

**SUBDIRECCIÓN GESTIÓN AMBIENTAL URBANA
SOSTENIBLE
COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO**



**ESTUDIO DETALLADO DE AMENAZA POR
FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA
MUNICIPIO DE SURATÁ**

TEXTO, ANEXOS

CUADRO SEGUIMIENTO

Descripción	Responsable	Etapa	Fecha	Firma
Topografía	Ing. William Eduardo Cortés Peña	Revisión	24-06-2009	
Estudio geológico y geomorfológico	Geól. Nathalia Contreras Vásquez	Revisión	03-09-2009	
Investigación geotécnica	Ing. William Eduardo Cortés Peña	Revisión	08-10-2009	
Usos del suelo	Ing. William Eduardo Cortés Peña	Elaboración		
Inventario de movimientos en masa	Ing. William Eduardo Cortés Peña Geól. Nathalia Contreras Vásquez	Elaboración		
Modelo geológico-geotécnico	Geól. Nathalia Contreras Vásquez Ing. Diana Hermencia Caballero Patiño	Elaboración		
Zonificación de Amenaza	Ing. William Eduardo Cortés Peña Geól. Nathalia Contreras Vásquez Ing. Diana Hermencia Caballero Patiño	Elaboración		
Revisión documento	Ing. William Eduardo Cortés Peña	Revisión		
Verificación documento	Ing. Orlando Bayona Aparicio	Verificación		
Validación	Ing. German Alfonso Cobos Miranda	Validación		

INTEGRANTES

GERMAN ALFONSO COBOS MIRANDA
Subdirector Gestión Ambiental Urbana Sostenible

ORLANDO BAYONA APARICIO
Coordinador Gestión del Riesgo

WILLIAM EDUARDO CORTES PEÑA
Director Estudio

DIANA HERMENCIA CABALLERO PATIÑO
NATHALIA MARIA CONTRERAS VÁSQUEZ
Grupo Técnico



TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE FOTOS	10
LISTA DE PLANOS	12
1 INTRODUCCIÓN	13
1.1 OBJETIVO	13
1.2 ANTECEDENTES	13
1.3 LOCALIZACIÓN	14
1.4 METODOLOGÍA	15
1.5 REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE	16
1.5.1 AMENAZA SÍSMICA	17
1.5.2 USOS Y TRATAMIENTOS	18
1.5.3 HIDROLOGÍA	20
2 MODELO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO	26
2.1 GEOLOGIA REGIONAL	26
2.1.1 UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	28
2.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	35
2.2 GEOMORFOLOGÍA	37
2.2.1 MORFOMETRÍA	40
2.2.2 MORFOGÉNESIS	42
2.2.3 MORFODINÁMICA	44
2.3 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y ENSAYOS DE LABORATORIO	47
2.3.1 EXPLORACIÓN	47
2.4 MODELOS GEOTÉCNICOS	50
2.4.1 TALUD INFINITO	51
2.4.2 FALLA ROTACIONAL	51



TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
2.4.3 CALIBRACIÓN DEL MODELO GEOTÉCNICO Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS	52
3 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA	53
3.1 ESCENARIOS	53
3.1.1 TALUD INFINITO	54
3.1.2 MÉTODOS DE BISHOP, JANBU Y MORGESTERN & PRICE	54
4 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA	63
4.1 ZONIFICACIONES PRELIMINARES	63
4.1.1 ZONIFICACIÓN POR FALLA PLANA	63
4.1.2 ZONIFICACIÓN POR FALLA ROTACIONAL	67
4.1.3 ZONIFICACIÓN POR MOVIMIENTOS ACTIVOS	72
4.2 ZONIFICACIÓN FINAL POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA	73
4.2.1 ZONA DE AMENAZA ALTA 1 (ZA1)	73
4.2.2 ZONA DE AMENAZA ALTA 2 (ZA2)	74
4.2.3 ZONA DE AMENAZA MEDIA (ZM)	75
5 MEDIDAS DE MITIGACIÓN	76
5.1 CONTROL Y MANEJO DE LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA	76
5.2 RED DE INCLINÓMETROS	76
5.3 RED DE PIEZÓMETROS	77
5.4 DRENES DE PENETRACIÓN HORIZONTAL	77
5.5 DISEÑO OBRAS DE ESTABILIZACIÓN	78
5.6 PROGRAMA DE REPOSICIÓN DE REDES	79
5.7 PRESUPUESTO PRELIMINAR OBRAS DE MITIGACIÓN	79
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80



TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
7 BIBLIOGRAFIA	82
ANEXOS	83



LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Perforaciones realizadas en el casco urbano de Suratá.....	47
Tabla 2. Clasificación del potencial expansivo de los suelos (ASTM D4829,1988)	49
Tabla 3. Clasificación de Varnes, 1978.....	50
Tabla 4. Tipos de suelo.....	52
Tabla 5. Clasificación de la amenaza	53
Tabla 6. Factores de Seguridad mediante Talud Infinito para Coluvión.....	54
Tabla 7. Presupuesto preliminar aproximado obras de mitigación.....	79

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización geográfica del Municipio de Suratá.	14
Figura 2. Metodología de zonificación de amenaza por FRM de la CDMB.	15
Figura 3. Mapa de Amenaza Sísmica y Valores de Aa de Colombia.....	17
Figura 4. Uso actual del suelo urbano.....	18
Figura 5. Zonificación de usos del suelo.....	19
Figura 6. Tratamientos de desarrollo.....	20
Figura 7. Curvas Isoyetas para la microcuenca del río Suratá parte alta y precipitación media anual de la cabecera municipal de Suratá.	21
Figura 8. Curvas de Isotemperatura para la microcuenca del río Suratá parte Alta. Los valores representa la temperatura media anual.	22
Figura 9. Curvas de Isoevapotranspiración potencial para la microcuenca del río Suratá parte alta. Los valores indican la Evapotranspiración Potencial Media Anual.....	23
Figura 10. Clasificación climática de Thornwaite para la microcuenca del río Suratá Alto. (Tomado de POAT de Suratá, 2002)	24
Figura 11. Principales sistemas de drenaje que fluyen en sentido NW-SE hasta el Río Suratá.	25
Figura 12. Geología Regional del Municipio de Suratá. Tomado del mapa geológico del Cuadrángulo H-13. (INGEOMINAS, 1977 en Castro E., 2009).....	26
Figura 13. Esquema tectónico del Departamento de Santander, adaptado de Clavijo, et. al (1993) en Royero, et al (2001).....	27
Figura 14. Interpretación fotogeológica del área de estudio. Vuelos SAD 297 F-2N, Fotos 583 y 584 de 1989. Escala 1:11.000. Sector occidental del Río Suratá.....	35
Figura 15. Interpretación fotogeológica de los aspectos geomorfológicos de la zona de estudio. Vuelos SAD 297 F-2N, Fotos 583 y 584 de 1989. Escala 1:11.000.	39
Figura 16. Mapa de pendientes del casco urbano de Suratá.....	42
Figura 17. Exploración geotécnica del casco urbano de Suratá. Ubicación de perforaciones, apiques, SEV y trazado de perfiles geotécnicos.	48

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 18. Factores de Seguridad en condiciones estáticas y dinámicas para el Perfil 1.....	55
Figura 19. Factores de Seguridad en condiciones estáticas y dinámicas para el Perfil 2.....	56
Figura 20. Factores de Seguridad en condiciones estáticas y dinámicas para el Perfil 3.....	57
Figura 21. Factores de Seguridad en condiciones estáticas y dinámicas para el Perfil 4.....	58
Figura 22. Factores de Seguridad en condiciones estáticas y dinámicas para el Perfil 5.....	59
Figura 23. Factores de Seguridad en condiciones estáticas y dinámicas para el Perfil 6.....	60
Figura 24. Factores de Seguridad en condiciones estáticas y dinámicas para el Perfil 7.....	61
Figura 25. Factores de Seguridad en condiciones estáticas y dinámicas para el Perfil 8.....	62
Figura 26. Zonificación de la Amenaza en condiciones ideales, empleando el método de Talud Infinito.....	64
Figura 27. Zonificación de la Amenaza en condiciones no saturadas y con sismo, empleando el método de Talud Infinito.....	65
Figura 28. Zonificación de la Amenaza en condiciones saturadas, empleando el método de Talud Infinito.....	66
Figura 29. Zonificación de la Amenaza en condiciones extremas, empleando el método de Talud Infinito.....	67
Figura 30. Zonificación de la Amenaza en condiciones normales con valores de resistencia pico.....	68
Figura 31. Zonificación de la Amenaza en condiciones extremas y con valores de resistencia pico.....	69
Figura 32. Zonificación de la Amenaza en condiciones normales con valores de resistencia residual.....	70
Figura 33. Zonificación de la Amenaza en condiciones extremas con valores de resistencia residual.....	71
Figura 34. Zonificación de movimientos en masa activos.....	72
Figura 35. Zonificación de Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa en el casco urbano de Suratá.....	74



LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 36. Ubicación de los puntos de monitoreo y de las obras de mitigación.....	78
---	----

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Afloramiento de calizas, correlacionables con la Formación Rosablanca, en discordancia angular con limolitas y arcillolitas plegadas. Afloramiento ubicado al suroccidente del casco urbano de Suratá.	31
Foto 2. Afloramiento de la Formación Umir. Capas delgadas de arcillolitas y limolitas muy fracturadas, meteorizadas y húmedas. Afloramiento ubicado al suroccidente del casco urbano, cerca al Cementerio.....	34
Foto 3. Facetas triangulares y sillas de falla producto de la intensa actividad tectónica de la zona, evidencias de la influencia de la Falla Suratá. Foto tomada al suroccidente del casco urbano de Suratá.	36
Foto 4. Lineamiento de la Quebrada Los Curos, con movimiento normal sinetral. Se observan las facetas triangulares por influencia de la Falla Suratá. Foto tomada al oriente del casco urbano de Suratá.	37
Foto 5. Laderas de pendientes suaves y moderadas, sector occidental del área de estudio. Se caracterizan por depósitos de ladera y rocas sedimentarias cretácicas.....	39
Foto 6. Geomorfología del sector oriental del área de estudio.	40
Foto 7. Laderas de pendientes altas y moderadas que corresponden a rocas sedimentarias y pendientes planas y suaves en el casco urbano, concernientes a depósitos de ladera y rocas blandas de la Formación Umir.....	41
Foto 8. Deslizamiento rotacional que se presenta en la parte baja del parque principal del pueblo.....	43
Foto 9. Se observa la curvatura en el tronco de los árboles debido al fenómeno de reptación.	44
Foto 10. Corona de desprendimiento del deslizamiento rotacional activo mayor, localizado en la parte baja del parque principal de Suratá...	45
Foto 11. Deslizamiento rotacional activo en la salida al Municipio de California. Se observa en la parte superior la corona de desprendimiento.....	45



LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 12. Grietas en las calles y desplazamiento de los muros de la vivienda localizada en la corona de desprendimiento de un antiguo deslizamiento rotacional.....	46
Foto 13. Terracetas o patas de vaca, características de los sectores identificados con movimientos de reptación.....	46



LISTA DE PLANOS

Pág.

PLANO 1	LOCALIZACIÓN GENERAL	
PLANO 2	MAPA GENERAL GEOLOGIA SECTOR 1	
PLANO 3	MAPA GENERAL GEOLOGIA SECTOR 2	
PLANO 4	MAPA GENERAL GEOMORFOLOGÍA SECTOR 1	
PLANO 5	MAPA GENERAL GEOMORFOLOGÍA SECTOR 2	
PLANO 6	MAPA GENERAL PENDIENTES SECTOR 1	
PLANO 7	MAPA GENERAL PENDIENTES SECTOR 2	
PLANO 8	MAPA GENERAL ZONIFICACIÓN AMENAZA SECTOR 1	
PLANO 9	MAPA GENERAL ZONIFICACIÓN AMENAZA SECTOR 2	
PLANO 10	MAPA GENERAL OBRAS DE MITIGACIÓN SECTOR 1	
PLANO 11	MAPA GENERAL OBRAS DE MITIGACIÓN SECTOR 2	



1 INTRODUCCIÓN

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga en cumplimiento de sus objetivos estratégicos planteados en el Plan de Acción 2007-2011, entre los cuales se destaca la realización de estudios para evaluar la amenaza de origen natural y antrópico en el Área de Jurisdicción, proporciona el apoyo técnico y económico para el desarrollo del presente trabajo: “Estudio Detallado de Amenazas por Fenómenos de Remoción en Masa Municipio de Suratá”; con el fin de plantear las medidas de corrección y/o mitigación que se deban implementar en las áreas que resulten afectadas por estos fenómenos en la zona de estudio.

Este proyecto responde a la necesidad planteada por la autoridad municipal de Suratá, de determinar áreas que puedan ser afectadas por procesos de remoción en masa para implementar obras efectivas de prevención, mitigación y corrección con el fin de garantizar el desarrollo urbano y la seguridad habitacional de sus pobladores.

1.1 OBJETIVO

El objetivo del presente estudio corresponde a identificar las zonas de amenaza a fenómenos de remoción en masa en el casco urbano del municipio de Suratá y plantear las medidas de mitigación para mejorar las condiciones de la amenaza.

1.2 ANTECEDENTES

El casco urbano del municipio de Suratá ha sido objeto de movimientos de remoción en masa lentos y persistentes que han afectado su infraestructura vial, instituciones educativas, sistema de alcantarillado y viviendas en general; la presencia de grietas de diferente magnitud en muros internos y fachadas han generado colapso y abandono de las mismas, como es el caso del traslado de las instalaciones de la Alcaldía Municipal en el año 1994. Por esto, la Alcaldía Municipal respondiendo a la necesidad de expansión urbana deben limitar el desarrollo en la zonas urbanas que puedan presentar problemas de remoción en masa y realizar obras de mitigación en los sitios

críticos; así como llevar a cabo medidas de prevención donde aún se pueda rescatar la infraestructura existente.

1.3 LOCALIZACIÓN

El Municipio de Suratá se encuentra aproximadamente a 42 Km al nororiente de la ciudad de Bucaramanga; limita al nororiente con el departamento de Norte de Santander, al suroccidente con el municipio de Matanza, al sur con el municipio de Charta, y al occidente con los municipios de Rionegro y el Playón.

El casco urbano tiene una extensión de 1.8 Km² con una población de 699 habitantes (www.surata-santander.gov.co) y se encuentra localizado a media ladera sobre la margen derecha del Río Suratá a 1700 m.s.n.m.

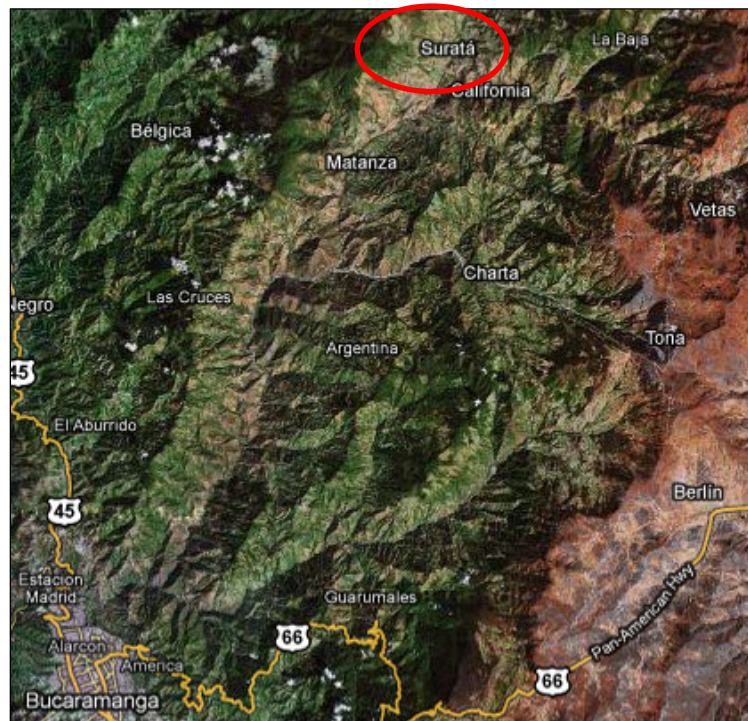


Figura 1. Localización geográfica del Municipio de Suratá.

(Tomado de Google Earth)

1.4 METODOLOGÍA

La metodología para el desarrollo del estudio detallado de Amenaza, está enmarcado según lo definido en los lineamientos técnico-ambientales para la elaboración de Estudios Detallados de Amenaza y Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa e Inundación EDARFRI y las Normas Geotécnicas de la CDMB.

Un esquema del proceso metodológico se presenta en la Figura 2.

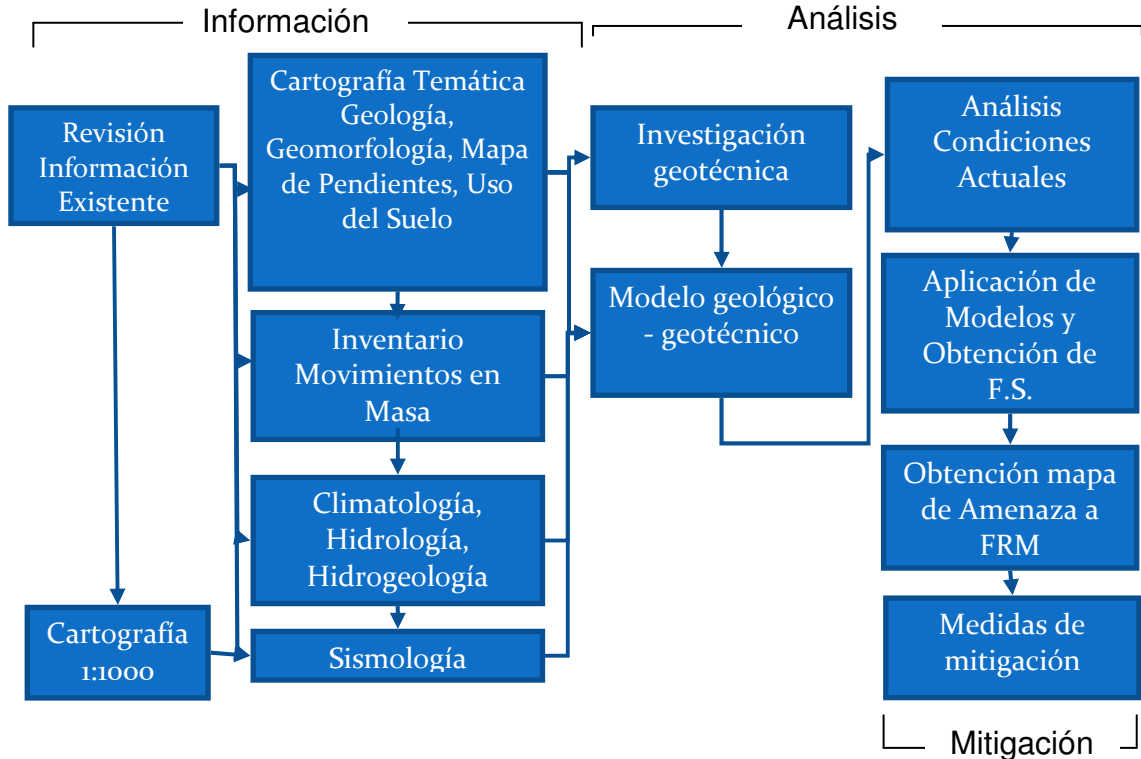


Figura 2. Metodología de zonificación de amenaza por FRM de la CDMB.



Este estudio se realizó en tres fases: una fase de recopilación de información que consiste en realizar las actividades necesarias para obtener la información básica para el desarrollo del estudio, como el levantamiento topográfico, el estudio geológico y la investigación geotécnica; la segunda fase de análisis se caracterizó por la interpretación de los datos recopilados, la calibración de los modelos planteados, la elaboración del mapa de zonificación de amenazas y como fase final el planteamiento de las medidas de prevención, corrección y mitigación necesarias para el manejo de la problemática de los fenómenos de remoción en masa en el municipio.

Referente a la fase de análisis y aplicación de modelos para la obtención de los Factores de Seguridad, el estudio contempla métodos de equilibrio límite, como Talud infinito, para simular procesos de saturación del suelo y métodos de dovelas, planteados por Bishop, Janbu y Morgestern & Price, con los cuales se crean escenarios que sirven de base para generar la zonificación final del estudio.

Según los resultados obtenidos se genera un plan con las medidas de mitigación para el manejo de la amenaza en el municipio.

1.5 REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

La información recopilada consistió en informes técnicos realizados por INGEOMINAS, el Código Colombiano de Construcciones Sismorresistentes, el Esquema de Ordenamiento Territorial de Suratá y el Plan de Ordenamiento Ambiental Territorial Microcuenca Río Suratá Alto.

Desde 1993, INGEOMINAS ha realizado cuatro informes técnicos relacionados con los movimientos que afectan la infraestructura del casco urbano de Suratá. Castro E. (1993), Ibañez D. (2001), Royero J.M. (2003) y Castro E., (2009) definen como principales causas de los problemas de inestabilidad: las propiedades de los materiales, la presencia de agua lluvias y de infiltración y los defectos constructivos de las viviendas.

1.5.1 Amenaza sísmica

Según INGEOMINAS la amenaza sísmica se define como la probabilidad de que un parámetro como la aceleración, la velocidad o el desplazamiento del terreno producido por un sismo, supere o iguale un nivel de referencia.

La zona de estudio se encuentra en la zona de amenaza sísmica alta, donde la aceleración pico efectiva (A_a) es igual a 0.25, según el Mapa de Amenaza Sísmica y Valores de A_a de Colombia (Figura 3).

La aceleración pico efectiva corresponde a las aceleraciones horizontales del sismo de diseño contempladas en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98), como porcentaje de la aceleración de la gravedad terrestre ($g = 980 \text{ cm/s}^2$). Estas aceleraciones tienen una probabilidad de ser excedidas del 10% en un lapso de 50 años, correspondiente a la vida útil de una edificación.

