Arcila, Juan Carlos Chacón, Maria Prato, Milange Caballero, Lourdes Cáceres, Matilde Landaeta, Yashira Cardona, La Señora Morella Mikatty y al amigo Jesús Quintero “Copyboy”.

A mis Profesores a los cuales les tengo mucho respeto y cariño por guiarme y ayudarme a lo largo de este camino, hey!! un momento, no se crean que son todos!! Son solo algunos, y aquí están: Pául Romero, Enrique Toribio, Mauricio Hernández,

André Singer, Mariugenia Sandoval, Alfredo Mederos, Rafael Falcón, Nuris Orijuela, César Cárdenas, Feliciano de Santis, Robinson Arcos, Cipriano Cruz, Ángela Rojas, Adonays Hernandez, Orlando Mendez, Luis Chacón, Líber Videla, Auristela Magallanes, Germán Siegert y Alfonso Rondón.

A los Tutores Enrique Toribio, Alonso Vera Lupi y el Prof. Mauricio Hernández (tutor sentimental) por su acertada guía a lo largo del mismo!!!

A las Familias Olivar Batista, Velazquez Villa, Zambrano Barreto, Montero Olivo, Los Arraiz, Massoud Oropeza y Mata Ugarte por siempre haber estado pendientes y ser como unos padres también para mí, simplemente gracias!

A Los Amigos Deni Rodríguez y Javier Slava, por soportarme y aguantarse mi fastidio a diario

A la Ing. Zureisi Marin de Toribio por el apoyo prestado y los tecitos en las visitas a Intevp.

## AGRADECIMIENTOS

A la Prof. Melin Nava y a los Ingenieros Raiza Larez y Antonio Mota, por creer en mí y darme oportunidades de desarrollarme como profesional de la Geología.

A mi perro Koky Orlando López Vivas por hacerme compañía durante las noches de trabajo para lograr este sueño.

A mis colegas, amigos y sobre todo ídolos, James Hetfield, Steve Harris, Billy Sheehan, Victor Wooten, Jason Newsted, Cliff Burton(q.e.p.d.), Dave Murray, Janick Jers, Bruce Dickinson, Sebastian Bach, Robert Plant, Jimmy Page, Jaco Pastorius (q.e.p.d.), Jimmy Hendrix (q.e.p.d.), Carlos Santana, Jhon Bohan (q.e.p.d.), Rudy Zarso, Ozzy Osbourne, Zakk Wilde, Tom Morello, Bono, Adam Clayton, Dime Darrel (q.e.p.d.), Phil Anselmo, Jhon Myung, Joe Satriani y Steve Vai, Rockstars todos, por acompañarme y ayudarme por medio de su trabajo a hacer mas llevaderas mis jornadas de estudio.

A mis Sponsors, Ernie Ball Music Man basses, Fender Bases, Ampeg Amps, Dean Markley Strings, The Coca Cola Company y Jack Daniel's, gracias por su apoyo y entendimiento a la hora de satisfacer mis requerimientos.

A todas las Vacas y Toros que colaboraron con su carne, durante todas las Parrillas, almuerzos y tertulias sostenidas a lo largo de este camino, su esfuerzo fue valioso y sacrificado, quizás el mas duro de todos, en verdad muchísimas gracias por dar sus vidas por mí!

En fin Mil Gracias a todos aquellos, vivos o muertos, que de manera directa o indirecta colaboraron con que todo esto fuera posible, simplemente Gracias!!!

***“Siempre necesitaremos una mujer de cintura pequeña y corazón grande para enrumbar nuestras vidas”. Charly Sheen***



## AGRADECIMIENTOS

*Freddy O. López V. y Luis A. Palma V.*

A los tutores Enrique Toribio y Alonso Vera lupi.

A los Jurados Mauricio Hernández y Pietro De Marco.

Al Ing. Antonio Mota Barrios.

Al Lic. Wilmer Lozada.

Al departamento de geografía de Ingeomin.

A la Lic. Luxfranif

A la Lic. Leomar Marrero.

A la Lic. Verónica Montero.

A la Lic. Maribel Ravelo.

A la Lic. Zuheila López.

A la Lic. Morela Mikati.

A las Arepas de María.

A Jesús Quintero “El Yisus”

A Lolo y Camacho, por los años de batidos y cafés en el cafetín de Ingeniería.

Al Profesores de la escuela básica:

César Cárdenas.

Robinson Arcos.

Antonio Acosta.

Adonais Álvarez.

Al Profesor Luis Chacón.

Al Prof. André Singer.

Al Prof. Rafael Falcón.

A la Prof. Nuris Orijuela.

Al Prof Paúl Romero.

A Rocío Domínguez, la secretaria del Dpto. de dibujo de la básica, por aportar tanto y tanto material.

Y a todas las personas que de una u otra manera colaboraron con este trabajo, y como dijo el amigo Cerati en el 97...Gracias Totales!!!

**INDICE**  
**INDICE DE FIGURAS**  
**INDICE DE TABLAS**

**LOPEZ V, FREDDY O. Y PALMA V, LUIS A.**

**ANÁLISIS ESPACIAL POR ÁLGEBRA DE CAPAS Y MANEJO DE  
SENSORES REMOTOS APLICADO A RIESGO GEOLÓGICO USANDO  
COMO BASE DATOS GEOTÉCNICOS DEL ALINEAMIENTO DEL METRO  
DE LOS TEQUES ENTRE PROGRESIVAS 2+000 Y 5+850**

**Tutor académico: Enrique Toribio**

**Tutor Industrial: Alonso Vera Lupi**

**Tesis. Caracas, UCV. Facultad de Ingeniería**

**Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2010.**

**Palabras claves: Progresivas, vulnerabilidad, riesgo geológico, análisis espectral.**

**Resumen**

Se realizó un análisis espacial por medio del uso de la herramienta del álgebra de capas, para la elaboración de mapas de riesgo geológico en superficie y subsuelo en un área de 2,31 km<sup>2</sup> ubicada entre los municipios Guacaipuro y Carrizal del estado Miranda, específicamente entre las progresivas 2+000 y 5+850 proyecto de expansión de Metro Los Teques.

Se realizó una etapa de recopilación bibliográfica, una etapa de campo y una etapa de oficina. Se elaboraron mapas de vulnerabilidad, pendientes, procesos geodinámicos y factores de seguridad para generar el mapa de riesgo en superficie y se realizó un mapa de cargas verticales en el túnel para generar la información del mapa de subsuelo, posteriormente se compararon los datos obtenidos con un análisis espectral de sensores remotos para verificar la utilidad de la herramienta en este tipo de estudios.

## ÍNDICE

P.

CAPÍTULO I.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	1
1.2.1. Objetivo General.....	1
1.2.2. Objetivos Específicos.....	1
1.3 UBICACIÓN.....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.5 METODOLOGÍA.....	5
1.5.1. Etapa compilatoria.....	5
1.5.1.1 Investigación bibliográfica.....	5
1.5.1.1. Interpretación fotogeológica.....	6
1.5.2. Etapa de campo.....	7
1.5.2.1. Levantamiento geológico de superficie.....	7
1.5.3. Etapa de oficina.....	8
1.5.3.1. Clasificación de los datos de campo.....	9
1.5.3.2. Codificación de los datos de campo.....	10
1.5.3.3. Codificación de los Datos Teóricos.....	12
1.5.3.4. Desarrollo de la aplicación (álgebra de capas).....	18
CAPÍTULO II.....	23
2.1 MARCO TEÓRICO.....	23
2.1.1 TELEDETECCIÓN Y SENSORES REMOTOS.....	23
2.1.2 USO DE LA HERRAMIENTA DE MANEJO DE IMÁGENES.....	23
2.1.3 SATELITALES. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	23
2.1.4 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN DE ÁLGEBRA DE CAPAS BAJO SOFTWARE ARCGIS®.....	24
2.1.4.1 Operadores en álgebra de capas.....	24
2.1.4.2 Operadores estadísticos.....	25
2.1.4.3 Operadores direccionales.....	25
2.1.4.4 Operadores de vecindad extendida, operadores extendidos.....	26
2.1.4.5 Operadores de área o zonales.....	26
2.1.5 FORMATO RASTER. ÁLGEBRA DE CAPAS.....	27
2.1.5.1 Operadores globales.....	27
2.1.5.2 Operador distancia euclidiana.....	27
2.1.5.3 Operador distancia ponderada.....	27
2.1.5.4 Operador entidad más cercana.....	27
2.1.6 CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS.....	28
2.1.6 .1 Suelos.....	28
2.1.6 .2 Riesgo geológico.....	28
2.1.6 .3 Sondeos geotécnicos en suelo.....	29
2.1.6 .4 Ensayo de penetración estándar (SPT).....	31
2.1.6 .5 Ángulo de fricción.....	32
2.1.6 .6 Cohesión.....	33
2.1.6 .7 Límites de Atterberg o de consistencia.....	33

2.1.6 .8 Granulometría.....	34
2.1.6.9 Vulnerabilidad.....	34
2.1.6 .10 Amenaza.....	34
2.1.6 .11 Riesgo.....	34
2.1.6 .12 Ensayos geotécnicos de laboratorio aplicados a suelo.....	35
2.1.7 GEOLOGÍA REGIONAL.....	37
2.1.7.1 Esquisto de Las Brisas.....	37
2.1.7.2 Esquisto de Las Mercedes.....	38
CAPÍTULO III.....	40
3.1 GEOGRAFÍA FÍSICA.....	40
3.1.1 Clima.....	40
3.1.2 Vegetación.....	40
3.1.3 Drenaje.....	40
CAPÍTULO IV.....	42
4.1 RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	42
4.1.1 DATOS GEOTÉCNICOS DEL LEVANTAMIENTO DE CAMPO.....	42
4.1.1.1 Datos geotécnicos de campo.....	42
4.1.1.2 Geología local.....	42
4.1.1.3 Litología.....	42
4.1.1.4 Geología estructural.....	44
4.1.1.5 Contactos.....	46
4.1.1.6 Geomorfología y procesos geodinámicos.....	46
4.1.2 GEOLOGÍA DEL SUBSUELO.....	49
4.1.2.1. Evaluación geotécnica.....	53
4.1.2.2. Resultados de los ensayos de laboratorio.....	53
4.1.2.3. Resultados geotécnicos.....	58
4.1.3 RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE DATOS BATOS LA APLICACIÓN DESARROLLADA.....	65
4.1.3.1. Mapa de Vulnerabilidad.....	65
4.1.3.2. Mapa de Procesos Geodinámicos.....	68
4.1.3.3. Mapa de Pendientes.....	71
4.1.3.4. Mapa de Factores de Seguridad.....	73
4.1.3.5. Mapa de Esfuerzos verticales.....	73
4.1.4. COMPARACIÓN DE DATOS DE CAMPO CONTRA RESULTADOS DE LA APLICACIÓN ERDAS.....	81
4.1.5. MAPA DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA ZONA EN SUPERFICIE.....	82
4.1.6. MAPA DE RIESGO GEOLÓGICO EN SUBSUELO.....	86
CAPÍTULO IV.....	89
4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	89
BIBLIOGRAFÍA.....	92
ANEXOS.....	95

## INDICE DE TABLAS

P.

Tabla 1. Ponderación de los procesos geodinámicos.....	10
Tabla 2. Correlación numérica de los procesos según la magnitud de la amenaza.....	11
Tabla 3. Ponderación de Entes Vulnerables.....	11
Tabla 4. Correlación numérica de la Vulnerabilidad.....	12
Tabla 5. Ponderación de las pendientes según su ángulo de inclinación.....	12
Tabla 6. Correlación numérica de las pendientes según su geometría.....	13
Tabla 7. Ponderación de los factores de seguridad en los taludes infinitos.....	15
Tabla 8. Correlación numérica de la estimación de estabilidad de los Taludes.....	16
Tabla 9. Ponderación de los esfuerzos Verticales presentes en el túnel.....	18
Tabla 10. Correlación numérica de la estimación de esfuerzos verticales.....	18
Tabla 11. Clasificación de los Riesgos Geológicos.....	19
Tabla 12. Correlación de parámetros de compacidad y consistencia con SPT.....	32
Tabla 13. Ensayos de Laboratorio y la norma que los rige.....	35
Tabla 14. Tabla resumen de ensayos realizados en los sondeos.....	54
Tabla 15. Valores promedios de ensayos granulométricos.....	58
Tabla 16. Valores promedio de las humedades, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.....	58
Tabla 17. Parámetros Angulo de fricción y cohesión.....	59
Tabla 18. Resultados de Factor de seguridad.....	62
Tabla 19. Tabla de resultados de altura del material suelto por encima del túnel y Esfuerzos verticales.....	63

## INDICE DE FIGURAS

P.

Fig.1 Fig. 1 Imágenes de Venezuela y Estado Miranda tomadas de Google Earth Junio 2009). Ortofotomapa donde muestra la zona de estudio (IGSB). . . . .	4
Fig 2. Esquema de rotura en un talud infinito.(tomado de González de Vallejo 2004).....	15
Fig.3 Representación geométrica de los parámetros representados por AFTES (De Marco,1995).....	17
Fig.4 Selección de la herramienta para el inicio del proceso de álgebra de capas.....	21
Fig.5 Cuadro de diálogo en el cual se introducen la expresión algebraica a operar con los mapas seleccionados.....	21
Fig.6. Selección de la herramienta para la reclasificación del mapa generado por el proceso de álgebra de capas.....	22
Fig.7. Cuadro de dialogo donde se selecciona y reclasifican los parámetros del mapa producto.....	22
Fig.8 Operador de vecindad, filtro de la media.....	25
Fig. 9 Esquisto calcítico muscovítico grafitoso sericítico.....	43
Fig.10 Pliegues encontrados al norte de el área de estudio.....	44
Fig.11 pliegue y foliación.....	45
Fig.12 Mapa de geológico de la zona de estudio.....	46
Fig.13 Mapa geomorfológico de la zona con el mapa de procesos geodinámicos superpuesto.....	47
Fig. 14 Movimiento de masa Zona Industrial Los Cerritos.....	47
Fig. 15 Movimientos geodinámicos en pie de colina.....	48
Fig. 16 Vista panorámica de la zona de estudio.....	48
Fig. 17 Descripción de muestras provenientes de perforaciones geotécnicas.....	49
Fig. 18 Muestras obtenidas de perforaciones geotécnicas a rotación.....	53
Fig. 19 Carta de plasticidad de Casa grande, (Modificado de González de Vallejo).....	57
Fig. 20 Mapa de Vulnerabilidad de la Zona.....	65
Fig. 21 Gráfico de porcentajes de áreas vulnerables según su clasificación.....	66
Fig. 22. Mapa de Procesos Geodinámicos.....	68
Fig. 23 Representación de los porcentajes de área según clasificación de	

procesos geodinámicos.....	69
Fig. 24 Mapa de Pendientes.....	71
Fig. 25 Gráfico de porcentajes de distribución de pendientes.....	72
Fig. 26 Mapa de Factores de Seguridad.....	74
Fig. 27 Grafico de distribución de porcentajes de Factores de Seguridad en superficie.....	75
Fig. 28 Mapa de Esfuerzos Verticales en subsuelo.....	77
Fig.29 Corte esquemático número 3 Progresiva 5+000.....	78
Fig.30 Grafico de distribución de porcentajes de esfuerzos verticales en el túnel.....	78
Fig. 31 Mapa generado a partir de elementos identificados en la imagen satelital.....	79
Fig. 32 Mapa de riesgo geológico en superficie.....	80
Fig. 33 Mapa de Riesgo Geológico en superficie.....	82
Fig. 34 Mapa de riesgo en superficie con respecto al túnel.....	83
Fig. 35 Gráfico de distribución de porcentajes de riesgo geológico en subsuelo.....	83



# CAPÍTULO I

## 1.1 INTRODUCCIÓN

### 1.2 OBJETIVOS

#### 1.2.1. Objetivo General

Elaborar un mapa de riesgo geológico mediante la aplicación de álgebra de capas con información geotécnica de superficie y de subsuelo de un tramo del proyecto de expansión Metro Los Teques comprendido entre La Matica y Carrizal, y corroborar la funcionalidad de la aplicación del modelo geotécnico plasmado en el mapa mediante la comparación con los datos de geología de superficie obtenidos en campo.

#### 1.2.2. Objetivos Específicos

- ❖ Realizar un levantamiento geológico de campo a lo largo del tramo antes mencionado, entre las progresivas 2+000 y 5+850 respectivamente, abarcando un área de 2,31 Km<sup>2</sup>, comprendida en 600 metros, medidos perpendiculares a lo largo de los 3850 metros lineales del eje del alineamiento con sus características generales presentes (características geotécnicas), con la finalidad de generar un mapa de superficie geológico-geomorfológico.
- ❖ Zonificar y clasificar las posibles áreas problema según su estado de riesgo bajo criterio geomorfológico.
- ❖ Zonificar, clasificar y recopilar datos geotécnicos de subsuelo y superficie de las áreas problemas, obtenidos en un trabajo previo realizado por la Empresa Consorcio Línea II, para su cliente Metro Los Teques.
- ❖ Desarrollar una aplicación bajo el programa (software) ArcGIS® en la cual se procederá a manejar algebraicamente los datos geotécnicos de subsuelo y superficie en la zona, con el fin de obtener los resultados con los cuales se elaborará el modelo de riesgo geológico del área de estudio.

- ❖ Compilar, digitalizar, depurar y construir la base de datos de parámetros geológicos-geotécnicos del subsuelo para asignar a ecuaciones de riesgo geológico.
- ❖ Utilizar la información recopilada en campo así como los datos de las 50 perforaciones presentes en el área de estudio, las cuales representan aproximadamente 1750 metros de muestreo, para la elaboración de un mapa de factores de seguridad geotécnicos, así como sus respectivos ensayos de laboratorio de los intervalos más representativos.

Los ensayos a utilizar en el estudio serán los siguientes; para suelo: porcentaje de humedad, límites de consistencia (límite líquido y límite plástico), granulometría, peso unitario, peso específico, compresión simple en suelo y corte directo; para las muestras de roca: carga puntual, absorción, tracción indirecta (brasileño), peso unitario, compresión simple y petrografías (referenciales estas últimas). Teniendo como promedio 18 ensayos por sondeo, dando un total aproximado de 900 ensayos de laboratorio en toda el área de estudio y con los cuales se realizará su respectiva interpolación espacial para obtener la distribución en tres dimensiones de los parámetros geotécnicos.

- ❖ Elaborar el mapa de riesgos geológico de la zona de estudio bajo el programa (*software*) ArcGIS®, el cual se realizará con la información obtenida en campo (geotécnica, geodinámica y vulnerabilidad) y la información del mapa generado en el enunciado del ítem anterior (factores de seguridad geotécnicos) y se comparará con la información procedente de la interpretación de imágenes satelitales del tipo SPOT 5, las cuales serán proporcionadas por el Instituto IDEA del CPDI y el estudio estereoscópico realizado sobre fotos aéreas correspondientes a la misión 0304-8, tomada bajo la dirección de Cartografía Nacional del Ministerio de Obras Públicas de la República de Venezuela entre los años 1936 y 1938.
- ❖ Analizar los resultados de la calibración de la aplicación desarrollada, con el fin de observar su funcionalidad y aplicación en otras zonas.

### **1.3 UBICACIÓN**

La zona de estudio se encuentra localizada en la ciudad de Los Teques - Estado Miranda, entre el sector La Matica y Carrizal, poblaciones pertenecientes a los municipios Guaicaipuro y Carrizal respectivamente, y que pasa por los sectores La Macarena, Los Cerritos, Club Hípico, Súper Líder y Corralito, cuyas vías de acceso son la carretera Panamericana como vía de acceso principal, la carretera vieja Caracas-Los Teques y la Autopista Regional del Centro vía Tejerías como vías alternas.

Las dimensiones del área es de 2,31 Km<sup>2</sup> aproximadamente, localizada entre las coordenadas UTM Loma Quintana, N 16.500; E-11.000, N17.000; E-11.000 al oeste y N17.100; E-7500 y N17.500; E-7500 al este respectivamente (tomadas del mapa proporcionado por la Empresa Consorcio Línea II).

El área de estudio se encuentra adyacente a la cuenca del río San Pedro y a las quebradas Carrizal, La Matica, El Rincón y Los Cerritos.

A continuación se muestra la Fig. 1 que contiene el mapa del área de estudio con la zona delimitada y la ubicación geográfica del área

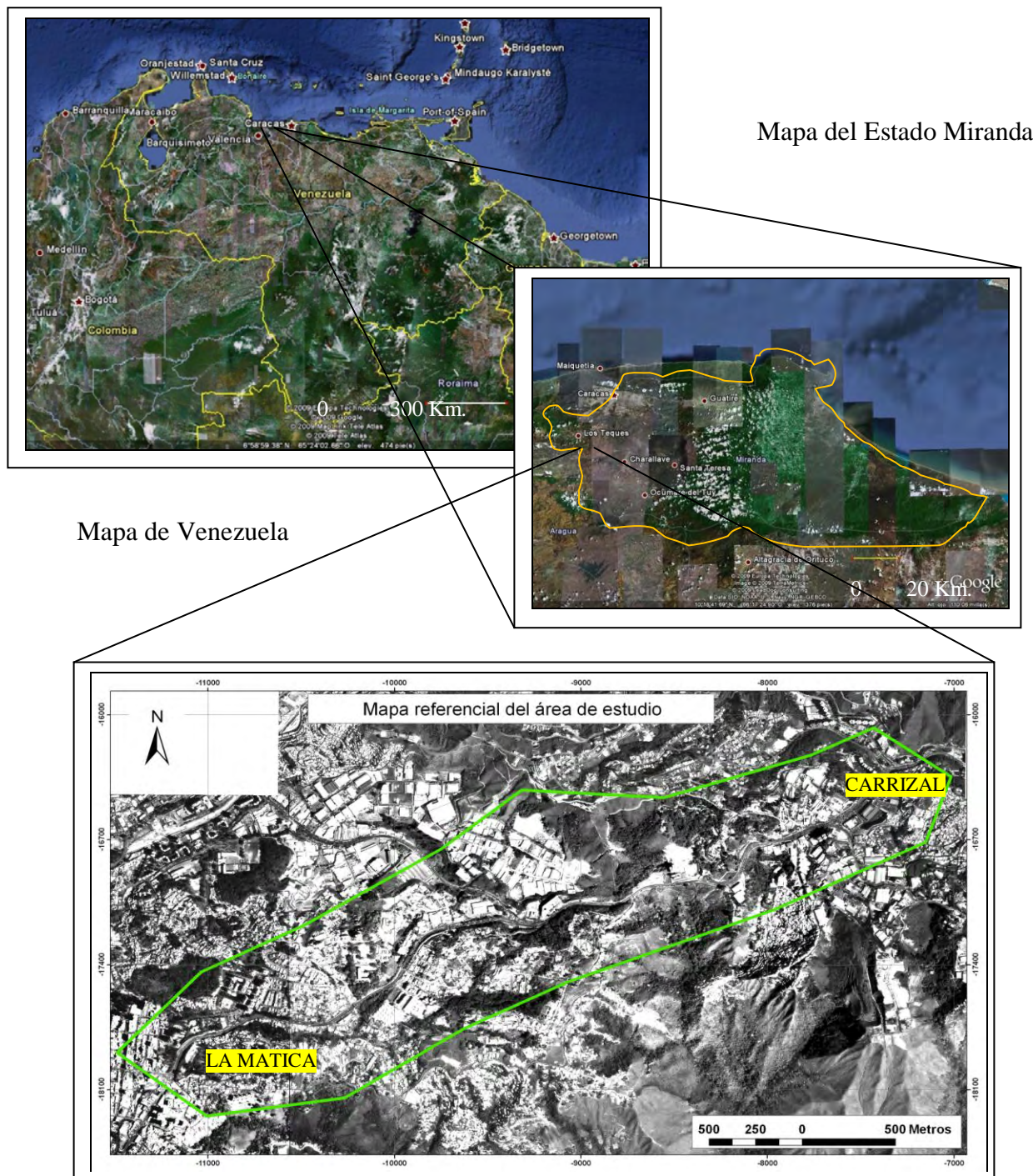


Fig. 1 Imágenes de Venezuela y Estado Miranda tomadas de Google Earth Junio 2009). Ortofotomapa donde muestra la zona de estudio (IGSB).

## **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Proponer una aplicación para identificar y clasificar los riesgos geológicos para la etapa inicial de la exploración geotécnica, cuyos resultados pueden verse reflejados en la disminución de los costos de los estudios de estabilidad en la fase inicial de un proyecto.

## **1.5 METODOLOGÍA**

El estudio del área se ejecutará en tres etapas, las cuales han sido definidas como: etapa compilatoria y pre-campo, etapa de campo y etapa de oficina. Éstas se describen a continuación:

### **1.5.1. Etapa compilatoria**

Esta etapa consta de una primera fase que se caracteriza por la búsqueda y recopilación de material bibliográfico referente al área de estudio y al tema a desarrollar, así como las herramientas necesarias para la realización del trabajo.

La segunda fase consistió en depurar y clasificar la información geotécnica-geológica, la cual está provista de los datos provenientes de 53 perforaciones de tipo percusión y rotación, que suman entre ellas 1750 metros en profundidad aproximadamente, y los resultados de laboratorio de los 900 ensayos realizados en suelo y roca en muestras provenientes de dichas perforaciones. Se establecerán parámetros e interpretarán las fotografías aéreas de la zona de estudio correspondientes a la misión 0304-8, tomada bajo la dirección de la Cartografía Nacional del Ministerio de Obras Públicas de la República de Venezuela entre los años 1983 y 2002, como fuente de datos para plantear las estrategias de la campaña de campo.

#### **1.5.1.1. Investigación bibliográfica**

Se realizó la búsqueda, revisión y recopilación bibliográfica de textos, tesis de grado, artículos científicos, trabajos previos, material cartográfico (mapas topográficos,

mapas estructurales a escala 1:100.000 y 1:50.000), fotografías aéreas, ortofotomapas a escala 1:25.000 e imágenes satelitales (Spot5) referentes a la zona de estudio; esto con la finalidad de obtener información sobre las características estructurales y reológicas regionales de la zona.

A continuación se detalla las actividades realizadas en esta etapa:

La recopilación de los trabajos previos, tesis, atlas geológicos y publicaciones se llevó a cabo en la biblioteca Virgil Winkler de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Instituto Nacional de Geología y Minería de Venezuela (Ingeomin) y el Instituto de Estudios Avanzados (IDEA).

La recopilación del material cartográfico y fotogeológico se realizó en el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar y en la sede del Instituto Nacional de Geología y Minería de Venezuela (Ingeomin), PDVSA Intevep y en el Consorcio Línea II (Odebrecht, Vinccler, Metro de los Teques).

