

**RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA**



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO

**Mapa de Susceptibilidad por deslizamientos, mediante el método
Superposición de capas, en el Municipio de Esquipulas,
Departamento de Matagalpa. Escala 1:30,000**

Elaborado por:

Br. Bianca Lucía Vanegas Mejía

Tutor:

MSc. Carmen María Gutiérrez Gutiérrez

Managua, diciembre 2019

Agradecimientos

Agradezco al Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) por darme la oportunidad de realizar este trabajo monográfico y facilitar los equipos, recursos y demás materiales necesarios para finalizar y presentar este documento.

De manera muy especial agradezco al Ing. Marcos Vargas Suárez por su valioso e incondicional apoyo durante el desarrollo de este trabajo, a mi tutora MSc. Carmen María Gutiérrez, por su apoyo y tiempo que dedico durante la etapa del trabajo monográfico, por otra parte, a mis asesores Ing. Betzaida Hernández e Ing. Francisco Mendoza, gracias por su ayuda en la etapa de campo y demás procesos de desarrollo del trabajo.

A la dirección de Geología y Geofísica del INETER en especial el área de Geología Aplicada por sus sugerencias y comentarios que contribuyeron al mejoramiento de este trabajo, también a las direcciones de Ordenamiento Territorial, Sismología y Meteorología Y a todas aquellas personas que de una u otra manera ayudaron a que este proyecto quedara finalizado, Muchas Gracia

Managua 12 de diciembre de 2019

MSc. Elim Campo
Director del Departamento de Tecnología.
Sus manos;

Estimado MSc. Campo

El motivo de la presente es para comunicarle que eh tutorado y revisado el trabajo Monográfico elaborado por la Br. Bianca Lucía Vanegas Mejía de la carrera de Ingeniería Geológica, con el tema: **Mapa de susceptibilidad por deslizamientos mediante el método superposición de capas, en el Municipio de Esquipulas, Departamento de Matagalpa. Escala 1:30,000.**

Le manifiesto que estoy de acuerdo con lo descrito en el documento, por otra parte, le expreso que dicho trabajo contiene aportes que son científicamente aprobados y metodologías que se pueden emplear sin dificultad, por tal razón der mi parte no hay ningún inconveniente a que se prosiga con el proceso que la universidad establezca.

Agradeciendo de antemano su amabilidad, me despido de usted.

MSc. Carmen Gutiérrez

Directora Geología Aplicada, INETER

Resumen

Geológicamente el Municipio de Esquipulas se ubica en un entorno geodinámico muy activo, con un relieve montañoso muy escarpado definido por relictos de calderas volcánicas del período Neógeno con alturas promedio de 800 msnm a 1180 msnm, debido a estos procesos exógenos el área está expuesta a procesos de deslizamientos.

Mediante el análisis e interpretación de los datos obtenidos durante este proyecto de tesis se definieron primeramente 9 unidades litológicas, 7 de ellas corresponden a rocas volcánicas del período Neógeno pertenecientes al grupo coyol inferior, y 2 corresponden a sedimentos del Cuaternario, la base de la secuencia estratigráfica del sitio corresponde a una roca basáltica; a su vez se identificaron dos sistemas de esfuerzo principal uno en dirección NE-SW y el otro en dirección NW-SE, dichos esfuerzos son producto de un ambiente compresivo impuesto por la depresión de Nicaragua y un micro bloque denominado como Bloque Siuna (Rogers, 2007).

Por otra parte, como resultado de la cartografía de deslizamientos se obtuvieron datos de 65 procesos de deslizamientos activos los cuales se ubican en las unidades de ignimbrita soldada inferior y superior y en la unidad de flujo laharico y basalto superior principalmente hacia el NE, SE y SW del área de estudio, en pendientes de 10° a 25°.

Mediante la información recopilada en campo de la cartografía geológica y de deslizamientos se delimitaron zonas susceptibles a estos procesos en donde se obtuvo que en el área de estudio las zonas con susceptibilidad alta se ubican hacia el NE del casco urbano de Esquipulas cerca de la Finca San Vicente donde se producen con mayor magnitud y frecuencia, posteriormente las zonas con susceptibilidad media la cual se considera de mayor extensión en el área de estudio se encuentra cerca de la Finca La Garnacha, Lomas de Guadalupe, cerro El Castillo, Las Eneas, etc. Dichos lugares coinciden con deslizamientos importantes; las zonas con susceptibilidad baja se encuentran en gran parte del área y por su ubicación entre zonas de alta y media susceptibilidad es común encontrar acumulación de depósitos coluviales en la base de las laderas como evidencias de derrumbes o deslizamientos ocurrido, por último, se identificó la zona de susceptibilidad muy baja la cual corresponde a los valles de los ríos.