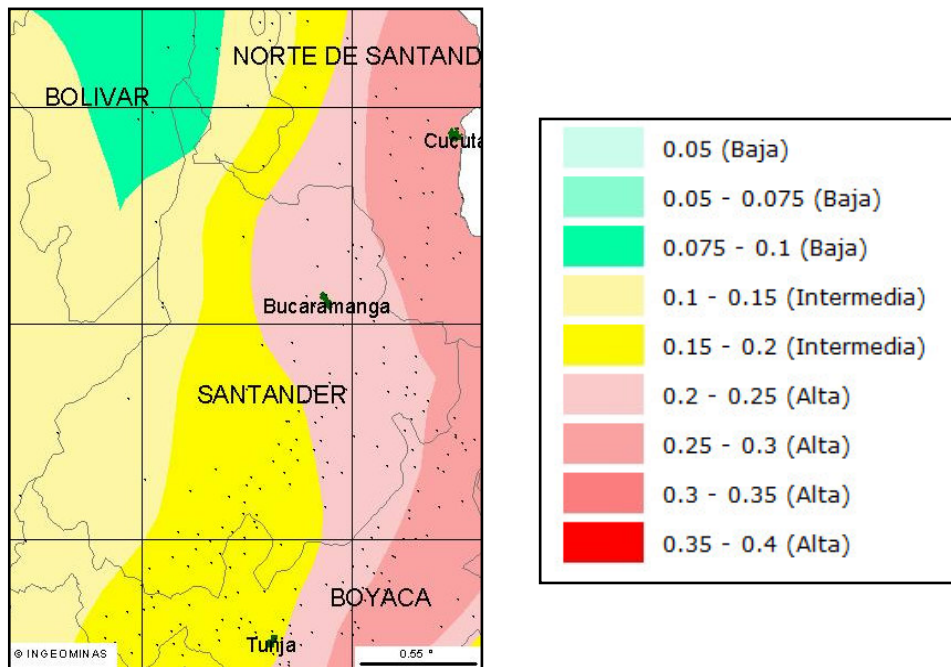


Figura 3. Mapa de Amenaza Sísmica y Valores de A_a de Colombia
(Tomado de www.ingegominas.gov.co)

1.5.2 Usos y tratamientos

Según el EOT del municipio de Suratá el uso actual del suelo urbano se clasifica como Residencial, Mixto, Institucional, Recreación, Equipamientos, Sin Uso y Peatonal (Figura 4).

La zonificación del uso de acuerdo al EOT se tiene clasificado como Uso intensivo en vivienda, Uso en actividad mixta (vivienda-comercio), Uso en actividad dotacional, Uso en actividad recreacional y Uso en actividad recreativa pasiva o forestal protector (Figura 5).

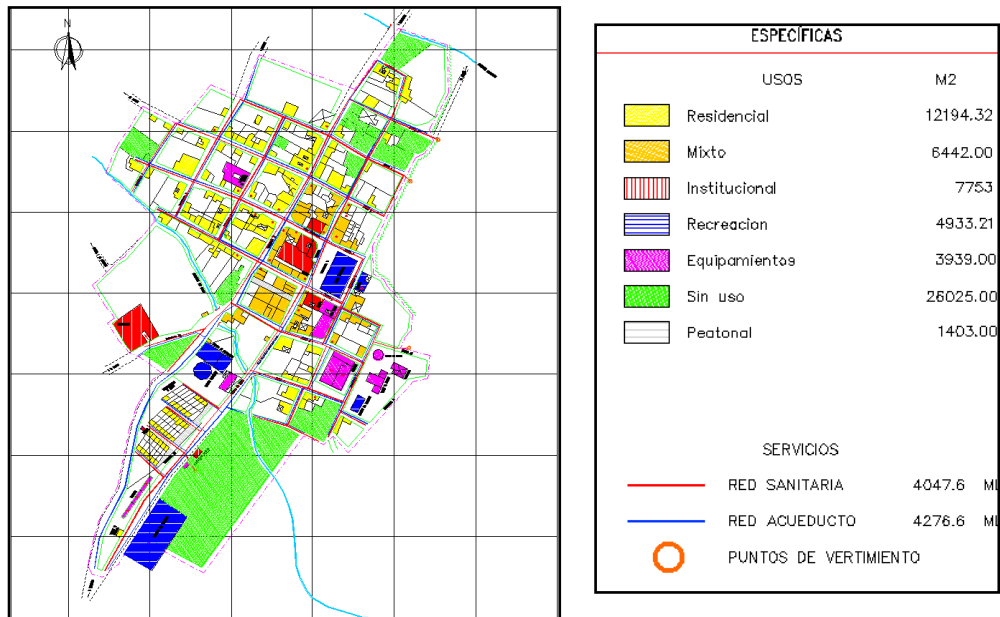


Figura 4. Uso actual del suelo urbano.
(Tomado del EOT de Suratá, 2002)

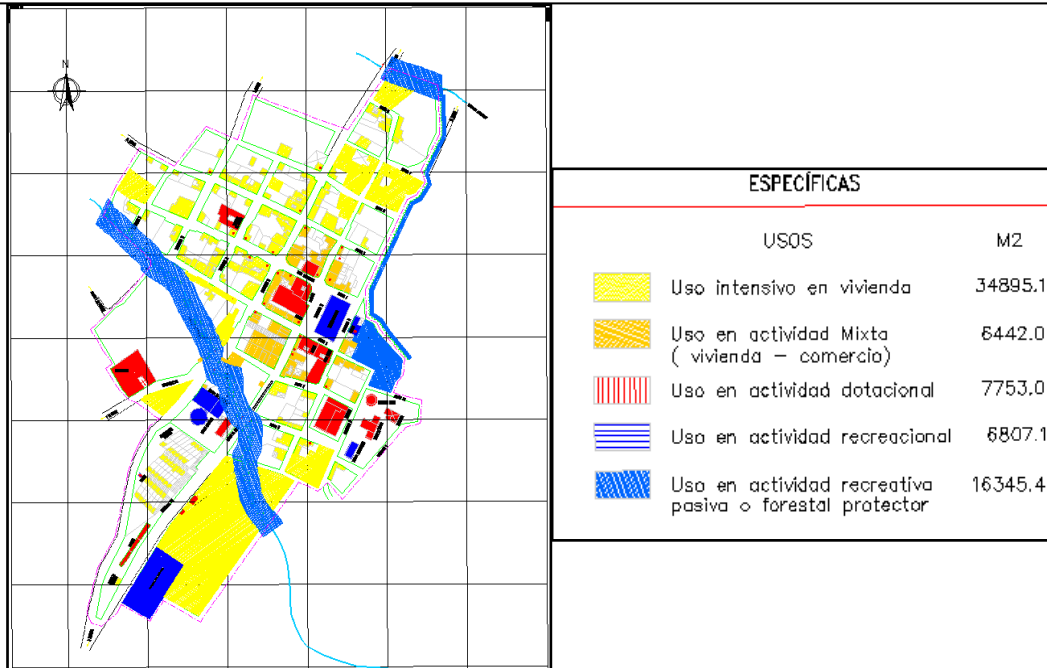


Figura 5. Zonificación de usos del suelo
(Tomado del EOT de Suratá, 2002)

La zona de estudio correspondiente al casco urbano del municipio, presenta sectores con tratamientos de Consolidación y Protección ambiental que corresponde a las rondas de protección de las quebradas, protección al patrimonio histórico y protección a los fenómenos de remoción en masa como el deslizamiento localizado al sur del parque principal. Esta distribución se presenta en la Figura 6.

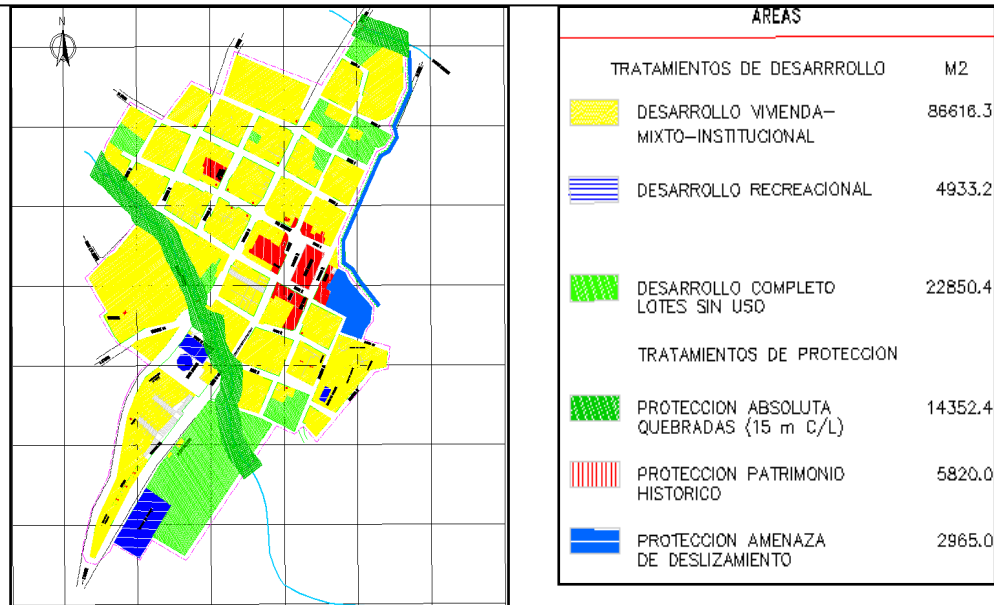


Figura 6. Tratamientos de desarrollo
(Tomado del EOT de Suratá, 2002)

1.5.3 Hidrología

La hidrología de la zona se tomó con base al Plan de Ordenamiento Ambiental Territorial Microcuenca Suratá Alto (Gradex, 2002). Esta región se encuentra ubicada en la microcuenca del Río Suratá Parte Alta y presenta elevaciones entre los 1700 y 3000 m.s.n.m. La caracterización hidroclimática de la zona está basada en los principales parámetros climatológicos, como lo son la precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, brillo solar y evapotranspiración potencial.

1.5.3.1 Precipitación

El régimen de lluvias es acorde con el comportamiento bimodal que se presenta en el país debido a la posición geográfica colombiana en la zona ecuatorial, el cual se encuentra afectado por la franja denominada Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT).

De esta forma la microcuenca superior del Río Suratá se encuentra influenciada por la ZCIT, lo que genera un régimen de precipitación dominado por dos épocas húmedas (Marzo-Abril y Septiembre-Noviembre) y dos épocas secas (Junio-Julio y Diciembre-Enero).

Las zonas de mayor precipitación se localizan al norte y al sur de la microcuenca, con valores medios anuales cercanos a los 1700 mm/año. En la Figura 7 se presenta el mapa de isoyetas para la microcuenca del río Suratá Alto. La precipitación media anual de la microcuenca es de 1340 mm; en la zona central se presenta una precipitación anual cercana a los 1200 mm, la cual disminuye hacia el oeste hasta los 700 mm/año (Gradex, 2002).

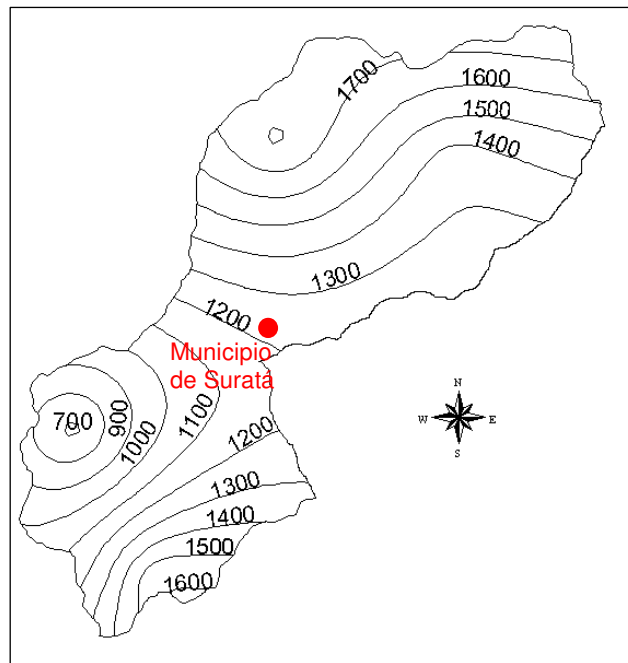


Figura 7. Curvas Isoyetas para la microcuenca del río Suratá parte alta y precipitación media anual de la cabecera municipal de Suratá.

(Tomado de POAT Microcuenca Suratá Alto, 2002)

1.5.3.2 Temperatura

La zona de menores temperaturas se ubica en el noreste, con valores cercanos a los 7 °C. Las temperaturas medias mínimas se presentan en el sur, con valores cercanos a los 20 °C. Se observa que en la zona de estudio la temperatura media anual es de 19 °C. Los valores más altos de temperatura se presentan durante los meses de marzo a mayo y los más bajos en noviembre. (Figura 8)

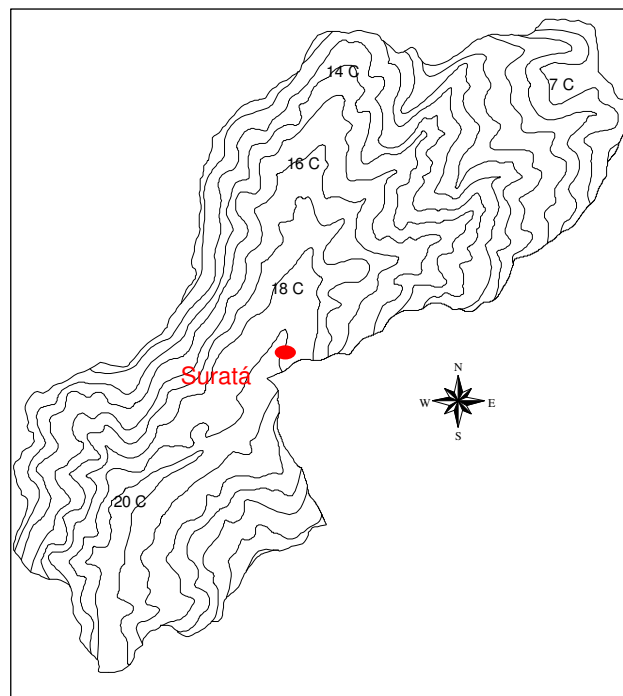


Figura 8. Curvas de Isotemperatura para la microcuenca del río Suratá parte Alta. Los valores representa la temperatura media anual.

(Tomado de POAT Microcuenca Suratá Alto, 2002)

1.5.3.3 Evapotranspiración potencial

El concepto de evapotranspiración potencial fue definido como la pérdida de agua que ocurriría si no existiera un déficit de agua en el suelo para uso de la vegetación. Los valores medios anuales de evapotranspiración potencial presentes en la microcuenca del Río Suratá Parte Alta, oscilan entre 910 y 1400 mm. Los meses de mayor evapotranspiración son enero y marzo con valores entre 86 y 125 mm, y el de menor es noviembre con valores entre 72 y 108 mm (Figura 9).

La zona de menor evapotranspiración se ubica al noreste de la microcuenca, con valores cercanos a los 840 mm/año. Los valores mínimos se presentan en el costado sur, con valores cercanos a los 1100 mm/año. (Gradex, 2002)

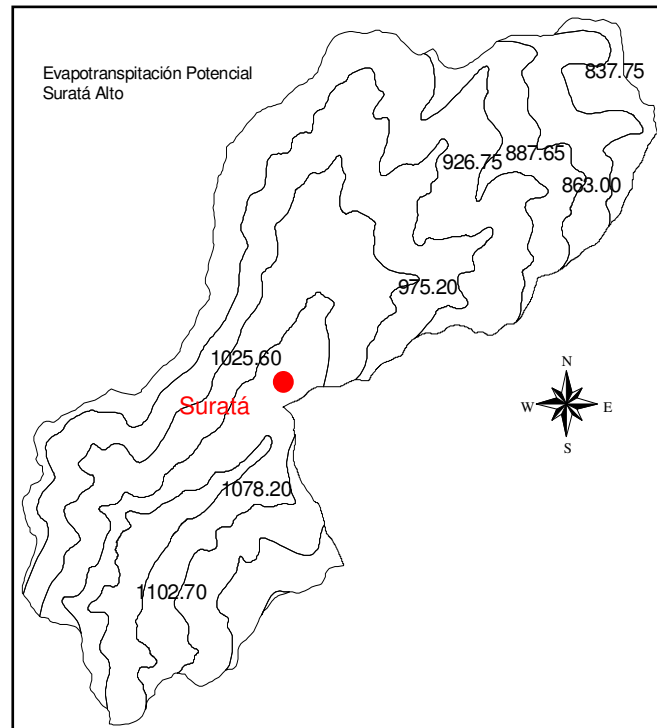


Figura 9. Curvas de Isoevapotranspiración potencial para la microcuenca del río Suratá parte alta. Los valores indican la Evapotranspiración Potencial Media Anual.

(Tomado de POAT Microcuenca Suratá Alto, 2002)

El drenaje principal que se encuentra en la zona es el Río Suratá, el cual fluye en sentido Noreste – Suroeste (Figura 11).

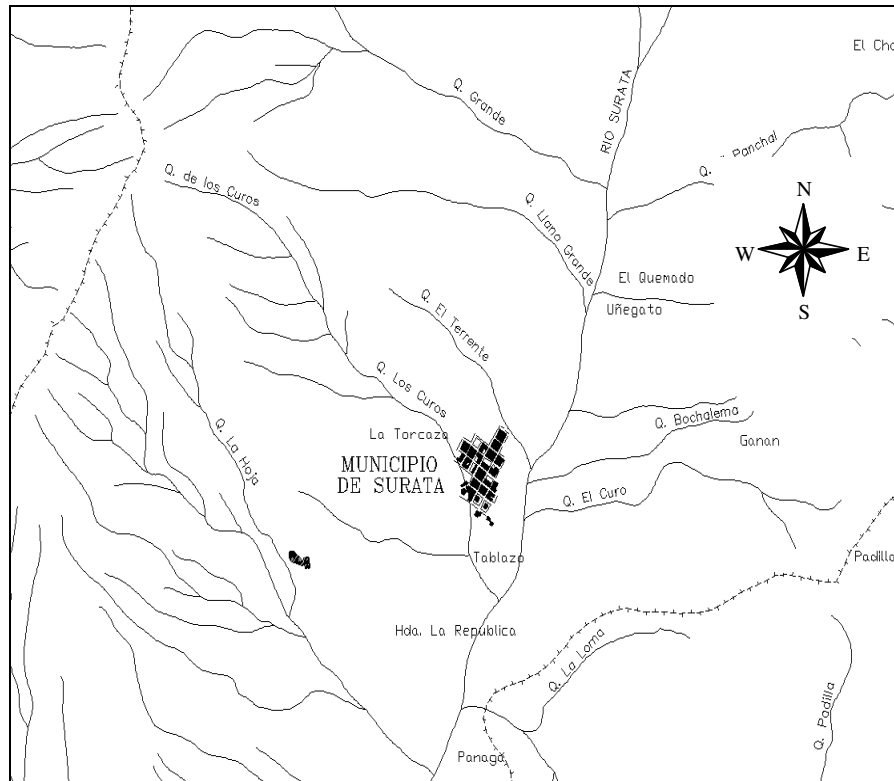


Figura 11. Principales sistemas de drenaje que fluyen en sentido NW-SE hasta el Río Suratá.

(Tomado de POAT Microcuenca Suratá Alto, 2002)

2 MODELO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO

El modelo geológico-geotécnico se basó en información general recopilada del INGEOMINAS, los datos colectados en la fase de campo realizada por la firma Consorcio CV Suratá (2009) y la revisión efectuada por parte del equipo técnico de la CDMB.

2.1 GEOLOGIA REGIONAL

La geología regional se caracteriza por la presencia de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias con edades que varían desde el Proterozoico superior hasta el Holoceno. (Figura 12)

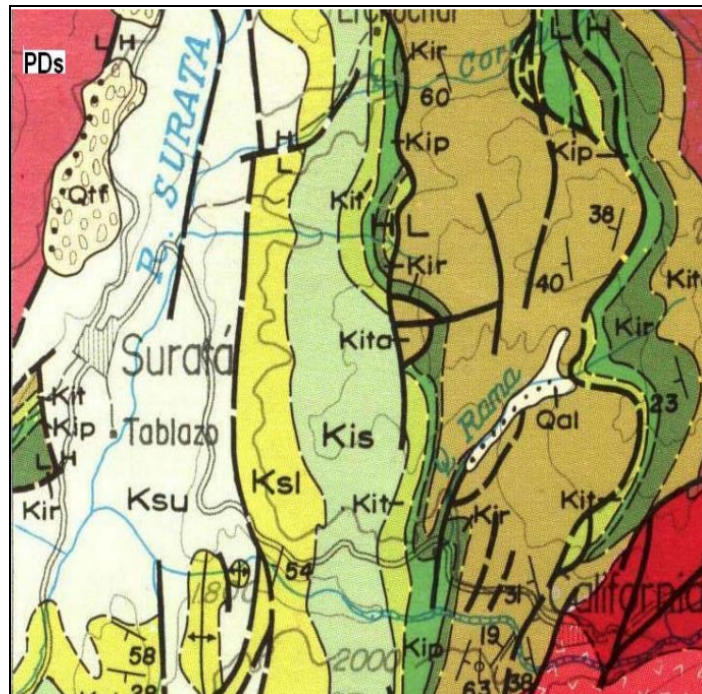


Figura 12. Geología Regional del Municipio de Suratá. Tomado del mapa geológico del Cuadrángulo H-13. (INGEOMINAS, 1977 en Castro E., 2009)

Tectónicamente el área de estudio se encuentra localizado en el Macizo de Santander en el denominado Bloque de Ocaña (Royero, et. al. 2001). Este bloque se caracteriza por presentar un estilo estructural de fallamiento en bloques menores, separados por fallas inversas de dirección predominantemente SW-NE (Figura 13). Se presenta como un bloque levantado, que ocupa el sector nororiental del departamento; está constituido esencialmente por rocas ígneas triásico-jurásicas y metamórficas precámbricas y paleozoicas. Este bloque está limitado al occidente por la Falla Bucaramanga-Santa Marta y al suroriente por la Falla de Baraya.