#### **1.5.1.1. Interpretación fotogeológica**

Se realizó el estudio fotogeológico del área, interpretando fotografías aéreas de dos misiones aerofotográficas:

-Misión: 0304167. Fecha: 1983.

Vistas: 745, 746 y 747.

- Misión: 0304193 Fecha: 2002.

Vistas: 635, 636, 637, 830, 831, 832, 833, 864 y 865.

En estas se indagaron distintos rasgos referentes a la geodinámica externa como son los deslizamientos, desprendimientos de bloques, cicatriz de desprendimientos, flujos, erosión hídrica y conos de deyección, así como también los contactos litológicos distintivos por las geoformas. Cabe destacar que el estudio de estas dos misiones obedeció a conocer la evolución del área entre 1983 y el 2002, tanto en los aspectos urbanos como geomorfológicos, dando así una clara primera impresión sobre los distintos fenómenos de geodinámica externa que en las etapas posteriores del trabajo se encontrarían en el mismo.

### **1.5.2. Etapa de campo**

La etapa de campo consistió en un levantamiento geológico de campo que comprendió la adquisición de datos geotécnicos, de geodinámica externa y geomorfológicos de la región dentro del área antes mencionada, la cual se realizó mediante la medición de rumbos y buzamientos de las foliaciones y diaclasas aflorantes, así como la descripción de litología y estructuras (pliegues, fallas, etc) de la zona, identificación de los distintos procesos geodinámicos bajo la nomenclatura de deslizamientos paralelos a tierra, micro desprendimientos en escalones, cicatrices de desprendimientos de materiales, cicatrices de desprendimiento antiguo, masas deslizadas actuales, despegue de material en paquetes, erosión hídrica, cárcavas, cono de deyección, manto coluvial, manto coluvial colgado, emplazamiento superficial perenne, talud menor a 2 metros con cara superficial y escurrimiento superficial; luego se vació dicha información en un mapa de campo el cual también incluye cortes en terreno, taludes y laderas propicias a deslizamientos.

También se realizó un mapa con la vulnerabilidad ante los fenómenos geodinámicos presentes en el mapa anterior, teniendo como principal herramienta la presencia de infraestructura y actividad humana presente en la zona de estudio. Esta etapa se llevó a cabo utilizando como base el mapa topográfico escala 1:10.000 proporcionado por el Consorcio línea II.

#### **1.5.2.1. Levantamiento geológico de superficie**

Esta etapa inició con el levantamiento geológico a pie a lo largo y ancho de toda la zona de estudio, iniciando en la parte más oeste (sector Carrizal) y avanzando paulatinamente hacia el sector Súper Líder, luego Los Cerritos, para dar paso a La Macarena y concluir en el sector de La Matíca. En este levantamiento se fueron observando, identificando y asentando los fenómenos, datos geológico-geotécnicos, eventos de geodinámica externa y vulnerabilidad presentes en la zona de estudio, siendo plasmados los mismos sobre el mapa topográfico proporcionado por la

empresa ejecutora del proyecto asociado a esta investigación, dando como resultado los mapas de la investigación.

La ubicación de los afloramientos y sitios donde se observaron procesos geodinámicos fueron marcados con puntos GPS utilizando un equipo Garmín map 60c. Estos puntos fueron plasmados en el mapa teniendo así la ubicación y distribución en superficie de los elementos del levantamiento antes mencionados.

### **1.5.3. Etapa de oficina**

En ésta etapa se realizó el análisis de los datos colectados en las etapas previas, partiendo de la organización y clasificación de los mismos. Para esto fueron asignados parámetros de valor cuantitativo a los procesos geodinámicos de vulnerabilidad levantados en campo y desarrollados bajo el *software* ArcGIS. ®, los cuales poseen su respectiva ubicación espacial dentro del modelo 3D, así como la codificación de los datos teóricos procedentes del mapa de pendientes y el mapa de factores de seguridad geotécnica utilizables en este trabajo (ecuaciones, teoremas y procedimientos aplicados a la cuantificación de riesgo geológico en el área de la geotecnia).

Luego se procedió a desarrollar la aplicación de álgebra de capas bajo el *software* ArcGIS. ® con el cual se realizó el procedimiento de álgebra de capas, que consiste en la introducción y desarrollo de los parámetros operacionales, que deben ser procesados y transportados al lenguaje del software en que se desarrolló la aplicación. Se introdujo la información provenientes de los 1.750 metros de perforación así como de los 900 ensayos de laboratorio, que se encuentran distribuidos de manera aleatoria dentro de los intervalos perforados, creando de esta manera las bases de datos con las cuales opera el software para su posterior interpolación y procesamiento de la data.

Inmediatamente se analizaron los resultados arrojados por la aplicación y se realizaron las interpretaciones de las imágenes satelitales como fuente de reconocimiento de zonas con características superficiales homogéneas. Una vez



realizadas todas estas tareas las mismas se compararon con los resultados de campo para desarrollar conclusiones y recomendaciones.

Finalizadas todas estas fases, se elaboró un mapa de riesgo geológico con la información manejada a lo largo del trabajo, además se corroboró la funcionalidad de la aplicación del modelo geotécnico plasmado en el mapa mediante la comparación con los datos de geología de superficie, los obtenidos en campo y sensores remotos, los cuales nos aportaran información sobre la posibilidad del uso de esta herramienta como apoyo en la fase previa de un proyecto de riesgo geológico.

#### **1.5.3.1. Clasificación de los datos de campo**

Para agrupar la información recopilada, se dividió en dos grupos: un primer grupo que contiene los datos referentes a la geología de superficie como son: foliación, diaclasas, litología, información referente a la geodinámica externa, donde se plasmará eventos como derrumbes, deslizamientos y todo lo referente a procesos geodinámicos; y un segundo grupo que está compuesto por los datos de vulnerabilidad recogidos en la zona.

En cuanto a los fenómenos de geodinámica externa, se registraron los siguientes:

Deslizamientos paralelos a tierra, micro desprendimientos en escalones, cicatrices de desprendimientos de materiales, cicatrices de desprendimiento antiguo, masas deslizadas actuales, despegue de material en paquetes, erosión hídrica, cárcavas, cono de deyección, manto coluvial, manto coluvial colgado, emplazamiento superficial perenne, talud menor a 2 metros con cara superficial y escurrimiento superficial.

En cuanto a los datos de vulnerabilidad se identificaron los siguientes grupos de infraestructuras o áreas vulnerables: edificaciones aisladas, zonas comerciales, universidades y centros educativos, zonas industriales, edificios de viviendas estructuralmente calculados, urbanizaciones bien planificadas, barrios o zonas marginales y vialidad.

### 1.5.3.2. Codificación de los datos de campo.

La clasificación de los datos mencionados en el ítem anterior fueron sistematizados cumpliendo las reglas y pasos del programa para la elaboración de los mapas o capas con el *software* ArcGIS.®. Cada grupo tendrá como característica principal la presencia de 5 renglones los cuales se asignaron tomando como base en la casilla inferior (N°1) los eventos que representaban una menor influencia en la presencia de un riesgo geológico (amenaza), yendo correlativamente ascendiendo hasta alcanzar un valor máximo (N°5) el cual indica que existe la presencia de un evento o característica que representa una influencia mayor en la generación de un riesgo geológico.

Esta ponderación fue presentada en cada uno de los mapas con una numeración que va desde el número uno (1) para los menores agentes causantes de riesgo, y hasta el número cinco (5) para los agentes causantes de mayor riesgo.

En el mapa referente a geología de superficie y procesos geodinámicos la clasificación y ponderación de los eventos se determinó como se presenta a continuación en la tabla número 1.

<b>Procesos geodinámicos</b>	<b>Ponderación</b>
Erosión hídrica	1
Cárcavas	2
Emplazamiento superficial perenne	2
Escurrimiento superficial	2
Manto coluvial colgado	3
Deslizamientos paralelos a tierra	4
Micro desprendimientos en escalones	4
Talud menos a 2 metros con caída sup.	4
Cicatriz de desprendimiento de material	5
Masa deslizada actual	5
Despegue de material en paquetes	5
Cono de deyección	5

Tabla 1. Ponderación de los procesos geodinámicos.

A los procesos geodinámicos expuestos y ponderados en la tabla anterior, según su clasificación numérica, se les asignó la siguiente evaluación por la magnitud de la amenaza que representan en cuanto a riesgo geológico se refiere.

<b>Magnitud de Amenaza del Proceso</b>	<b>Correlación Numérica</b>
Muy Baja	1
Baja	2
Moderada	3
Alta	4
Muy Alta	5

Tabla 2. Correlación numérica de los procesos según la magnitud de la amenaza.

En el mapa referente a la vulnerabilidad, la clasificación y ponderación se determinó como se muestra a continuación en la tabla número 3.

<b>Ente Vulnerable</b>	<b>Ponderación</b>
Zona natural (sin urbanismo)	1
Edificaciones aisladas	2
Zonas comerciales	3
Universidades y centros educativos	3
Zonas industriales	4
Edificios de viviendas estructuralmente calculados	4
Urbanizaciones bien planificadas	4
Barrios o zonas marginales	5
Vialidad	5

Tabla 3. Ponderación de Entes Vulnerables.

A los entes vulnerables expuestos y ponderados en la tabla anterior, según su clasificación numérica, se les asignó la siguiente evaluación por la magnitud del riesgo que corren frente a un evento geológico o amenaza. La tabla número 4 representa dicha evaluación.

<b>Vulnerabilidad</b>	<b>Correlación Numérica</b>
No Vulnerable	1
Poco Vulnerable	2
Medianamente Vulnerable	3
Vulnerable	4
Muy Vulnerable	5

Tabla 4. Correlación numérica de la Vulnerabilidad

### 1.5.3.3. Codificación de los Datos Teóricos.

Con los datos teóricos utilizados, se realizaron mapas que se operaron bajo el proceso de álgebra de capas, entre estos se tiene un mapa de pendientes el cual, para su realización, se tomaron los datos presentes en la información cartográfica previa obtenida; y un mapa de factores de seguridad geotécnicos, que se generó con la operación y manejo de los datos obtenidos provenientes de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras de las perforaciones geotécnicas. La manera de generar y procesar estos datos se presenta y desglosa a continuación:

El mapa de pendientes se generó a partir del modelo digital de elevación (DEM) correspondiente al área de estudio, clasificando las pendientes de las laderas y taludes presentes según su ángulo de inclinación. Esta clasificación se presenta a continuación en la tabla número 5.

<b>Ángulo de Inclinación de la Pendiente</b>	<b>Ponderación</b>
De 0 a 4 grados	1
De 4 a 16 grados	2
De 16 a 35 grados	3
De 35 a 55 grados	4
De 55 a 90 grados	5

Tabla 5. Ponderación de las pendientes según su ángulo de inclinación.

Los valores de pendientes clasificados en la tabla anterior se les asignó una correlación entre el valor numérico asignado y la característica geométrica de la pendiente para luego ser operada en el proceso de álgebra de capas, dicha correlación se presenta en la tabla que se muestra a continuación.

<b>Geometría de la Pendiente</b>	<b>Correlación Numérica</b>
Pendiente suave	1
Pendiente Moderada	2
Pendiente	3
Pendiente Alta	4
Pendiente Muy Alta	5

Tabla 6. Correlación numérica de las pendientes según su geometría.

Los datos teóricos referente a la información geotécnica fueron recopilados y procesados utilizando la data procedente de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras tomadas en las perforaciones de tipo SPT y rotación en el proyecto de expansión del Metro Los Teques, esto con el fin de obtener el factor de seguridad de los taludes del área de estudio. El modelo geotécnico para el estudio de la estabilidad y el que más se adapta a la realidad de la zona es el de taludes infinitos, que consiste en el desprendimiento de material del talud sin afectar la corona ni el pie del mismo. A partir de esta ecuación que apoya y valida este fenómeno, se procedió a la búsqueda de las variables necesarias para encontrar dicho factor de seguridad, teniendo como premisa la generación de parámetros físicos que forman parte de la ecuación, así como el estudio litológico de subsuelo de todo el tramo.

Una vez obtenidos estos datos los mismos fueron operados algebraicamente e introducidos en los ábacos correspondientes, con el fin de complementar la información necesaria y tener así unos valores reales, concretos y precisos de las características geomecánicas del suelo presente a lo largo de la zona.

Los parámetros evaluados y manejados en la generación de este mapa son:

- a) Ángulo de Fricción, obtenido a partir de la correlación del valor de SPT en suelos granulares por medio de la expresión presentada por Wolf en el año de 1989 (ver anexo 4), la cual se expresa de la siguiente manera:

$$\phi(^{\circ}) = 27,1 + 0,3N' - 0,00054 N'^2.$$

$$\text{Donde } N' = 0,77N \text{Log } 200/\sigma_v$$

N=valor de SPT de campo

N'=valor de SPT corregido.

- b) La Cohesión, cuyo valor fue obtenido en algunos casos por ensayos de laboratorio y, en general, por aplicación de valores considerados e indicados por el proyectista.
- c) La Densidad, se obtuvo en algunos casos por ensayos de laboratorio y, en general, por la aplicación de valores considerados e indicados por el proyectista; también se realizó una revisión de las propiedades físicas generales aportadas por el laboratorio. Entre estas propiedades se encuentran:
- ❖ Granulometría.
  - ❖ Límites de Atterberg.
  - ❖ %W (porcentaje de humedad).
  - ❖ Compresión simple.
  - ❖ Peso específico.
  - ❖ Caracterización visual de las muestras.

El cálculo y manejo de estos parámetros está reflejado en el anexo número 1.

Para el cálculo definitivo del factor de seguridad de los taludes se utilizó la fórmula tomada del González de Vallejo (2004) para cálculo de dicho factor de seguridad, la cual está dada por la siguiente expresión:

$$F = A \frac{\text{tg } \phi'}{\text{tg } \alpha} + B \frac{c'}{\gamma H}$$

Donde el parámetro A es un coeficiente de presión interticial,  $\phi'$  es el ángulo de fricción del material,  $\alpha$  es la pendiente del talud, B es un parámetro que depende de la inclinación del talud y es igual a  $1/(\cos \alpha \text{ sen } \alpha)$ , C' es la cohesión,  $\gamma$  la densidad y H la altura del perfil del coluvial.

Esta ecuación fue utilizada para el cálculo de los factores de seguridad en un mapa de superficie, tomando como altura  $H_{\max}$  (espesor de la masa a desplazar), un espesor de un (1) metro.

A continuación se presenta una imagen esquemática del modelado de una rotura plana en un talud infinito.

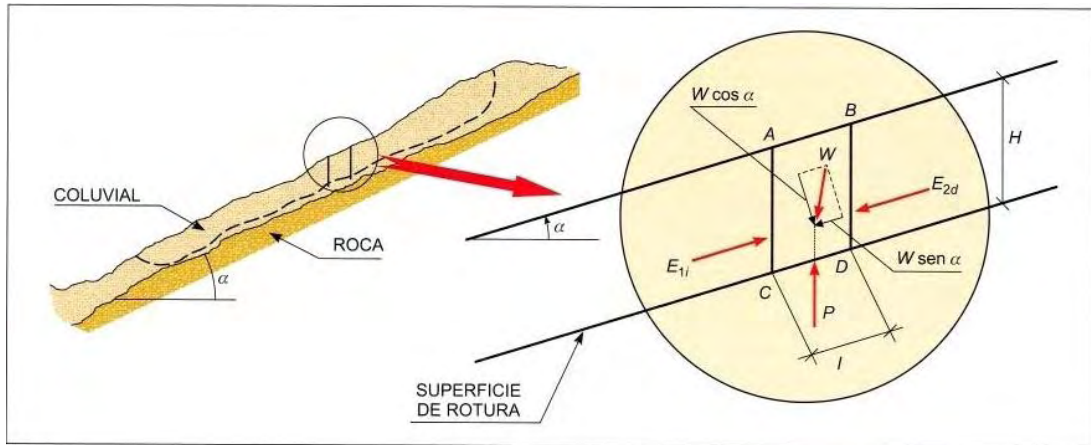


Fig 2. Esquema de rotura en un talud infinito.(tomado de González de Vallejo 2004)

Seguidamente se encuentra una tabla en la cual se indican los valores de los factores de seguridad generados a partir de la operación de los datos geotécnicos de la zona de estudio.

Factor de Seguridad	Ponderación
Mayores a 1,5	1
Entre 1 y 1,5	2
Igual a 1	3
Entre 0,5 y 1	4
Menores a 0,5	5

Tabla 7. Ponderación de los factores de seguridad en los taludes infinitos.

A continuación se presenta una tabla de la correlación de los valores de factor de seguridad y la estimación de estabilidad de los taludes según dicho factor.

Estimación de Estabilidad	Correlación Numérica
Seguro	1
Muy estable	2
Estable	3
Inestable	4
Muy Inestable	5

Tabla 8. Correlación numérica de la estimación de estabilidad de los Taludes.

Otro mapa que se generó es el relacionado con la información procedente del subsuelo, para el que se utilizó como parámetro de medición el colapso de una estructura tipo túnel, al cual se proyectó su excavación en una profundidad estimada de 20 metros tomando como datum la superficie y medidos los mismos hasta la clave del túnel. Esta estimación se llevó a cabo usando una modificación de lo propuesto por el Sólido de Terzagui (1945), bajo las recomendaciones AFTES (Asociación Francesa de Obras Subterráneas, por su siglas en francés) aplicado a suelos granulares poco cohesivos.

Seguidamente se encuentra las ecuaciones utilizadas para cálculo del esfuerzo vertical.

#### Recomendaciones AFTES

Ancho del material suelto por encima del túnel (b).

$$b = B + 2Ht \cdot \text{tg}(45 - \varphi/2)$$

Altura del material suelto por encima del túnel (Hp).

Como la cobertura (H) cumple con la condición de  $b < H < 2,5 b$ , entonces se utiliza la siguiente ecuación.

$$H_p = (b - 2c/\gamma) (1 - e^{-2Ht\text{tg}\varphi/b}) / 2\text{tg}\varphi$$



Para el cálculo del esfuerzo vertical ( $\rho_v$ ), éste se realizó con la siguiente ecuación basada en la teoría del sólido de Terzagui para suelos.

$$\rho_v = H_p * \delta.$$

Donde  $\delta$  es la densidad del material.

A continuación se presenta una figura en la cual se muestra la geometría propuesta por AFTES.

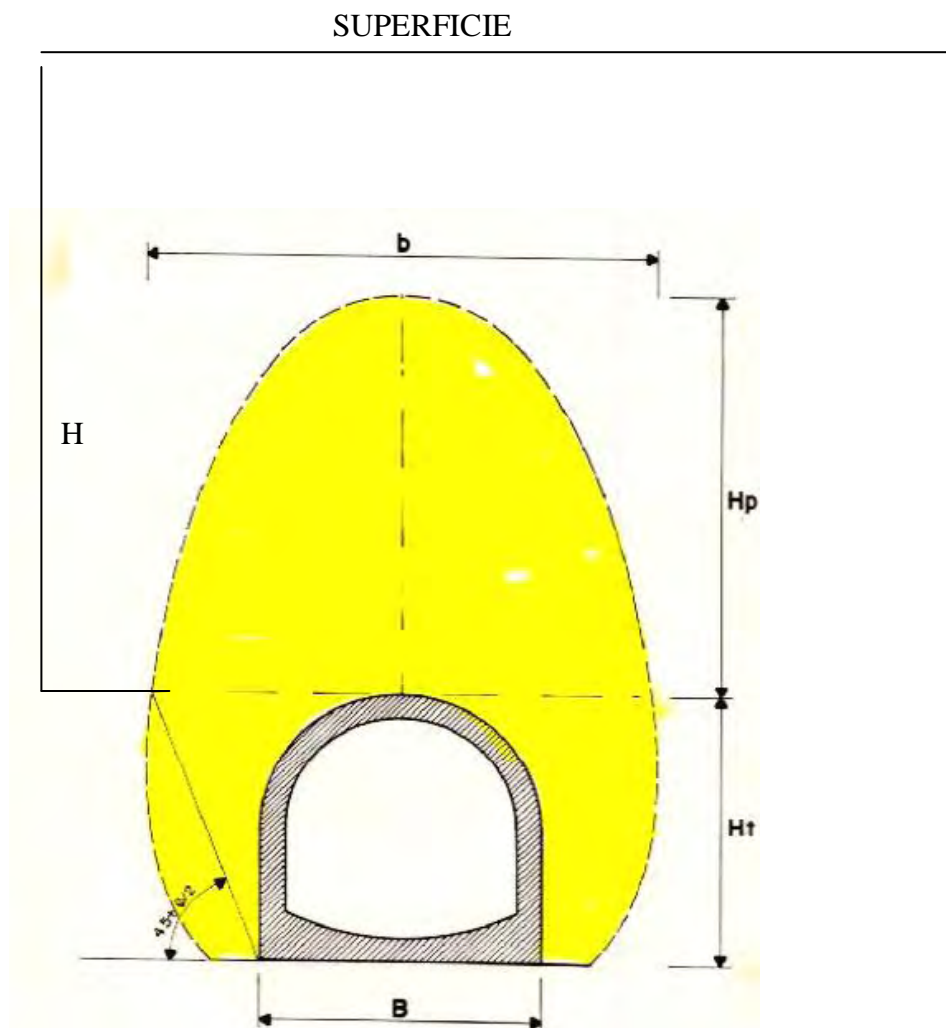


Fig. 3 Representación geométrica de los parámetros representados por AFTES (De Marco, 1995)

Comentario: en la figura 3 se observa la altura  $H_p$  que muestra el material suelto que esta por encima de la clave del túnel.

Los resultados de la operación de los valores asignados al cálculo de los esfuerzos verticales se encuentran plasmados en el anexo número 2.

Una vez obtenidos los esfuerzos verticales que operan sobre el túnel, se les asignó una clasificación numérica, la cual se distribuyó de la siguiente manera:

Rango de Esfuerzo Vertical	Ponderación
De 6,56 a 9,48 Ton/m <sup>2</sup>	5
De 9,48 a 12,4 Ton/m <sup>2</sup>	10
De 12,4 a 15,32 Ton/m <sup>2</sup>	15

Tabla 9. Ponderación de los esfuerzos Verticales presentes en el túnel

Una vez realizada la ponderación de los esfuerzos verticales actuantes en el túnel, se procedió a asignar una correlación entre los valores de la ponderación y la cantidad de esfuerzo aplicado al túnel.

Esta correlación se presenta en la tabla a continuación:

Estimación de esfuerzo vertical sobre el túnel	Correlación Numérica
Bajo	5
Medio	10
Alta	15

Tabla 10. Correlación numérica de la estimación de esfuerzos verticales

#### 1.5.3.4. Desarrollo de la aplicación (álgebra de capas)

Una vez obtenidos todos los mapas con los cuales se va a operar el proceso de álgebra de capas, para el desarrollo de la aplicación es necesario que dichos mapas posean ciertas características iguales entre si, ya que sin estas características sería imposible que el programa los reconozca y los opere. Estas características deben ser las siguientes:

a) El tamaño de las celdas de los mapas (*pixel*) deben ser homogéneas. En el caso de los mapas operados en este proyecto el tamaño asignado a las celdas de los mapas fue de 50x50 centímetros (4 pixels por metro cuadrado). Estos valores se asignan en el momento de hacer la reclasificación de las características del mapa.

b) Todos los polígonos y áreas presentes en los mapas deben poseer un valor asignado en la respectiva tabla de atributos de cada mapa. En los mapas operados en este proyecto se les asignó valores que van del 1 al 5 a todos los polígonos pertenecientes a los mapas de pendientes, vulnerabilidad, procesos geodinámicos y factores de seguridad; y se le asignó valores de 5, 10 y 15 puntos a cada renglón del mapa de esfuerzos verticales sobre el túnel (mapa de subsuelo), ya que estos esfuerzos verticales son la principal causa de amenaza en el momento de generar un mapa de riesgo a partir del mapa de esfuerzos y un mapa de vulnerabilidad en superficie.

c) Todos los mapas a operar bajo el proceso de álgebra de capas deben estar salvados como una extensión de tipo “*Shapefile*”, ya que este es el único formato identificado por el *software* para operar algebraicamente datos presentes en un mapa que trabajo bajo su ambiente.

Una vez homogenizados los mapas entre sí, y estandarizados sus atributos, se procede a realizar el proceso de álgebra de capas. En el caso de los mapas generados en este proyecto se realizó una suma algebraica de polígonos no equivalentes pertenecientes a cada mapa, lo cual arrojó como resultado un mapa de riesgo geológico en superficie que fue clasificado en 5 categorías, las cuales se describen a continuación:

<b>Riesgo Geológico</b>	<b>Ponderación</b>
Riesgo muy bajo o nulo	1
Riesgo bajo	2
Riesgo medio	3
Riesgo alto	4
Riesgo muy Alto	5

Tabla 11. Clasificación de los Riesgos Geológicos.

Una vez clasificados los riesgos geológicos, a continuación se presenta la secuencia de pasos de cómo genera la aplicación el proceso de álgebra de capas.

a) Se selecciona la herramienta *Spatial Analyst*. Esta despliega varias opciones, de las cuales se selecciona la identificada como *Raster Calculator*.

b) Una vez ejecutada la secuencia de comandos anteriores, se despliega un cuadro de diálogo en el cual se introducen y operan los diferentes mapas, asignando la posición de cada uno dentro de la ecuación a procesar.

c) Luego de vaciar la información algebraica usando los mapas como factores de una ecuación, se presiona el botón “*Evaluate*”. En el caso de este proyecto la operación algebraica realizada con los mapas fue una sumatoria de polígonos de área no equivalentes presenten en cada uno de los mapas generados.

d) Enseguida de realizado el paso anterior en su totalidad, el software procede a plottear el mapa producto de la operación de los mapas previos, asignando aleatoriamente características de simbología en dicho mapa y guardando el mismo en un archivo temporal.

e) Obtenido este mapa, es necesario reclasificar el mismo asignando los valores determinados para la presentación de los datos generados por el álgebra de capas en él. Esto se realiza seleccionando de nuevo la herramienta “*Spatial Analyst*” y se selecciona la opción “*Reclassify*”. Una vez hecho, esto se abre un nuevo cuadro de diálogo en el cual se establece el nombre del mapa a reclasificar; en este caso, sería el identificado con el nombre de “*Calculation*” (nombre asignado por defecto por el *software* al generar un mapa producto de la herramienta álgebra de capas) y se le asigna la ubicación definitiva del nuevo mapa creado, así como el número de clases y la simbología requerida o establecida para el mapa producto.

A continuación se esquematiza de manera gráfica, todos los pasos previstos en la secuencia anteriormente descrita.