Índice

Agradecimientos.....	2
Resumen	4
Capítulo I.....	12
1.1. Introducción	12
1.2. Planteamiento del problema	13
1.3. Justificación.....	14
1.4. Objetivos	15
1.4.1. Objetivo general.....	15
1.4.2. Objetivos específicos	15
Capítulo II	16
2.1. Antecedentes	16
2.2. Marco Referencial	19
2.2.1. Localización y Generalidades del Área de estudio.....	19
2.2.1.1. Ubicación	19
2.2.1.2. Vías de Acceso	19
2.3. Marco Teórico	22
2.3.1. Clima.....	22
2.3.2. Hidrografía.....	23
2.3.3. Definición y Consideraciones Geológicas	24
2.3.3.1. Cartografía Geológica.....	24
2.3.3.2. Petrología.....	24
2.3.3.3. Geología Estructural	24
2.3.4. Procesos de Inestabilidad de Laderas	25
2.3.5. Clasificación de la Inestabilidades de Ladera	26

2.3.6.	Criterios para la Identificación de Zonas Afectadas por Inestabilidad de Laderas.....	28
2.3.7.	Susceptibilidad.....	29
2.3.7.1.	Métodos para identificar la susceptibilidad a deslizamientos	29
2.3.7.1.	Método de superposición de capas o suma ponderada	30
2.3.8.	Geotectónica América Central	32
2.3.9.	Geología Regional de Nicaragua.	33
2.3.10.	Grupos Litológicos de la Región Central	36
2.4.	Hipótesis.....	36
Capítulo III		37
3.1.	Diseño Metodológico	37
3.1.1.	Tipo de estudio.....	37
3.1.2.	Universo y Muestra.....	37
3.2.	Método de recolección de datos	37
3.2.1.	Etapas de Gabinete	37
a)	Recopilación y Análisis de la Información	37
c)	Análisis e interpretación de la metodología e instrumento a utilizar	39
3.2.2.	Etapas de Campo	42
a)	Reconocimiento de Campo	42
b)	Levantamiento Geológico	42
c)	Llenado de fichas de deslizamiento	43
3.2.3.	Etapas de Procesamiento e Interpretación de los Datos Obtenidos en Campo	44
a)	Interpretación Geológica y estructural.....	44
b)	Elaboración de inventario de deslizamientos.....	45
c)	Análisis de factores condicionantes y desencadenantes	45

d)	Elaboración de Mapa de Susceptibilidad.....	46
e)	Elaboración de informe final	46
	Capítulo IV	47
4.1.	Análisis de los resultados	47
4.1.1.	Geomorfología	47
a)	Unidad de origen Denudacional (D)	48
b)	Unidad de Origen Estructural (S)	49
c)	Unidad de Origen Volcánico (V)	50
d)	Unidad de Origen Fluvial (F).....	53
4.1.2.	Geología Local.....	55
a)	Unidad de colada Basáltica Inferior (Nmcb (inf))	56
b)	Unidad de Toba Cristalina (Nmct).....	57
c)	Unidad de Ignimbrita soldada inferior (Nmci (inf))	58
d)	Unidad de Ignimbrita soldada superior (Nmci (sup))	59
e)	Unidad de colada Basáltica Superior (Nmcb (sup))	60
f)	Unidad de Domo Basáltico (Nmcd)	61
g)	Unidad de Flujo Laharico (Nmcl).....	62
h)	Unidad de Sedimentos Aluviales (Qal).....	63
i)	Unidad de Sedimentos de Ladera (Qc).....	64
4.1.3.	Geología Estructural	65
4.1.3.1.	Entorno Estructural del Área de Estudio	65
4.1.3.1.1.	Fases de Deformación.....	68
4.1.3.1.1.1.	Fase NW – SE.....	69
a)	Falla El Naranjo	69

b)	Falla Lomas de Guadalupe.....	72
c)	Falla (inferida) Quebrada Caulapa.....	74
4.1.3.1.1.2.	Fase NE- SW	75
a)	Falla El Paragüito.....	76
b)	Falla (inferida) Quebrada Grande	79
c)	Falla La Pita	81
4.1.4.	Inventario de deslizamientos.....	83
a)	Deslizamientos superficiales.....	83
b)	Deslizamientos Rotacionales	85
a)	Deslizamientos Complejos.....	86
4.1.5.	Análisis de factores condicionantes y desencadenantes	92
a)	Factores condicionantes del área de estudio	92
b)	Factores desencadenantes del área de estudio	92
4.1.6.	Cálculo de Susceptibilidad.....	93
4.1.6.1.	Áreas Susceptibles a Deslizamientos	100
Capítulo V: Discusión de resultados		102
Capítulo VI.....		104
Conclusiones		104
Recomendaciones.....		106
Bibliografía.....		107
Glosario de términos.		110
ANEXOS.....		112