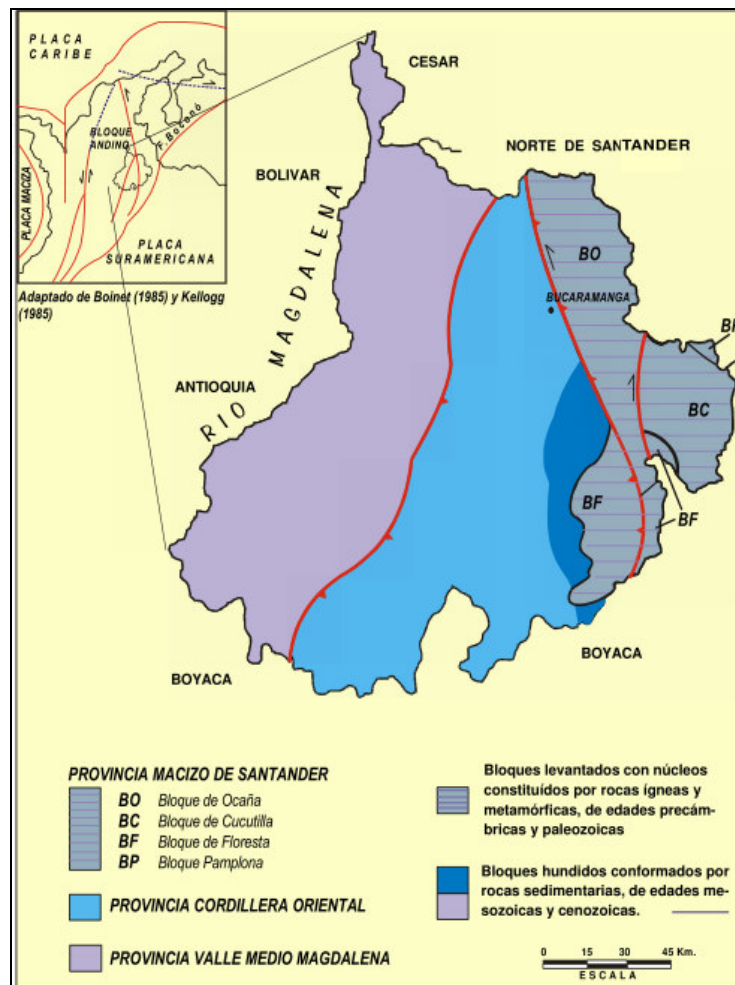


Figura 13. Esquema tectónico del Departamento de Santander, adaptado de Clavijo, et. al (1993) en Royero, et al (2001).

2.1.1 Unidades estratigráficas

Las unidades estratigráficas están determinadas por unidades litológicas de rocas metamórficas, ígneas, sedimentarias y depósitos recientes. Las unidades geológicas se describen de forma general en orden cronológico, según la información recopilada en el Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Santander (INGEOMINAS, 2001).

2.1.1.1 Rocas Metamórficas e Ígneas

- **Neis de Bucaramanga (PEb)**

“El nombre original de Neis de Bucaramanga fue utilizado por Goldsmith, et al. (1971) y posteriormente propuesto por Ward, et al. (1973). Esta unidad tiene como localidad tipo el frente montañoso (Cerro La Judía y Morro Negro) al oriente de Bucaramanga. Presenta buenas exposiciones en las carreteras Bucaramanga-Pamplona, Bucaramanga-Matanza y Berlín-Vetas.

Consta de una secuencia de paraneises cuarzofeldespáticos, hornbléndicos, micáceos y granatíferos y cantidades subordinadas de anfibolitas, migmatitas, cuarcitas, mármoles y esporádicamente granulitas.

Las unidades que suprayacen al Complejo Bucaramanga son del Paleozoico, Jurásico y aún del Cretácico. El contacto de esta unidad con la Formación Silgará que la suprayace en muchos sitios, no se ha podido determinar con exactitud, porque existe mucha similitud litológica entre estas unidades. El Complejo Bucaramanga ha sido intruido por plutones félsicos del Paleozoico y Jurásico (WARD, et al. 1973).”

Esta unidad aflora al oriente del municipio de Suratá, sobre una gran extensión del macizo de Santander, se extiende desde el área de Berlín, California-Cachirí hasta el área de Morro Nevado, al oeste de Mutiscua. Hacia el oeste está cubierta por rocas sedimentarias del Mesozoico y del Cretáceo. Hacia el este y sur, cubierto por las rocas de más bajo grado de la Formación Silgará.



- **Formación Silgará (PDs)**

“Su nombre fue propuesto por Ward, et al. (1973) para referirse a una secuencia de rocas clásticas metamorizadas de estratificación delgada, compuestas por filitas, cuarcitas, esquistos, metareniscas y menores cantidades de pizarra y filita calcárea, cuya sección tipo se localiza en la Quebrada Silgará, afluente del Río Salamaga, al occidente de Cáchira.

Las relaciones estratigráficas, las diferencias composicionales y algunos datos estructurales, por lo menos sugieren que la Formación Silgará suprayace al Complejo Bucaramanga e infrayace discordantemente a las Formaciones El Tibet y Floresta del Devónico.

A la Formación Silgará le han asignado tentativamente una edad del Cámbrico al Ordovícico (WARD, et al. 1973), equivalente en parte al Grupo Quetame (CAMPBELL, 1965), al Grupo Güejar (TRUMPY, 1943) y posiblemente es comparable con la Serie de Perijá (RADDELLI, 1962; FORERO, 1969, 1970; TSCHANZ, et al., 1969).”

Se localiza sobre la escarpa noroccidental del municipio de Suratá; los afloramientos más extensos de la Formación Silgará están en una faja difícilmente accesible que se extiende desde el sur de Matanza hacia el Norte, pasando por el occidente del municipio de Suratá hasta más allá de los límites del municipio de Cachirí. Esta faja incluye la localidad tipo de la formación.

- **Dioritas y Tonalitas del área del río Suratá (TRt)**

Roca equigranular de grano medio, de color verde grisáceo con inclusiones dioríticas de grano fino, aflora al sur de Cachirí y occidente del casco urbano de Suratá.

Según Ward et al., 1973, se ignora si todas la Tonalitas y Dioritas tienen la misma edad. Estas rocas post-metamórficas son probablemente más jóvenes que el metamorfismo de la Formación Silgará, pero alguna puede ser metamórfica tardía. Teniendo en cuenta el contacto intrusivo con la Formación Tiburón, su edad debe corresponder al post-Triásico.



- **Granodioritas (Jgd)**

Rocas de color gris biotíticas y porfíricas con fenocristales grandes dispersos de feldespatos que afloran al norte de Suratá en pequeños stocks.

2.1.1.2 Rocas sedimentarias del cretáceo

Se encuentran en una franja alargada de sentido norte-sur sobre una cuenca sedimentaria restringida por fallas regionales y contacto fallado con unidades metamórficas.

- **Formación Rosablanca (Kir)**

“Descrita originalmente por Wheeler (1929) y estudiada en detalle por Cardozo y Ramírez (1985) en la región de Villa de Leiva (Boyacá) y Gámbita (Santander). Se encuentra ampliamente distribuida en el Departamento de Santander. Está compuesta en su parte inferior por capas de caliza y yeso, con oolitos, ostrácodos y dolomías; hacia la parte superior consta de areniscas y lodolitas calcáreas. En la parte inferior presenta depósitos evaporíticos como yeso y polihalita que indican una hipersalinidad y tranquilidad en las condiciones de depositación; el resto de la secuencia se depositó en un medio marino somero en condiciones neríticas. El espesor varía de 150 a 425 m.

Las relaciones estratigráficas de esta unidad con la infrayacente Formación Cumbre y la suprayacente Formación Paja son concordantes. La edad comprende el intervalo Valanginiano - Hauteriviano inferior (ETAYO, 1968; ETAYO y RODRÍGUEZ, 1985).”

Esta unidad aflora al suroriente de la zona de estudio en una franja alargada de dirección Norte-Sur (Foto 1).

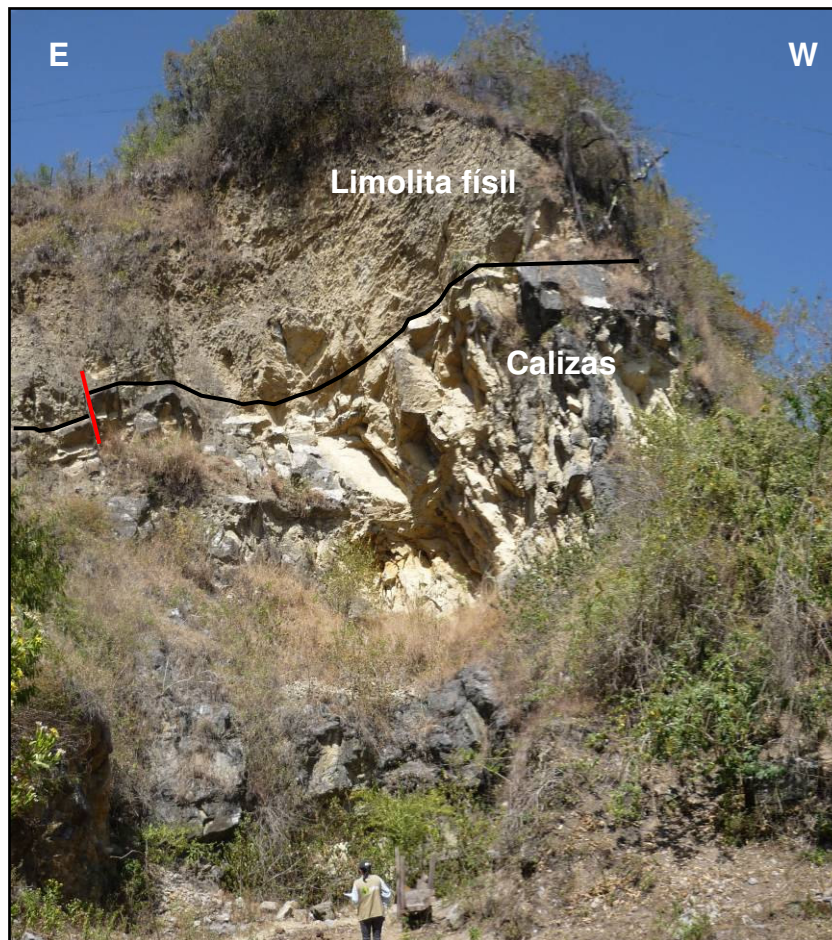


Foto 1. Afloramiento de calizas, correlacionables con la Formación Rosablanca, en discordancia angular con limolitas y arcillolitas plegadas. Afloramiento ubicado al suroccidente del casco urbano de Suratá.

- **Formación Paja (Kip)**

“Inicialmente descrita por Wheeler (en MORALES, et al., 1958); su localidad tipo es el Cerro Rosablanca al oriente del puente sobre el Río Sogamoso. Esta unidad está constituida por lutitas y shales gris oscuros a azulosos, fosilíferos, con intercalaciones de areniscas gris amarillentas, de grano fino, con algunas intercalaciones de shales grises, localmente arenosos, calcáreos, fosilíferos, localmente limosos a arenosos, con intercalaciones de areniscas gris amarillentas, de grano fino, también pequeñas intercalaciones de calizas grises, localmente arenosas, fosilíferas. Se estima que su depósito tuvo lugar en un ambiente epicontinental. El espesor varía entre 125 y 625 m. El límite estratigráfico de esta unidad con la suprayacente



Formación Tablazo es concordante. La edad ha sido determinada del Barremiano inferior al Aptiano inferior.”

Al igual que la formación Rosablanca, esta unidad aflora fuera de la zona del proyecto en una faja alargada de dirección Norte – Sur. Geomorfológicamente se compone de colinas suaves de un relieve ondulado de pendientes continuas. Los cauces que rodean la zona donde aflora esta unidad afectan los taludes al profundizar su curso, por lo que son unidades susceptibles a erosión.

- **Formación Tablazo (Kit)**

“Descrita por Wheeler (en MORALES, et al., 1958); la localidad tipo está en el sitio Tablazo, en el puente del cruce del Río Sogamoso de la vía Bucaramanga-San Vicente. La secuencia de esta unidad consiste en calizas gris a negras, fosilíferas, localmente glauconíticas y arcillosas de color negro, con niveles intercalados de arcillolitas grises a gris azulado, calcáreas, fosilíferas, en capas medianas a gruesas, con intercalaciones de areniscas grises, grano fino a medio, arcillosas, levemente calcáreas, en capas delgadas. El ambiente de depósito parece corresponder a condiciones neríticas, poco profundas. El espesor varía entre 150 y 325 m.

La Formación Tablazo se encuentra en contactos concordantes con la infrayacente Formación Paja y la suprayacente Formación Simití. Su edad es considerada del Aptiano superior-Albiano inferior.”

Esta unidad aflora al oriente fuera de la zona de estudio en una franja alargada, sentido norte-sur.

- **Formación Simití (Kis)**

“Fue descrita por geólogos de Intercol (en MORALES, et al., 1958) y su localidad tipo está en la orilla sur de la Ciénaga de Simití, Bolívar. La unidad consta de shales grises a negros, carbonosos, levemente calcáreos, con concreciones calcáreas hasta de 3 m y con intercalaciones de areniscas y calizas grises, localmente arcillosas y fosilíferas, en capas delgadas. Las condiciones paleoambientales fueron neríticas de aguas intermedias a profundas. Su espesor varía entre 250 y 650 m.

Los contactos de la Formación Simití son concordantes con la infrayacente Formación Tablazo y suprayacente Formación La Luna. Su edad se ha establecido como Albiano superior – Cenomaniano.”



Esta unidad aflora al oriente de la zona de estudio y geomorfológicamente se caracteriza por formas deprimidas.

- **Formación La Luna (Ksl)**

“Fue descrita por Garner (en JULIVERT, et al., 1968) y el nombre procede de la Quebrada La Luna al NW de Perijá, Zulia (Venezuela). En Colombia fue introducido el término por geólogos de la Caribbean Petroleum Company. La unidad está constituida por calizas gris oscuras, arcillosas, lutitas grises a negras, calcáreas, en capas delgadas, lutitas gris oscuras con delgadas intercalaciones de calizas arcillosas, concreciones de calizas con fósiles, que alcanzan más de dos metros de diámetro y capas delgadas de chert negro y también capas fosfáticas hacia la parte superior. En el Valle Medio del Magdalena la Formación La Luna se subdivide en tres miembros: el inferior Salada, el intermedio Pujamana y el superior Galembo. El ambiente de depositación es marino de aguas relativamente poco profundas, con poca ventilación en el fondo. El espesor varía entre 275 y 575 m.

El contacto de la Formación La Luna con la infrayacente Formación Simití es concordante. Entre las formaciones La Luna y Umir existe una ligera discontinuidad estratigráfica. Morales, et al. (1958) en el Valle Medio del Magdalena le asignan una edad del Turoniano al Santoniano.”

Esta unidad aflora al oriente y sur, por fuera de la zona de estudio.

- **Formación Umir (Ksu)**

“Descrita por Huntley (en JULIVERT, et al., 1968); la localidad tipo se encuentra en la Quebrada Umir al oriente del cerro del mismo nombre en Santander. Consta de shales grises a negros, carbonosos, micáceos, con concreciones ferruginosas, lutitas grises a gris oscuras, carbonosas, con nódulos ferruginosos, intercalaciones de areniscas y limolitas, grises, carbonosas y micáceas. También es común la presencia de capas explotables de carbón de 0,60 a 5,00 m de espesor. El ambiente es nerítico. El espesor se ha calculado entre 1.000 y 1.400 m.

La Formación Umir descansa en discontinuidad estratigráfica sobre el miembro Galembo de la Formación La Luna. El contacto superior con la suprayacente Formación Lisama es concordante. Los foraminíferos estudiados por varios autores, determinan una edad del Campaniano - Maastrichtiano.”

Es la unidad más representativa del área de estudio, pues aflora en el casco urbano. Se compone de arcillolitas grises a gris verdosas, finamente laminadas, meteorizadas intercaladas con limolitas y areniscas. Aflora al norte y suroccidente del casco urbano; en el sector noroccidental se encuentran estratos con orientación 202/25 NW y al suroccidente los estratos presentan una orientación 75/45 SE (Foto 2). Geomorfológicamente consta de suaves pendientes inclinadas hacia el suroriente, cubiertas parcialmente por depósitos de derrubios matriz soportados.



Foto 2. Afloramiento de la Formación Umir. Capas delgadas de arcillolitas y limolitas muy fracturadas, meteorizadas y húmedas. Afloramiento ubicado al suroccidente del casco urbano, cerca al Cementerio.

2.1.1.3 Depósitos no consolidados

- **Depósitos de ladera (QI)**

Estos depósitos son acumulaciones de material en forma caótica de granulometría heterogénea. Afloran en la mayor parte del casco urbano y se distribuyen en dos áreas. La primera se caracteriza por un depósito matriz soportado que se localiza en el sector central y suroccidental del casco urbano y el segundo se localiza en el sector nororiental y suroriental, y es clastosoportado con bloques y cantos de rocas de diferente composición angulares y subangulares.

- **Terrazas aluviales (Qal)**

Son depósitos aluviales del río Suratá, conformando terrazas bajas de morfología plana compuesta por bloques y cantos redondeados y subredondeados de rocas ígneo metamórficas. La extensión de estas terrazas no alcanza los 150 metros de amplitud y ofrecen una elevación sobre el nivel actual del río entre 2 y 3 metros.

2.1.2 Geología estructural

Estructuralmente el área de estudio se encuentra influenciada por la Falla Suratá y por fallas menores que se manifiestan en contactos fallados entre las unidades cretácicas y paleozoicas de la zona.

En la interpretación fotogeológica se reconocieron tres lineamientos: dos en sentido casi NS pero que se encuentran desplazados por un lineamiento con sentido NW-SE y que está alineado con la Quebrada Los Curos, que atraviesa el casco urbano del municipio. Los otros dos lineamientos se identifican en sitios de cambio de pendiente abrupta y se pueden correlacionar con el movimiento de la Falla Suratá (Figura 14).

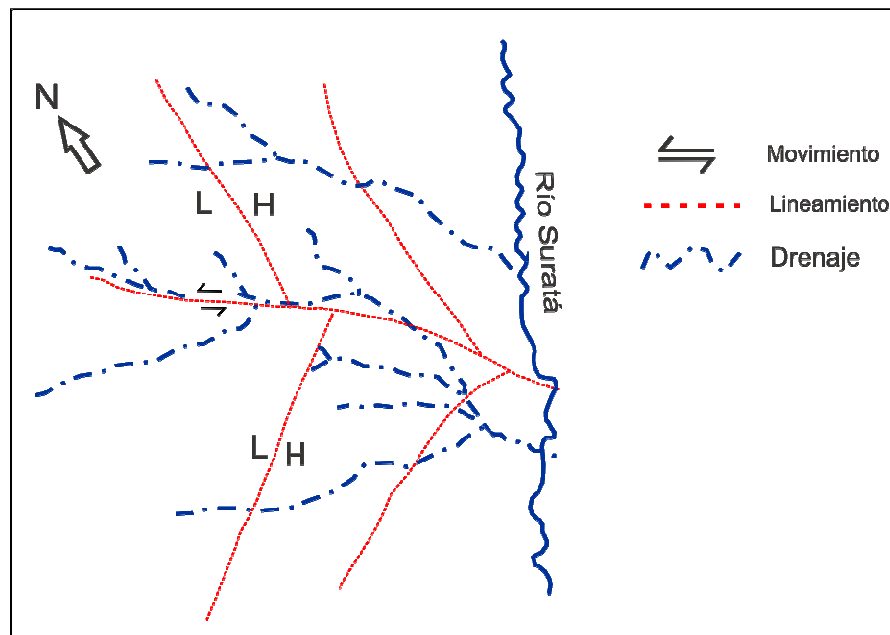


Figura 14. Interpretación fotogeológica del área de estudio. Vuelos SAD 297 F-2N, Fotos 583 y 584 de 1989. Escala 1:11.000. Sector occidental del Río Suratá.

- **Falla de Suratá:** Presenta un rumbo predominante N15°E, y su trazo sigue el curso del Río Suratá, y se prolonga en el Departamento de Norte de Santander. Es una falla inversa de ángulo alto y su plano de falla buza al noroccidente.

La evolución tectónica de esta falla es compleja, con movimientos relativos precretácicos de distensión en donde el bloque occidental se hunde y postcretácicos de tipo compresivo relacionado con la orogénesis terciaria, según Julivert y Téllez (1963). La Falla de Suratá actualmente es inversa con el bloque noroccidental levantado y desplazamiento de rumbo lateral derecho, y afecta la Falla Bucaramanga-Santa Marta por lo menos en unos 750 m, al norte de Bucaramanga (WARD, et al., 1973).

En el área de estudio esta falla pone en contacto las rocas de la Formación Silgará del Pre-Devónico con la Formación Umir del Cretácico Superior.

Geomorfológicamente las evidencias de la actividad de esta falla se expresa en facetas triangulares, sillas de falla y cerros aislados a lo largo de la vía Matanza – Suratá, al igual que plegamientos en las diferentes formaciones que afloran en la vía. (Foto 3).



Foto 3. Facetas triangulares y sillas de falla producto de la intensa actividad tectónica de la zona, evidencias de la influencia de la Falla Suratá. Foto tomada al suroccidente del casco urbano de Suratá.