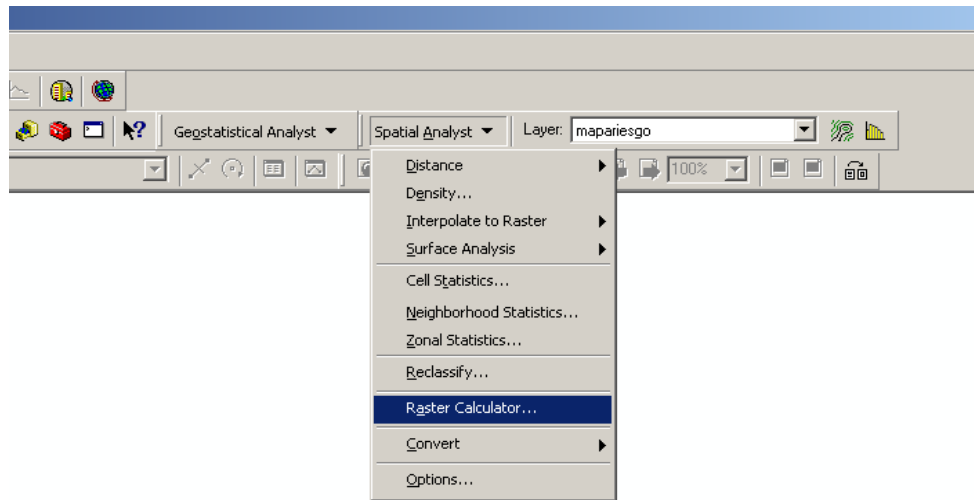


Fig. 4 Selección de la herramienta para el inicio del proceso de álgebra de capas.

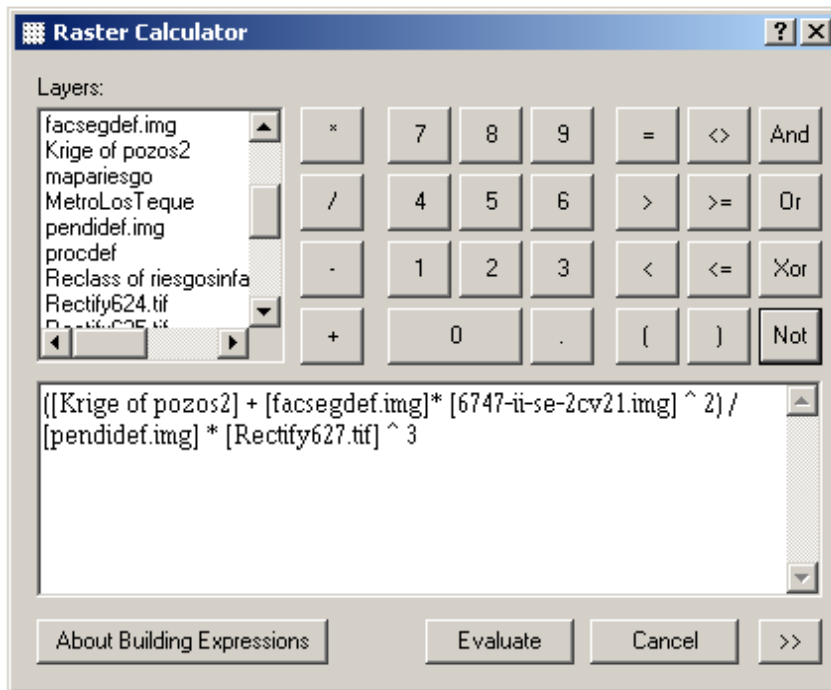


Fig. 5 Cuadro de diálogo en el cual se introducen la expresión algebraica a operar con los mapas seleccionados.

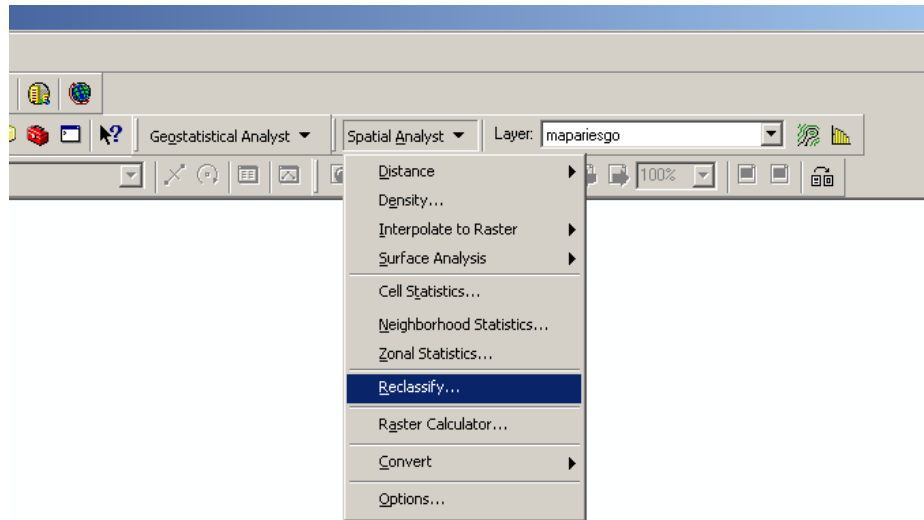


Fig. 6. Selección de la herramienta para la reclasificación del mapa generado por el proceso de álgebra de capas.

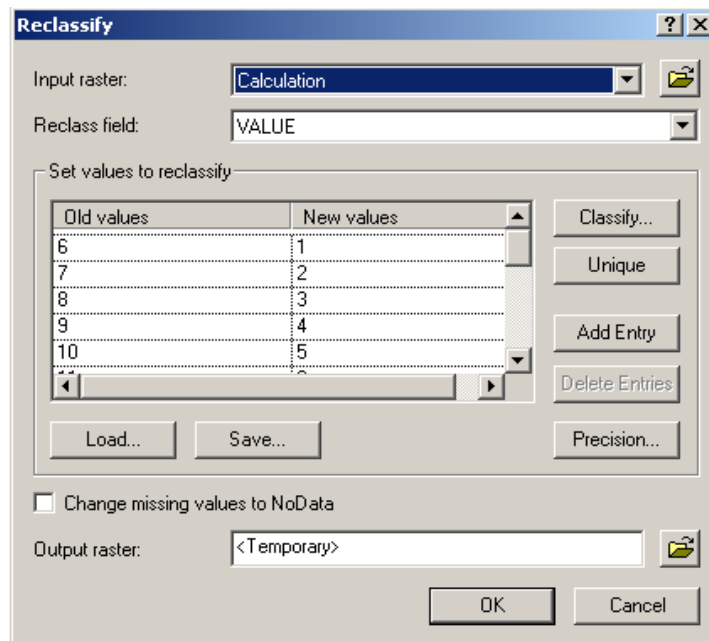


Fig.7. Cuadro de dialogo donde se selecciona y reclasifican los parámetros del mapa producto.

## **CAPÍTULO II**

### **2.1 MARCO TEÓRICO**

#### **2.1.1 TELEDETECCIÓN Y SENSORES REMOTOS**

“La teledetección es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre de sensores instalados en plataformas espaciales, mediante la interacción energética entre la energía solar y el cuerpo a ser detectado (Chuvieco, 1990). Las cámaras y otros instrumentos que registran esta información se denominan sensores, que son transportados en aviones y satélites artificiales (plataforma), estos sistemas de teledetección se emplean de forma habitual para el reconocimiento, la generación de mapas y la observación de los recursos y el medio ambiente de la tierra; aunque, también se han empleado para explorar otros planetas” (Salazar, 2004).

#### **2.1.2 USO DE LA HERRAMIENTA DE MANEJO DE IMÁGENES SATELITALES.**

El análisis de la dinámica de la cobertura y riesgo geológico se realizó con base en imágenes de satélite tipo SPOT 5 de enero de 2006. El procesamiento digital se realizó con el software Erdas Imagine versión 8.2. Los procesos de edición y diseño de las coberturas topológicas necesarias para su uso en ArcGIS® se realizaron desarrollando un análisis espectral sencillo, el cual consistió en agrupar características similares entre los elementos presentes en la imagen utilizando la variación de frecuencias presente en la imagen (bandas).

#### **2.1.3 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

Un sistema información geográfica (SIG) es una herramienta computacional para trazar y analizar cosas que existan y sucesos que ocurren sobre la tierra.

La tecnología SIG integra operaciones comunes de base de datos tales como preguntas y análisis estadísticos con la visualización única y los beneficios geográficos de análisis ofrecidos por mapas. Estas capacidades distinguen un SIG de los otros sistemas de información, el cual amplía su uso en empresas públicas y

privadas para explicar sucesos, prediciendo resultados y estrategias planificadoras. (ESRI, 1998).

#### **2.1.4 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN DE ÁLGEBRA DE CAPAS BAJO SOFTWARE ARCGIS®**

Según la Universidad de Murcia, en su temario número 5 relacionado a la teledetección, uno de los usos fundamentales de los Sistemas de Información Geográfica es la obtención de nuevas capas de información a partir de otras previamente disponibles. Para ello se dispone de un conjunto de herramientas de cálculo con matrices de datos que reciben el nombre genérico de álgebra de capas.

El álgebra de capas incluye un amplio conjunto de operadores que se ejecutan sobre una o varias capas raster de entrada para producir una o varias capas raster de salida. Por operador se entiende un algoritmo que realiza una misma operación en todas las celdas de una capa raster. Estos operadores se definen mediante ecuaciones; por ejemplo, el operador  $B = A * 100$  genera una nueva capa (B) asignando a cada celda el valor de la celda correspondiente en la capa (A) multiplicado por 100. Cada capa raster es una matriz de números y la operación se realiza para todos los números de la matriz, por tanto para todas las celdas de la capa raster.

Sin embargo, aunque ambas operan sobre matrices, el álgebra de capas tiene poco más que ver con el concepto matemático de álgebra matricial. (Alonso, 2003-2004).

##### **2.1.4.1. Operadores en álgebra de capas.**

Pueden definirse infinitos operadores, aunque normalmente se clasifican en función de las celdas implicadas en el cálculo en:

- ❖ Operadores locales
- ❖ Operadores de vecindad o focales
- ❖ Operadores de bloque
- ❖ Operadores de área
- ❖ Operadores de área extendida



❖ Operadores globales

**2.1.4.2. Operadores estadísticos**

Calculan un valor estadístico (media, desviación típica, mínimo, máximo, etc.) a partir de los valores de todas las celdas que forman la vecindad y lo adjudican a la celda central en la capa de salida. Por ejemplo se puede establecer un índice de diversidad del paisaje que sería el número de usos del suelo diferentes en las 25 (5x5) celdas más próximas a una celda dada. (ver Fig. 16), (Alonso, 2003-2004 )

**2.1.4.3. Operadores direccionales**

Permiten estimar un conjunto de parámetros relacionados con la ubicación de los diferentes valores dentro de la vecindad. Su utilidad primordial es el análisis de Modelos Digitales de Terreno (pendiente, orientación, curvatura, etc.).

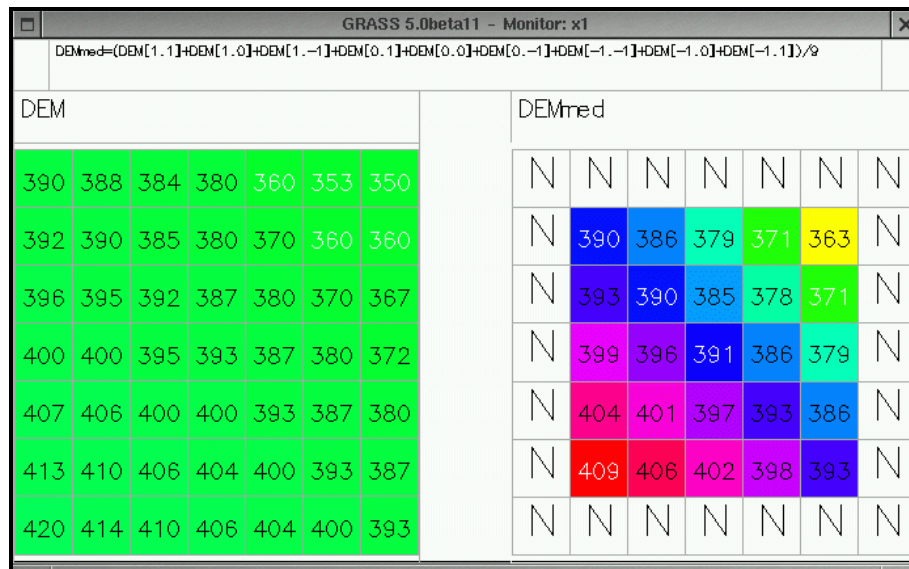


Fig.8 Operador de vecindad, filtro de la media.

#### **2.1.4.4. Operadores de vecindad extendida, operadores extendidos**

Son aquellos que afectan a zonas relativamente extensas que cumplen determinado criterio pero cuya localización precisa no se conoce *a priori*. Por tanto, el operador (programa) debe determinar en primer lugar cual es el área (conjunto de celdas) que cumple dichas características. Entre los casos más habituales están:

a) Identificación de polígonos homogéneos en mapas de variable cualitativa. Se parte de una variable cualitativa, como pueden ser los usos del suelo, y se obtiene un mapa en el que a cada una de las agrupaciones homogéneas con el mismo valor se le asigna un identificador único, de este modo se convierten en un mapa de entidades (polígonos).

b) Áreas situadas a una distancia, inferior a un valor umbral, de un objeto definido por una o varias celdas. Se genera así una zona tampón (*buffer*). El resultado sería una capa en la que se codificaría de un modo el objeto, de otro modo el área tampón, y de un tercero el área exterior al tampón.

c) Líneas de flujo y cuencas de drenaje. Puede construirse otro que de modo recursivo genere la línea de flujo que seguiría un volumen de agua depositado sobre el territorio. La unión de todas las líneas de flujo que coinciden a un punto constituye la cuenca de drenaje de ese punto. Dada una celda, incluye todas las que drenan a este. Se trata de un operador fundamental en el desarrollo de modelos hidrológicos. (Alonso, 2003-2004).

#### **2.1.4.5. Operadores de área o zonales.**

Son aquellos que calculan algún parámetro (superficie, perímetro, índices de forma, distancias, estadísticos) para una zona previamente conocida. Puede tratarse de diferentes niveles de una variable cualitativa (superficies con diferente litología por ejemplo) o digitalizada e introducida por el usuario.

Uno de los casos más habituales es la obtención del valor medio de una variable cuantitativa para diferentes valores de una variable cualitativa. Por ejemplo, obtener

la altitud media para cada tipo de uso de suelo a partir de un mapa de elevaciones y de otro de usos del suelo.

Otro caso interesante es el cálculo de la superficie ocupada por cada uno de las entidades en un mapa de polígonos o por cada uno de los valores de una variable cualitativa (en ambos casos el operador es el mismo).

La utilidad de este tipo de operadores es que permiten superar los análisis, celda a celda, característicos de los operadores locales o de vecindad para llevar a cabo análisis sobre agrupaciones homogéneas de celdas.

Permitirán por ejemplo calcular la pendiente media de una parcela de terreno. (Alonso, 2003-2004).

### **2.1.5 FORMATO RASTER. ÁLGEBRA DE CAPAS.**

#### **2.1.5.1. Operadores globales**

Son aquellos que afectan a toda la capa raster, se basan en el concepto de distancia.

**2.1.5.2. Operador distancia euclidiana**, permite calcular para todas las celdas su distancia a una serie de entidades en una capa raster.

**2.1.5.3. Operador distancia ponderada**, permite introducir el concepto de fricción que es el coste de atravesar cada celda. Si, por ejemplo, tratamos de determinar el camino más corto a pie hacia un yacimiento en mitad de una sierra, debería tenerse en cuenta la mayor o menor facilidad para atravesar las diferentes celdas (debido a la pendiente, vegetación, presencia de caminos, etc.)

**2.1.5.4. Operador entidad más cercana**, complementario de los anteriores ya que indica, para cada celda, cuál es la entidad más cercana. Resulta de utilidad para resolver problemas de distribución de servicios (hospitales, colegios, etc.)

La utilización del operador extendido línea de flujo sobre capas que representen distancias o distancias ponderadas permite determinar la distancia más corta entre dos puntos teniendo en cuenta los diferentes factores que influyen en el coste de atravesar una celda. (Alonso, 2003-2004).

## **2.1.6 CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS**

### **2.1.6.1. Suelos (Descripción y características)**

Formación natural en superficie de estructura muelle y de espesor variable resultante de la transformación de la roca madre subyacente bajo la acción de diversos procesos físicos, químicos o biológicos. Está constituido por elementos minerales y orgánicos. En un corte vertical del suelo (perfil) desde la superficie hasta la roca no alterada, se distinguen varios horizontes, caracterizados por la posición que ocupan, su quimismo, su grado de desmigajamiento y su espesor. En el suelo arraigan las raíces de las plantas, y en él viven los organismos más pequeños (bacterias, hongos, gusanos), y en parte otros animales más desarrollados del suelo (hamsters, topos).

Los horizontes del suelo son el resultado de factores pedogénicos; como consecuencia de ello y, sobre todo, bajo el influjo del clima (precipitaciones, humedades), se originan diferentes tipos de suelos, cada uno con un determinado perfil. Aparte de la clasificación climática de los suelos, distingue entre suelos de arena, ligeros (permeables, frecuentemente pobres en materias alimenticias), y suelos de arcilla, pesados; entre ambos tipos generales son muchos los suelos intermedios: de arena limosa, de limo arenosos, de limo arcillosos, etc. Según el tipo de suelo, la reacción es ácida, neutra o alcalina. (Obando, 2009).

### **2.1.6.2. Riesgo geológico**

Los riesgos geológicos pueden ser entendidos como una circunstancia o situación de peligro, pérdida o daño social y económico, debido a una condición geológica o a una posibilidad de ocurrencia de proceso geológico, inducido o no. (Augusto Filho et al., 1990). Ayala Carcedo (1987) entiende riesgo geológico como: “Todo proceso, situación u ocurrencia en el medio geológico, natural, inducida o mixta, que puede generar un daño económico o social para alguna comunidad, y en cuya previsión, prevención o corrección se emplearan criterios geológicos”. Los riesgos geológicos

forman parte de un conjunto amplio de riesgos, que estarían englobados entre los riesgos ambientales, y agrupados en clases, según su origen. Grosso modo, los riesgos ambientales pueden separarse en dos tipos: los de origen natural y los de origen tecnológico.

Y según Ogura y Soares (1994), el área de riesgos geológicos utiliza el conocimiento de los procesos de naturaleza geológica para la prevención de accidentes, y se caracteriza también por abarcar conceptos, métodos y técnicas de análisis y administración de riesgo relacionados con otras ramas profesionales ligadas al área industrial, defensa civil y compañía de seguros.

Los términos de uso corriente como peligro, riesgo y amenaza, utilizados muchas veces como sinónimos, necesitan en los estudios de prevención de accidentes, de definiciones de criterios:

- a) Peligro (*hazard*): amenaza potencial a personas y/o bienes.
- b) Riesgo (*risk*): posibilidad que eventos peligrosos produzcan consecuencias indeseables. Es el peligro presentado, mejor evaluado; es decir, una pérdida potencial evaluada.
- c) Evento geológico (*geological event*): acontecimiento, fenómeno o proceso geológico.

El Análisis de Peligros (*Hazard Evaluation*) es una técnica de naturaleza predictiva que identifica los tipos de eventos peligrosos, determina la frecuencia de tales eventos y define las condiciones espaciales y temporales de su ocurrencia.

El Análisis de Riesgos (*Risk Analysis*) es una técnica que, a partir del análisis de peligros, trata de cuantificar las informaciones, correlacionando la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos con la probabilidad de consecuencias indeseables, estimándose los daños y realizándose estudios de vulnerabilidad. (Cooper sf.)

### **2.1.6.3. Sondeos geotécnicos en suelo**

Los sondeos geotécnicos se caracterizan por su pequeño diámetro y por la ligereza, versatilidad y fácil desplazamiento de las máquinas. Estas pruebas pueden alcanzar

una profundidad de unos 150 m, a partir de la cual los equipos son más pesados. Permiten atravesar cualquier tipo de material, así como extraer testigos y efectuar ensayos en su interior. Los procedimientos de perforación dependen de la naturaleza del terreno y del tipo de muestreo y testificación que se vaya a realizar. Los más usuales son los sondeos a rotación y los sondeos a percusión.

Los sondeos a rotación pueden perforar cualquier tipo de suelo o roca hasta profundidades muy elevadas y con distintas inclinaciones. La profundidad habitual no excede los 100 metros, aunque pueden alcanzarse los 1000 metros.

La extracción de testigos es continua y el porcentaje de recuperación del testigo con respecto a la longitud perforada puede ser muy alto, dependiendo del sistema de extracción. Algunos tipos de materiales son difíciles de perforar a rotación, como las gravas y los bolos o las arenas finas bajo el nivel freático, debido al arrastre del propio fluido de perforación.

En un sondeo a rotación, el sistema de perforación consta de los siguientes elementos integrados en las baterías: cabeza, tubo portatestigos, extractor, manguito, portaextractor y corona de corte.

La perforación a rotación se puede efectuar con circulación de agua, o lodo bentonítico, o en seco, aunque haya presencia de agua o lodo en el taladro. La circulación normalmente es directa, con flujo descendente a través del varillaje.

Para obtener buenos resultados y rendimientos la técnica operativa debe ser adaptada a la naturaleza del terreno, con una oportuna selección del tipo de sonda, de la batería y de la corona, adecuado también la velocidad de rotación, la presión sobre la corona y la frecuencia de las maniobras según el material que se perfore.

Los sondeos a percusión se utilizan tanto en suelos granulares como en suelos cohesivos, pudiendo atravesar suelos de consistencia firme a muy firme. Este tipo de sondeos puede alcanzar profundidades de hasta 30 ó 40 metros, si bien las más frecuentes son de 15 a 20 metros. El sistema de perforación consiste en la hinca de tubos de acero mediante el golpeo de una maza de 120 kg que cae desde una altura de 1 m. Se deben contar sistemáticamente los golpes necesarios para la penetración de

cada tramo de 15 cm durante los últimos 45 cm de cada metro perforado, lo que permite conocer la compacidad del suelo atravesado. Las tuberías empleadas, que pueden tener diámetros exteriores de 91, 128, 178 y 230 mm, actúan entibación durante la extracción de muestras mediante cucharas. (Obando, 2009).

#### **2.1.6.4. Ensayo de penetración estándar (SPT).**

La realización del ensayo SPT (*Standard Penetration Test, Ensayo Normal de Penetración*) consiste en clavar 60 centímetros en el terreno un cono normalizado, contando el número de golpes necesarios para penetrar tramos de 15 cm. Se realiza mediante una maza de 63.5 kg que cae desde una altura de 76 cm. Los valores de golpeo de los dos tramos centrales de 15 cm sumados nos dan el parámetro  $N_{spt}$ . Cuando el terreno es muy resistente se para la prueba cuando se aplican 80 golpes para un tramo de 15 cm (RECHAZE, R) anotando la penetración realizada.

El parámetro  $N_{SPT}$  nos permite calcular la resistencia a la penetración dinámica por punta y se correlaciona con los parámetros geomecánicos .

Sus aplicaciones son:

- ❖ Determinación del perfil de resistencia del terreno.
- ❖ Densidad relativa y ángulo de rozamiento interno en suelos granulares.
- ❖ Capacidad portante de cimentaciones superficiales y profundas.
- ❖ Cálculo de asentamientos por métodos empíricos.
- ❖ Control de calidad de tratamientos del terrenos. (Vallejo 2004).

A continuación se presenta una tabla de correlación de los valores de SPT con la densidad relativa y la consistencia de suelos arcillosos.

<b>Resistencia a la penetración Nª de golpes</b>	<b>Densidad Relativa Suelos Arenosos</b>	<b>Consistencia Suelos Arcillosos</b>
< 4	Muy suelta	
4 a 10	Suelta	
11 a 30	Mediana	
31 a 50	Densa	
> 50	Muy Densa	
<2		Muy Blanda
2 a 4		Blanda
5 a 8		Mediana
9 a 15		Firma
16 a 30		Muy Firme
> 30		Dura

Tabla 12. Correlación de parámetros de compacidad y consistencia con SPT.

#### **2.1.6.5. Ángulo de fricción**

En ingeniería, el ángulo de rozamiento interno es una propiedad de los materiales granulosos. El ángulo de rozamiento tiene una interpretación física relacionada con el ángulo de reposo o máximo ángulo posible para la pendiente de una determinada cantidad de material granular. En un material granular, cualquier ángulo de reposo está determinado por la fricción, la cohesión y la forma de las partículas, pero en un material sin cohesión y donde las partículas son muy pequeñas en relación a la cantidad de material utilizado, el ángulo de reposo coincide con el ángulo de rozamiento interno.

Es especialmente importante en mecánica de suelos para determinar tanto la capacidad portante como la resistencia al deslizamiento de un terreno arenoso.”

(Botz et al, 2003; Braja Das, 2008).



#### **2.1.6.6. Cohesión**

“Esta fuerza es debida a atracción molecular en razón, a que las partículas de arcilla presentan carga superficial, por una parte y la atracción de masas por las fuerzas de Van der Waals, por otra (Gavande, 1976). Además de estas fuerzas, otros factores tales como compuestos orgánicos, carbonatos de calcio y óxidos de hierro y aluminio, son agentes que integran el mantenimiento conjunto de las partículas. La cohesión, entonces es la atracción entre partículas de la misma naturaleza.” (Botz et al, 2003).

#### **2.1.6.7. Límites de Atterberg o de consistencia**

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. El nombre de estos es debido al científico sueco Albert Mauritz Atterberg. (1846-1916). Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico y, finalmente, líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

Los ensayos se realizan en el laboratorio y miden la cohesión de terreno y su contenido de humedad, para ello se forman pequeños cilindros de 3mm de espesor con el suelo. Siguiendo estos procedimientos se definen tres límites:

- a) Límite líquido: Cuando el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.
- b) Límite plástico: Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.
- c) Límite de retracción o contracción: Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad. (Lambe 1997).

#### **2.1.6.8. Granulometría**

“Ensayo que se realiza en suelos para determinar el rango de tamaños de partículas presentes como un porcentaje en peso de la masa total seca. Se usan normalmente dos métodos para encontrar la distribución: Análisis por Cribado o sacudido y análisis con hidrómetro.” (Braja Das, 2008)

#### **2.1.6.9. Vulnerabilidad**

“Condición en la cual los asentamientos humanos o las edificaciones de encuentran en peligro en virtud de su proximidad a una amenaza, la calidad de la construcción o ambos factores. (Cuny sf.). Incapacidad de una comunidad para "absorbe" mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente. Inflexibilidad ante el cambio. Incapacidad de adaptarse al cambio, que para la comunidad constituye, por las razones expuestas, un riesgo”. (Wilches-Chaux 1988).