Índice de figuras

Figura 1. Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento	24
Figura 2. Ejemplo de superposición de capas.....	27
Figura 3. Mapa tectónico de América Central y de placas relacionadas	28
Figura 4. Mapa generalizado de Nicaragua, simplificado del mapa geológico.....	31
Figura 5. Topografía y escenarios tectónicos de América Central.....	64
Figura 6. Fase NW – SE.....	65
Figura 7. Diagrama de roseta falla El Naranjo.....	66
Figura 8. Diagrama de roseta falla Lomas de Guadalupe.....	69
Figura 9. Diagrama de roseta Quebrada Caulapa.....	71
Figura 10. Fase NE – SW.....	72
Figura 11. Diagrama de roseta falla El Paragüito	73
Figura 12. Diagrama de roseta Quebrada Grande.....	76
Figura 13. Diagrama de roseta falla La Pita.....	78
Figura 14. Esquema de deslizamiento La Garnacha.....	85
Figura 15. Esquema de deslizamiento San Vicente.....	87
Figura 16. Herramienta Polygon to raster.....	91
Figura 17. Resultado raster geología.....	92
Figura 18. Reclasificación raster uso de suelo.....	92
Figura 19. Resultado raster deslizamiento.....	93
Figura 20. Resultado raster lluvia.....	93
Figura 21. Resultado raster pendiente	94
Figura 22. Weighted Overlay.....	95
Figura 23. Resultado susceptibilidad.....	95

Índice de Mapas

Mapa N°1. Mapa de ubicación área de estudio.....	17
Mapa N°2. Mapa rango de precipitación anual.....	18
Mapa N°3. Mapa sub cuencas del municipio de Esquipulas.....	19

Mapa N°4. Mapa geológico.....	110
Mapa N°5. Mapa geomorfológico del municipio de Esquipulas.....	52
Mapa N°6. Mapa de precipitación media anual en mm.....	111
Mapa N°7. Mapa de epicentro de sismos periodo 1975 – 2017.....	112
Mapa N°8. Mapa de uso del suelo.....	113
Mapa N°9. Mapa de inventario de deslizamientos.....	116
Mapa N°10. Mapa de susceptibilidad.....	117
Mapa N°11. Mapa altimétrico.....	118
Mapa N°12. Mapa de Pendiente.....	119

Índice de fotos

Foto 1. Resultado de fotointerpretación	34
Foto 2. Mapas base.....	35
Foto 3. Levantamiento geológico.....	39
Foto 4. Llenado de fichas de deslizamiento	40
Foto 5. Cálculo de susceptibilidad.....	42
Foto 6. Sub unidad de movimientos en masa.....	44
Foto 7. Sub unida de domos.....	45
Foto 8. Sub unidad de flujos de lava.....	46
Foto 9. Sub unidad de lahar.....	47
Foto 10. Sub unidad de remanentes de caldera.....	48
Foto 11. Sub unidad de colinas volcánicas.....	48
Foto 12. Sub unidad de llanuras aluviales.....	49
Foto 13. Unidad de basalto inferior.....	52
Foto 14. Unidad de toba cristalina.....	53
Foto 15. Unidad de ignimbrita soldada inferior.....	54
Foto 16. Unidad de ignimbrita soldada inferior.....	55
Foto 17. Unidad de ignimbrita soldada inferior.....	55
Foto 18. Unidad de ignimbrita soldada inferior.....	55