- **Lineamiento Los Curos:** En el casco urbano del municipio de Suratá se reconoció un lineamiento denominado Los Curos, que pasa por la quebrada del mismo nombre (Foto 4). Este lineamiento tiene una orientación NW-SE y se propone como una falla de rumbo sinextral según la interpretación fotogeológica del área.

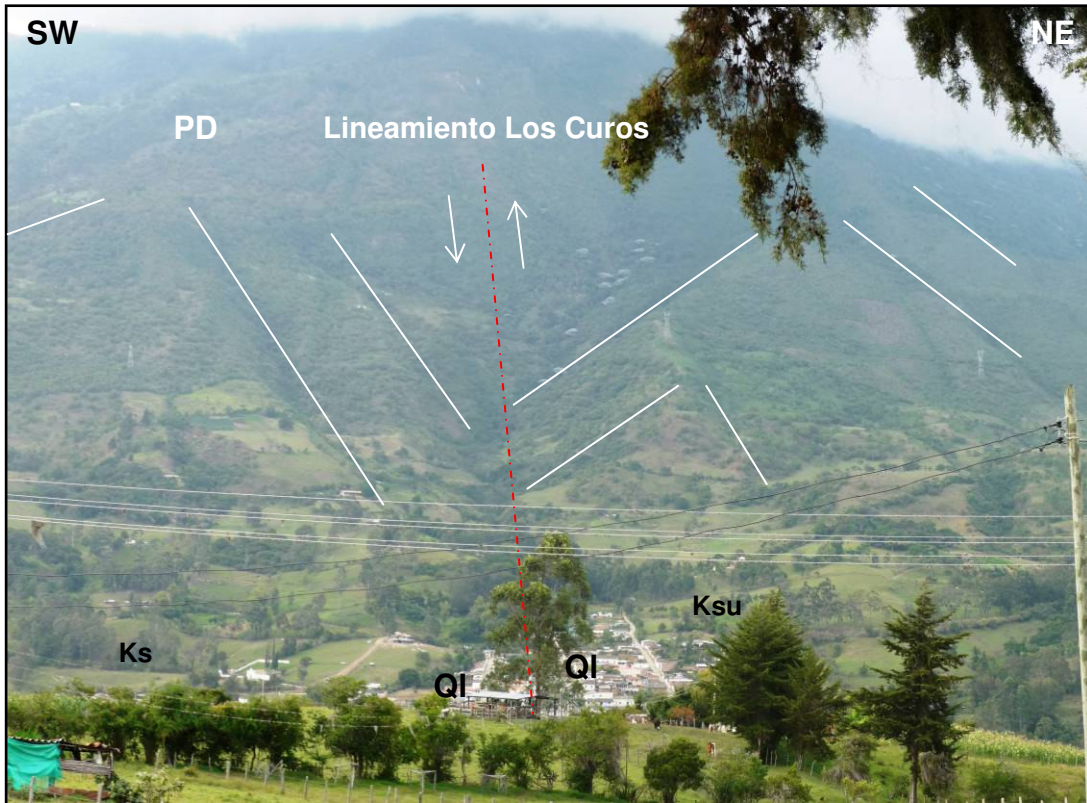


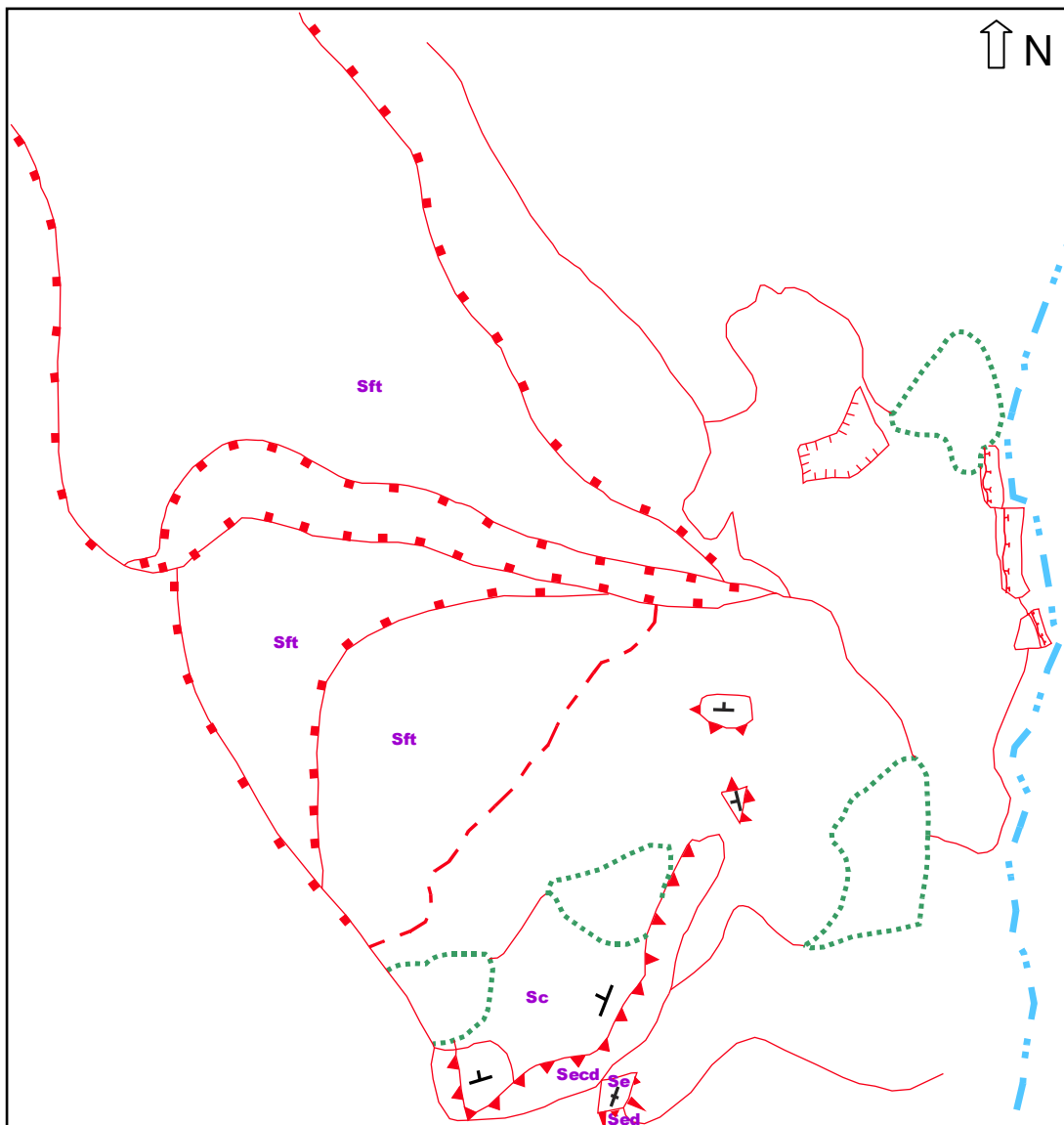
Foto 4. Lineamiento de la Quebrada Los Curos, con movimiento normal sinistral. Se observan las facetas triangulares por influencia de la Falla Suratá. Foto tomada al oriente del casco urbano de Suratá.

2.2 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología analiza las formas de la superficie, los materiales que la componen, su disposición estructural y los procesos que las originaron. Este análisis incluye la identificación de las formas del terreno, su origen, evolución y tipo de materiales presentes; además clasifica el paisaje según el proceso natural que lo domina, su composición y edad, con el fin de explicar la magnitud de los agentes y los procesos geomorfológicos modeladores y su interrelación con las amenazas naturales que puedan afectar las zonas de expansión urbana.

La geomorfología de la zona de estudio se caracteriza por un valle estructural amplio formado por la influencia de la Falla Suratá, cubierto por depósitos de ladera que presentan pendientes suaves a moderadas.

En la interpretación fotogeológica se identificaron principalmente geformas estructurales, como escarpes, facetas triangulares y cuestas; pero también se identifican geformas de tipo denudativo como depresiones, debido a la erosión diferencial que actúa en las rocas sedimentarias (Figura 15).



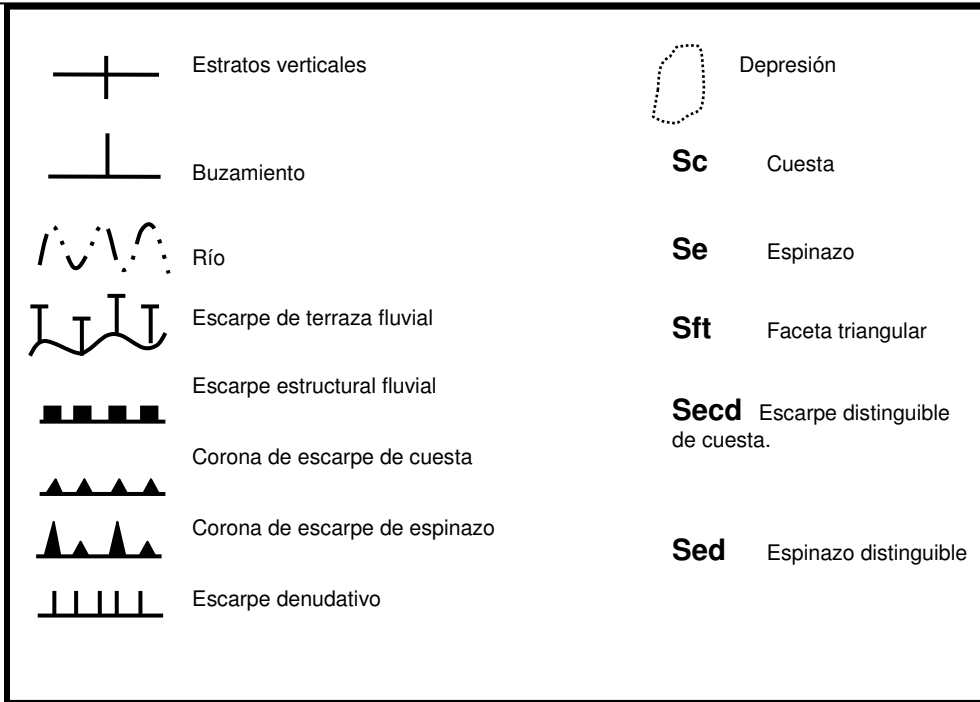


Figura 15. Interpretación fotogeológica de los aspectos geomorfológicos de la zona de estudio. Vuelos SAD 297 F-2N, Fotos 583 y 584 de 1989. Escala 1:11.000.

En el sector occidental del casco urbano predominan colinas suaves redondeadas de rocas blandas sedimentarias del Cretácico (Foto 5); y es evidente en las partes altas de la ladera el contraste entre las pendientes suaves y moderadas, y los escarpes, debido al contraste litológico entre la Formación Silgará y las rocas sedimentarias del Cretáceo.



Foto 5. Laderas de pendientes suaves y moderadas, sector occidental del área de estudio. Se caracterizan por depósitos de ladera y rocas sedimentarias cretácicas.

Al oriente del área de estudio se observan laderas estructurales y escarpes de falla producto de la actividad tectónica de la zona. Son frecuentes las facetas triangulares (Foto 6).



Foto 6. Geomorfología del sector oriental del área de estudio.

2.2.1 Morfometría

El aspecto morfométrico evalúa el terreno en términos cuantitativos, es decir analizando los valores de las pendientes del área de estudio. El casco urbano del municipio de Suratá se encuentra localizado en la ladera occidental del Río Suratá. Las pendientes que predominan en este sector son muy altas y se evidencia un cambio de pendiente brusco entre las unidades metamórficas y las sedimentarias, por la acción tectónica de la Falla Suratá.

En la Foto 7 se observa el contraste entre las pendientes moderadas (rocas sedimentarias del cretácico) y suaves (depósitos cuaternarios y rocas sedimentarias blandas del Cretácico), debido a los cambios litológicos.

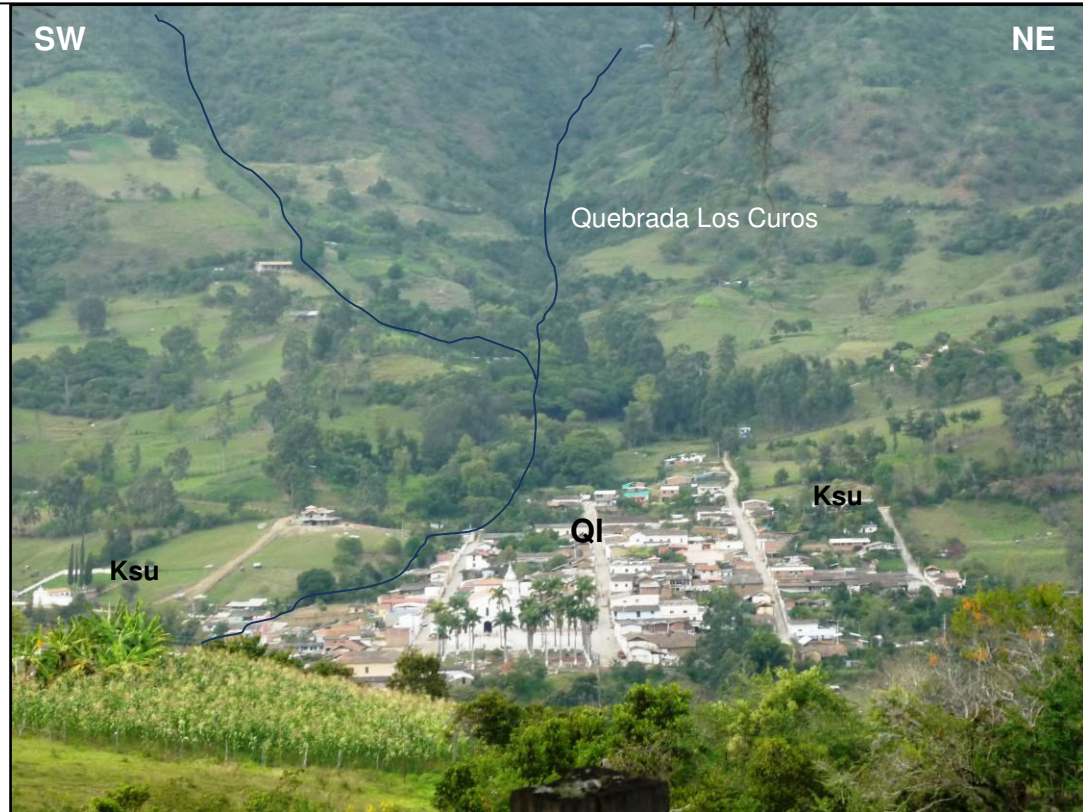


Foto 7. Laderas de pendientes altas y moderadas que corresponden a rocas sedimentarias y pendientes planas y suaves en el casco urbano, concernientes a depósitos de ladera y rocas blandas de la Formación Umir.

Para este estudio se elaboró un mapa de pendientes a escala 1:1.000 tomando como base en el levantamiento topográfico realizado con curvas de nivel cada metro. Este mapa se presenta en los Planos 6 y 7.

El casco urbano presenta en la mayor parte del área pendientes entre 5° y 11° (12 y 25%); exceptuando aquellas zonas donde se identificaron movimientos en masa, cuyas pendientes presentan valores diferentes: los sitios identificados con reptación aumentan su pendiente entre 25% y 50 % y en aquellas partes donde se localizan los deslizamientos, las pendientes tienen rangos entre 57% y 100 %.

La forma de la ladera se caracteriza porque es cóncava en el sector nororiental, lo cual puede ser indicio de deslizamientos rotacionales; pero también se encuentra evidencia de reptación en las formas convexas localizadas en el sector noroccidental, suroccidental y central del casco urbano (Figura 16).

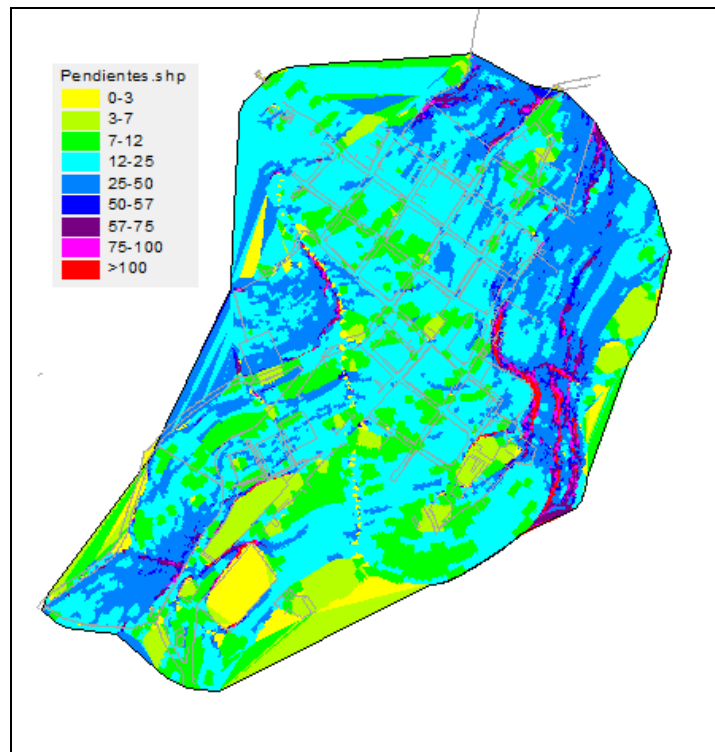


Figura 16. Mapa de pendientes del casco urbano de Suratá.

2.2.2 Morfogénesis

La morfogénesis evalúa qué procesos naturales incidieron y en qué grado en la conformación del terreno y cuáles materiales están comprometidos en estos procesos; es decir, analiza el origen de las geoformas. La morfogénesis encierra y destaca procesos naturales de orden exógeno (aire, agua, viento, etc.) y endógeno (procesos internos de la tierra). En el área de estudio se identificaron dos unidades genéticas: geoformas de origen fluvial y de tipo denudacional.

2.2.2.1 Geoformas de origen Fluvial

- **Cauce del Río (Fc):** geoforma constituida por el cauce actual del Río Suratá que presenta un rumbo NNE-SSW.

- **Terraza Baja (Ftb):** formadas por los depósitos aluviales del Río Suratá en su margen derecha, son de poca amplitud y altura.

2.2.2.2 De origen denudacional

Se forman a partir de la secuencia de erosión, transporte y acumulación, por lo tanto, en este grupo se encuentran: a) Depósitos constituidos por los sedimentos erosionados y acumulados así como, b) las marcas o cicatrices que permanecen en los taludes a partir de los movimientos en masa.

- **Corona de movimiento en masa (Dc):** estas coronas se forman a partir del desprendimiento del suelo en los deslizamientos. Se encuentran localizadas en la parte superior de los movimientos activos e inactivos del casco urbano y se caracterizan por su forma en media luna. La corona principal se encuentra en el sector oriental del parque. Se presentan coronas de menor tamaño en la vía que comunica al municipio del California y en el sector suroriental del parque, en un movimiento antiguo e inactivo.
- **Deslizamiento rotacional (Ddr):** se caracterizan por su forma en cuchara. Se presentan dos grandes deslizamientos, ambos localizados en el sector oriental del pueblo (Foto 8).



Foto 8. Deslizamiento rotacional que se presenta en la parte baja del parque principal del pueblo.

- **Reptación (Dr):** se caracteriza por presentar curvas de nivel apretadas que fueron identificadas en el levantamiento topográfico del casco urbano. Esta geoforma es típica de las zonas donde predomina material arcilloso de la Formación Umir y se encuentra distribuida en el sector occidental y oriental del casco urbano. Se distingue en esta zona los afloramientos de agua, las terracetas y la inclinación y curvatura inusual de los árboles (Foto 9).



Foto 9. Se observa la curvatura en el tronco de los árboles debido al fenómeno de reptación.

- **Coluvión inactivo (Dci):** esta geoforma se encuentra localizada en la parte central del casco urbano. En la fase de campo se identificaron grietas en las viviendas ubicadas en esta área, sin embargo, no fue posible definir el tipo de movimiento. Por lo anterior, se le agrega el apelativo “inactivo” para indicar que geotécnicamente es inestable y que se puede activar el movimiento cuando exista una variación significativa de los niveles freáticos. Este coluvión conforma una ladera convexa.

2.2.3 Morfodinámica

Son los procesos denudativos ocurridos pasados y presentes o aquellos que se puedan activar en el futuro. Consiste en determinar el tipo de proceso y su intensidad en la conformación de las geoformas.

- **Deslizamientos activos:** se identificaron tres deslizamientos activos de tipo rotacional que se caracterizan por presentar coronas de desprendimiento. Un deslizamiento activo mayor ubicado en la parte baja del parque principal (Foto 10), y dos menores ubicados al nororiente y noroccidente del pueblo, en la salida al municipio de California (Foto 11).



Foto 10. Corona de desprendimiento del deslizamiento rotacional activo mayor, localizado en la parte baja del parque principal de Suratá.



Foto 11. Deslizamiento rotacional activo en la salida al Municipio de California. Se observa en la parte superior la corona de desprendimiento.

- **Deslizamientos inactivos:** se hallaron en el terreno cicatrices de un deslizamiento antiguo inactivo, localizado en la parte sur del actual deslizamiento del parque. Se intuye que fue un movimiento de gran

magnitud debido a la forma de su corona. En este sector se identificaron muros de una vivienda que fueron desplazados y grietas en la calle (Foto 12).



Foto 12. Grietas en las calles y desplazamiento de los muros de la vivienda localizada en la corona de desprendimiento de un antiguo deslizamiento rotacional.

- **Terracetas:** son características de las zonas donde se presenta reptación y se originan por la actividad de pastoreo. (Foto 13).



Foto 13. Terracetas o patas de vaca, características de los sectores identificados con movimientos de reptación.

El mapa geomorfológico del municipio de Suratá se presenta en los Planos 4 y 5.

2.3 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y ENSAYOS DE LABORATORIO

2.3.1 Exploración

Con el fin de caracterizar los materiales presentes en el área de estudio, se realizaron perforaciones mecánicas hasta una profundidad en promedio de 20 metros, complementados con apiques en las zonas donde no se ejecutaron perforaciones. En total se realizaron 202 metros de perforación y 12 apiques cuya profundidad de exploración no superó los 1.5 metros de profundidad (Figura 17).