#### **2.1.6.10. Amenaza**

“Un evento de la naturaleza, tal como un terremoto. Existen amenazas de dos tipos, primaria y secundaria. La primaria afecta asentamientos humanos. La secundaria surge con posterioridad a la primaria y contribuye a aumentar las pérdidas y el sufrimiento. (Cuny sf.) Probabilidad de ocurrencia de un evento o resultado no deseable, con una cierta intensidad en un cierto sitio y en un cierto período de tiempo. Está constituida por los factores de riesgo externos, que pueden ser modificables, pero más a menudo no lo son: proximidad de un volcán activo, proximidad de un río caudaloso, zona que experimenta movimientos sísmicos frecuentes y de gran intensidad, proximidad de una industria como productos contaminantes, etc.” (Cooper sf.)

#### **2.1.6.11. Riesgo**

“Grado de pérdidas previstas en vidas humanas, personas lesionadas o heridas, pérdidas materiales y perturbaciones de la actividad económica debidas a un fenómeno determinado. (ONAE, 1987). Cualquier fenómeno de origen natural o

humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a ese fenómeno.” (Wilches-Chaux, 1998).

### 2.1.6.12. Ensayos geotécnicos de laboratorio aplicados a suelo

Los principales ensayos geotécnicos realizados en laboratorio así como la norma internacional que los regula se presentan resumidos a continuación en la siguiente tabla:

SUELOS Y AGREGADOS									
CODIGO	ENSAYO	NORMA DE ENSAYO							
		NTP	AÑO	ASTM	AÑO	AASHTO	AÑO	MTC	AÑO
USA-01	Contracción del Suelo Mediante el Método del Mercurio	339.140	1999	D-427	2004	T-92	2001	MTC E-112	2000
USA-02	Obtención en Laboratorio de Muestras Representativas (cuarteo manual)	339.089	1998	C-702	2003	T-248	2002	MTC E-105	2000
USA-03	Contenido de Humedad de un Suelo	339.127	1998	D-2216	1998	T-265	2004	MTC E-108	2000
USA-04	Análisis Granulométrico (Por Tamizado)	339.128	1999	D-422	2002	T-88	2004	MTC E-107 MTC E-109	2000
USA-05	Análisis Granulométrico (Por Tamizado y por Sedimentación)	339.128	1999	D-422	2002	T-88	2004	MTC E-107 MTC E-109	2000
USA-06	Límite Líquido (MALLA Nº 40)	339.129	1999	D-4318	2000	T-89	2002	MTC E-110	2000
USA-07	Límite Líquido (MALLA Nº 200)	339.129	1999	D-4318	2000	T-89	2002	MTC E-110	2000
USA-08	Límite Plástico (MALLA Nº 40)	339.129	1999	D-4318	2000	T-90	2004	MTC E-111	2000
USA-09	Límite Plástico (MALLA Nº 200)	339.129	1999	D-4318	2000	T-90	2004	MTC E-111	2000
USA-10	Peso Específico Relativo de las Partículas Sólidas de un Suelo	339.131	1999	D-854	2002	T-100	2003	MTC E-113	2000
USA-11	Determinación del material que pasa el tamiz Nº 200	339.132	1999	D-1140	2000	--	--	--	--

USA-12	Clasificación de Suelos para propósitos de Ingeniería (SUCS)	339.134	1999	D-2487	1993	--	--	--	--
USA-13	Clasificación de Suelos para el uso en Vías de Transporte (AASHTO)	339.135	1999	D-3282	2004	--	--	--	--
USA-14	Determinación del índice de Densidad y Peso Unitario mínimo de Suelos y Cálculo de la Densidad Relativa (PUS)-(No Usado)	339.138	1999	D-4254	2000	--	--	--	--
USA-15	Peso Volumétrico de Suelos Cohesivos	339.139	1999	--	--	--	--	--	--
USA-16	Equivalente de Arena de Suelos y Agregado Fino	339.146	2000	D-2419	2002	T-176	2002	MTC E-114	2000
USA-17	Análisis Granulométrico del Agregado (Grueso, Fino y Global)	400.012	2001	C-136	2005	T-27	2005	MTC E-204	2000
USA-18	Terrones de Arcilla y Partículas Desmenuzables en los Agregados	400.015	2002	C-142	2004	T-112	2004	MTC E-212	2000
USA-19	Inalterabilidad de los Agregados finos por Medio del Sulfato de Sodio o Magnesio (Durabilidad)	400.016	1999	C-88	1999	T-104	2003	MTC E-209	2000
USA-20	Inalterabilidad de los Agregados gruesos por Medio del Sulfato de Sodio o Magnesio (Durabilidad)	400.016	1999	C-88	1999	T-104	2003	MTC E-209	2000
USA-21	Peso Unitario suelto de los Agregados	400.017	1999	C-29	2003	T-19	2004	MTC E-203	2000
USA-22	Peso Unitario varillado de los Agregados	400.017	1999	C-29	2003	T-19	2004	MTC E-203	2000
USA-23	Determinación de material más fino que pasan tamiz N° 200 (0,75 um) por lavado en agregados	400.018	2002	C-117	1995	T-11	1991	MTC E-202	2000
USA-24	Resistencia Agregados Gruesos de Tamaños Menores por Abrasión e Impacto en la Máquina de los Ángeles	400.019	2002	C-131	2003	T-96	2002	MTC E-207	2000
USA-25	Resistencia Agregados Gruesos de Tamaño Grande por Abrasión e Impacto en la Máquina de los Ángeles	400.020	2002	C-535	2003	--	--	MTC E-207	2000

USA-26	Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso	400.021	2002	C-127	2004	T-85	2004	MTC E-206	2000
USA-27	Peso Específico y Absorción del Agregado Fino	400.022	2002	C-128	2004	T-84	2004	MTC E-205	2000
USA-28	Impurezas Orgánicas en Arenas (Cualitativo)	400.024	1999	C-40	2004	T-21	2005	MTC E-213	2000
USA-29	Partículas Chatas y Alargadas del Agregado Grueso	400.040	1999	D-4791	1999	.-	.-	.-	.-
USA-30	Índice de Aplanamiento y Alargamiento	.-	.-	.-	.-	.-	.-	MTC E-221	2000
USA-31	Humedad Superficial en el Agregado Fino	.-	.-	C-70	2001	T-42	1992	.-	.-
USA-32	Carbón y Lignito o Partículas Livianas en el Agregado	400.023	1979	C-123	2004	T-113	2002	MTC E-211	2000
USA-33	Cálculo del Módulo de Fineza del Agregado Fino	.-	.-	C-125	2003	.-	.-	.-	.-
USA-34	Contenido de Humedad Total de los Agregados por Secado	339.185	2002	C-566	2004	T-255	2004	.-	.-
USA-35	Porcentaje de Caras de Fractura en el Agregado Grueso, (1 a más)	.-	.-	D-5821	2001	.-	.-	MTC E-210	2000
USA-36	Porcentaje de Caras de Fractura en el Agregado Grueso, (2 a más )	.-	.-	D-5821	2001	.-	.-	MTC E-210	2000

Tabla 13. Ensayos de Laboratorio y la norma que los rige. (Instituto Peruano de geología, 2009)

## 2.1.7 Geología Regional

### 2.1.7.1 Esquisto de Las Brisas

a) Metaconglomerado de Baruta.

Dengo (1951) amplía la descripción y propone incluir en la formación, los esquistos comprendidos entre la Caliza de Zenda y la Caliza de Antímano. También destacados unidades dentro de la formación: la Caliza de Zenda (que define como miembro) y el gneis microclínico, sin rango.

b) Metaconglomerado de La Mariposa.

Wehrmann (*op. cit.*) afirma que la Formación Las Brisas, está constituida en un 90% de esquistos cuarzo-feldespático-moscovíticos; el 10% restante lo constituyen, en orden de abundancia, esquistos cuarzo-feldespáticos, epidóticos o cloríticos, calizas, cuarcitas y metaconglomerados. Menciona igualmente, mineralizaciones pobres de cobre en algunas calizas, en forma de sulfuros y sulfatos. Este autor no menciona el gneis microclínico de Dengo, pero hace referencia a conglomerados y areniscas intraformacionales, ricas en microclino (15%), sin hacer referencia a su relación con los gneises del mismo género.

c) Mármol de Zenda.

Dengo (*op. cit.*) observa que la mayor parte de la formación, está constituida por esquistos cuarzo-micáceo, en el que se incluye gneis microclínico, esquistos granatíferos, cuarcitas y calizas.

Geología Estructural.

WEHRMANN (*op. cit.*) menciona que en la Fm. Las Mercedes, en la carretera Petare – Santa Lucia, debido al cizallamiento producto del volcamiento de las estructuras se logra apreciar un clivaje incipiente paralelo al plano axial de los ejes del plegamiento. WHITTEN (1966) le denomina foliación crenulada y refiere que es producto de una nueva foliación (S2), perpendicular a la foliación original (S1), que sufre cizallamiento a lo largo de sus planos en la zona de los ejes de los micropliegues.

### **2.1.7.2. Esquisto de Las Mercedes**

a. Mármol de Los Colorados.

Aguerrevere y Zuloaga (*op. cit.*), la definen como esquistos principalmente calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas, de un tinte rosado, gris, con zonas blancas cuando frescas. Según 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.

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.

## **CAPÍTULO III**

### **3.1 GEOGRAFÍA FÍSICA**

#### **3.1.1 Clima**

El clima de la zona varía de norte a sur debido a la diferencia de alturas que se presentan entre ambos límites. Al norte muestra síntomas de un clima templado algo húmedo con pequeñas o ninguna diferencia de agua y al sur un clima semihúmedo y semicálido (Zambrano,1970).

Tomando la clasificación de Koeppen (1932) en Zambrano (1970) se podría decir que en un 90% corresponde al tipo generalmente húmedo con pequeña a nula deficiencia de agua, mesotermal templado frío, con una eficiencia térmica de verano de 85,5%. La temperatura media anual para la zona es de 18 a 21 °C con temperaturas mínimas en enero de 15 a 17 °C y máximas en mayo. La humedad relativa anual es de 78% mayor en junio – julio y menor en febrero – abril. La precipitación anual promedio es de 1.200 mm con temperatura de lluvia entre junio – agosto.

#### **3.1.2. Vegetación**

En los municipios Carrizal y Guaicaipuro, la vegetación media; bosques ombrófilos montañosos sub - siempre verdes; bosques medios altos (25 - 30 metros) con dos a tres estratos arbóreos, abundantes epífitas y un sotobosque relativamente denso, muy desplazado por el uso urbano - industrial y agrícola (horticultura). Zona de vida: bosque seco Pre - montano.

#### **3.1.3. Drenaje**

La red hidrográfica de la región está conformada por cursos de agua que nacen en las zonas montañosas, donde se destacan el río San Pedro, el cual nace a 1800 msnm en el Topo El Arado y recorre toda la Parroquia Los Teques con una longitud de 25.29 kms hasta su desembocadura en el Río Macarao como tributario del Río Guaire en el sector Las Adjuntas. Este curso de agua es alimentado por quebradas como lo son Maturín, Las Guamas, Las Dantas, El Alambique, Camatagua y La Virgen.



Otro de los cursos de agua importantes en los Altos Mirandinos es el Río El Jarillo, que nace a 2200 m.s.n.m. en el cerro El Palmar en la Parroquia el Jarillo.

En el Municipio Carrizal, una de los principales curso de agua es la Quebrada Santa María, La Rinconada, Yagrumo y en el municipio Los Salías la Quebrada La Veguita.

En la zona existen dos embalses la Mariposa y Agua Fría.

## **CAPÍTULO IV**

### **4.1 RESULTADOS Y DISCUSIONES**

#### **4.1.1. DATOS GEOTÉCNICOS DEL LEVANTAMIENTO DE CAMPO**

##### **4.1.1.1. Datos geotécnicos de campo**

La información geotécnica utilizada fue suministrada por la empresa Odebrecht consorcio línea II, esta consistió en la entrega de ensayos de laboratorios tanto en suelo como en rocas donde resaltan las propiedades índices de estos materiales, a partir de esta información, se obtuvo la disposición espacial de los suelos y rocas plasmados en perfiles geomecánicos. Este último permitió conocer la cobertura de estos materiales ayudando así a delimitar el cambio tanto litológico como de su condición física.

##### **4.1.1.2. Geología local**

Geología de superficie

El levantamiento geológico del área se realizó haciendo un recorrido por zonas previamente escogidas de los análisis de las fotografías aéreas y las imágenes SPOT 5, una vez iniciada la campaña de campo se realizaron los respectivos ajustes para cubrir la zona completamente.

Se observaron afloramientos en tramos de cortes de carretera, en particular a lo largo de la carretera Panamericana, entrada de Los Cerritos y parte de La Macarena, hacia el norte del área (zona industrial Los Cerritos) se observan afloramientos naturales producto de la remoción de material debido a procesos de geodinámica superficial; este último es el más representativo y será explicado cuando se muestren los resultados de geodinámica externa.

##### **4.1.1.3. Litología.**

La roca encontrada en el área de estudio se describió como un **esquisto calcítico muscovítico grafitoso**, de color fresco gris claro blancuzco y color meteorizado pardo claro con tonos rozados a rojizos producto de la meteorización de minerales de

hierro, con eventuales vetas de cuarzo y de calcita paralelas, y en algunos casos cortando la foliación otro mineral que se observa es la Sericita, ésta se expone en la superficie del esquisto. La descripción corresponde con la unidad formal **Esquisto Las Mercedes**. En la figura 9 se observa las características del esquisto encontrados.



Fig. 9 Esquisto calcítico muscovítico grafitoso sericítico.

Hacia la zona de Carrizal, se observa el mismo cuerpo rocoso presente a lo largo de toda la zona de estudio, con presencia de intervalos más grafitosos; se observan cuerpos cuarzosos con alto grado de meteorización al punto de romper las características de dureza del mineral en sí, y convirtiéndolo en un material terroso siliciclástico.

#### 4.1.1.4. Geología estructural.

El estudio aerofotográfico muestra un arreglo de las filas dispuestas en dirección aproximada Este-Oeste. No se definen estructuras de deformación regional tipo antiforres y sinforres; los pliegues encontrados son pliegues parásitos apretados de orientación heterogénea. Se observan planos de foliación bien definidos al norte del área; con respecto a las diaclasas, no se observa un patrón sistemático en donde se puedan establecer familias.

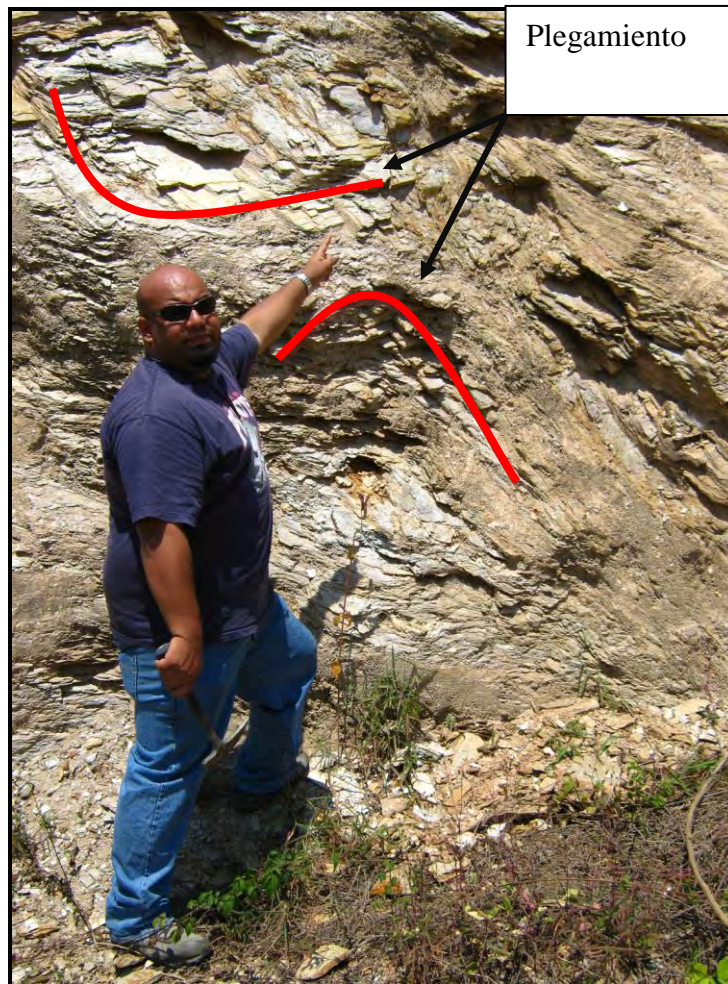


Fig. 10 Pliegues encontrados al norte de el área de estudio.

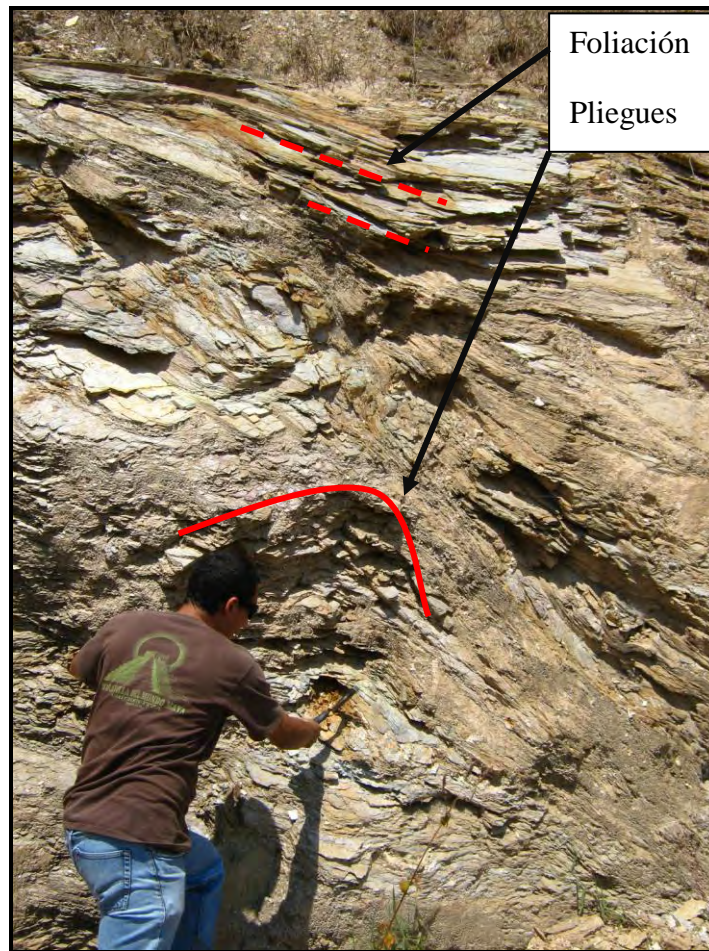


Fig. 11 Pliegue y foliación.

#### 4.1.1.5. Contactos

Se observó mediante el estudio fotogeológico la presencia de dos unidades litológicas con características geomorfológicas diferentes y bien definidas, lo cual obedece al contacto del Esquisto de Las Mercedes y el Esquisto Las Brisas, esta zona de contacto se presenta al norte de la zona de estudio lo que permitió corroborar que la totalidad de la litología presente en la zona de estudio pertenece a el Esquisto de Las Mercedes. Se presenta en la figura 12 el mapa geológico en el cual se identifica la zona de contacto entre ambos cuerpos litológicos, así como las características geológicas levantadas a lo largo del trabajo de campo de este proyecto.

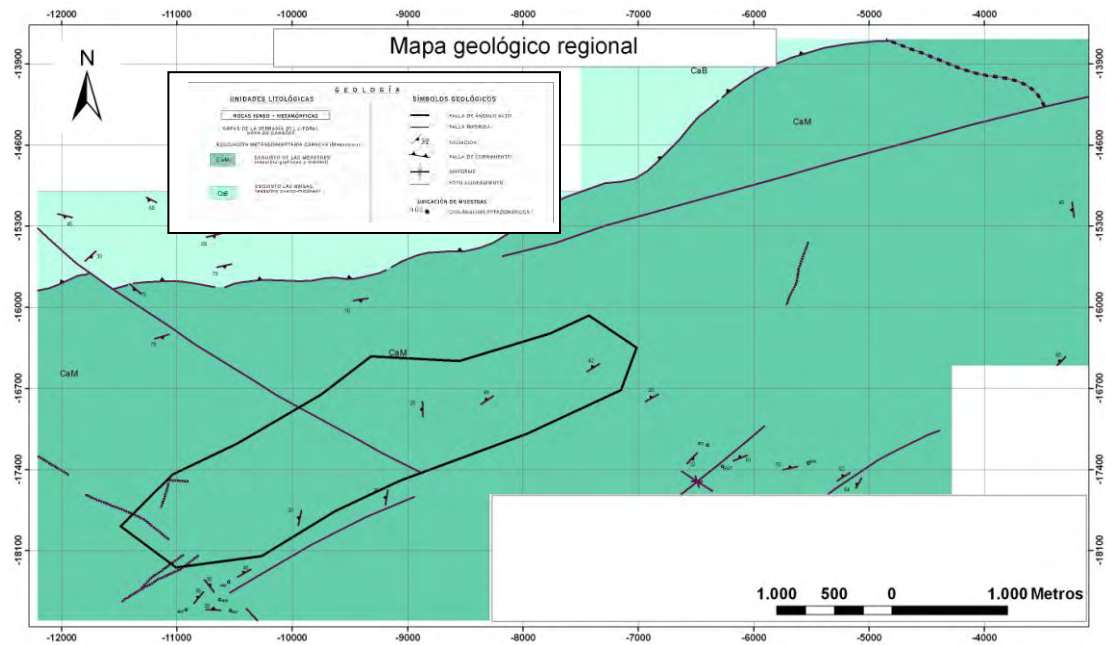


Fig.12 Mapa de geológico de la zona de estudio

#### 4.1.1.6. Geomorfología y procesos geodinámicos.

La geomorfología de los esquistos de Las Mercedes se plantea principalmente como filas y colinas angulosas, debido a que por su composición calcárea facilita la meteorización química y, por ende, mecánica, haciéndose muy friable.

Los procesos geodinámicos observados en la zona se presentan principalmente como laderas inestables, debido a la presencia de suelos y materiales con comportamiento mecánico de suelo, el cual mineralógicamente al ser de composición sericitica y grafitosa, con la presencia de agua y un ángulo de fricción desfavorable, produce fenómenos de geodinámica externa como deslizamientos, movimientos de laderas y flujos, quizás alguno de mayor importancia como los apreciados en la zona de Los Cerritos y en las zona de La Matica, y otros de menor importancia en otras localidades a lo largo de la zona de estudio.

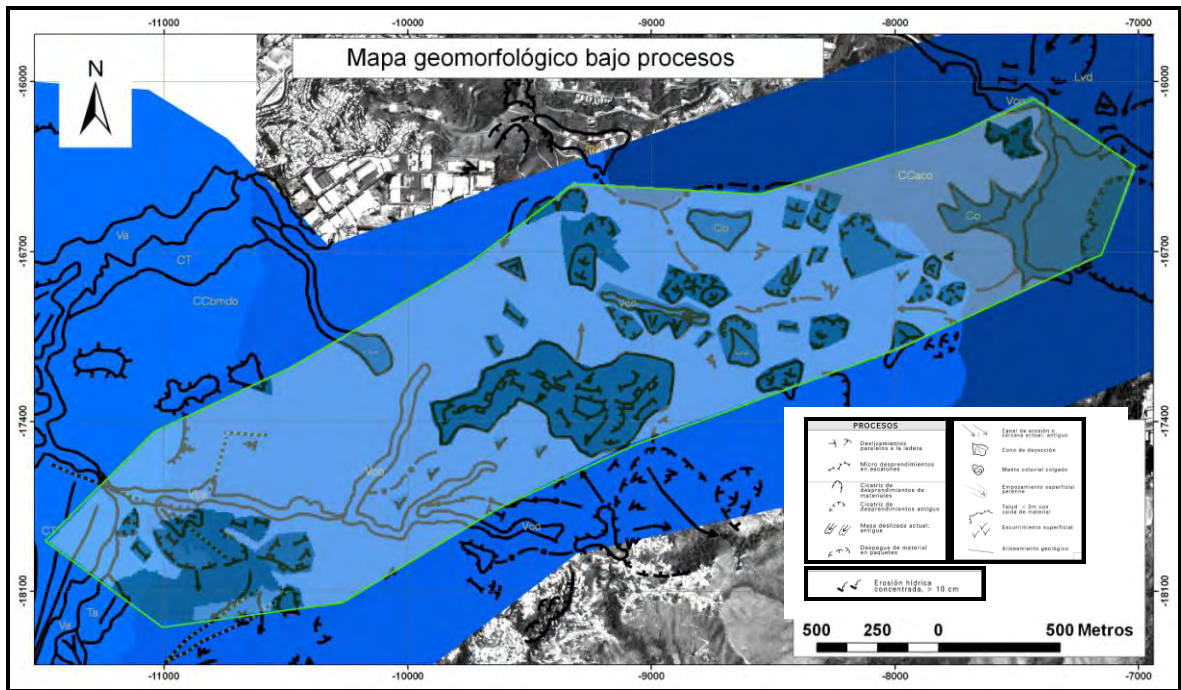


Fig.13 Mapa geomorfológico de la zona con el mapa de procesos geodinámicos superpuesto.



Fig.14 Movimiento de masa Zona Industrial Los Cerritos.



Fig. 15 Movimientos geodinámicos en pie de colina.



Fig. 16 Vista panorámica de la zona de estudio.



#### 4.1.2 GEOLOGÍA DEL SUBSUELO

Cuando se hace la descripción de la zona de estudio en profundidad (sondeos) se observa que hacia la zona de La Matíca, hay una fina capa de un metro de suelo residual compuesto por una arena fina con algo de limo marrón amarillento y fragmentos de cuarzo tamaño grava. Luego, a partir del metro 2 y hasta los 10 metros en promedio, aparece un intervalo de roca descompuesta blanda (RDb) con presencia de micas, meteorizada color gris claro y fragmentos de cuarzo que van desde tamaño grava a pequeños peñones de 2,5 cm. de diámetro, con comportamiento mecánico de un suelo arcillo de media a baja plasticidad para dar paso a un lente de arena fina color marrón amarillento y roca descompuesta blanda muy meteorizada de un metro de espesor. Luego de los 12 metros de profundidad y hasta los 22 metros tenemos roca descompuesta blanda (RDb) grafitosa, con comportamiento de suelo y fragmentos de cuarzo, cabe resaltar que hacia el tope de este intervalo tenemos presencia de micas.