Foto 19. Unidad de ignimbrita superior.....	56
Foto 20. Unidad de ignimbrita superior.....	56
Foto 21. Unidad de basalto superior	57
Foto 22. Unidad de basalto superior	57
Foto 23. Domo basáltico.....	58
Foto 24. Domo basáltico.....	58
Foto 25. Unidad de lahar.....	59
Foto 26. Aluvial.....	60
Foto 27. Aluvial.....	60
Foto 28. Coluvio.....	61
Foto 29. Coluvio.....	61
Foto 30. Falla El Naranjo.....	66
Foto 31. Falla El Naranjo.....	66
Foto 32. Falla Lomas de Guadalupe.....	68
Foto 33. Falla Lomas de Guadalupe.....	69
Foto 34. Falla quebrada Guayape.....	70
Foto 35. Falla quebrada Guayape.....	71
Foto 36. Falla El Paragüito.....	73
Foto 37. Falla El Paragüito.....	74
Foto 38. Falla quebrada Grande.....	75
Foto 39. Falla quebrada Grande.....	76
Foto 40. Falla La Pita.....	77
Foto 41. Falla La Pita.....	78
Foto 42. Deslizamiento Cerro Los Angeles.....	79
Foto 43. Deslizamiento Cerro Los Angeles.....	80
Foto 44. Deslizamiento Cerro Los Garcias.....	81
Foto 45. Deslizamiento La Luna.....	82
Foto 46. Deslizamiento Garnacha	84
Foto 47. Deslizamiento San Vicente	86

Capítulo I

1.1. Introducción

Nicaragua, así como el resto de Centro América se ubica en una región tectónicamente muy compleja, como consecuencia se generan procesos geodinámicos internos y externos, dentro de los procesos externos se ubican los de inestabilidad de laderas considerados en su mayoría como fenómenos de alta peligrosidad, dichos fenómenos representan un impacto considerable, tanto para la Población como para su medio de vida, esto se debe a que son subestimados ya que a menudo se les asocia con factores desencadenantes (lluvias, sismos, erupciones volcánicas) y no con los terrenos inestables donde ellos pertenecen; En el caso de Nicaragua es a raíz de la catástrofe acaecida en el Volcán Casitas en octubre del año 1998 al paso del Huracán Mitch cuando un flujo de detritos soterró las comunidades de El Porvenir y Rolando Rodríguez con un saldo mayor a 3,528 muertos (INETER, Volcán Casita, 2007), que, en el país, se comienza a tomar en cuenta sistemáticamente la condición de procesos de inestabilidad de laderas, para la adecuada planificación del uso urbano y rural en el territorio nacional.

Tomando en cuenta el ambiente geológico de nuestro país y que a causa de ello muchos lugares del mismo están expuestos a procesos de inestabilidad de laderas, surge la necesidad de realizar estudios que permitan tener un conocimiento y manejo de estos fenómenos; es debido a esto que el proyecto de tesis consistió principalmente en la determinación de zonas susceptibles a deslizamientos en el Municipio de Esquipulas Departamento de Matagalpa el cual corresponde a la región central de Nicaragua, donde prevalecen las pendientes abruptas idóneas para el desarrollo de estos procesos.

1.2. Planteamiento del problema

El Municipio de Esquipulas ubicado en la región central de Nicaragua, presenta un relieve montañoso muy escarpado en su entorno, esto como consecuencia de la migración de la cadena volcánica del período Neógeno, proceso que dejó como resultado sistemas de calderas coalescentes en la región, por tal razón la mayor parte de sus zonas urbanas se encuentran en cotas de elevación entre los 520 y 620 msnm, debido a su posición en el relieve y a su activa geodinámica externa, este municipio está expuesto a amenazas por proceso de inestabilidad de laderas.

Durante el Huracán Mitch el municipio de Esquipulas manifestó signos de fuerte actividad geodinámica externa, presentando varios flujos de detritos y diferentes procesos de deslizamientos, en algunos se identificaron escarpes activos de más de 10 metros de desplazamiento en su corona (COSUDE-AH, CSS, & INETER, 1997). Sin embargo, en años anteriores los habitantes del asentamiento Villa Libertad señalaban el desarrollo de grandes fisuras y procesos de subsidencia, cerca de la zona del cementerio, hoy día eso no ha cambiado, ya que pobladores han manifestado que en varias zonas del municipio la actividad continua, afectando en su mayoría la actividad agrícola la cual es la principal fuente de ingresos del municipio, así como también algunas comunidades, caminos principales y escuelas.

Debido a los eventos manifestados en el municipio, El Instituto Nicaragüense de Estudios territoriales (INETER), ha realizado levantamientos de puntos críticos en diferentes zonas del municipio de Esquipulas junto con la colaboración de COSUDE y CSS esto en el año 1997 y posteriormente en los años 2001, 2017 y 2018, aunque esto demuestra que hay precedentes de estudios en el área de investigación, son pocos los que se han realizado tomando en cuenta la envergadura de la problemática del municipio y se han efectuado mediante fotointerpretación, por tal razón surge la necesidad de elaborar estudios a detalle que permitan identificar lugares susceptibles a deslizamientos.