Las perforaciones fueron de tipo roto percusión con recuperación continua, aunque en algunos sectores el material se encontraba muy suelto, lo cual dificultó su recuperación. En la Tabla 1 se muestra la ubicación georeferenciada y la profundidad de las perforaciones.

Tabla 1. Perforaciones realizadas en el casco urbano de Suratá.

PERFORACIÓN	UBICACIÓN (X,Y)		PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	PROFUNDIDAD COLUVIÓN (m)
	E	N			
Sondeo 1	1120892	1396617	22	8.0	3.90
Sondeo 2	1120841	1306649	23.50	1.5	5.50
Sondeo 3	1120763	1306713	19	1.3	
Sondeo 4	1120720	1306740	19.5	0.7	3.75
Sondeo 5	1120932	1306791	18	2.7	
Sondeo 6	1120913	1306901	20	3.0	
Sondeo 7	1120591	1306578	20.20	7.0	2.25
Sondeo 8	1120527	1306550	20		
Sondeo 9	1120441	1306389	20		
Sondeo 10	1120779	1306413	20		

Con el fin de determinar el nivel freático y la profundidad del basamento se realizaron 9 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), cuya localización se señala en la figura 17. El compendio total de la información geotécnica se encuentra en el informe denominado INVESTIGACIÓN GEOTECNICA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE SURATA, elaborado por la empresa Consorcio CV Suratá, 2009 (Anexo 1).



Figura 17. Exploración geotécnica del casco urbano de Suratá. Ubicación de perforaciones, apiques, SEV y trazado de perfiles geotécnicos.

En la exploración geotécnica se determinó que el sector nororiental del casco urbano se caracteriza por presentar principalmente arcillolitas de la Formación Umir. Estas arcillolitas son resistentes en estado seco, sin embargo al someterlas a la presencia de agua, se desintegran y sus planos



de debilidad se reacomodan fácilmente. Los niveles freáticos en esta zona se encuentran a menos de 3 m de profundidad.

El sector central del casco urbano la Formación Umir está cubierta por un depósito coluvial entre 2 y 5 m hacia el sur. En las perforaciones realizadas, se hallaron rocas metamórficas bandeadas y metasedimentarias a 10 m de profundidad en los sondeos 3 y 4, así como una brecha sedimentaria en el sondeo 3 a 16 m de profundidad y núcleos de rocas ígneas. Estas muestras podrían indicar actividad tectónica reciente en el área, aunque esto sería objeto de una investigación estratigráfica detallada. Según los reportes del estudio geoelectrico y las perforaciones los niveles freáticos se encontraron a menos de 1,5 m de profundidad en la mayor parte del área.

El último sector, es la parte sur del casco urbano después de la Quebrada Los Curos. En esta zona predomina en el norte arcillolitas de la Formación Umir, y hacia el sur el depósito coluvial que es matriz soportado en la zona central de este sector y clastosoportado en las áreas cercanas al Río Suratá. En este sector los niveles freáticos fluctúan entre 1,8 y 4 m de profundidad.

La exploración geotécnica también contempló actividades para determinar problemas geotécnicos por expansión en suelos finos.

Para la zona de estudio se realizaron ensayos de Expansión Controlada y Expansión libre (Anexo 2) mediante los cuales se obtuvo un índice de expansión de 41.7% que, según la norma ASTM D4829, 1988, este resultado clasifica el suelo con un potencial de EXPANSIÓN BAJO.

Tabla 2. Clasificación del potencial expansivo de los suelos (ASTM D4829,1988)

Índice de expansión	Potencial de expansión
0 - 20	Muy baja
21 - 51	Baja
51 - 90	Medio
91 - 130	Alto
> 130	Muy alto

Sin embargo el ensayo de expansión controlada, estableció que la presión debida a este fenómeno alcanza el valor 6.5 t/m², cuya carga es suficiente para general daños en los pisos de las viviendas y las cimentaciones de las mismas, la cual puede ser reflejada en agrietamientos de muros y daños en cubiertas.

2.4 MODELOS GEOTÉCNICOS

Con el objeto de establecer los modelos geotécnicos, se debe clasificar en cada zona en particular los posibles movimientos que pueden llegar a ocurrir y determinar para cada uno de ellos el modelamiento físico más apropiado para llegar a obtener la zonificación de amenazas a fenómenos de remoción en masa.

La clasificación de los movimientos en masa a tener en cuenta en el estudio se determinará mediante la clasificación de Varnes 1978, la cual se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de Varnes, 1978

TIPO DE MOVIMIENTO			TIPO DE MATERIAL		
			Suelo Ingeniería		
			Roca	Detritos	Tierra
Caídas			Caída roca	Caída detritos	Caída tierra
Volcamientos			Vol. Roca	Vol. Detritos	Vol. Tierra
Deslizamiento	Rotacional	Pocas unidades	Hundimiento roca	Hundimiento detritos	Hundimiento tierra
	Traslacional		Desl. Bloque roca	Desl. Bloque detritos	Desl. Bloque tierra
		Muchas unidades	Desl. Roca	Desl. Detritos	Desl. Tierra
Propagación lateral			Propagación roca	Propagación detritos	Propagación tierra
Flujos			Flujo rocas (Reptamiento profundo)	Flujo de detritos	Flujo de tierras
Movimientos complejos			Combinación de 2 o más movimientos		

Caídos

Caídos es el desprendimiento y caída de materiales de roca o suelo de un talud. Una vez desprendido el material se desplaza por el aire presentándose golpes, rebotes y rodamientos, los cuales dependen principalmente de la pendiente del talud, del tamaño y forma del bloque y de la fragilidad de la roca.

Volcamientos

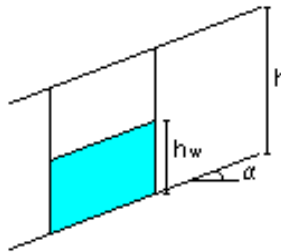
Este movimiento consiste en el giro de materiales generalmente rocosos, por acción de la gravedad y fuerzas ejercidas por las unidades adyacentes, o por la presión de fluidos entre grietas.

Deslizamientos

Es el desplazamiento de corte de una masa a lo largo de una superficie. Para establecer la posibilidad de ocurrencia de los caídos y volcamientos y sus posibles efectos, se deben obtener en campo en taludes rocosos, el inventario de discontinuidades, buzamientos y separación entre ellas. En taludes en suelo se revisa la presencia de fallas rotacionales mediante modelos de equilibrio límite como Bishop, Janbú y Morgestern & Price.

2.4.1 Talud infinito

Es el método de equilibrio límite que más se ajusta para calcular factores de seguridad considerando saturación del suelo suponiendo una falla plana paralela a la pendiente del talud. A su vez este método permite el análisis en condiciones estáticas, con presencia de niveles freáticos y con sismo.



Se presentan las ecuaciones utilizadas para los distintos casos:

- Condiciones estáticas y presencia de niveles freáticos

$$F.S. = \frac{C + (\gamma h - \gamma_w h_w) \cos \alpha \tan \phi}{\gamma h \sin \alpha}$$

- Condiciones con sismo

$$F.S. = \frac{C' + [(\gamma h - \gamma_w h_w) \cos^2 \alpha - K \gamma h \cos \alpha \sin \alpha] \tan \phi'}{\gamma h \cos \alpha \sin \alpha + K \gamma h \cos^2 \alpha}$$

2.4.2 Falla rotacional

El método correspondiente para modelar las fallas rotacionales es el de equilibrio límite basado en el análisis de dovelas. Estos métodos pueden ser



los formulados por Bishop, Janbú, Fellenius y Morgestern & Price, entre otros.

En el presente estudio se utilizó el software Geo-slope/w 2004 con el cual se iteraron 1331 superficies de falla para hallar el factor de seguridad más crítico en cada perfil seleccionado.

2.4.3 Calibración del modelo geotécnico y propiedades de los suelos

El modelo geotécnico trabajado en Geoslope se calibró teniendo en cuenta las condiciones actuales de falla en los taludes del sector suroriental, que ha afectado el parque principal del municipio de Suratá. Por esto, se tomaron los perfiles 1 y 2 para determinar si las propiedades geomecánicas encontradas en el laboratorio describen este tipo de comportamiento. En el proceso de calibración se pueden ajustar los distintos parámetros del modelo para representar adecuadamente lo que sucede en la realidad. Esta metodología es conocida como Back Análisis (Ducan y Wright, 2005).

Teniendo en cuenta los ensayos de laboratorio y las calibraciones de los modelos geotécnicos se definieron los parámetros geotécnicos para cada uno de los tipos de suelos encontrados en la zona de estudio, los cuales se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Tipos de suelo

	γ_s KN/m ³	ϕ PICO	ϕ RESIDUAL	COHESIÓN PICO KN/m ²	COHESIÓN RESIDUAL KN/m ²
Coluvión	17.2		26		15
Umir	19.3	25.7	22	51	23
Metamórfico	28	40		40	

3 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

En el área de estudio se identificaron amenazas como deslizamientos y reptación. Se detectaron movimientos en masa de tipo rotacional algunos de ellos retrogresivos y en general el casco urbano de Suratá está afectado por procesos de reptación o movimientos lentos que ocasionaron daño de los elementos estructurales y no estructurales de las viviendas y el alcantarillado.

Además existen detonantes para estos movimientos como los altos niveles freáticos que se encontraron entre los 0.2 m y 2 m en el sector norte del casco urbano. Otras evidencias de los movimientos anteriormente mencionados, son las grietas y los afloramientos de agua identificados en la campaña de levantamiento topográfico de la zona. (Ver Mapa Geomorfológico Planos 4 y 5).

De acuerdo a los lineamientos técnico-ambientales para la elaboración de EDARFRIs de la CDMB, la zonificación de la amenaza se realiza teniendo en cuenta factores de seguridad y se define de acuerdo a la clasificación presentada en la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de la amenaza

Nivel Amenaza	F.S. condiciones normales	F.S. condiciones extremas
Alta	< 1.25	< 1.00
Media	1.25 – 1.50	1.00 – 1.20
Baja	> 1.50	> 1.20

3.1 ESCENARIOS

Con el fin de establecer la influencia de los distintos detonantes en la zonificación de la amenaza en el municipio de Suratá, se contempla el cálculo de factores de seguridad en distintas condiciones, definiéndose los siguientes escenarios:

- Estático Seco
- Dinámico Seco
- Estático Saturado
- Dinámico Saturado
- Estático con valores residuales
- Dinámico con valores residuales
- Estático con valores Pico
- Dinámico con Valores Pico

Se calcularon los Factores de Seguridad teniendo en cuenta los parámetros geomecánicos de la Tabla 3 y suponiendo profundidades de superficies de falla hasta de 2 metros; luego se procedió a espacializar los resultados de Factor de Seguridad en los distintos escenarios por medio del Sistema de Información Geográfica (SIG).

3.1.1 Talud infinito

En la tabla 5 se observan los resultados obtenidos para el coluvión en los distintos escenarios teniendo como parámetro de variación la pendiente del terreno (α).

Tabla 6. Factores de Seguridad mediante Talud Infinito para Coluvión

α %	F.S. Seco-Sismo	F.S. Seco	F.S. Sat-Sismo	F.S. Saturado
1,7	5,12	30,81	3,55	21,35
4	4,19	13,23	2,90	9,18
6,8	3,41	7,75	2,36	5,39
14	2,33	3,80	1,62	2,67
27	1,53	2,07	1,10	1,50
30	1,42	1,87	1,03	1,37
37	1,24	1,56	0,92	1,18
50	1,09	1,29	0,87	1,06
55	1,08	1,27	0,90	1,07

3.1.2 Métodos de Bishop, Janbu y Morgestern & Price

Con la topografía y cortes del terreno mostrados en la Figura 17 se realizaron las simulaciones para determinar factores de seguridad por los métodos de equilibrio límite de Bishop, Janbu y M&P.

A continuación se presentan las simulaciones teniendo en cuenta parámetros de resistencia del suelo residual, en condiciones estáticas y con sismo.

3.1.2.1 Perfil 1.

Perfil que atraviesa el parque central del casco urbano con rumbo N61W. Los valores críticos son 1.092 para las condiciones estáticas y 0.825 para las condiciones dinámicas.

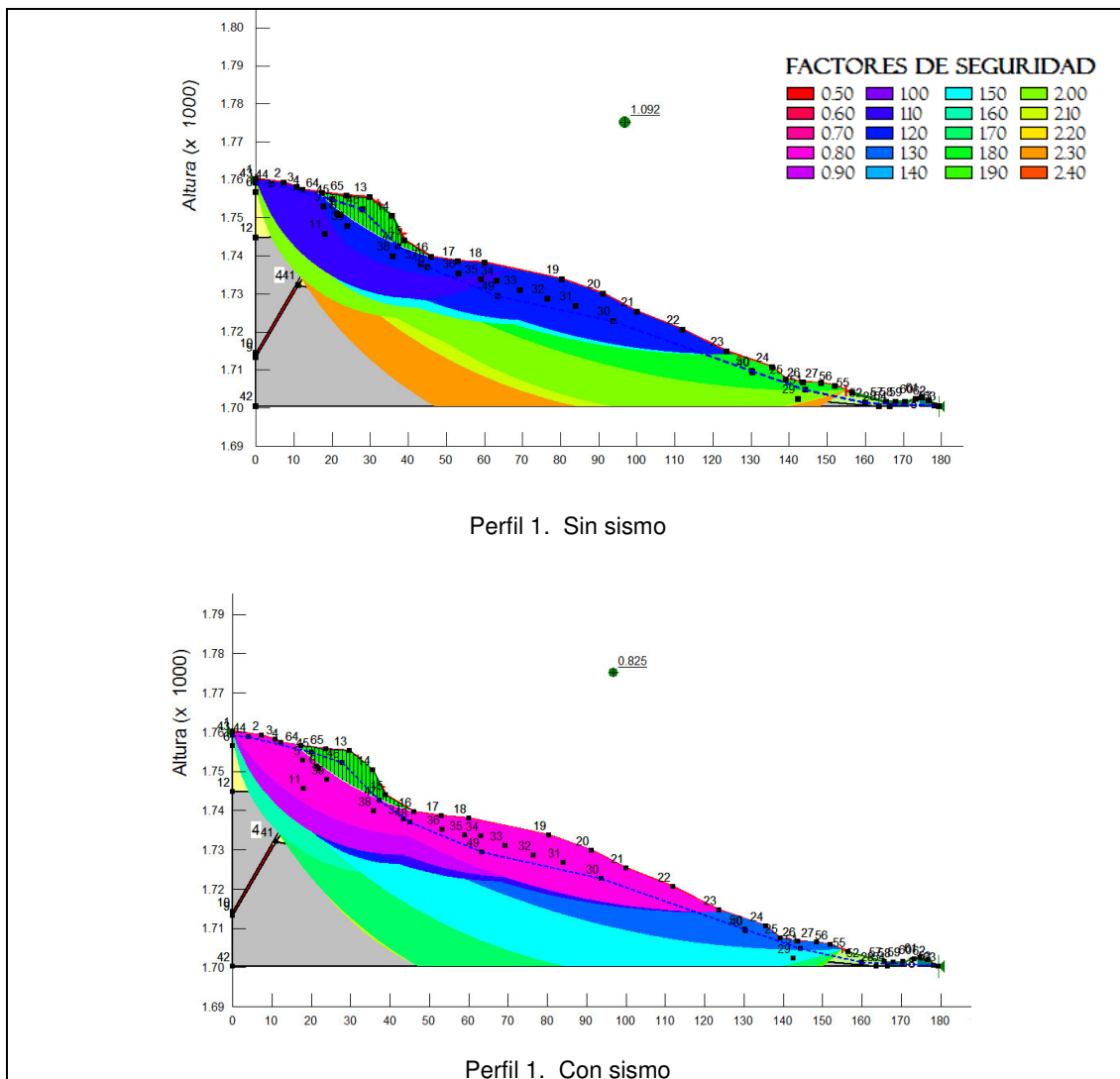


Figura 18. Factores de Seguridad en condiciones estáticas y dinámicas para el Perfil 1.

3.1.2.2 Perfil 2.

Perfil que atraviesa la calle 5 hasta la carrera 8. Este perfil atraviesa los sondeos 2, 3 y 4, su rumbo es N57W. Los valores críticos son 1.067 para las condiciones estáticas y 0.832 para las condiciones dinámicas.

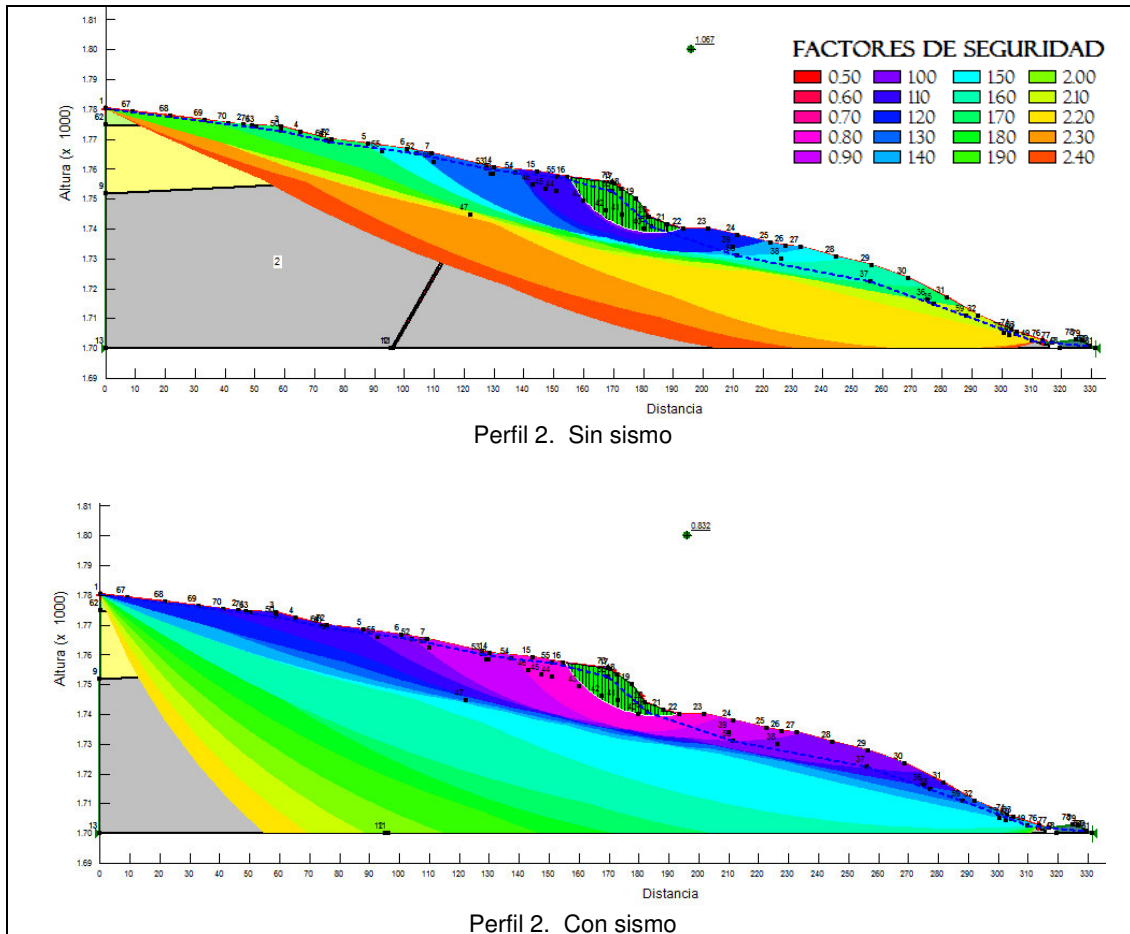


Figura 19. Factores de Seguridad en condiciones estáticas y dinámicas para el Perfil 2.

3.1.2.3 Perfil 3.

Este perfil sigue el alineamiento de la calle 6 hasta la carrera 7, con rumbo N54W. Los valores críticos son 1.212 para las condiciones estáticas y 0.816 para las condiciones dinámicas.

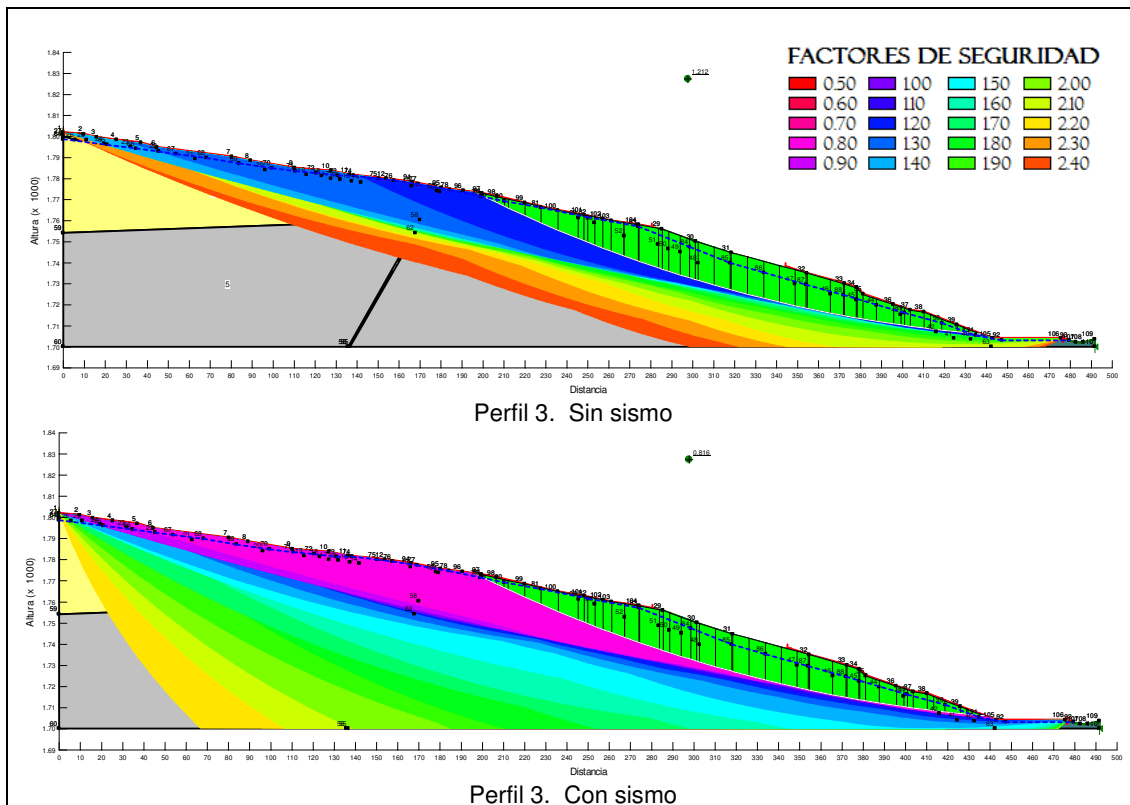


Figura 20. Factores de Seguridad en condiciones estáticas y dinámicas para el Perfil 3.