Fig. 17 Descripción de muestras provenientes de perforaciones geotécnicas.

Hacia la zona de La Macarena-Los Cerritos se observa que en promedio en los primeros cuatro metros se tiene un relleno, compuesto principalmente de arena limosa, color marrón rojizo, de grano fino con fragmentos de cuarzo de hasta 6mm. Poco consistente, muy friable, para luego dar paso a un intervalo de roca descompuesta blanda fracturada, (RDbf) la cual está constituida principalmente por roca filita grafitosa, color marrón claro, con comportamiento de suelo areno-limoso, con fragmentos de cuarzo, muy friable, baja compactación la cual aumenta gradualmente con la profundidad, posee pequeñas vetas de cuarzo. Luego de esto se pasa a roca fresca, la cual es un esquisto grafitoso, con vetas de cuarzo paralelas al plano de foliación, el cual posee una inclinación de 60° con respecto al eje de perforación, color gris claro.

Luego en la zona de Súper Líder, se identifica unos primeros metros de relleno areno-limoso de color amarillento, de densidad relativa de media a densa, a partir del metro 3 se observa roca descompuesta blanda fracturada (RDbf). Color marrón claro grisáceo a naranja, humedad baja, contiene grafito en poca cantidad, micas y calcita, contenido moderado de óxido (aumenta entre los 5 y 10 metros). Comportamiento mecánico de suelo arenoso con mayor contenido de arcilla en los primeros 2 metros del intervalo y de grava, conformada por fragmentos de cuarzo, entre los 5 y 20 metros, este intervalo llega hasta el metro 24 aproximadamente de profundidad.

A partir del metro 24 se aprecia una roca meteorizada dura fracturada (RMDf). Esquisto calcítico cuarzoso grafitoso moscovítico, color gris claro blancuzco a gris oscuro con bandas blanquecinas, presenta láminas de oxidación y vetas de cuarzo de hasta 10 cm. La foliación es regular, y se mantiene perpendicular al eje de perforación, se inclina respecto a éste un máximo de 40°. Entre los 28,9 y los 31,3 m el fracturamiento es mayor; entre los 32,6 y los 33,8 m presenta fracturas longitudinales al eje de perforación.

Hacia la zona de Carrizal, se describe en los primeros 7 metros en promedio suelo residual, proveniente de esquisto calcáreo cuarzo grafitoso. Color marrón a ocre,

humedad moderada a alta, presenta comportamiento mecánico de limo arenoso de consistencia mediana a firme, excepto entre los 4 y 5 metros, donde se comporta como arcilla limosa de consistencia muy firme. En general, el material es de plasticidad alta y resistencia moderada a la presión.

Luego se pasa a un intervalo que va de los 7 a los 20 metros de roca descompuesta blanda fracturada (RDbf). Altamente oxidada, presenta cuarzo, color ocre con marrón claro, se hace más grisácea a los 19 metros. Humedad baja, comportamiento mecánico de limo arenoso con grava de cuarzo, de plasticidad moderada a baja y moderada friabilidad, excepto entre 13 y 14 metros, donde se comporta como arena limosa de compacidad muy densa, friable y de baja resistencia a la presión dúctil; Entre 10 y 11 y 14 y 16 metros se encontró roca meteorizada blanda fracturada (RMBf), muy oxidada con mineralogía poco visible, color ocre a marrón claro, poco friable, muy fracturada y poco resistente a la presión.

Inmediatamente se observa roca meteorizada blanda fracturada (RMBf) similar a anterior hasta 21 metros. A partir de 21 metros se observa cada metro, la alternancia: roca meteorizada dura (RMD), con presencia de óxido y agujeros de disolución, color beige; se identificaron los siguientes parámetros para clasificación según Barton: RQD: 0; Jn: 12 (G); Jr:3 (B); Ja: 2 (C). GSI: 35 a 40, mi: 13,  $\sigma_{ci}$ : 5 a 25 MPa; y roca meteorizada blanda (RMB), también con características similares a la descrita anteriormente, hasta 24 metros.

Entre 24 y 26 metros y luego entre 29,65 y 30,00 tiene comportamiento mecánico de roca descompuesta blanda fracturada (RDbf), color marrón a gris oscuro, con comportamiento mecánico de limo arenoso con cuarzo tamaño grava, de plasticidad baja a moderada y consistencia mediana a dura y de baja resistencia a la presión dúctil; parámetros de Hoek: GSI: 15 a 20; mi: 10;  $\sigma_{ci}$ <1 MPa. Para luego dar paso a roca meteorizada dura fracturada (RMDf). Esquisto calcáreo grafitoso cuarzoso con vetas ocasionales de cuarzo no mayores a 3 cm. color gris con bandas blanquecinas;

se identificaron los siguientes parámetros para clasificación según Barton: RQD: 0; Jn: 9 (F); Jr:3 (B); Ja: 2 (C). GSI: 40 a 45, mi: 13,  $\sigma_{ci}$ : 25 a 50 MPa.

En cuanto a la geología estructural observada en la zona de estudio, se tiene patrones de foliación apretados y heterogéneos, los cuales tienen variadas direcciones de rumbo y buzamiento las cuales no obedecen a ningún patrón que sea bien definido e identificable, lo mismo sucede con las diaclasas presentes en la zona, las cuales son muy escasas debido a que superficialmente se encuentra un alto perfil de meteorización lo cual no deja apreciar las familias de diaclasas presentes en el macizo rocoso, por lo tanto para hacer estimados y cálculos de parámetros como el R.Q.D., se tuvo que utilizar las discontinuidades presentes en los intervalos rocosos obtenidos como testigos de las perforaciones elaboradas a roto percusión, específicamente los intervalos rotados con recuperación de núcleos de diámetro NX.

Por lo general, esta litología muestra un perfil de meteorización de mediana profundidad, mostrándose como roca descompuesta y suelo residual (RDb) en profundidades variables de pocos metros, llegando hasta unos 10 metros en algunos casos, el comportamiento geomecánico mejora con la profundidad, esto ocurre en pocas ocasiones, solo hasta el horizonte en el que se puede conseguir la roca inalterada (Roca Sana Dura).



Fig. 18 Muestras obtenidas de perforaciones geotécnicas a rotación.

#### 4.1.2.1. Evaluación geotécnica

#### 4.1.2.2. Resultados de los ensayos de laboratorio

Para la caracterización de material encontrado se procedió a la elección de los especímenes más representativos de 25 sondeos de un total de 53, seleccionando muestras a distintas profundidades para ser llevados al laboratorio, esto con el fin de obtener los parámetros físicos y propiedades índices de los materiales como son: granulometría, límites de consistencia, pesos unitarios, gravedad específica y humedades entre otros. De los resultados obtenidos se puede esbozar lo siguiente:

Los resultados arrojados por la granulometría describen un suelo de características granular, donde el porcentaje de sedimento tamaño arena y grava suman más del 50% donde las arenas es el más representativo. Esta caracterización granulométrica del subsuelo es el encontrado de manera general en toda el área de estudio, siendo el material fino de muy baja ocurrencia. La clasificación de los ensayos granulométricos

fue realizada siguiendo como patrón la sugerida por el Sistema de Clasificación Unificada.

En el estudio del material fino fue encontrado un limo de baja plasticidad (ML), siendo las arcillas de baja plasticidad de menor ocurrencia en el área.

A continuación se presenta la tabla 14 que muestra los ensayos realizados en los sondeos a distintas profundidades.

Sondeos	prof	%W	L.L.	L.P.	I.P.	Grava	Arena	Finos	yh Ton/m3
P-201	1	10,36	26,41	24,14	2,27	1,9	59,4	38,7	
	6	10,89	28,5	23,88	4,62	0,7	45,1	54,2	
	11	10,52	25,63	21,58	4,05	6,9	52,1	41,1	
	16	10,69	30,31	26,92	3,39	10,8	52	37,2	
	29	10,88	25,69	20,96	4,73	13,9	70,9	15,2	
P-203	1	14,92	25,96	19,2	6,76	11,5	57,7	30,9	
	6	19,65	31,79	26,47	5,33	1,3	43,9	54,8	
	11	9,66	30,12	22,33	7,79	1,5	48,4	50,1	
	18	12,33	24,6	14,02	10,58	20,9	51,6	27,5	
	23	12,82	32,55	22,73	9,82	1,6	58,6	39,8	1,77
	28	12,75	20,43	NP	NP	7	79	14	
P.205	1	11,44	31,84	26,47	5,37	9,5	49	41,5	
	5	15,9	31,64	27,57	4,07	6,5	48,4	45	
	10	21,11	38,16	26,76	11,4	0,7	46,3	53	
	20	14,93	35,22	23,58	11,64	4,1	57,3	38,7	
	25	25,26	34,17	24,59	9,58	8,4	60	31,6	
	30	18,41	31,19	24,29	6,9	9,9	41,6	48,5	
	37	13,86	29,04	24,21	4,83	18,2	66,7	15,1	2,06
	39	8,93	22,92	20,27	2,65	35,7	58,5	5,8	
P-207	1	7,18	31,97	23,33	8,64	0,7	86	13,3	
	5	11,81	34,18	30	4,18	0,8	39,5	59,7	2,8
	15	11,92	31,75	27,91	3,84	2,7	49,7	47,5	
	20	14,56	32,87	28,57	4,3	1,9	56,1	42	
	31	13,84	32,72	25	7,72	2,6	57,1	40,3	
	35	13,05	29,84	24,14	5,7	33,5	58,2	8,3	2,1
P-208	1	19,8	30,63	27,74	2,89	5,6	52,3	42,1	
	5	5,97	32,42	30,19	2,23	0,2	46,4	53,4	1,9
	10	13,66	26,61	25,96	0,65	7,6	54,8	37,7	

	15	13,95	29,24	25,95	3,29	3,6	45,8	50,6	
	20	13,69	34,9	30,63	4,27	14	59,7	26,3	
	25	13,79	29,13	23,17	5,96	4	47	49	
	36	12,59	29,11	25,25	3,86	9,1	61,5	29,3	
	39	12,67	28,43	26	2,43	28	27,6	44,4	
P-210	1	10,72	31,71	27,61	4,1	19,8	64,1	16	1,83
	5	12,31	31,33	27,66	3,67	5,5	58,8	35,7	
	10	9,7	27,77	24,44	3,33	0,7	58,8	40,5	
	15	14,37	30,79	28	2,79	0,2	44,3	55,5	
	20	20,58	32,07	26,09	5,99	1,1	46,5	52,4	
	26	10,76	34,39	23,53	10,87	13	58,5	28,5	1,65
P-211	1	3,89			NP	25	55,4	19,6	
	5	9,58			NP	4,7	61	34,3	2,11
	10	13,46	33,85	23,7	10,12	9,9	69,4	20,7	
	15	12,04	31,66	22,41	9,25	19,1	55,6	25,3	
	20	7,85	29,63	23,53	6,1	2,3	61,5	36,2	2,07
P-214	1	13,19	29,91	26,14	3,77	9,5	52,2	38,4	
	5	21,73	30,6	24,59	6,01	6,3	45,2	48,5	2,08
	10	10,84	30,98	21,74	9,24	0,00	36,60	63,4	
	15	17,92	36,59	24,79	11,79	7,1	46,8	46,1	
	20	15,24	25,72	15,15	10,57	7,8	67,2	25	
	32	13,74	32,84	28,57	4,27	1,8	54,7	43,5	2,27
P-217	1	15,73	38,25	29,19	9,06	8,8	58,6	32,6	
	5	7,98			NP	22,8	64,7	12,5	
	11	9,2	26,18	7,38	18,8	5,9	70,7	23,4	
	18	12,81	25,15	25,15	0	0,9	63,4	35,7	
	24	11,9	30,72	14,28	16,44	3,3	79,4	17,4	2,1
P-218	1	3,99	23,2	16,07	7,13	23,4	47,3	29,2	
	7	7,6	30,17	12,5	17,67	4,2	45,7	50,1	1,79
	13	12,4	25,7	17,36	8,34	13,1	61,4	25,5	
	19	13,07	26,92	13,33	13,59	32,5	55,6	11,8	
	25	7,64	22,94	15,13	7,81	3,8	79,3	16,8	
P-223	1	14,35	32,4	19,15	13,25	24,4	46,2	29,4	
	6	12,54	27,49	14,24	13,25	6,8	57,9	35,2	
	12	14,49	31,11	24,44	6,67	2,3	58,6	39,1	2,3
	18	11,86	30,36	21,66	8,7	19,8	56,9	23,3	
	29	12,19	29,72	23,39	6,33	8	66,5	25,5	
P-225	1	15,67	32,89	6,25	26,64	6,8	35,5	57,6	
	7	8,27	26,14	18,11	8,03	0	56,1	43,9	1,91

	13	11,47	28,88	8,33	20,55	12,4	57,2	30,4	
	19	13,68	31,09	11,77	19,32	2,6	59	38,4	
	37	9,07	24,91	15,52	9,39	1,1	67,6	31,3	
	39	14,83	23,47	13,18	10,29	4,2	61,9	33,9	
P-227	1	7,6	27,71	20	7,71	9,4	43,1	47,3	
	7	8,19	33,08	26,01	7,07	11	53,8	35,2	2,1
	22	10,77	27,23	23,19	4,04	3,3	65,6	31,2	
	25	11,82	29,09	23,41	5,68	16,5	61,7	21,8	
	28	12,74			NP	3,3	64,1	32,6	2,05
	34	10,18	28,52	25	3,52	8,8	71,1	20,1	
P-228	1	14,43	30,77	23,62	7,15	2,2	51,6	46,2	
	6	24,06	32,85	23,91	8,94	2,3	48,9	48,8	3,63
	12	12,37	30,6	26,43	4,17	0,9	59,3	39,7	
	13	12,1	29,14	20,17	8,97	3,2	51,9	44,8	
	18	11,21	29,32	24,29	5,03	2,5	62,5	35	
	24	9,46	26,99	21,9	5,09	20,3	63,7	15,9	
	27	12,94	28,9	22,72	6,18	4,4	59,8	35,8	2,04
	30	11,9	27,29	23,81	3,48	3,7	73,3	23	
	36	12,15	29,47	24,53	4,94	18,9	57,3	23,7	
P-230	1	7,06	25,81	21,25	4,56	1,7	61,9	36,5	
	8	11,62	28,68	24,62	4,07	7,2	66,3	26,5	
	22	11,73	29,56	25,61	3,96	11,6	69,7	18,8	
P-231	1	21,98	34,94	22,03	12,9	1,2	45	53,7	2,05
	5	13,19	27,82	22,45	5,37	0,6	48,6	50,8	
	10	16,62	29,71	25,86	3,85	2,3	60,5	37,1	
	15	15,29	33,7	29,33	4,37	2,9	66	31,1	
P-232	1	6,03	27,08	22,22	4,85	6,3	68,7	25	2,35
	5	8,84	25,01	22,97	2,04	1,4	68	30,7	
P-235	1	19,7	27,19	16,22	10,97	3,6	48,4	48,1	
	4	26,91	45,37	26,23	19,14	1,6	22,1	76,3	2
	23	18,85	28,25	23,23	5,03	1,3	74	24,7	
P-236	1	11,29	27,35	21,58	5,78	4,4	60,3	35,3	
	10	11,61	32,81	27,45	5,36	1,7	64,7	33,6	
	14	10,69	25,75	23,3	2,45	6,7	71,3	21,9	2,14
	18	16,3	30,62	25,49	5,13	7,6	69	23,4	
	25	18,18	28	22,02	5,98	6,4	69,8	23,8	
P-237	2	14,7	34,8	32,39	2,4	1,5	30,8	67,7	
	17	14,3	27,97	23,96	4,01	0	38,9	61,1	2,08
	20	13,8	32,2	25	7,24	4,4	38,7	56,9	



	23	14	27,33	23,12	4,21	12,3	71,1	16,6	2,05
	29	14,15	29,73	21,88	7,86	12,6	63,7	23,7	
PP-22	20	9,42	25,63	23,53	2,1	12	67	21	
PP-23	10	13,67			NP	6,1	64,1	29,9	
	20	6,71	24,97	19,42	5,55	28,5	48,4	23,1	2,28
PP-25	2	15,07	27,5	10,74	16,76	14,3	56,5	29,1	
	7	10,79	31,83	30,43	1,4	2,9	60,7	36,4	2,21
	10	16,22	24,82	23,97	0,86	4,2	69	26,8	
	14	9,24	27,87	26,62	1,25	27,9	48	24,1	
PP-26	1	16,29	31,57	26,56	5,01	9,8	59	31,2	
	6	33,37	26,61	23,9	2,71	3	58,5	38,6	1,93
	11	11,38	27,23	24,54	2,69	11,2	63,1	25,8	2,44
PP-27	1	15,11	34,78	28,97	5,8	7,3	39,2	53,4	
	6	8,2	25,89	21,84	4,05	16,4	64,8	18,8	
	11	11,98	30,57	26,24	4,33	4,2	60,2	35,6	
	15	10,54	28,52	27,75	0,77	9,6	66,2	24,2	2,15

Tabla 14. Tabla resumen de ensayos realizados en los sondeos.

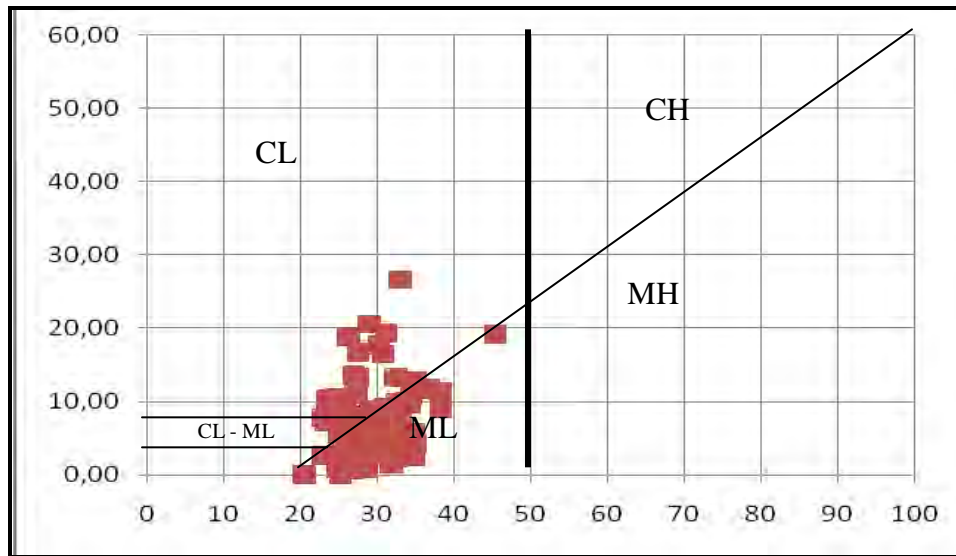


Fig. 19 Carta de plasticidad de Casa grande, (Modificado de González de Vallejo)

En el gráfico de la figura 17 se muestra la distribución de los resultados de los límites de consistencia, se aprecia que el material clasificado como limo de baja plasticidad (ML) es el de mayor presencia en el suelo, teniendo en menor proporción las arcillas de baja plasticidad (CL) y suelos con ambos comportamientos.

Una vez conocida la granulometría y los límites de consistencia del área de estudio, el material encontrado en el subsuelo se clasifica según el sistema unificado como **arenas limosas de baja plasticidad con algo de grava.**

GRAVA	ARENA	FINOS	Clasificación
8,2	57,08	34,87	(SM)g

Tabla 15 Valores promedios de ensayos granulométricos.

Los datos de las humedades naturales dan como resultado un promedio de 13,022, este valor de humedad posee una diferencia de 9,89 puntos porcentuales con respecto al límite plástico y 16,65 puntos con respecto al límite líquido, continuación se muestra la tabla un resumen de los valores promedios de estas propiedades.

%W	L.L	L.P	I.P
13,02	29,62	22,93	6,77

Tabla 16 Valores promedio de las humedades, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

Los valores de la gravedad específica dieron como resultado un promedio 2,76 mientras que las densidades el valor es 2,22 ton/m<sup>3</sup>. Cabe destacar que para valores de densidad donde no se te tiene ensayos de laboratorio, se tomaron los sugeridos por el proyectista (ver anexo), estos valores sugeridos se muestran en el anexo 4.

#### **4.1.2.3. Resultados geotécnicos**

Entre los parámetros físicos de interés tenemos el ángulo de fricción y la cohesión del material encontrado. El ángulo de fricción se obtuvo de la ecuación de Wolf

mencionada la metodología, mientras que la cohesión fue tomada de los valores de parámetros sugeridos por el proyectista (ver anexo) según sea el material encontrado. Estos parámetros fueron calculados en los 25 sondeos anteriormente expuestos, más 28 sondeos con resultados de ensayos SPT, completando así la cantidad de 53 sondeos para estos parámetros de interés. La siguiente tabla muestra estos dos parámetros.

N°	Perforaciones	SPT	C (Ton/m <sup>2</sup> )	Ø (grados)
1	P-201	21,70	1,00	33,4
2	P-203	20,00	1,00	32,9
3	P.205	4,60	1,00	28,5
4	P-207	46,80	1,00	40,0
5	P-208	15,00	1	31,5
6	P-210	4,80	1	28,5
7	P-211	57,20	3,8	42,5
8	P-214	4,20	1	28,4
9	P-217	34,00	1	36,7
10	P-218	37,00	1	37,5
11	P-223	65,2	1	44,4
12	P-224	34	1	36,7
13	P-225	41,2	1	38,5
14	P-226	15,6	1	31,6
15	P-227	15,8	1	31,7

16	P-228	6	1	28,9
17	P-230	104	3,8	45,0
18	P-231	62	3,8	43,6
19	P-232	131,6	3,8	45,0
20	P-233	37,6	1	37,6
21	P-236	11,4	1	30,4
22	P-237	68,2	1	45,0
23	P-238	42	1	38,7
24	PP-22	32,2	1	36,2
25	PP-23	41,4	1	38,6
26	PP-25	6,2	1	28,9
27	PP-26	16,8	1	32,0
28	PP-27	47	1	40,0
29	PP-1	33	1	36,4
30	PP-2	32,6	3,8	36,3
31	PP-3	22,6	3,8	33,6
32	PP-4	22,6	3,8	33,6
33	PP-6	102	3,8	45,0
34	PL-3	29,6	1	35,5
35	PL-4	13,2	1	31,0
36	PL-5	62,8	1	43,8
37	PL-7	13	1	30,9
38	PL-8	66,4	3,8	44,6

39	PL-9	17,2	1	32,1
40	PL-10	26,4	1	34,6
41	PMC2-1	25,2	1	34,3
42	PMC2-2	23,8	1	33,9
43	PMC2-3	22,6	1	33,6
44	PMC2-4	22,6	1	33,6
45	PMC2-5	22,6	1	33,6
46	PMC2-6	28,2	1	35,1
47	SL-1	78	1	45,0
48	SL-3	65	1	44,3
49	PPM-1	3,8	1	28,2
50	PPM-2	5,4	1	28,7
51	P1	53	3,8	41,5
52	P2	62	3,8	43,6
53	P2R	50,6	3,8	40,9

Tabla 17. Parámetros Angulo de fricción y cohesión.

A partir de la información geotécnica generada en los pasos anteriores e integrando con los datos de superficie generados a partir del mapa de pendiente y la geología local, se logró evaluar las ecuaciones propuestas tanto para el cálculo de factor de seguridad de taludes infinitos y esfuerzo vertical del área de estudio. A continuación se muestra la tabla 18 y 19 que señala los factores de seguridad y esfuerzos verticales del área de estudio respectivamente.

N°	Sondeo	SPT	C (Ton/m2)	Ø (grados)	TAN Ø	γh ( Ton/m3)	tan α	B	H (m)	F.S.
1	P-201	21,70	1,00	33,4	0,66	1	0,15	6,8	1,0	<b>4,40</b>
2	P-203	20,00	1,00	32,9	0,65	1	0,42	2,8	1,0	<b>1,55</b>
3	P.205	4,60	1,00	28,5	0,54	2,2	0,35	3,2	1,0	<b>0,70</b>
4	P-207	46,80	1,00	40,0	0,84	2,08	0,26	4,1	1,0	<b>1,56</b>
5	P-208	15,00	1	31,5	0,61	1,9	0,51	2,5	1,0	<b>0,63</b>
6	P-210	4,80	1	28,5	0,54	1,83	0,48	2,6	1,0	<b>0,62</b>
7	P-211	57,20	3,8	42,5	0,92	2,11	0,58	2,3	1,0	<b>2,86</b>
8	P-214	4,20	1	28,4	0,54	2,08	0,77	2,1	1,0	<b>0,34</b>
9	P-217	34,00	1	36,7	0,74	2,2	0,70	2,1	1,0	<b>0,48</b>
10	P-218	37,00	1	37,5	0,77	2,2	0,36	3,1	1,0	<b>0,96</b>
11	P-223	65,2	1	44,4	0,98	2,05	0,32	3,5	1,0	<b>1,50</b>
12	P-224	34	1	36,7	0,74	2,2	0,37	3,1	1,0	<b>0,93</b>
13	P-225	41,2	1	38,5	0,80	2,2	0,32	3,5	1,0	<b>1,15</b>
14	P-226	15,6	1	31,6	0,62	2,2	0,14	7,4	1,0	<b>2,03</b>
15	P-227	15,8	1	31,7	0,62	2,1	0,38	3,0	1,0	<b>0,78</b>
16	P-228	6	1	28,9	0,55	2,2	0,20	5,2	1,0	<b>1,25</b>
17	P-230	104	3,8	45,0	1,00	2,5	0,41	2,8	1,0	<b>3,70</b>
18	P-231	62	3,8	43,6	0,95	2,5	0,43	2,8	1,0	<b>3,36</b>
19	P-232	131,6	3,8	45,0	1,00	2,5	0,22	4,7	1,0	<b>6,84</b>
20	P-233	37,6	1	37,6	0,77	2,2	0,30	3,6	1,0	<b>1,17</b>
21	P-236	11,4	1	30,4	0,59	2,2	0,36	3,1	1,0	<b>0,73</b>
22	P-237	68,2	1	45,0	1,00	2,2	1,04	2,0	1,0	<b>0,44</b>
23	P-238	42	1	38,7	0,80	2,2	0,97	2,0	1,0	<b>0,38</b>
24	PP-22	32,2	1	36,2	0,73	2,2	0,32	3,4	1,0	<b>1,03</b>
25	PP-23	41,4	1	38,6	0,80	2,2	0,22	4,7	1,0	<b>1,64</b>
26	PP-25	6,2	1	28,9	0,55	2,2	0,25	4,2	1,0	<b>1,00</b>
27	PP-26	16,8	1	32,0	0,62	1,33	0,25	4,2	1,0	<b>1,87</b>
28	PP-27	47	1	40,0	0,84	2,2	0,17	6,0	1,0	<b>2,21</b>
29	PP-1	33	1	36,4	0,74	2,2	0,44	2,7	1,0	<b>0,77</b>
30	PP-2	32,6	3,8	36,3	0,73	2,5	0,44	2,7	1,0	<b>2,56</b>
31	PP-3	22,6	3,8	33,6	0,66	2,5	0,44	2,7	1,0	<b>2,31</b>
32	PP-4	22,6	3,8	33,6	0,66	2,5	0,52	2,4	1,0	<b>1,92</b>
33	PP-6	102	3,8	45,0	1,00	2,5	0,40	2,9	1,0	<b>3,81</b>
34	PL-3	29,6	1	35,5	0,71	2,2	0,35	3,2	1,0	<b>0,94</b>
35	PL-4	13,2	1	31,0	0,60	2,2	0,35	3,2	1,0	<b>0,79</b>
36	PL-5	62,8	1	43,8	0,96	2,2	0,61	2,3	1,0	<b>0,72</b>
37	PL-7	13	1	30,9	0,60	2,2	0,39	2,9	1,0	<b>0,69</b>
38	PL-8	66,4	3,8	44,6	0,99	2,22	0,34	3,3	1,0	<b>5,02</b>
39	PL-9	17,2	1	32,1	0,63	2,05	0,31	3,5	1,0	<b>0,98</b>

40	PL-10	26,4	1	34,6	0,69	2,2	0,43	2,7	1,0	<b>0,73</b>
41	PMC2-1	25,2	1	34,3	0,68	2,2	0,34	3,3	1,0	<b>0,90</b>
42	PMC2-2	23,8	1	33,9	0,67	2,05	0,34	3,3	1,0	<b>0,96</b>
43	PMC2-3	22,6	1	33,6	0,66	2,05	0,34	3,3	1,0	<b>0,95</b>
44	PMC2-4	22,6	1	33,6	0,66	2,2	0,27	4,0	1,0	<b>1,14</b>
45	PMC2-5	22,6	1	33,6	0,66	2,2	0,30	3,6	1,0	<b>1,01</b>
46	PMC2-6	28,2	1	35,1	0,70	2,05	0,42	2,8	1,0	<b>0,82</b>
47	SL-1	78	1	45,0	1,00	2,2	0,62	2,2	1,0	<b>0,73</b>
48	SL-3	65	1	44,3	0,98	2,2	0,43	2,8	1,0	<b>1,03</b>
49	PPM-1	3,8	1	28,2	0,54	2,05	0,34	3,2	1,0	<b>0,76</b>
50	PPM-2	5,4	1	28,7	0,55	2,2	0,34	3,2	1,0	<b>0,72</b>
51	P1	53	3,8	41,5	0,88	2,5	0,34	3,2	1,0	<b>3,90</b>
52	P2	62	3,8	43,6	0,95	2,5	0,34	3,2	1,0	<b>4,21</b>
53	P2R	50,6	3,8	40,9	0,87	2,5	0,53	2,4	1,0	<b>2,50</b>

Tabla 18. Resultados de Factor de seguridad.