3.1.2.4 Perfil 4.

Este perfil se trazó sobre la calle 8 hasta la carrera 5 con rumbo N51W. Los valores críticos son 1.026 para las condiciones estáticas y 0.747 para las condiciones dinámicas.

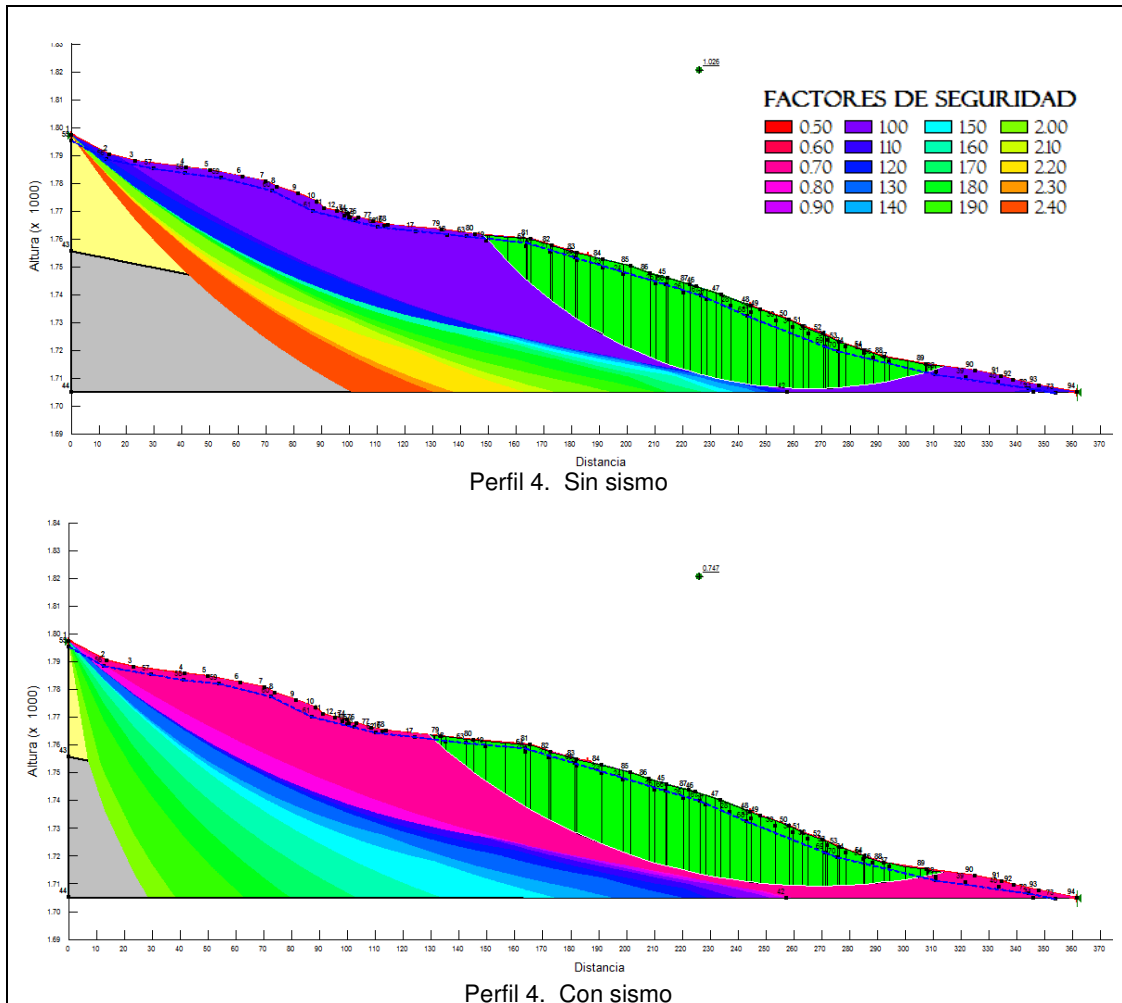


Figura 21. Factores de Seguridad en condiciones estáticas y dinámicas para el Perfil 4.

3.1.2.5 Perfil 5.

Este perfil está ubicado en el suroccidente del casco urbano y atraviesa el lote en expansión del municipio con rumbo N58W. Los valores críticos son 2.648 para las condiciones estáticas y 1.181 para las condiciones dinámicas.

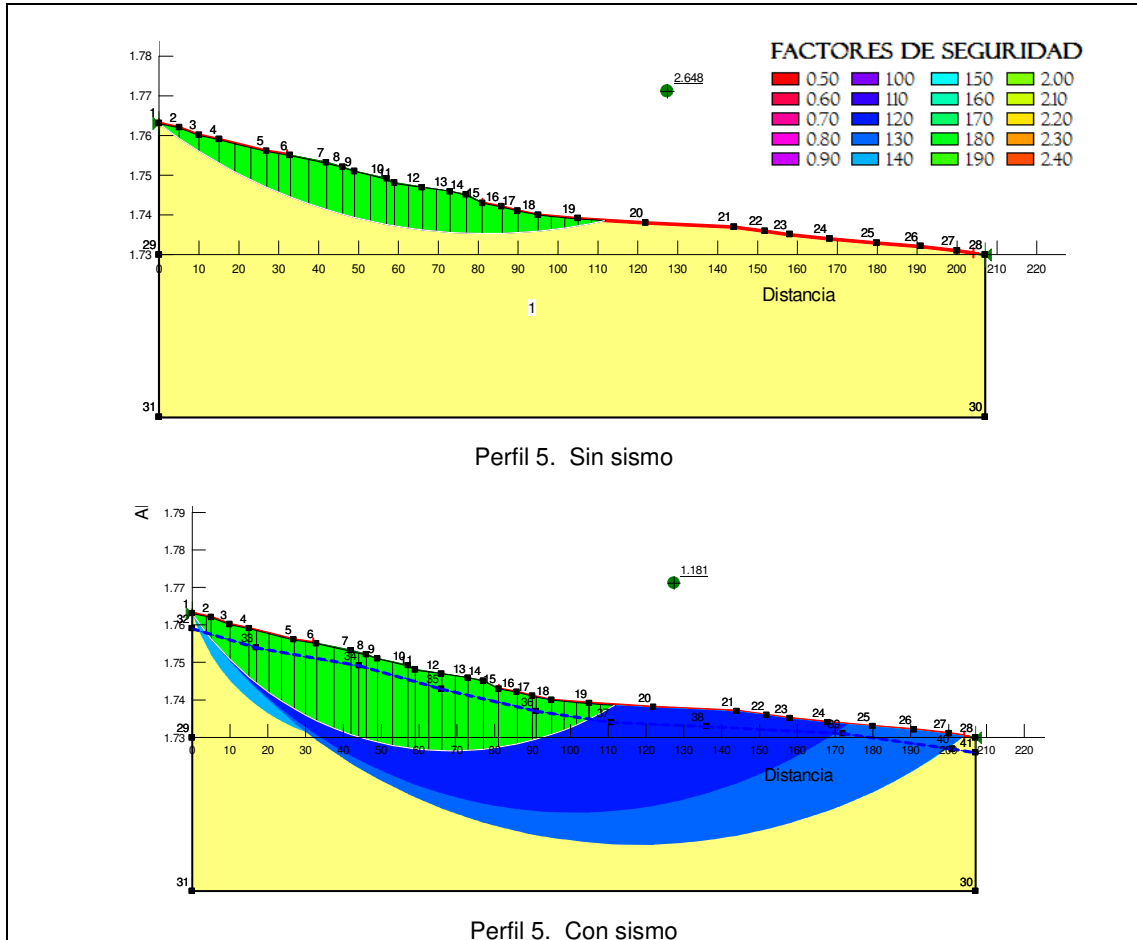


Figura 22. Factores de Seguridad en condiciones estáticas y dinámicas para el Perfil 5.

3.1.2.6 Perfil 6.

Este perfil con rumbo N50W, atraviesa el estadio, la parte sur del colegio y la zona central del lote de propiedad del municipio. Los valores críticos son 1.479 para las condiciones estáticas y 1.007 para las condiciones dinámicas.

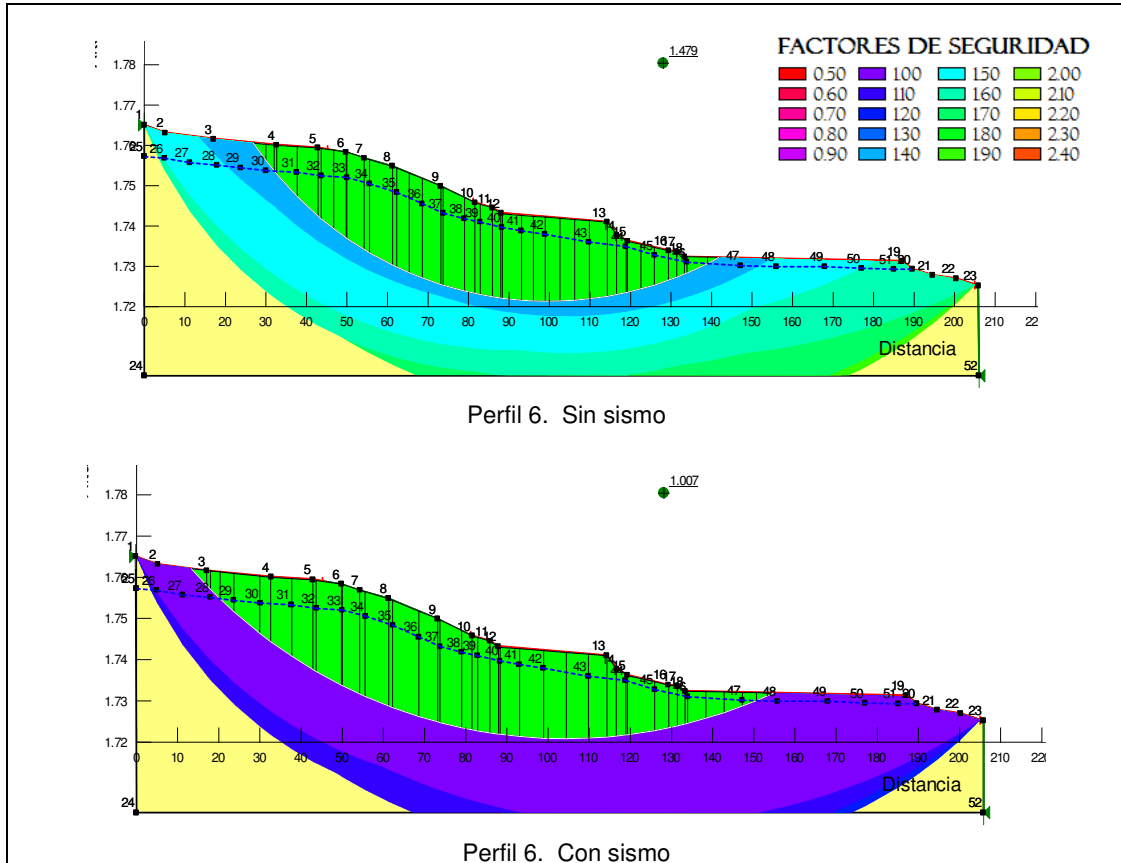


Figura 23. Factores de Seguridad en condiciones estáticas y dinámicas para el Perfil 6.

3.1.2.7 Perfil 7.

Este perfil con rumbo N33W, atraviesa el costado oriental del Banco Agrario, el colegio y el predio del Sr. Ramiro Albarracín. Los valores críticos son 2.174 para las condiciones estáticas y 1.188 para las condiciones dinámicas.

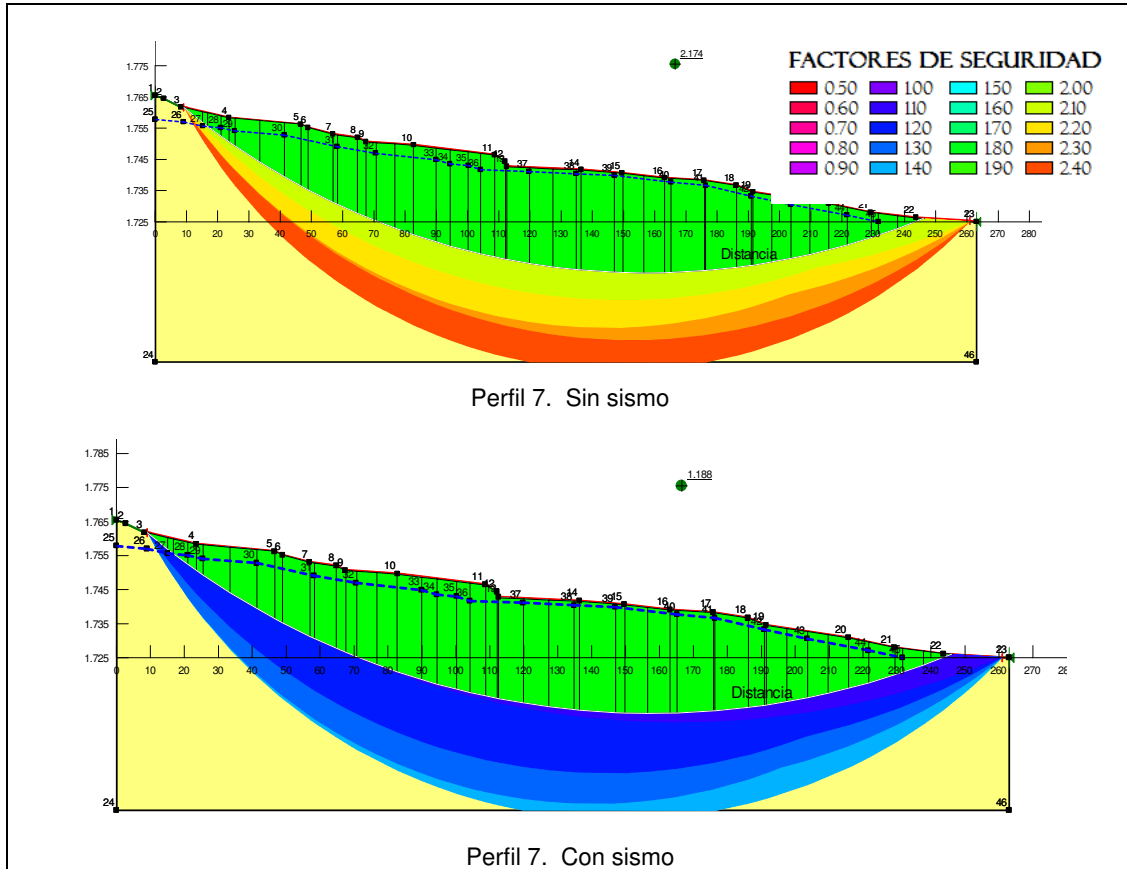


Figura 24. Factores de Seguridad en condiciones estáticas y dinámicas para el Perfil 7.

3.1.2.8 Perfil 8.

Su trazo con rumbo N16W, se ubica al sur del Jardín Infantil y continúa en diagonal atravesando las calles 2 hasta la 7 en cercanías a la carrera 7. Los valores críticos son 2.158 para las condiciones estáticas y 1.157 para las condiciones dinámicas.

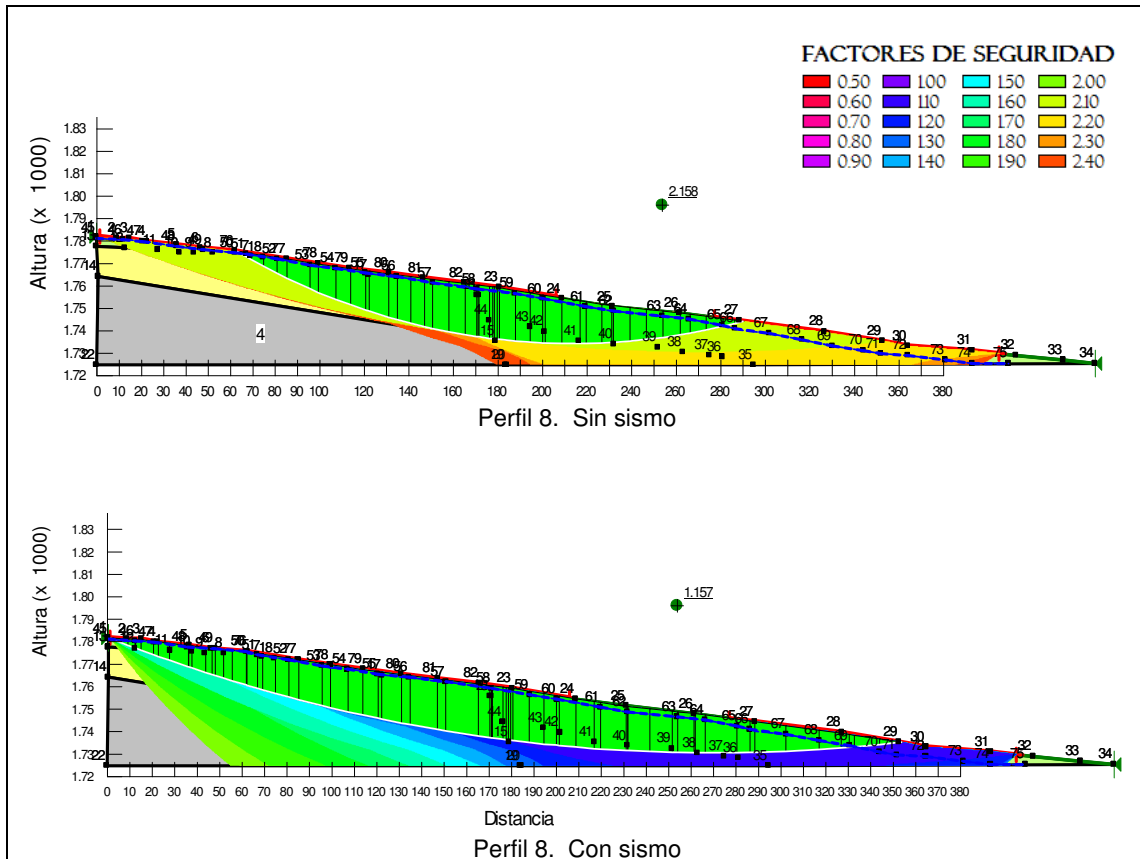


Figura 25. Factores de Seguridad en condiciones estáticas y dinámicas para el Perfil 8.



4 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA

4.1 ZONIFICACIONES PRELIMINARES

Teniendo en cuenta los aspectos geológicos, morfológicos, propiedades geomecánicas de los materiales, espesor de los depósitos, niveles freáticos y el modelamiento en Geoslope, se obtuvieron las siguientes zonificaciones por modelo de falla plana y por falla rotacional.

4.1.1 Zonificación por falla plana

Como resultado de los cálculos de la fórmula de talud infinito aplicada mediante ArcGis se obtienen las siguientes zonificaciones:

Para condiciones ideales, es decir, con suelo seco y sin tener en cuenta el efecto de sismo, se aprecia que los parámetros de resistencia no disminuyen y en general la zona de estudio se encuentra en amenaza baja; exceptuando la zona de escarpe o mayor pendiente que se encuentra en los taludes ubicados bajo la carrera 3 cerca al parque principal y que se extienden adyacentes a la calle 3A, al igual que la zona baja del matadero, en donde se aprecia una zona de amenaza media (Figura 26).

Esta simulación presenta condiciones del nivel freático por debajo del nivel actual presente en el casco urbano del municipio.

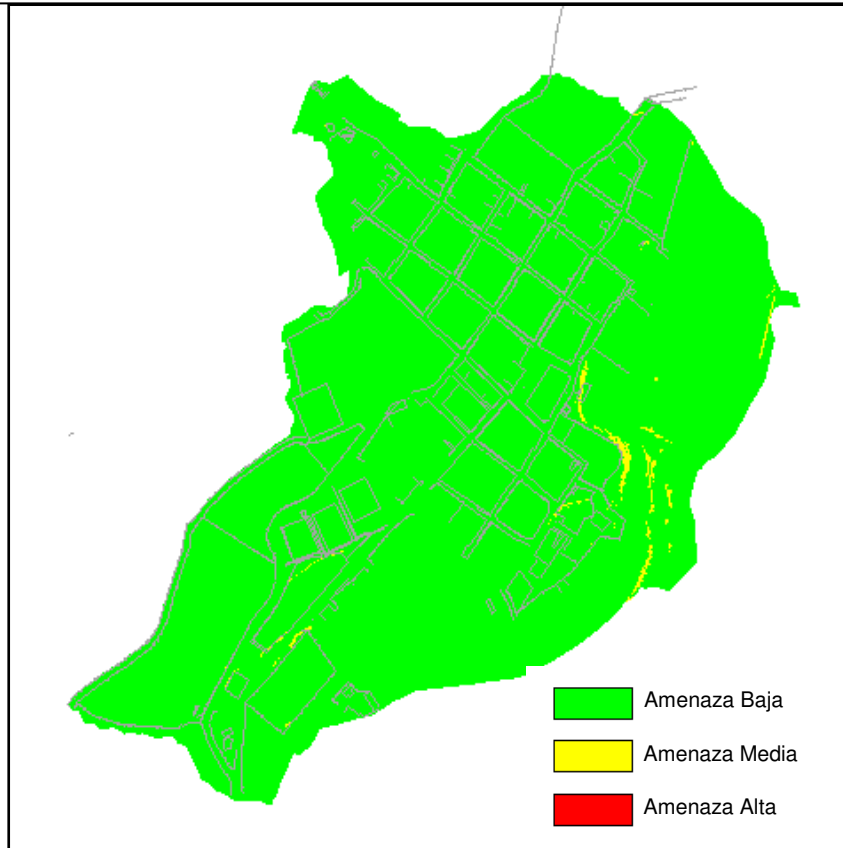


Figura 26. Zonificación de la Amenaza en condiciones ideales, empleando el método de Talud Infinito.

En condiciones no saturadas pero teniendo en cuenta el efecto sísmico no se aprecia un cambio significativo con relación a la zonificación anterior (condiciones ideales). Esta simulación se presenta en la Figura 27.

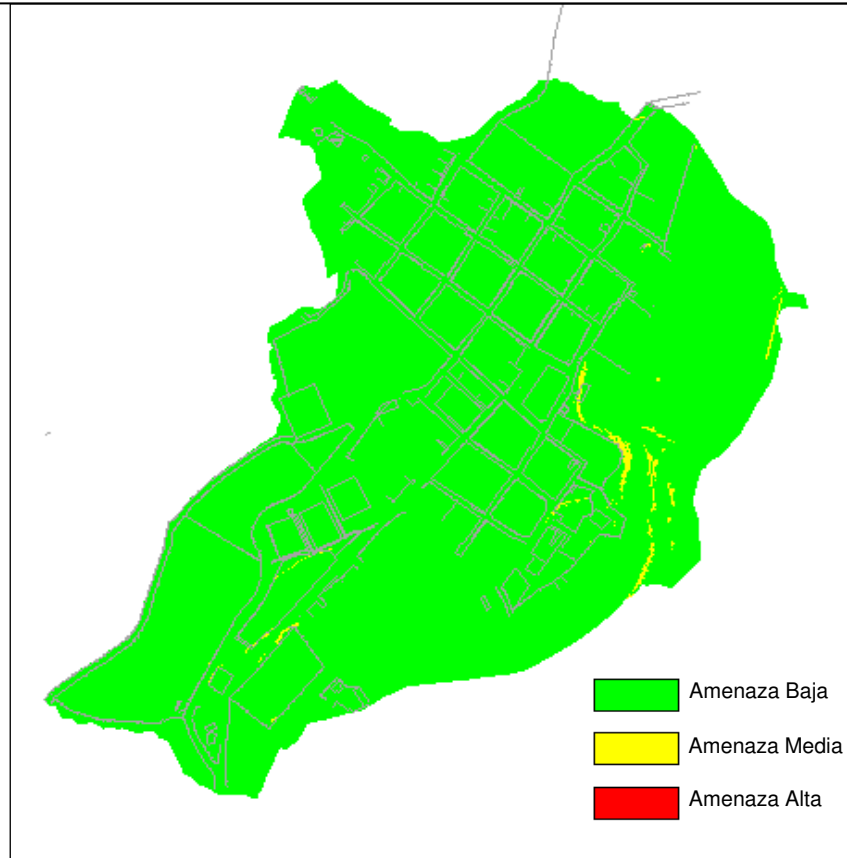


Figura 27. Zonificación de la Amenaza en condiciones no saturadas y con sismo, empleando el método de Talud Infinito.

En condiciones saturadas la presencia de agua en el terreno aumenta la amenaza a deslizamiento (Figura 28). Las áreas afectadas por este cambio son: la franja escarpada bajo la carrera 3 que se extiende en la zona oriental del casco urbano de Suratá; la zona superior sobre la salida a California; la zona donde se ubica el cementerio y la zona sur occidental que corresponde al lote de expansión del municipio.

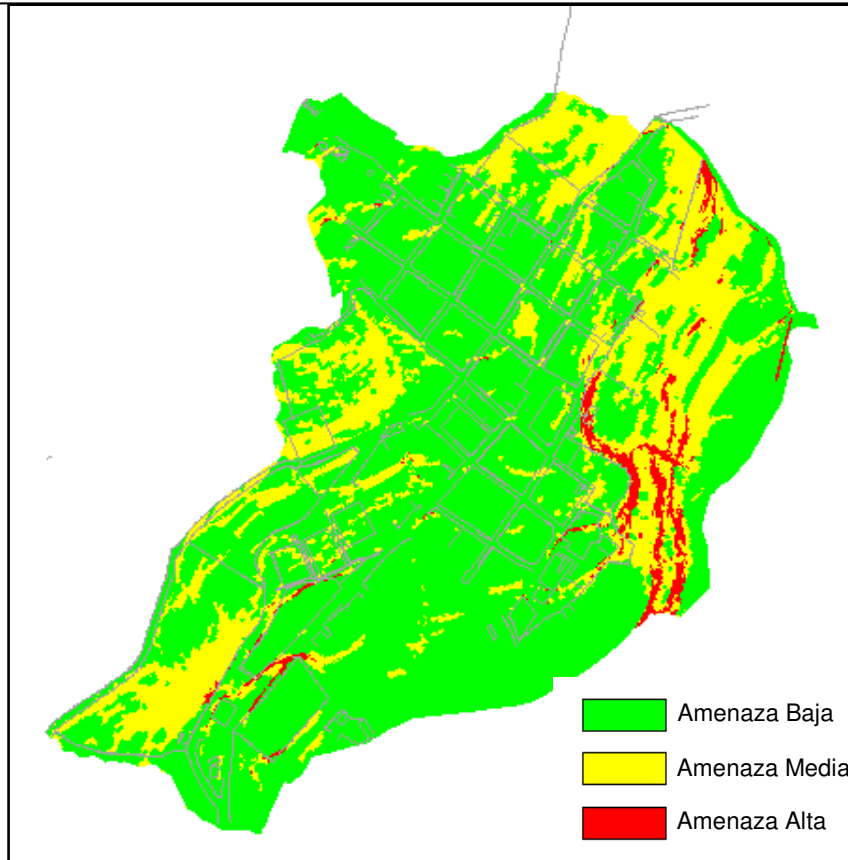


Figura 28. Zonificación de la Amenaza en condiciones saturadas, empleando el método de Talud Infinito.

En condiciones extremas, es decir, teniendo en cuenta la saturación del terreno y un evento sísmico, se obtiene la zonificación mostrada en la Figura 29. Se observa que no varían las zonas críticas con amenaza media y alta con respecto a la zonificación en condiciones saturadas.

Se puede concluir que en estos mapas preliminares de zonificación, mediante Talud Infinito, el factor detonante para las fallas planares es la presencia de agua, es decir, el aumento en los niveles freáticos.

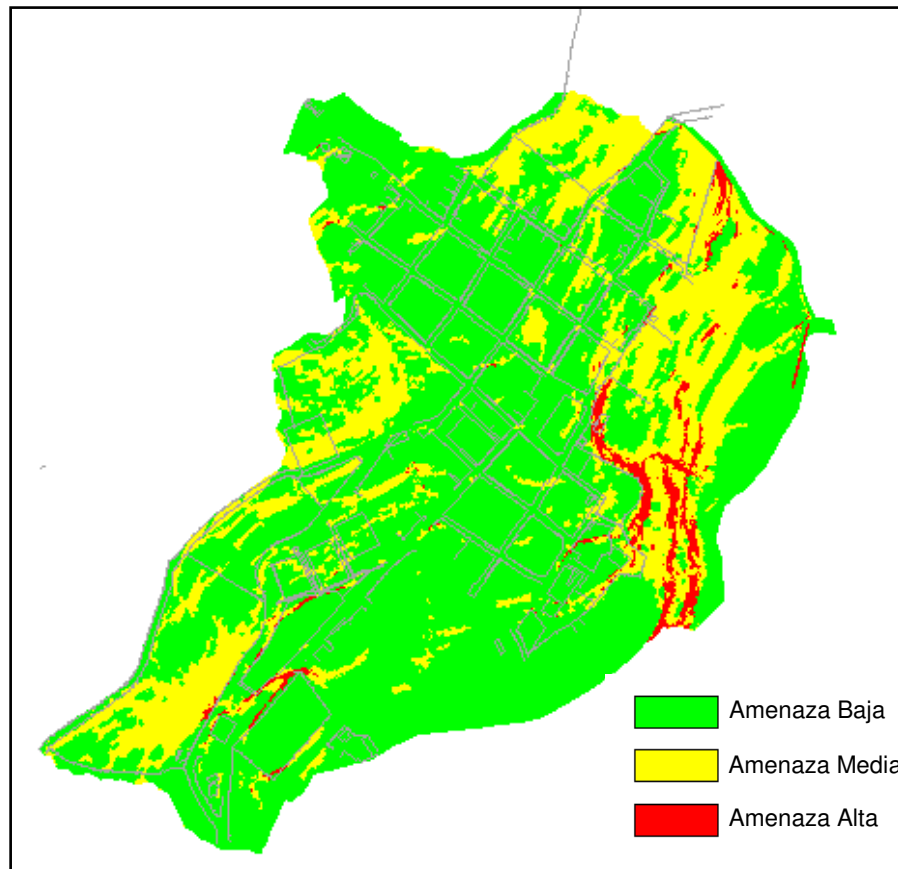


Figura 29. Zonificación de la Amenaza en condiciones extremas, empleando el método de Talud Infinito.

4.1.2 Zonificación por falla rotacional

Esta zonificación se llevó a cabo teniendo en cuenta los factores de seguridad obtenidos en cada uno de los 8 perfiles presentados en el numeral 3.1.2, y correspondiente a cada escenario particular: condiciones normales y condiciones extremas usando los valores de resistencia pico y residual. En total se generaron 4 mapas que se explican a continuación:

En la Figura 30 se presenta la zonificación que resulta con los valores promedio de resistencia de los materiales presentes en el subsuelo del casco urbano del municipio de Suratá, sin tener en cuenta los valores de aceleración sísmica.

Como se observa la zonificación es acorde con el actual deslizamiento que se presenta en el parque principal. En general, la amenaza es baja en la mayor parte del pueblo y media sobre la franja correspondiente al talud oriental que se aproxima a la carrera 3 entre calles 5 y 7; al igual que en la carrera 4 entre calles 7 y 9.

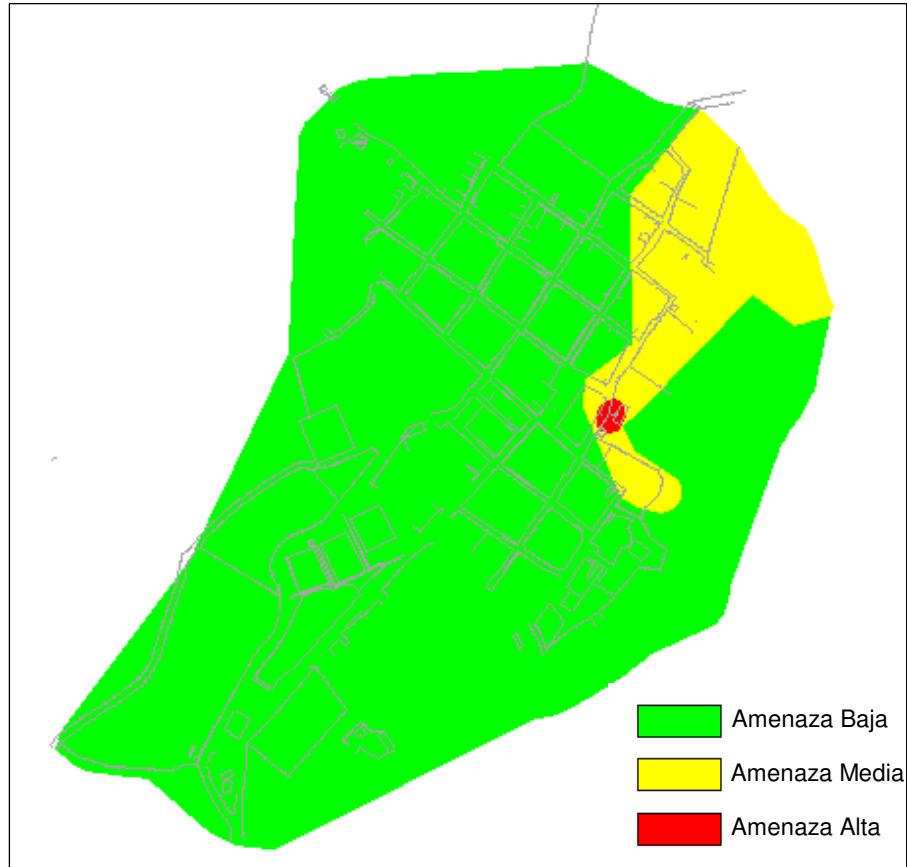


Figura 30. Zonificación de la Amenaza en condiciones normales con valores de resistencia pico.

La zonificación en condiciones extremas con valores de resistencia pico, corresponde a la inclusión del efecto de una carga debida a sismo sin efectuar una variación en los valores de resistencia promedios aplicados para el escenario anterior. Como se observa en la Figura 31, la presencia de sismo afecta de manera importante la amenaza en la zona nororiental, y un incremento en la zona de amenaza alta que abarca el escarpe entre las calles 5 y 3.

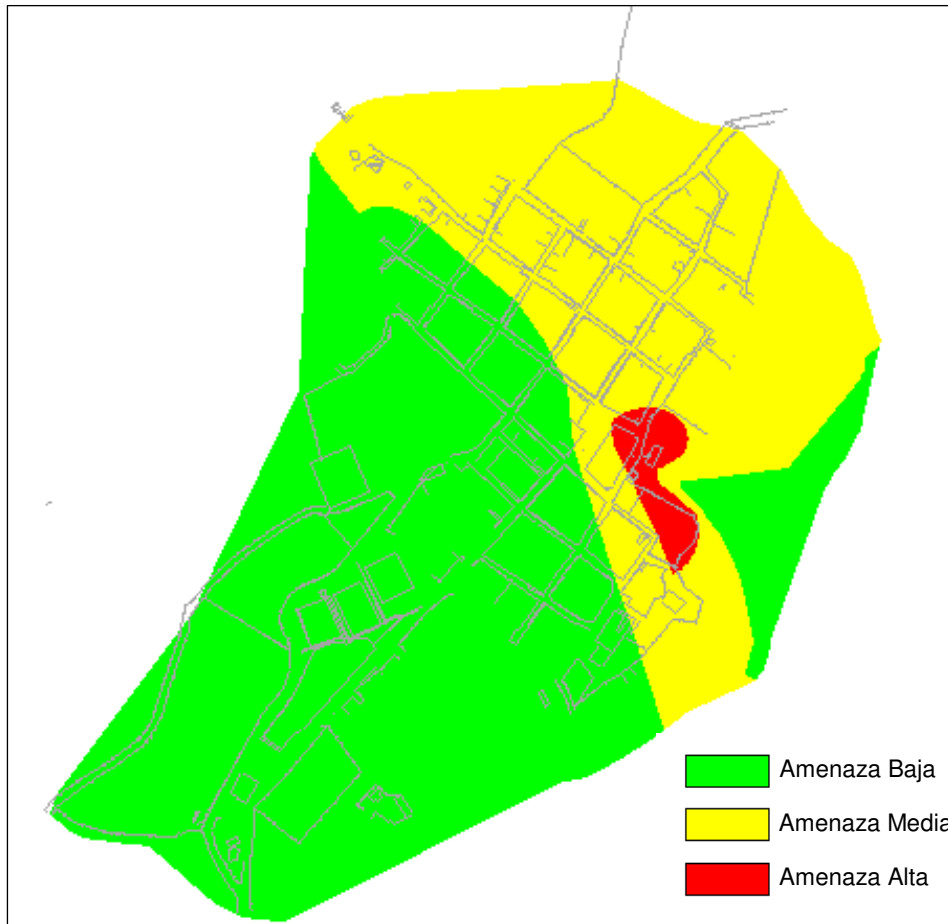


Figura 31. Zonificación de la Amenaza en condiciones extremas y con valores de resistencia pico.

Ahora teniendo en cuenta las condiciones de remoldeo de la matriz del coluvión por los movimientos de reptación detectados, se efectúa la zonificación con los valores de resistencia residual.

En condiciones normales, se observa un cambio significativo en la zonificación (Figura 32). En el sector Occidental la amenaza a movimientos por fenómenos de remoción en masa aumenta a media, específicamente en el área del predio del municipio, lo cual no se observa en anteriores zonificaciones. El área correspondiente a Amenaza Alta a Deslizamiento, se extiende sobre un aproximado de 8 manzanas del municipio ubicadas entre las carrera 3 y 6 y las calles 5 y 9.

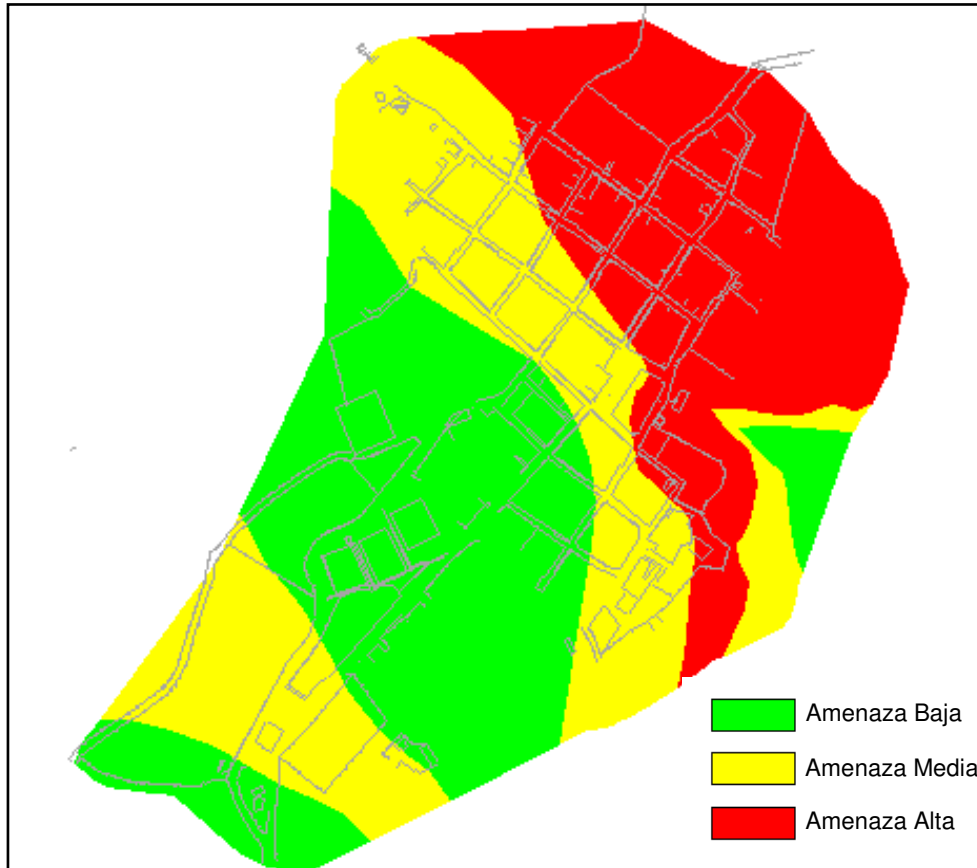


Figura 32. Zonificación de la Amenaza en condiciones normales con valores de resistencia residual.

La zonificación en condiciones extremas es el resultado de aplicar una aceleración sísmica en el modelo, este escenario corresponde a un evento crítico, por lo tanto, la zonificación muestra que las áreas de amenaza baja son insignificantes.

En general, el pueblo se divide en dos zonas, la primera de Amenaza Media correspondiente al sector suroccidental y la segunda de Amenaza Alta correspondiente al sector nororiental; el límite aproximado entre estas áreas es la calle 6 entre carreras 6 y 7, la calle 5 entre carreras 3 y 6 y continúa sobre la carrera 3 con calle 4 y calle 3A (Ver Figura 33).

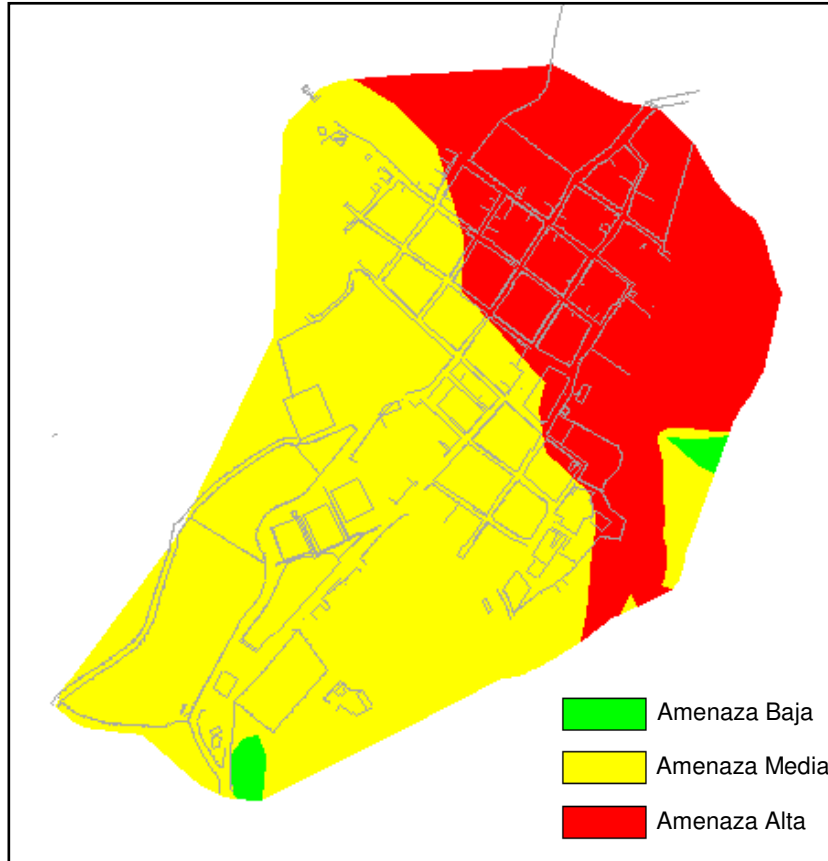


Figura 33. Zonificación de la Amenaza en condiciones extremas con valores de resistencia residual.