Los resultados mostrados en la tabla 18 muestran los valores de factor de seguridad en taludes encontrados en el área de estudio, estimando la altura de deslizamiento de 1 metro de profundidad usando parámetros geotécnicos de todas las perforaciones entre 1 y 5 metros de profundidad. Los resultados reflejan que existen zonas con F.S. variables, algunas estables con F.S. mayores a 1 y otras no, con F.S. menor a uno. En los tópicos siguientes se profundizara sobre estos resultados ejecutando su procesamiento.

N°	Sondeos	Hd	$\rho_v$
1	P-201	3,26	6,43
2	P-203	5,55	9,82
3	P.205	4,55	11,37
4	P-207	6,08	15,33
5	P-208	6,07	15,18
6	P-210	5,42	8,94
7	P-211	5,81	12,02
8	P-214	5,82	12,10
9	P-217	4,80	10,08
10	P-218	5,57	9,97

11	P-223	5,85	12,46
12	P-224	6,07	15,18
13	P-226	6,07	15,18
14	P-227	5,02	10,30
15	P-228	5,79	11,80
16	P-233	6,07	15,18
17	P-237	6,07	15,18
18	PP-22	6,07	15,18
19	PP-23	5,95	13,57
20	PP-2	2,92	7,31
21	PP-3	5,62	14,05
22	PP-4	5,62	14,05
23	PL-3	5,80	11,95
24	PL-4	5,76	11,51
25	PL-5	5,76	11,51
26	PL-7	5,02	10,59
27	PL-8	5,91	13,12
28	PL-9	5,46	13,64
29	PMC2-1	6,07	15,18
30	PMC2-2	3,63	9,08
31	PMC2-3	5,62	14,05
32	PMC2-4	6,07	15,18
33	PMC2-5	6,07	15,18
34	PMC2-6	6,07	15,18
35	SL-3	6,07	15,18
36	PPM-1	5,30	13,24
37	P2R	6,07	15,18

Tabla 19. Tabla de resultados de altura del material suelto por encima del túnel y Esfuerzos verticales.

La tabla 19 muestra los esfuerzos verticales producidos por el emplazamiento de un túnel de 5,88 metros de diámetro a 20 metros de profundidad desde la superficie a la clave del túnel. Un análisis más exhaustivo de estos resultados se desarrollará en tópicos posteriores.



### 4.1.3 RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE DATOS BAJO LA APLICACIÓN DESARROLLADA

En este tópico del trabajo se presentan y analizan los diferentes mapas desarrollados en el mismo tanto de manera manual como los generados por medio de la aplicación del procedimiento del álgebra de capas.

#### 4.1.3.1 Mapa de Vulnerabilidad.

En este mapa se presentó un resumen de lo apreciado en campo así como de lo observado en la imagen de satélite la cual poseía muy buena resolución (32cm por píxel) y las fotografías aéreas. El resultado obtenido se muestra a continuación en la Fig.18.

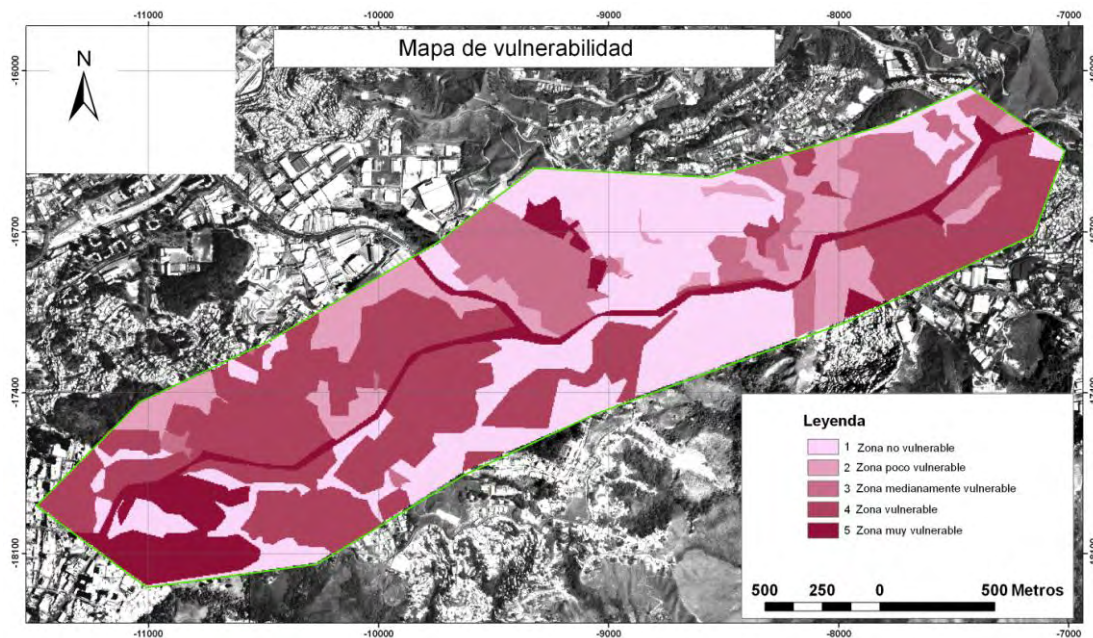


Fig.20 Mapa de Vulnerabilidad de la Zona

A partir de este mapa generado se realizó una discriminación estadística de cada zona del mapa de vulnerabilidad y se generó el siguiente gráfico de porcentajes de áreas vulnerables.

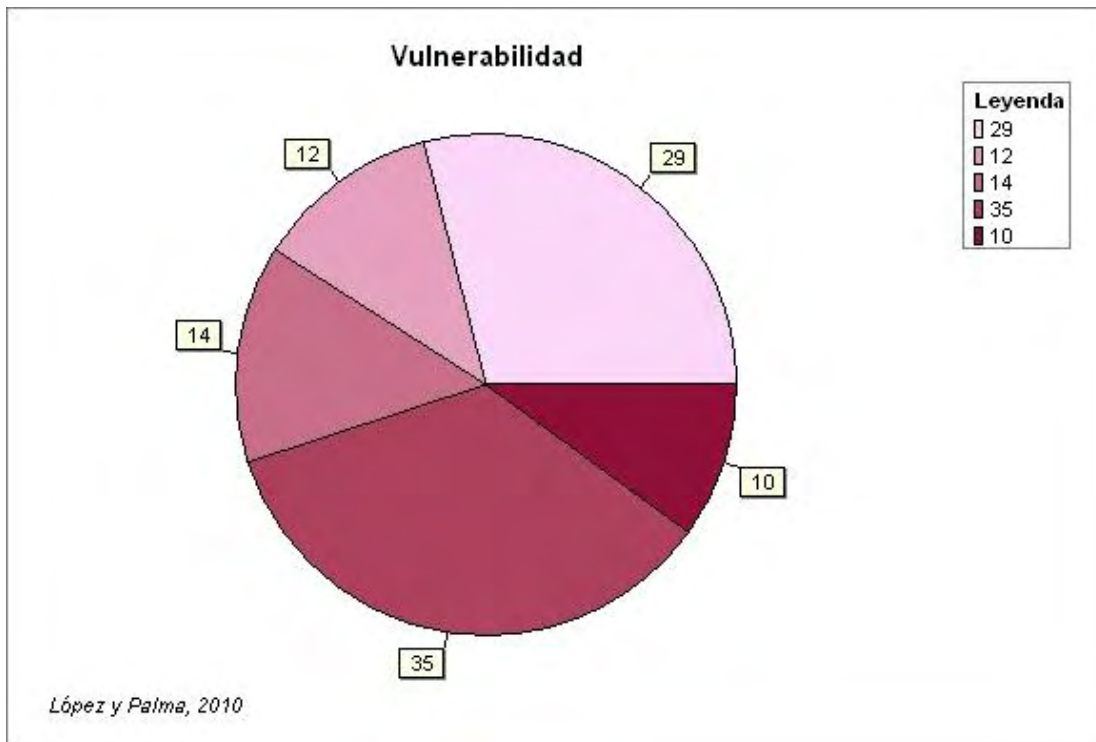


Fig. 21 Gráfico de porcentajes de áreas vulnerables según su clasificación.

Se puede apreciar en el gráfico, la repartición areal de la vulnerabilidad en la zona de estudio y esta quedó organizada de la siguiente manera:

Zona tipo 1 o zona no vulnerable.

Se presenta un alto porcentaje del área clasificada bajo este renglón (29%), esto se debe a la gran cantidad de territorio escarpado o no intervenido hasta el momento en la zona de estudio, así como los terrenos con alta presencia de elementos forestales y terrenos con usos o utilidades en las cuales en caso de afectación sea mínimo o nulo.

Zona tipo 2 o zona poco vulnerable.

Se presenta un área de bajo porcentaje bajo este renglón, estas áreas poseen pocos elementos estructurales o elementos que en caso de afectación por amenaza no supone mayor riesgo a un número importante de individuos.

Zona tipo 3 o zona medianamente vulnerable.

Se presenta un área equivalente al 14 % de la superficie total de la zona de estudio bajo este renglón, en este se incluyen zonas comerciales o estructuras dedicadas netamente a la actividad comercial como por ejemplo el Centro Ciudad Comercial La Cascada, así como centros educativos como el edificio de la Gobernación del Estado Miranda, actual sede de la Universidad Nacional Experimental de las Fuerzas Armadas (UNEFA) Núcleo Los Teques.

Zona tipo 4 o zona vulnerable.

Esta zona es la que ocupa la mayor cantidad en porcentaje de área de todo el mapa alcanzando un 35% de mismo, esto se debe a que en ella se encuentra concentrada la mayor parte de la infraestructura de actividad humana, en esta zona se incluye las urbanizaciones Los Nuevos Teques, Club Hípico, La Macarena y Altos de Corralito, diversos conjuntos residenciales como C.R. Las Margaritas, y C.R. Ferco 1 y Ferco 2, los edificios estructuralmente calculados así como la vialidad secundaria (calles y caminos) y zonas industriales como la zona 1,2 y 3 de Los Cerritos.

Zona tipo 5 o zona muy vulnerable.

Esta zona es la de menor cantidad de área porcentual del mapa, arrojando solo el 10 % del mismo, pero contradictoriamente esta zona en su parte que incluye estructuras habitacionales es la región con un mayor número de población de la zona, esto se tiene en los Barrios La Matica sectores Matica Abajo, Matica Arriba y Vuelta Larga, La Macarena sectores El Cristo y El Aguacate, Amigos Reunidos, José Manuel Álvarez y Brisas de Oriente; Así como la vialidad principal, en este caso en particular, la vía Panamericana.

#### 4.1.3.2. Mapa de Procesos Geodinámicos.

En este mapa se aprecia el resultado de los levantamientos de superficie así como de la interpretación fotogeológica y lo observado en la imagen SPOT 5, el resultado de este mapa se presenta a continuación.

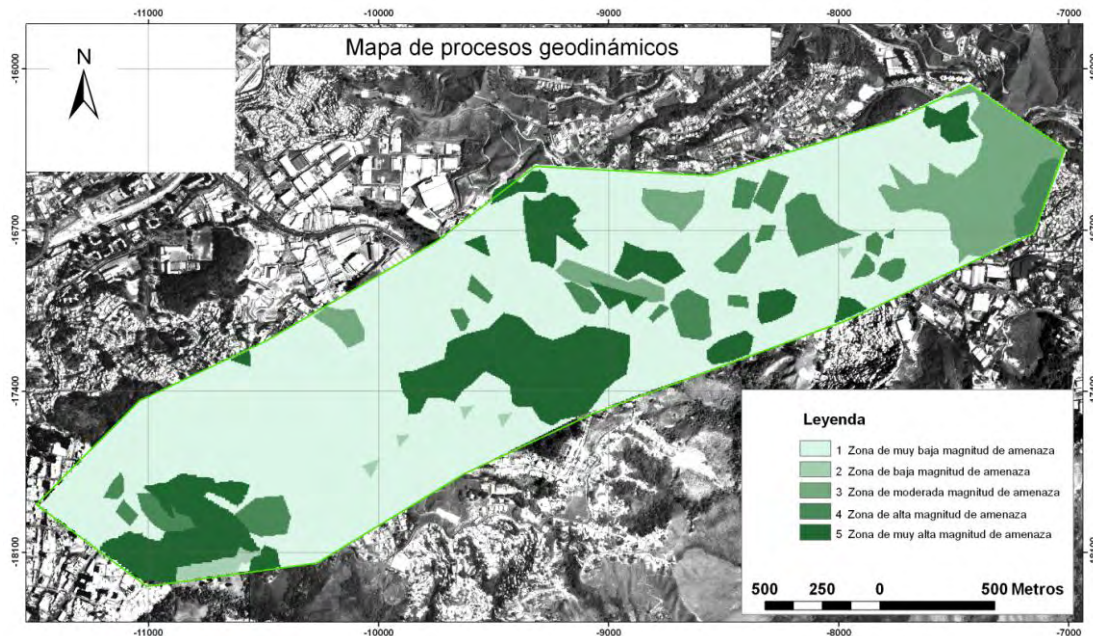


Fig.22. Mapa de Procesos Geodinámicos.

Una vez generado el mapa se procedió a realizar un gráfico en el cual se plasman los resultados en porcentajes de área de superficie según su clasificación de aporte de amenaza al riesgo geológico, este grafico se presenta a continuación.

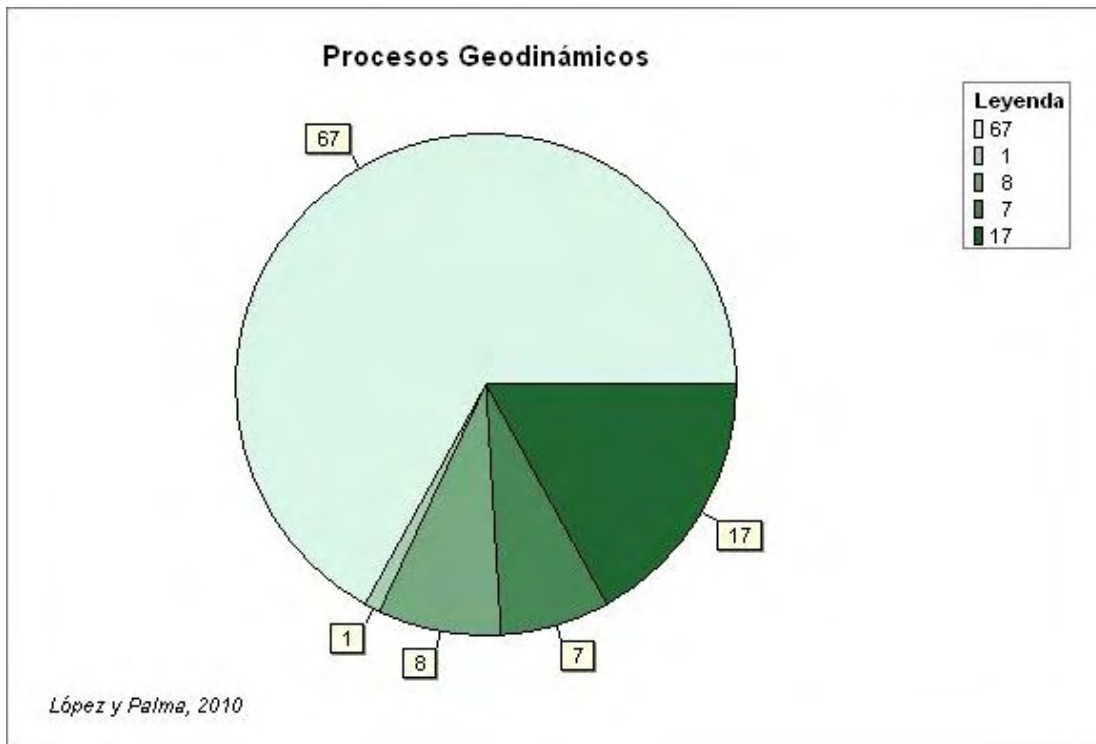


Fig. 23 Representación de los porcentajes de área según clasificación de procesos geodinámicos.

A continuación se describen y analizan los resultados del mapa de procesos geodinámicos según su zona de clasificación.

Zona tipo 1 o zona muy baja magnitud de amenaza.

Esta zona es la de mayor extensión areal del mapa, esto se debe a la gran cantidad de infraestructura presente en la zona, la cual funciona como barrera contra los elementos y el suelo, lo que hace que en estas zonas en particular sea difícil o nula la observación y aparición de algún proceso de geodinámica externa. Se debe acotar que en esta zona no se incluyeron los barrios ya que debido a la falta de planificación de los mismos en estas zonas si se apreciaron muchos procesos de geodinámica externa que serán mencionados en el momento de su aparición.

Zona tipo 2 o zona de baja magnitud de amenaza.

Esta zona es la de menor extensión areal del mapa, ya que consta únicamente de las zonas donde existen procesos de cárcavas y escurrimientos y empozamientos superficiales las cuales, en el área de estudio, por poseer una red interesante de drenajes a lo largo de toda su extensión se hizo complicado la identificación de zonas específicas donde se pudiesen observar estos fenómenos.

Zona tipo 3 o zona de moderada magnitud de amenaza.

En este renglón se identificaron las zonas con mantos coluviales colgados, los cuales pueden generar una amenaza propensa a desplazamientos de masas de suelo. Estas zonas se ubicaron hacia la zona de Altos de Corralito y algunas elevaciones topográficas con altos perfiles de meteorización y suelos residuales hacia la zona de Los Cerritos y la Urbanización Los Nuevos Teques.

Zona tipo 4 o zona de alta magnitud de amenaza.

En esta zona, la cual ocupa un 7% del área del mapa, se empiezan a interpretar los eventos con movimiento de masas de suelo, siendo los sitios más representativos de presencia de estos eventos la zona marginal del Barrio José Manuel Álvarez, los altos de la Urb. Club Hípico, y algunas de la zona marginal del barrio La Matíca.

Zona tipo 5 o zona de muy alta magnitud de amenaza.

Esta zona que posee el segundo mayor índice porcentual de área en el mapa con un 17% es la que se refiere a procesos con alto volumen de deslizamiento de masa de suelo, la zona de mayor afectación por este tipo de fenómenos son El Barrio La Matíca, Barrio Brisas de Oriente y los taludes ubicados mas al norte de la zona industrial Los Cerritos, donde se presenta quizás el proceso mas llamativo en cuando a cantidad de masas desplazadas.

#### 4.1.3.3. Mapa de Pendientes.

El mapa de pendientes fue el resultado del proceso de interpolación que se realizó sobre los atributos del modelo digital de elevación de la zona (DEM), el cual los resultados arrojados fueron plasmados en el mapa presentado a continuación.

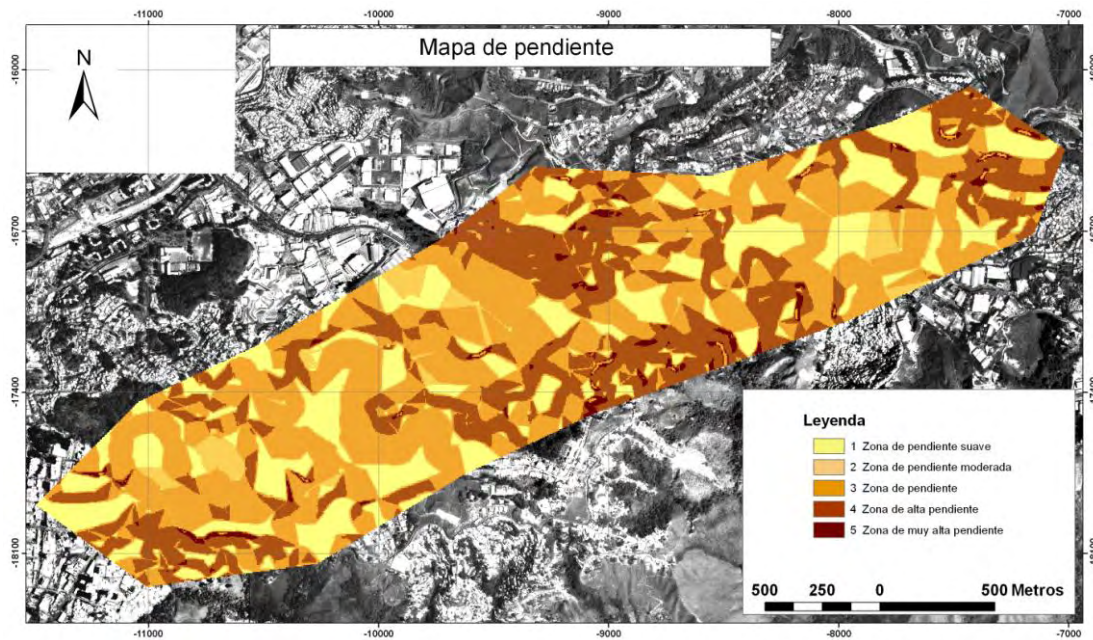


Fig. 24 Mapa de Pendientes.

Una vez realizado este mapa y clasificado en 5 zonas de acuerdo al grado de inclinación de las mismas, se realizó la discriminación en porcentajes de las mismas dando como resultado el gráfico mostrado a continuación.

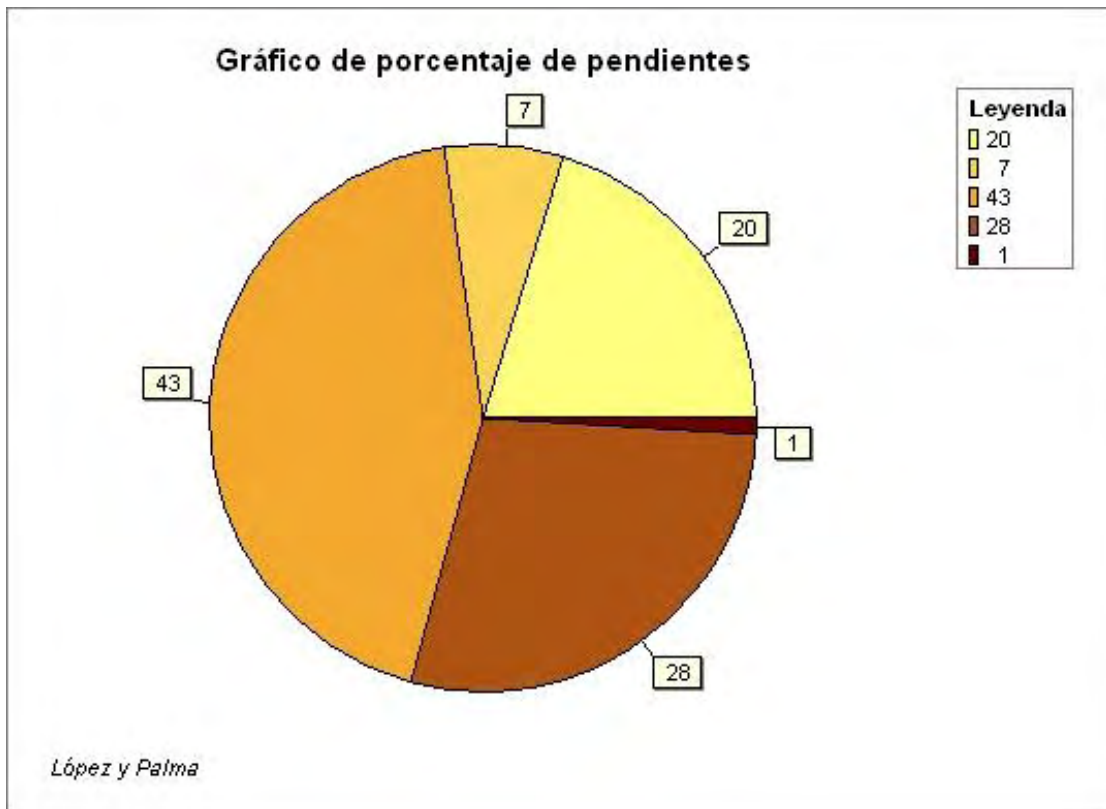


Fig.25 Gráfico de porcentajes de distribución de pendientes.