4.1.3 Zonificación por movimientos activos

El fenómeno de reptación corresponde a movimientos lentos del suelo que no evidencian una superficie de falla definida. Por esta razón, este tipo de movimiento no puede simularse con ecuaciones de equilibrio límite, las cuales contemplan una falla del suelo por esfuerzos cortantes, por lo que se debe tener en cuenta los movimientos cartografiados (Ver mapa geomorfológicos Planos 4 y 5) para determinar las zonas que actualmente están siendo afectadas por procesos de movimientos en masa incluyendo la reptación.

Se cartografiaron dos movimientos activos, que se aprecian en la Figura 34.

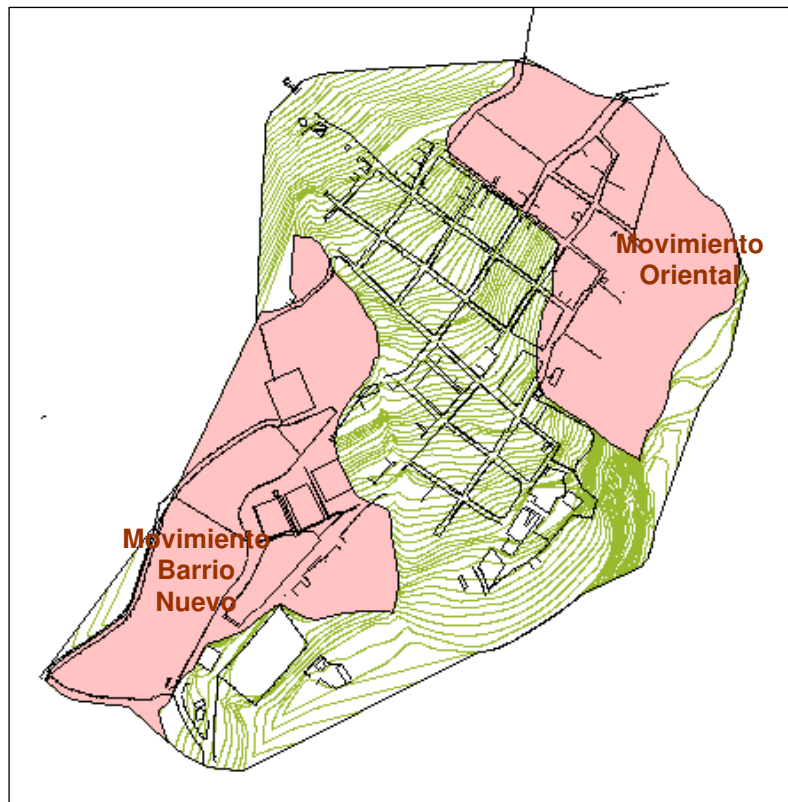


Figura 34. Zonificación de movimientos en masa activos.



1. *Movimiento Barrio Nuevo*: localizado en el sector suroccidental, donde se encuentra ubicado el lote de expansión del municipio, el Barrio Nuevo, el cementerio, la estación de policía, el Colegio Integrado Camacho Carreño y el Banco Agrario, entre otros. Este movimiento corresponde a movimientos lentos de reptación.
2. *Movimiento Oriental*: ubicado en el sector nororiental del casco urbano donde la mayoría de las viviendas se encuentran afectadas. Este movimiento está representado por reptación y fallas rotacionales.

4.2 ZONIFICACIÓN FINAL POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

Analizando los distintos escenarios trabajados, se realizó la zonificación definitiva superponiendo los resultados obtenidos y teniendo en cuenta los siguientes criterios determinantes para la idealización del modelo final:

- Se tiene en cuenta las condiciones de suelo saturado, ya que se demostró la presencia de niveles freáticos altos en la zona urbana del municipio de Suratá.
- Se consideran las condiciones con sismo y suelo saturado como escenario posible.
- Los escenarios posibles deben considerar el coluvión con valores de resistencia residual, ya que el suelo en un gran porcentaje presenta evidencia de procesos de reptación.

Se obtiene entonces el mapa de zonificación final por FRM, (Figura 35), que se caracteriza por presentar tres zonas representativas de amenaza, dos en Amenaza Alta y una en Amenaza Media, teniendo en cuenta los tres criterios mencionados anteriormente. La definición de estas tres zonas se explica a continuación:

4.2.1 Zona de amenaza alta 1 (ZA1)

Ubicada en el sector denominado *Movimiento Barrio Nuevo*, al suroccidente del casco urbano. Presenta pendientes suaves a muy suaves y cuyo suelo reptá acompañado de cambios volumétricos en el suelo; este movimiento es lento y el factor detonante son los cambios en los niveles freáticos. Se recomienda controlar las aguas de escorrentía y los excesos que se

presentan ladera arriba por las labores de riego no tecnificado y otras actividades de tipo antrópicas.

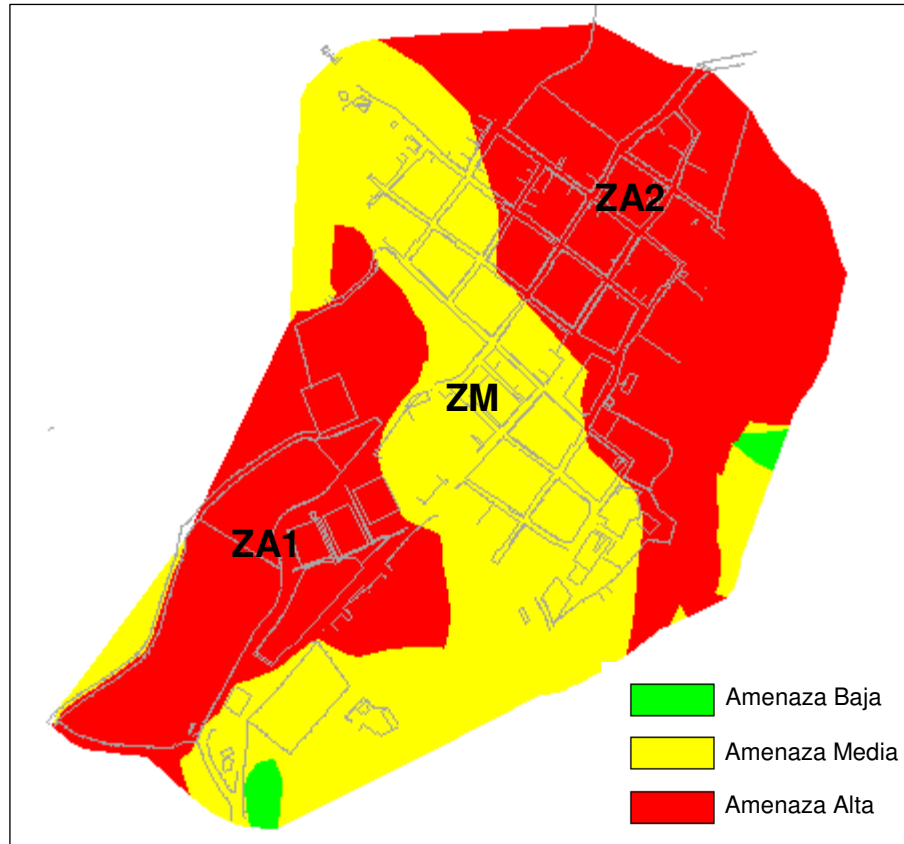


Figura 35. Zonificación de Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa en el casco urbano de Suratá.

4.2.2 Zona de amenaza alta 2 (ZA2)

Esta zona se extiende en una franja norte que se prolonga hacia el oriente y la integran los taludes de mayor pendiente que se presentan en la zona de estudio. Se diferencia de la ZA1 porque se caracteriza por presentar un movimiento complejo, definido por un movimiento de falla rotacional con probabilidad de avance retrogresivo y un movimiento de reptación. En este sector se recomienda mantener cobertura vegetal y guardar distancias de aislamientos en la zona de escarpes, así como controlar las aguas de infiltración y drenajes naturales provenientes de los predios ubicados en el sector noroccidental del pueblo.



4.2.3 Zona de amenaza media (ZM)

Esta zona se localiza en el sector central del casco urbano, sobre la cual se encuentra asentada la mayor parte de los habitantes del pueblo; está limitada por la Quebrada Los Curos con la zona ZA1 y se caracteriza porque aunque se encontraron grietas en las viviendas, no es posible definir con certeza el tipo de movimiento que se presenta. Por lo anterior, se debe determinar si las grietas obedecen a un fenómeno de asentamiento, o si por el contrario, es consecuencia de un movimiento del coluvión. Para esto, es necesario instalar un sistema de monitoreo que permita determinar deformaciones y velocidades de la masa de suelo y mantener actualizado el avance en el daño en las estructuras del municipio.



5 MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Las medidas de mitigación están dirigidas a disminuir el movimiento del terreno y continuar con la exploración y monitoreo de los desplazamientos activos que afectan el casco urbano del municipio de Suratá, para lo cual se propone instalar inclinómetros, piezómetros y drenes de penetración horizontal. La localización de estas medidas se puede apreciar en la Figura 36.

5.1 CONTROL Y MANEJO DE LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA

Se requiere diseñar y construir estructuras de control pluvial como canales, Box Couverts, graderías, etc., que manejen las aguas de escorrentía con el fin de mitigar los efectos erosivos y la infiltración de las aguas lluvias que sirvan como detonante de futuros deslizamientos.

5.2 RED DE INCLINÓMETROS

El inclinómetro es un equipo que permite medir el desplazamiento y la deformación de los suelos a diferentes profundidades.

Esta instrumentación se plantea para monitorear velocidades de desplazamiento tanto en las condiciones actuales como en las condiciones futuras con las medidas de mitigación implementadas.

Se propone la instalación de 6 inclinómetros en el área de estudio, dos para cada zona de amenaza y distribuidos así:

- Sobre la vía que pasa por la parte posterior del Barrio Nuevo y al suroriente del predio del Señor Ramiro Albarracín.
- Sobre la carrera 4 en inmediaciones de la actual estación de policía.
- En la esquina de la calle 5 con carrera 7.
- En la esquina de la calle 3 con carrera 4.
- En el parque principal.
- En la carrera 4 entre calle 7 y 8.



5.3 RED DE PIEZÓMETROS

Los piezómetros son instrumentos que sirven para determinar la variación de los niveles freáticos en el tiempo.

Adicionalmente, esta red servirá para determinar la efectividad de las medidas de mitigación como el control de aguas de infiltración y de escorrentía, las obras de drenaje.

Por otro lado, este monitoreo sería un paso esencial para la determinación de un modelo hidrológico más completo y en conjunto con la red de inclinómetros determinar la influencia del nivel freático en la velocidad de los movimientos identificados.

Se plantea ubicar 10 piezómetros de la siguiente manera:

- Tres piezómetros en el sector occidental.
- Dos en la carrera 2 con calle 2 y cerca al matadero municipal.
- Los 5 restantes se ubican en la esquina de la carrera 5 con calle 3, en el parque principal, en la esquina de la carrera 3 con calle 7, en la esquina de la carrera 5 con calle 8 y en la carrera 8 con calle 6.

5.4 DRENES DE PENETRACIÓN HORIZONTAL

Los drenes de penetración horizontal permiten disminuir la presencia de agua en el subsuelo y de esta forma aumentar los valores de esfuerzos efectivos que hacen parte de las fuerzas resistentes en un talud.

Como medida de mitigación se propone la construcción de 14 drenes de penetración horizontal de 40 metros de longitud. Se localizaría una línea de 8 drenes de penetración horizontal en la parte inferior del deslizamiento activo del sector oriental, y 6 drenes en el sector central y occidental para dar un control al fenómeno de reptación.

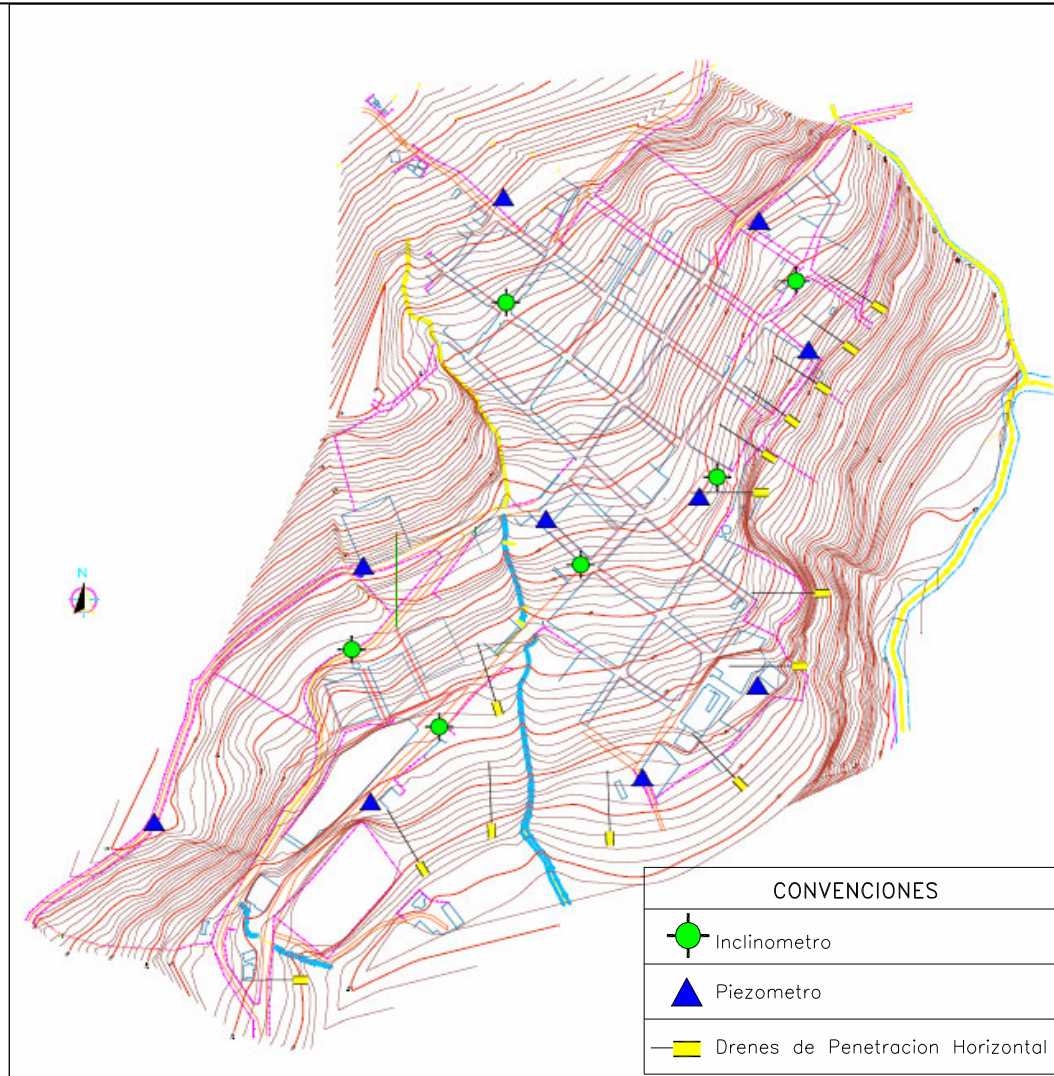


Figura 36. Ubicación de los puntos de monitoreo y de las obras de mitigación.

5.5 DISEÑO OBRAS DE ESTABILIZACIÓN

Se requiere planear el diseño de las obras de estabilización para evitar el avance de los movimientos retrogresivos detectados en los escarpes localizados al Sur del casco urbano del municipio de Suratá. Estas obras deben estar acordes con las Normas Geotécnicas de la CDMB.



5.6 PROGRAMA DE REPOSICIÓN DE REDES

Debido a los movimientos de reptación generalizados en el municipio de Suratá, las redes de acueducto y alcantarillado se encuentran deterioradas, por lo que generan fugas al suelo, incrementando la cantidad de agua y por lo tanto aumentando la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos y desplazamientos del suelo.

Otra problemática detectada es la presencia de redes de alcantarillado cimentadas sobre coluvión, el cual es un suelo con problemas geotécnicos inherentes a su formación.

Por estas razones se debe implementar un programa de revisión y reposición de redes de acueducto y alcantarillado que permita disminuir el aporte de agua al subsuelo.

5.7 PRESUPUESTO PRELIMINAR OBRAS DE MITIGACIÓN

Se elaboró un presupuesto preliminar estimado de las obras de mitigación. Para cada actividad planteada se requiere realizar los diseños específicos con sus costos para precisar a nivel de detalle el costo real de las obras (Tabla 7).

Tabla 7. Presupuesto preliminar aproximado obras de mitigación

Detalle	Unidad	Cantidad	Valor (miles)	Valor total (miles)
Piezómetros	U	10	10'000	100'000
Inclinómetros		6	15'000	90'000
Instrum. Lectura inclinómetros	U	1	40'000	40'000
Drenes	U	14	8'000	112'000
Obras estabilización (Prediseño)	U			1500'000
Reposición de redes	U			2877'000
Control Pluvial (Estimado)	M	4500	50	225'000
Total				4944'000



6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En general, el estudio concluye que el área urbana del municipio de Suratá presenta dos tipos de movimientos que están generando daños en la infraestructura, las viviendas y la dotación del municipio; estos movimientos son Reptación y Fallas Rotacionales.
- Se zonificó la amenaza en tres áreas: la primera es la ZA1, Zona de Amenaza Alta 1, que se caracteriza por un movimiento de reptación y corresponde al 25% del total de área estudiada. La ZA2, Zona de Amenaza Alta 2, se caracteriza por un movimiento compuesto de reptación y de falla rotacional, que corresponde al 37% del área; y por último el 38% restante que corresponde a la ZM, Zona de Amenaza Media, en la cual se han detectado afectaciones a pisos y muros en viviendas.
- En los modelos realizados, el sismo es un factor detonante importante para la zonificación de amenazas, así como la presencia de niveles freáticos altos en el suelo.
- Se recomienda implementar un programa que permita el adecuado manejo de aguas de escorrentía: aguas de riego y drenajes naturales, que descargan puntualmente sobre el pueblo. Se deben construir estructuras de control como canaletas, Box Couverts y graderías entre otras.
- Se debe realizar un programa de mantenimiento y reposición de las redes de acueducto y alcantarillado. Se recomienda que las redes de alcantarillado estén cimentadas por debajo de la capa de coluvión.
- Se deben exigir los estudios geotécnicos para la construcción de nuevas viviendas de acuerdo con las Normas Geotécnicas de la CDMB, con el fin de evaluar los niveles de cimentación de las construcciones y evaluar problemas de expansión del suelo para el diseño de pisos.
- Se debe monitorear la aparición y evaluación de grietas en las estructuras de las edificaciones.



- Se recomienda implementar un programa de monitoreo por medio de una red de piezómetros e inclinómetros para establecer variaciones de los niveles freáticos y desplazamientos del suelo en el casco urbano del municipio de Suratá.
- Se recomienda iniciar el manejo de los niveles freáticos por medio de la construcción de drenes de perforación, como obra de mitigación prioritaria para el municipio de Suratá.
- Se recomienda realizar los diseños definitivos de las obras de estabilización para el escarpe sur del municipio de Suratá.



7 BIBLIOGRAFIA

CASTRO, E., 1993. Aspectos Geológicos de la inestabilidad en el casco urbano del municipio de Suratá, Santander. Informe de Visita Técnica de Emergencia, INGEOMINAS, Bucaramanga.

CASTRO, E., 2009. Concepto técnico sobre problemas de agrietamientos en el casco urbano del municipio de Suratá, Departamento de Santander. INGEOMINAS, Bucaramanga.

DUCAN, M.J. y WRIGHT, S.G., 2005. Soil Strength and Slope Stability.

Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Suratá, 2002.

GRADEX, 2002. Plan de Ordenamiento Ambiental Territorial de Suratá Parte Alta.

IBÁÑEZ, D., 2001. Informe sobre los fenómenos de remoción en masa que afectan el colegio oficial Integrado Camacho Carreño y el barrio El Portal, municipio de Suratá, Santander. Informe de Visita Técnica de Emergencia, INGEOMINAS, Bucaramanga.

JULIVERT, M., TELLEZ, I., 1963. Sobre la presencia de fallas de edad Precretácica y post –Girón (Jura-triásico) en el flanco W del Macizo de Santander (Cordillera Oriental, Colombia). Boletín de Geología, UIS. V 6, No. 12.

ROYERO, J.M. y CLAVIJO, J., 2001. Mapa Geológico Generalizado Departamento de Santander, Escala 1:400.000. INGEOMINAS.

ROYERO, J.M., 2003. Informe técnico sobre los problemas de inestabilidad en algunos sectores urbanos y rurales del municipio de Suratá, Departamento de Santander. Informe de Visita Técnica de Emergencia, INGEOMINAS, Bucaramanga.



ANEXOS

ANEXO 1 INVESTIGACIÓN GEOTECNICA EN LA ZONA URBANA DEL
MUNICIPIO DE SURATÁ

ANEXO 2 ENSAYOS DE EXPANSION