A continuación se realizan los el análisis de los resultados obtenidos en el mapa de pendientes según su clasificación.

Zona 1 o zona de pendiente suave.

Esta área ocupa el 20% de la superficie areal del mapa, en ella se refiere zonas con pendientes menores a 4 grados de inclinación, la cuales son principalmente áreas con topografía modificada, cortes o terrazas artificiales, así como zonas llanas las cuales poseen una ubicación altamente heterogénea en el área del mapa.

Zona 2 o zonas de pendiente moderada.

Esta área ocupa el 7% de la superficie del mapa, la misma se encuentra asignada a zonas con pendiente entre los 4 y los 16 grados, las zonas más representativas de este tipo de pendiente en el mapa se pueden observar en el sector Corralito así como en la entrada del sector El Vigía.



Zona 3 o zonas de pendiente.

Es la zona o región del mapa de mayor extensión areal dentro del mapa, con un porcentaje de 43% y una distribución heterogénea, amplia bien distribuida a lo largo de toda la zona de estudio, esto obedece a la topografía predominante en la zona de laderas largas y pendientes medias, las principales zonas con este tipo de pendiente son, La Urb. Montaña Alta, Altos de Corralito, el sector Casa Mía, Los Cerritos, Urb. Macarena Norte y el sector Camino Real.

Zona 4 o zona de pendiente Alta.

Es la segunda clasificación con mayor porcentaje de superficie cubierta en el mapa, alcanzando un 28% de la superficie del mapa, en esta se clasifican las pendientes con ángulos entre 35 y 55 grados, las zonas principales donde se presenta esta característica son, la zona industrial 1 de los Cerritos, la ladera norte de la Urb. Club Hípico que colinda con la vía Panamericana y la rampa de acceso a la Urb. Colinas de Carrizal.

Zona 5 o zona de Pendiente muy alta.

Es la zona de menor porcentaje de área del mapa, pero a su vez es la región que mayores amenaza presenta para la construcción del mapa de riesgo, esta zona alcanza el 1% de la zona de estudio siendo repartido dicho porcentaje en una amplia y heterogénea cantidad de zonas, siendo las más representativas de las mismas los límites entre los Barrios La Matíca y La Macarena y la zona sur de la Urb. Club Hípico.

#### **4.1.3.4. Mapa de Factores de Seguridad.**

Este mapa es uno de los más interesantes del trabajo ya que se realizó manipulando e interpretando valores numéricos provenientes de sondeos geotécnicos y ensayos de laboratorio realizados en la zona. La interpolación de los resultados se operan para que la herramienta muestre el producto en formas de bandas o franjas (opción *Kriging* de *interpólare to raster* en la herramienta *analyst 3D*), donde la intensidad del color

corresponde a un intervalo de factor de seguridad. A continuación se presenta el mapa resultante del manejo de datos generando el mapa de factores de seguridad de taludes en superficie.

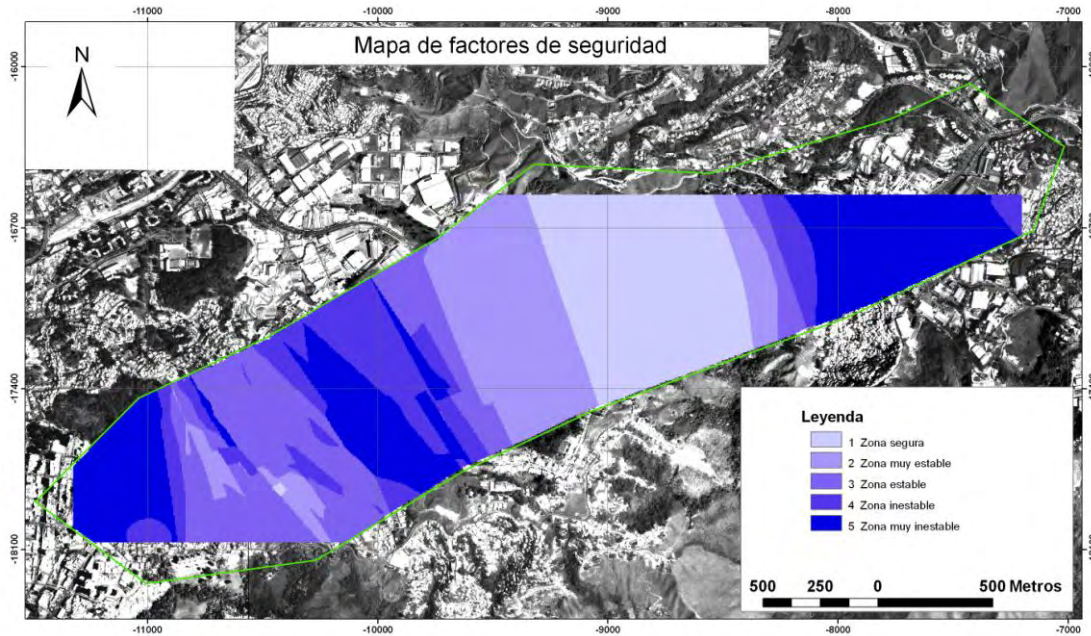


Fig.26 Mapa de Factores de Seguridad.

Luego de realizado el mapa se procedió a realizar el gráfico de porcentajes de las zonas presentes en el mismo el cual se presenta a continuación:

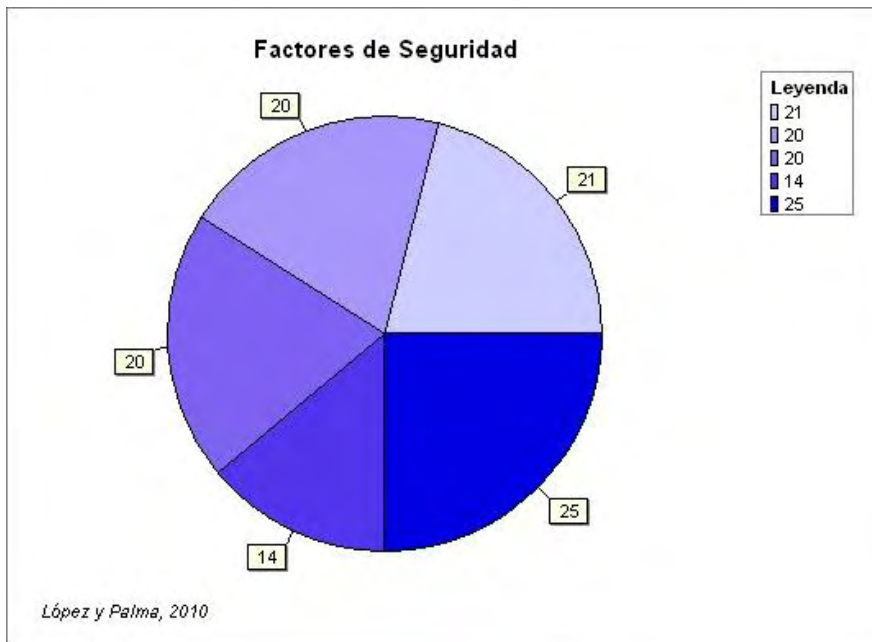


Fig.27 Grafico de distribución de porcentajes de Factores de Seguridad en superficie.

Los resultados en porcentaje de área del mapa de factores de seguridad, arroja cierta equivalencia entre sus 5 rangos de clasificación, a continuación se indicarán las principales áreas en las cuales aparece cada zona de la clasificación.

Zona tipo 1 o zona Segura.

En esta zona se estiman los taludes que por sus características geotécnicas su factor de seguridad es muy superior a 1,5, dicha categoría abarca el 21% de la superficie del mapa y las principales zonas con estos factores de seguridad son las adyacencias del sector superlíder y algunos taludes ubicados en el sector la macarena.

Zona tipo 2 o zona muy estable.

Esta zona en la que se aprecia en el mapa este tipo de taludes esta conformada por la banda entre los sectores Casa Mía y Súper líder y la zona de los Cerritos, esta superficie representa el 20% del área de estudio.

.Zona tipo 3 o zona estable.

Esta zona conformada por el 20% de la superficie, entre las principales localidades en las que se aprecian en el mapa este tipo de taludes se tiene el sector Casa Mía, el sector de entrada al Vigía y la urbanización la Macarena Norte.

Zona tipo 4 o zona inestable.

Esta zona se extiende sobre el 14% del mapa, esta compuesta por taludes propensos a deslizamientos o flujos de masa y principalmente se aprecia hacia la zona norte de la Urb. Pan de Azúcar, el sur del sector el Vigía y una pequeña banda en el sector Camino Real, en las adyacencias de la quebrada Camatagua.

Zona tipo 5 o zona muy inestable.

Esta zona considerada la que aporta mayor amenaza al mapa de riesgos geológicos esta compuesta del 25% de la zona de estudio, en la misma se aprecian taludes que por sus características geomecánicas son propensos al colapso, las principales localidades con este tipo de taludes son en la periferia de la quebrada la Macarena, y en la zonas altas de Carrizal, conocida como Altos de Corralito y Colinas de Carrizal.

#### **4.1.3.5. Mapa de Esfuerzos verticales.**

El siguiente mapa es producto de la interpolación de los esfuerzos verticales, éstos resultados se operan para que la herramienta muestre el producto en formas de círculos (opción *IDW* de *interpólate to raster* en la herramienta *analyst 3D*), donde cada color corresponde a un intervalo de esfuerzo vertical. Al realizar las operaciones para la generación del mapa de esfuerzos verticales con la información geotécnica de subsuelo el resultado obtenido se observa en la siguiente figura:

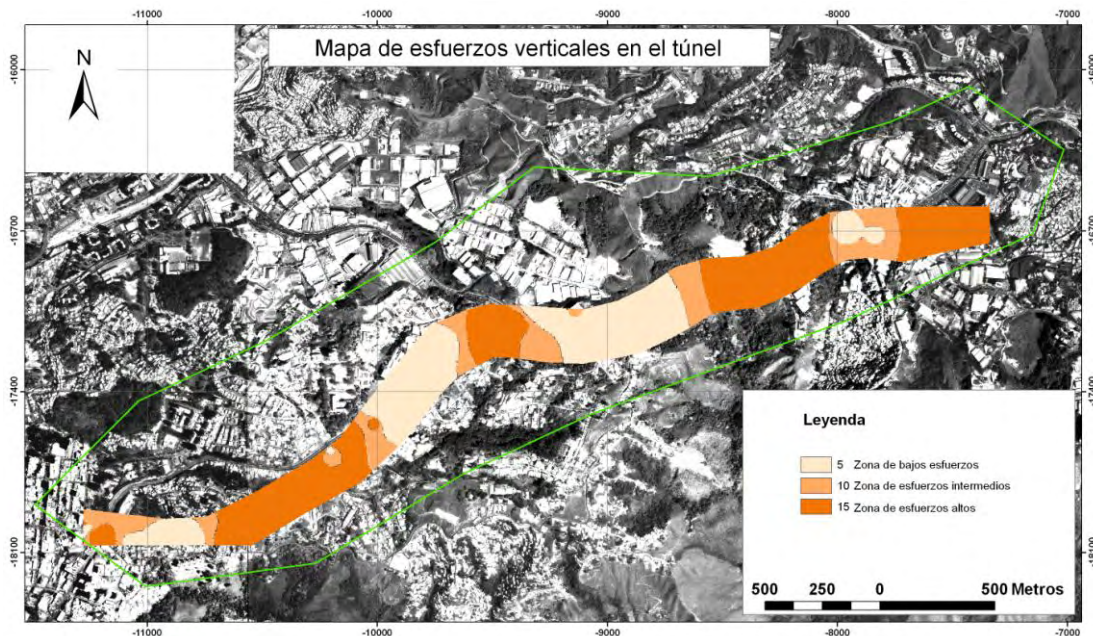


Fig.28 Mapa de Esfuerzos Verticales en subsuelo.

En dicha figura, se aprecia un plano de planta en el cual la información es muy puntual a lo largo de todo el proyecto de alineamiento, donde se puede observar como van variando los esfuerzos a medida que se recorre el trazado del proyecto de expansión de Metro de Los Teques, donde las zonas de mayores esfuerzos son las de color Naranja intenso y los esfuerzos van disminuyendo a medida que se va aclarando la tonalidad de colores.

Para crear una visión en 3d de la distribución de los esfuerzos verticales en el subsuelo se realizaron 3 cortes esquemáticos en los cuales se muestra la posición del bulbo de esfuerzos (recomendaciones AFTES para suelo) con su respectivo color que indica el tipo de carga en la posición en la que se encuentra realizado el corte.

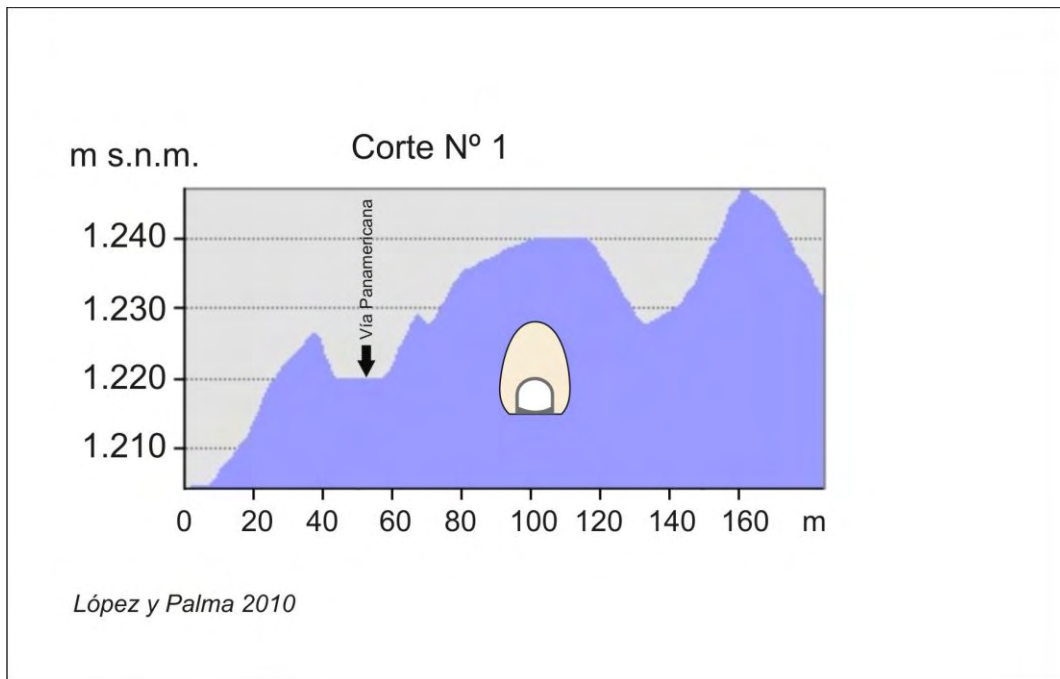


Fig.29 Corte esquemático número 1 progresiva 3+500

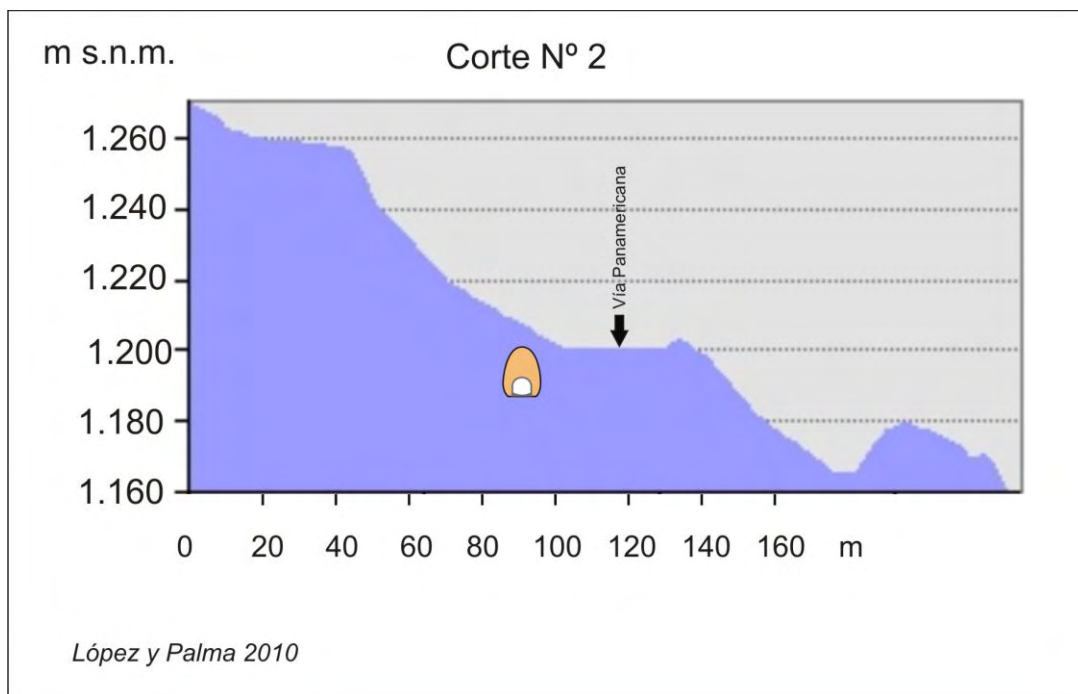


Fig. 30 Corte esquemático número 2 progresiva 4+500

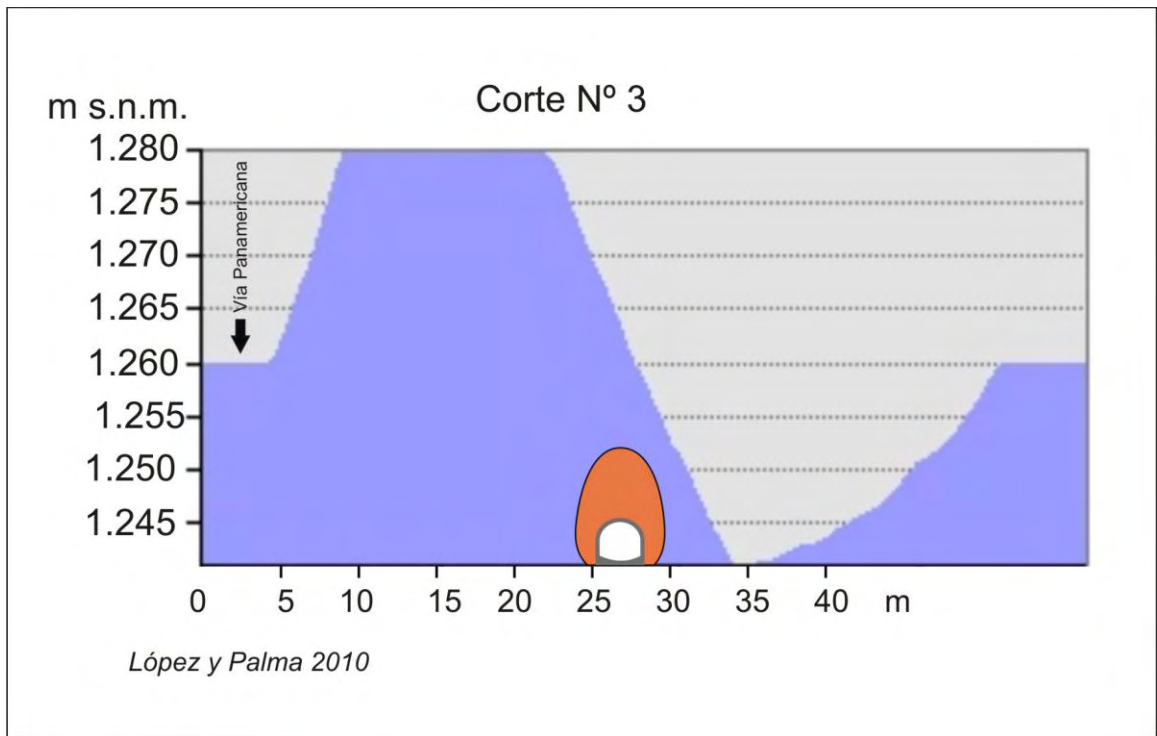


Fig.31 Corte esquemático número 3 Progresiva 5+000

Una vez obtenido el mapa de esfuerzos verticales se procedió a realizar el cálculo de los porcentajes abarcados por cada zona o tipo en los que se dividió la clasificación y el resultado fue el siguiente:

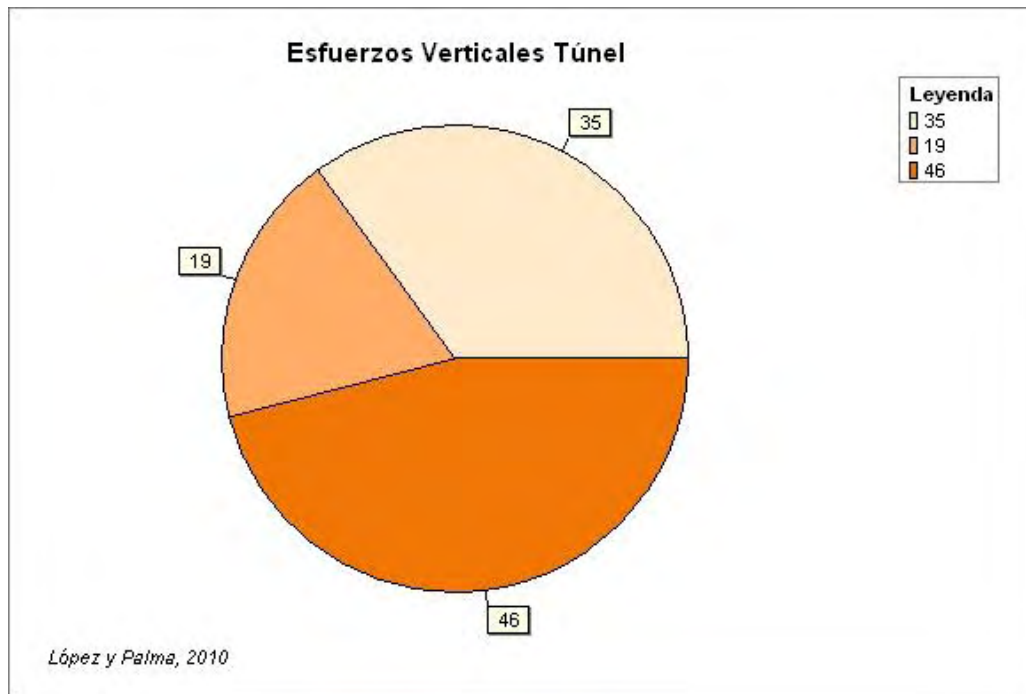


Fig. 32 Grafico de distribución de porcentajes de esfuerzos verticales en el túnel.

Luego de obtenidos los porcentajes de los esfuerzos verticales actuantes sobre el túnel en cada tipo a renglón de la clasificación, se procedió a reconocer los cambios a medida que va avanzando el recorrido del túnel

Zona tipo 1 o zona de esfuerzos bajos.

Esta zona ocupa un área de 35% de la superficie del mapa, sus tramos principales se encuentran ubicados entre las progresivas 1+900 - 2+250, 3+200 - 3+800 y 3+950-4+450 respectivamente. El esfuerzo vertical que comprende este rango de la clasificación es entre 5,56 y 9,48 ton/m<sup>2</sup> por metro lineal.

Zona tipo 2 o zona de esfuerzos intermedios.

Esta zona ocupa un área del 19% de la superficie del mapa, al ser la zona que posee menor porcentaje del total general del mapa, se caracteriza por presentarse en intervalos de tramo muy cortos y salteados dentro de los tramos mas largos de las otras zonas de clasificación de la superficie estudiada. El esfuerzo vertical que comprende este rango de la clasificación es entre 9,48 y 12,4 ton/m<sup>2</sup> por metro lineal.



Zona tipo 3 o zona de esfuerzos altos.

Esta zona ocupa el 46% de la superficie del mapa, sus tramos principales se encuentran ubicados entre las progresivas 2+400- 3+050, 4+600- 5+2250 y 5+550- 6+000, respectivamente, el esfuerzo vertical comprendido en este tipo de la clasificación va de 12,4 a 15,32 ton/m<sup>2</sup> por metro lineal.

#### **4.1.4 Comparación de datos de campo contra resultados de la aplicación ERDAS**

Una vez realizado el análisis del procesamiento de la imagen de satélite bajo el software ERDAS, se observó que los parámetros geotécnicos no poseen un sistema de combinaciones de bandas favorables para su detección, utilizando combinaciones de bandas para la identificación de datos como la humedad, suelo y vegetación se pudo discriminar la presencia de estos elementos de manera individual y conjunta, dando como resultado que un porcentaje cercano a la mitad de la superficie de la zona de estudio presenta este tipo de elementos.

Otros elementos fácilmente discriminados por la operación de la imagen de satélite fue la presencia de infraestructura, la cual fue señalada y resaltada también dentro de la superficie del mapa.

A continuación se presenta el mapa generado a partir de los elementos identificados en la interpretación de la imagen satelital de la zona de estudio.

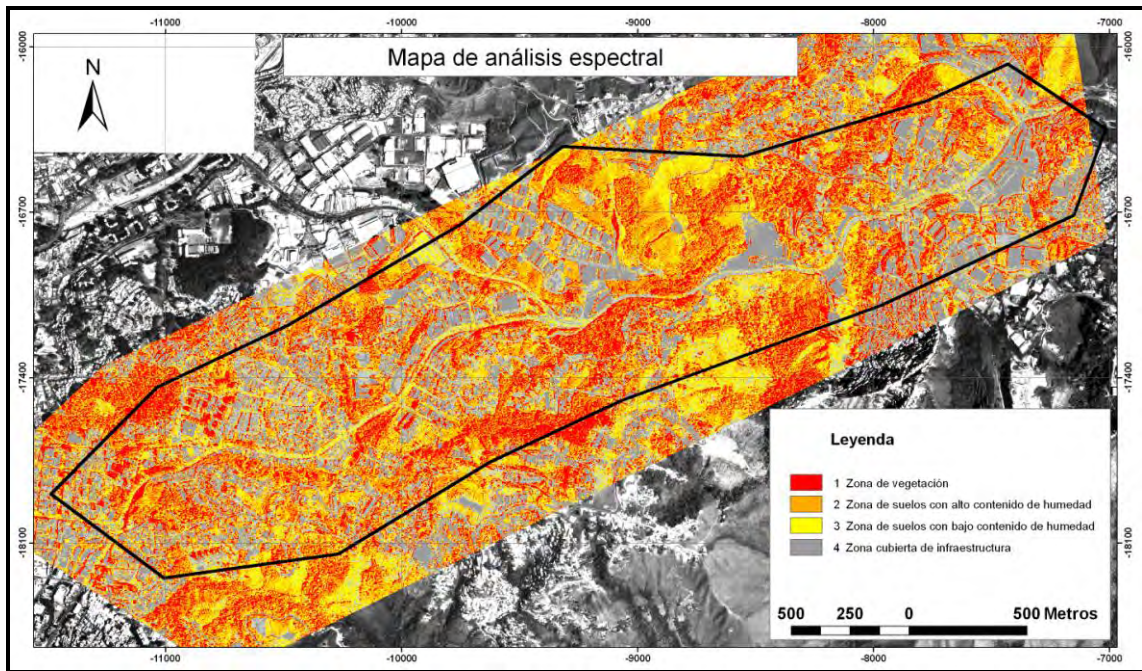


Fig. 33 Mapa generado a partir de elementos identificados en la imagen satelital.

Se puede determinar que los grandes grupos de características observadas e identificadas por el uso de la percepción remota en este caso específico el uso de imágenes satelitales fueron la vegetación, los suelos secos y aquellos que contienen un porcentaje de humedad significativo, y las infraestructuras presentes en la zona de estudio.

#### 4.1.5 Mapa de riesgo geológico de la zona en superficie.

Este mapa es el producto de la operación algebraica de los mapas subsecuentes en superficie, los cuales aportaron las características asignadas a cada uno de los polígonos presentes en ellos como valor dato de aporte de amenaza geológica, la cual al ser introducida en una ecuación de sumatoria arrojó como resultado el mapa de riesgo geológico que se presenta en la fig. 34 en el cual se aprecia el resultado de la suma algebraica de los mapas de vulnerabilidad, procesos geodinámicos, pendientes y factores de seguridad a continuación.

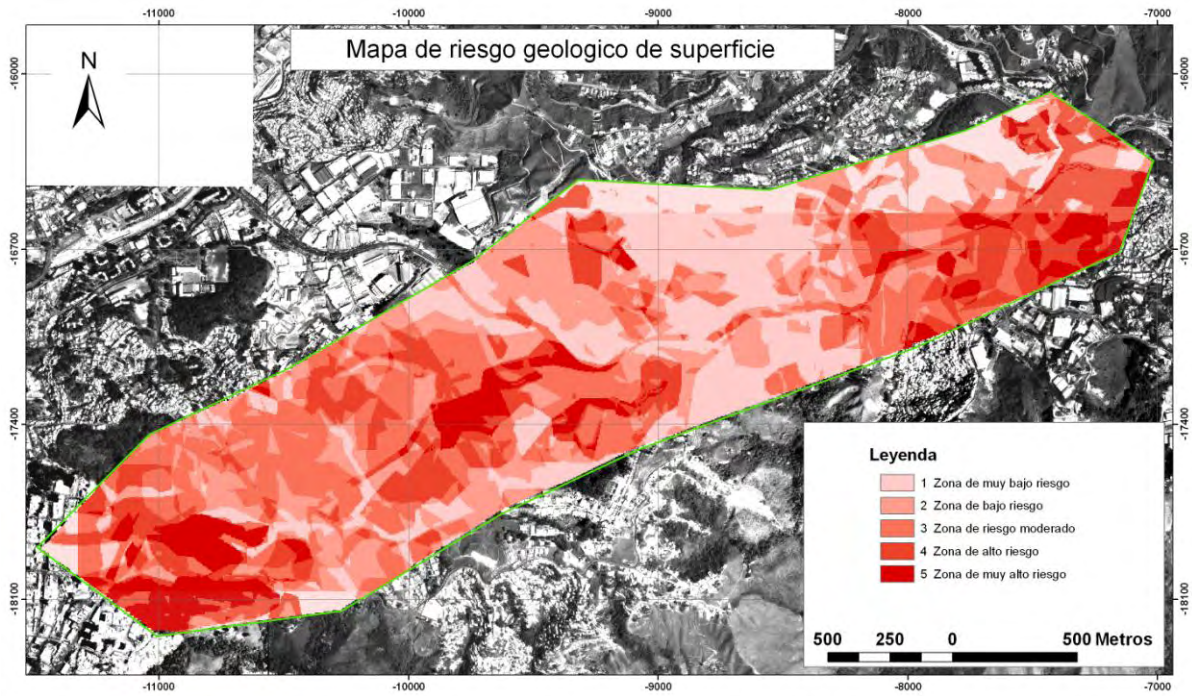


Fig. .34 Mapa de riesgo geológico en superficie.

Una vez obtenido este mapa se procedió a realizar el cálculo de los diferentes tipos de áreas representados en él siguiente grafico de porcentajes.

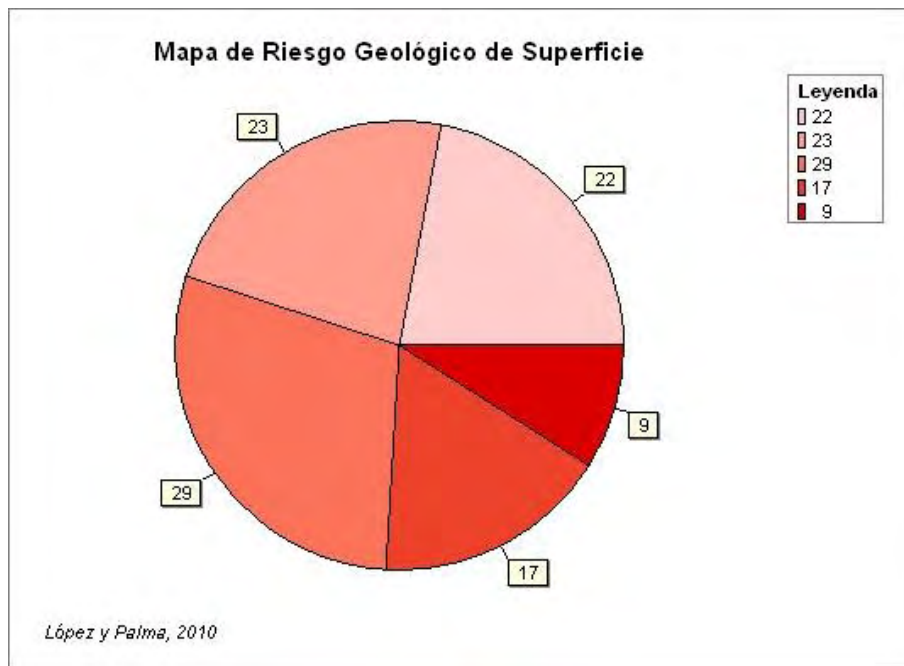


Fig. 35 Mapa de Riesgo Geológico en superficie.

Se puede apreciar en el gráfico, la repartición del riesgo en la zona de estudio y esta quedo organizada de la siguiente manera:

Zona tipo 1 o zona de muy bajo riesgo.

Se presenta un área del 22% de la superficie del mapa bajo esta tipología, esto se debe a que son las zonas donde la acumulación de amenazas de los diferentes mapas utilizados para su generación es la mas baja de toda la zona de estudio, son localidades generalmente sin elementos vulnerables presentes en ella, con zonas forestales no intervenidas las cuales generan una protección al suelo ante los elementos que aceleran la meteorización, por lo general no se presentan procesos geodinámicos de importancia y las pendientes suelen ser suaves a moderadas.

Zona tipo 2 o zona de bajo riesgo.

Este tipo de clasificación ocupa el 23% de la superficie del mapa, posee algunos elementos de amenazas de bajo a moderados, existen algunas zonas de vulnerabilidad como edificaciones calculadas y vialidades, procesos geodinámicos intermedios a bajos, algunas pendientes de bajas a moderadas y los factores de seguridad geotécnica rondan el valor de 1,5 generalmente, salvo algunos saltos en cualquiera de los mapas previos la cual promediada con otros de los mapas que adoptan en dichas zonas valores muy bajos mantienen y regulan el riesgo de la zona.

Zona tipo 3 o Zona de riesgo moderado.

Es la zona con mayor expansión en área de todo el mapa, llegando a alcanzar el 29% del mismo, esto se debe a que al trabajar y generar los datos promediando 4 parámetros, es la región en la cual suelen agruparse y acomodarse la mayor cantidad de superficie, se presentan las pendientes en rangos que van de moderadas a altas, las cuales se fusionan con zonas vulnerables y regiones de factores geotécnicos que van de lo estable a lo muy estable y con procesos geodinámicos moderados. Esta zona esta representada principalmente en centros de actividad comercial e industrial, así

como urbanizaciones residenciales organizadas y algunos puntos de la vialidad principal también se ven incorporados a este renglón de la clasificación.

Zona tipo 4 o zona de alto riesgo.

Esta zona ocupa el 17% de la superficie del mapa, son zonas generalmente inestables con pendientes altas, con alta vulnerabilidad y con una alta actividad en cuanto a procesos geodinámicos se refiere. Esta zona se encuentra representada principalmente por zonas con una baja a media planificación urbanística donde se dejan expuestas laderas y taludes a los agentes erosivos, lo cual acumulado a los agentes vulnerables presentes y la calidad de los suelos generan una zona con un alto riesgo geológico.

Zona tipo 5 o zona de muy alto riesgo.

Esta zona es la que se puede considerar una zona crítica del área de estudio, abarca un 9% de la superficie del mapa, pero a pesar de ser la zona de menor extensión en área, es la que representa un mayor riesgo geológico, son regiones cargadas de zonas muy vulnerables donde viven y realizan las actividades cotidianas un número representativo de individuos de la población, con una ocurrencia de eventos geodinámicos que incluyen desplazamientos de masa de suelo altos a muy altos, con parámetros geotécnicos que arrojan valores inestables o muy inestables y pendientes muy altas, parámetros estos, que al ser sumados entre si dan como consecuencias una zona donde las amenazas son generalmente muy altas y dan el mayor riesgo geológico del área de estudio.

#### 4.1.6 Mapa de riesgo geológico en subsuelo.

Este mapa se generó basándose en las cargas verticales actuantes directamente sobre el túnel el cual se calculo a una profundidad promedio de 20 metros, este mapa consiste solamente en un área en forma de franja la cual va recorriendo el trayecto de todo el alineamiento que pasa por la zona de estudio, el resultado del mapa de la zona que pudiese llegar a ser afectada en superficie en caso de un posible colapso del túnel operada junto con los elementos de vulnerabilidad presentes en dicha superficie de afectación arrojo como resultado el siguiente mapa.

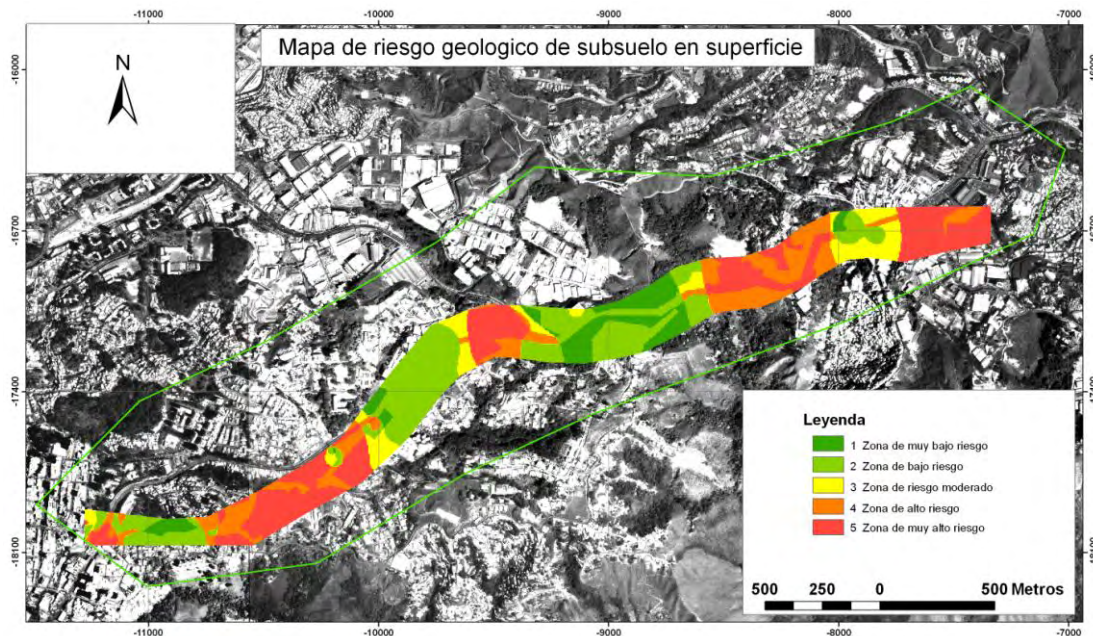


Fig.36 Mapa de riesgo en superficie con respecto al túnel.

Una vez generado el mapa se procedió a generar el gráfico en el cual se muestran los porcentajes presentes en cada tipo de la clasificación a la cual se sometió el mapa de riesgo geológico en subsuelo.

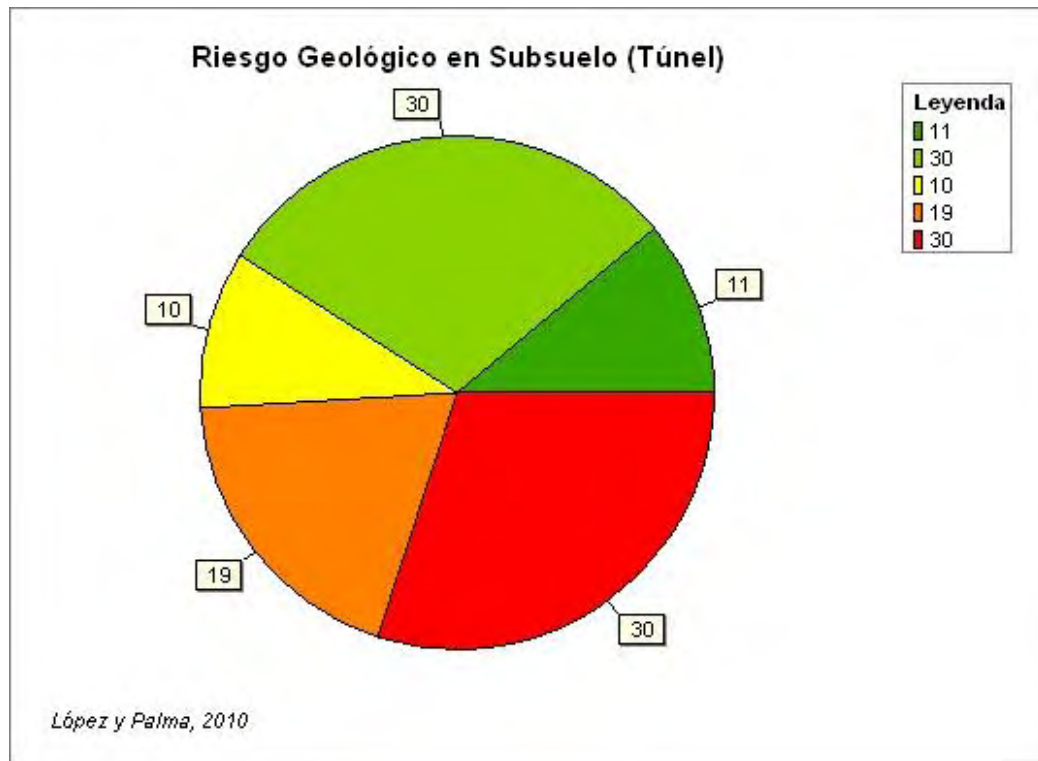


Fig.37 Gráfico de distribución de porcentajes de riesgo geológico en subsuelo.

Zona tipo 1 o zona de riesgo muy bajo.

Se presenta un área de 11% de la superficie del mapa, la cual posee una mezcla de zonas de baja vulnerabilidad que al ser operada contra una región de bajo esfuerzo vertical da una zona en la que la posibilidad de un colapso del túnel que produzca algún tipo de afectación es totalmente nulo

Zona tipo 2 o zona de riesgo bajo.

Esta zona es junto con la zona 5 las zonas de mayor extensión de área del mapa alcanzando un 30% del área del mapa, esta zona combina las zonas de bajo esfuerzo vertical con zonas medias de vulnerabilidad.

Zona tipo 3 o Zona de riesgo moderado.

Se presenta un área equivalente al 10% del mapa, esta zona opera un esfuerzos verticales y zonas de vulnerabilidad media, como también puede generarse con zonas de baja vulnerabilidad con esfuerzos intermedios a altos, o zonas de esfuerzos

intermedios con zonas de alta vulnerabilidad, pero generalmente a el factor que agrega mayor influencia es el de las cargas verticales.

Zona tipo 4 o zona de alto riesgo.

Esta zona que se extiende en un área del 19% de la superficie del mapa equivale a zonas de cargas intermedias con regiones de muy baja vulnerabilidad o zonas de muy alta vulnerabilidad con regiones de esfuerzo vertical intermedios.

Zona tipo 5 o zona de muy alto riesgo.

Esta zona es junto con la zona tipo 3 la de mayor superficie de área del mapa con un 30% de la superficie de mismo, esta zona se genera al operar regiones de esfuerzos verticales muy altos con zonas de alta vulnerabilidad, es importante acotar que en estas regiones es en las cuales existe la mayor probabilidad de que exista un colapso del túnel y en caso de ocurrir existiría la mayor afectación por este motivo es que se considera esta zona como la de mayor riesgo geológico en todo el mapa.

El riesgo geológico en el subsuelo prácticamente está controlado por los esfuerzos verticales en el túnel que se ejerce a lo largo del alineamiento, se observa como varían de manera sutil los cambios observados en el mapa de esfuerzos y en el de vulnerabilidad, ya que la suma algebraica de estos es lo que genera este mapa en sí, donde las zonas de mayor esfuerzo coinciden con las de mayor riesgo en el subsuelo.



## CAPÍTULO IV

### 4.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo general y los objetivos específicos fueron alcanzados, dando como resultado la construcción efectiva de 5 mapas secundarios y 2 mapas principales en los cuales se muestra el resumen de la situación de riesgo geológico del área estudiada tanto en superficie por medio del cálculo de la estabilidad de taludes como en subsuelo a través del cálculo de los esfuerzos verticales actuantes en el túnel.

La geología del área está conformada por un esquisto calcítico grafitoso muscovítico con presencia de sericita, la geología estructural de la zona presenta planos de foliación con dirección N45W buzando con ángulos entre 30 y 60 grados tanto para el norte como al sur, la geomorfología se caracteriza por presentar valles abiertos y colinas sub redondeadas con una zona de contacto entre cuerpos litológicos distintos (esquisto Las Brisas y esquisto Las Mercedes).

El material encontrado en el subsuelo se clasifica según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo, como una arena limosa con grava (SM)g.

Se crearon 5 mapas temáticos: Vulnerabilidad, Procesos, Pendiente, FS, Esfuerzo Vertical; a partir de estos se obtuvieron 2 mapas de riesgo geológico, un primer mapa en superficie y un segundo en el subsuelo.

Con respecto a la vulnerabilidad esta posee un 35 % de zonas clasificadas como vulnerables, este porcentaje representa el más significativo del área y envuelve las zonas urbanas de Barrio La Matíca, Brisas de Oriente y La Macarena.

El mapa de procesos geodinámicos que clasifica la magnitud de la amenaza muestra un porcentaje del 67% como áreas de muy baja amenaza, esto se debe a que esta

superficie está cubierta por zonas urbanizadas, por el contrario las áreas de muy alta amenaza constituyen un 17 % del área total, este porcentaje afecta a las zonas de barrio La Matica, Brisas de Oriente y los taludes al norte de la zona industrial Los Cerritos, en los cuales se identifican procesos geodinámicos como: cicatriz de desprendimientos de materiales, despegues de material en paquetes, masa deslizante actual y conos de deyección.

El mapa de factor de seguridad en superficie muestra una tendencia equitativa en los 5 rangos de clasificación, donde el 48% corresponde a zonas inestables con factores de seguridad menor a 1 en las áreas de la zona norte de la Urb. Pan de Azúcar, el sur del El Vigía, las adyacencias de la quebrada Camatagua, periferia de la quebrada La Macarena y Altos de Corralito, y un 52% de zonas estables, sector Casa Mía, Los Cerritos, La Urb. La Macarena Norte, donde el 17% corresponde a zonas con factor de seguridad mayor a 1,5; es decir que ingenierilmente es estable.

El mapa de esfuerzos verticales posee 3 zonas donde los calificados como esfuerzos altos, corresponden a una superficie de 46%, estos esfuerzos se encuentran ubicados entre las progresivas 2+400-3+050, 4+600- 5-250 y 5+550-6+000, teniendo un rango de esfuerzo vertical entre 12,4 y 15,32 Ton/m<sup>2</sup> por metro lineal. Los esfuerzos bajos ocupan un área de 35% estas se encuentran entre las progresivas 1+900-2+250, 3+200-3+800 y 3+950-4+450, cuyos rango de esfuerzos vertical son entre 6,56 y 9,65 Ton/m<sup>2</sup> por metro lineal. Se observan zonas de esfuerzos intermedios de menor ocurrencia que conforman un frente mixto con los esfuerzos altos y bajos.

El mapa de riesgo geológico muestra 5 clasificaciones de riesgo, de los cuales el de mayor riesgo ocupa el 9% de la superficie de estudio y abarca las áreas donde se encuentran ubicados las zonas urbanas como los Barrios de La Matica, La Macarena, José Manuel Álvarez y el norte de la zona industrial Los Cerritos.

El mapa riesgo geológico en el subsuelo muestra 5 zonas de riesgo, donde las zonas de alto riesgo se ubican entre las progresivas 2+400–3+050, 4+600- 5-250 y 5+550-6+0005, ésta zona de alto riesgo ocupa el 30% de la superficie del mapa teniendo como principal área vulnerable la carretera Panamericana. Estas zonas de alto riesgo representan a su vez las de mayor esfuerzo vertical por consiguiente se recomienda tomar las consideraciones para el diseño del sostenimiento del túnel en estos tramos.

El análisis por álgebra de capas es una herramienta que puede ser aplicada para estudios de distinta índole, esta permite enfocar problemas o planteamientos de hipótesis con distintas perspectivas, ayudando a facilitar la integración de información proveniente de diversos mapas o disciplinas, reduciendo así considerablemente los tiempo en estudios previos, levantamiento de campo y costos.

La herramienta de análisis espectral por sensores remotos aplicados a parámetros geotécnicos no arroja datos que puedan considerarse confiables, se recomienda realizar un estudio posterior en el cual se manejen imágenes a mayor resolución y con mayor número de bandas espectrales con el fin de corroborar la confiabilidad del uso de esta herramienta para la elaboración de proyectos enfocados en el área de la geotécnica.

Con respecto a las imágenes satelitales, se recomienda tener imágenes de mejor resolución a la SPOT 5, una excelente opción es la realización de un vuelo aerotransportado en el cual se puede hacer un barrido de la zona de estudio haciendo la solicitud del número de bandas espectrales que se deseen, con la finalidad de obtener una resolución tanto de pixel como espectral cónsona con la magnitud de la investigación.



## BIBLIOGRAFÍA

- Botz, J. y otros. (2003). Effects of slope and particle size on ant locomotion: Implications for choice of substrate by antlions, vol. 76, no3, pp. 426-435.
- Braja D. (1997). Advanced soil mechanics, segunda edición, California, 453 p.
- Braja D. (Julio 2008). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Mexico, talleres de Edamsa Impresiones, 594 p.
- Centeno y otros (2008). Estudio de Geomorfología y Amenazas Geotécnicas e Hidrológicas. Caracas.
- Chubieco E. (2006). Teledetección ambiental. Observación de la tierra desde el espacio, segunda edición, editorial Ariel Ciencias, Barcelona, España, 583 p.
- Cooper M.G., (sf). Risk: Man-Made Hazards to Man W.H.W. Inman, p. 36.
- Copton R. (1962). Geología de Campo, Argentina, 478 p.
- Cuny Frederick C. (sf) Disasters and Developmen.
- Dai F. C. y Lee C. F. (2001). Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. [Geomorphology](#), (42), 213-228.
- De Marco, P. (2004). Guía de estudios de la cátedra de mecánica de rocas. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Departamento de Minas. Inédito. Caracas.
- Erdas (1997). Tutorial en español, 356 p.
- Esri de Venezuela (2007). Curso ArcGis I Manual de Teoría, 208 p.
- Herrera C. Roberto (1999). Geología de las quebradas Santa María y Palo Negro Los Teques - Carrizal, Estado Miranda. Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Lambe William (1997) Mecánica de Suelos. México. p 577.

Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos  
(Gaceta Oficial N° 39.095 del 9 de enero de 2009).

Luzi L. Y Pergalani F. (2000). Slope vulnerability to earthquakes at subregional scale, using probabilistic techniques and geographic information systems. [Engineering Geology](#), (58), 313-336

Maskrey A. (1993), Los desastres no son naturales, Red de Estudios sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 134 p.

Mejía M., Wohl E. y Oaks S. (1994). Geological hazards, vulnerability, and risk assessment using GIS: model for Glenwood Springs, Colorado. [Geomorphology](#), (10), 331-354.

Ohlmacher G. y Davis J. (2003). Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. [Engineering Geology](#) (69), 331-343.

ONAE (1987). "Atención de Emergencias", Presidencia de la República.

PDVSA Intevp (Junio 2009). Código Estratigráfico de las Cuencas Petrolíferas de Venezuela 05/06/09

<http://www.pdvsa.com/lexico>

Peña N. Luis F. (2003). Estudio de riesgo geológico en el sector Maiquetía\_Caraballeda, Edo. Vargas. Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Salazar J. (2004). Detección de elementos litológicos y estructurales a través de procesamiento e interpretación de imágenes satelitales para la exploración petrolera en el norte de la subcuenca de Guárico. Caso de estudio. Formación El Pao y sus alrededores. Escuela de Ciencias de la Tierra, departamento de Geología, UDO. Ciudad Bolívar, Venezuela. Trabajo Especial de Grado, inédito, 157 p.

Valera G. Patricia Y. (2007). Caracterización geotécnica y estudio geológico de un área ubicada entre los sectores de Araguaita y una zona cercana a la Quebrada Obispo a lo largo de la autopista de oriente " Gran Mariscal de Ayacucho ",

estado Miranda. Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Vallejo L. y otros (2004). Ingeniería Geológica, editorial Isabel Capella, España, 744 p.

Urbani, F. y Rodríguez, J. (2004). *Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa Venezuela*. U.C.V., Caracas

Walsh S., Butler D. y Malanson G. (1998). An overview of scale, pattern, process relationships in geomorphology: a remote sensing and GIS perspective, [Geomorphology](#), (21), 183-205.

Wilches-Chaux G., (1988) .La Vulnerabilidad Global.