1.3. Justificación

Cuando un país cuenta con información actualizada sobre los diferentes procesos que la afectan, se obtiene mejores resultados para la toma de decisiones, así como definir políticas en cuanto al manejo y aprovechamiento de los mismos, tomando en cuenta que en la actualidad un papel importante de las geo ciencias radica en la planificación del uso del terreno urbano y rural, es necesario desarrollar estudios a detalle que permitan identificar los diferentes procesos que afectan un determinado lugar.

El municipio de Esquipulas ubicado en la región central es afectado por procesos de inestabilidad de laderas, aunque estos eventos han sido documentados en los pocos estudios que se han efectuado en el municipio, surge la necesidad de inventariar los fenómenos que han ocurrido recientemente y a su vez identificar zonas susceptibles a estos procesos es por eso que el trabajo de investigación se orienta a la identificación de los factores condicionantes y desencadenantes, así como la elaboración de un inventario de zonas inestables, con esta información se desarrollará un Mapa de Susceptibilidad por deslizamientos, de esta manera se tendrá un mejor control de los sitios críticos del municipio, que a su vez sirvan de base para la elaboración de planes de ordenanza municipal y programas de prevención, mitigación y gestión de desastres, a su vez que servirá de soporte a futuros estudios multidisciplinarios de la geología y obras civiles.

Mediante el desarrollo de estos estudios en una región se puede indicar la conveniencia técnica para el desarrollo de obras de ingeniería civil, definir zonas críticas, desarrollar medidas de mitigación, así como proponer planes de evacuación, a su vez en base a este estudio se puede implementar un sistema de alerta temprana (SAT) en base a estaciones meteorológicas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Elaborar un mapa de susceptibilidad por deslizamientos, mediante el método superposición de capas, en el Municipio de Esquipulas, Departamento de Matagalpa a escala 1: 30,000.

1.4.2. Objetivos específicos

- Generar la Cartografía Geológica del Municipio de Esquipulas.
- Elaborar inventario de deslizamientos del área del estudio.
- Definir los factores condicionantes y desencadenantes del área de estudio.

Capítulo II

2.1. Antecedentes

La región central, donde se ubica el área de estudio, ha sido investigada por diferentes autores, quienes realizaron estudios de carácter geológico, geomorfológico y estructural de lugares cercanos o dentro del sitio de estudio; sin embargo, no se han realizado estudios enfocados a la Susceptibilidad de deslizamientos, en el Municipio de Esquipulas.

Los principales estudios geológicos realizados son:

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Hernández, Vanegas, y Pérez, 2018; La actualización de zonas inestables del municipio de Esquipulas se llevó a cabo de manera puntual mediante el levantamiento de puntos críticos en las comunidades Terrero, El Barro, El Granero, Villa Libertad, Anonal y Quebrada Grande; los sitios antes mencionados son definidos como áreas inestables.

INETER, Gutiérrez, Vanegas, y Hernández, 2018; Con la finalidad de evaluar terrenos inestables, se realizó la cartografía de deslizamientos en los sitios El Terrero, Cerro Santa María, Finca La Garnacha, Cerro El Padre y La Pita, como resultado se definieron deslizamientos de tipo complejo, superficial y caída de rocas, a su vez se recomendó el monitoreo continuo de esta zona.

INETER, Rodríguez, y Pérez, 2018; Definieron áreas de amenaza alta a media en las comunidades El Granero, Comunidad Enea, Comunidad Miraguas, Comunidad San Vicente, Comunidad Quebrada Yanae, esto en base a la litología del sitio, y factores desencadenantes como las precipitaciones, a su vez se recomendó hacer un estudio detallado del municipio para conocer el nivel de amenaza ante inestabilidad de laderas.

INETER, Mendoza, Vanegas, y Pérez, 2017; con el objetivo de evaluar los terrenos inestables se realizó la cartografiar de zonas asociadas a procesos de inestabilidad de laderas, en el cual incluyeron depósitos de movimientos fósiles y deslizamientos activos en las comunidades de Cerro Santa María, Finca los Chavarías, Terrero-Finca la Garnacha, Loma Linda y Quebrada El Naranjo. En conclusión, identificaron dos zonas muy susceptibles a deslizamientos ubicadas al Sur y Sureste del casco urbano de Esquipulas.

INETER, Mendoza, Pérez, y Vanegas, 2017; Determinaron áreas inestables y se cuantifico el volumen de los deslizamientos en las comunidades: La Danta, El Peñón de la Luna (puente Majawal), San Vicente, El Quebrachal, El Paraíso, Miraguas, El Naranjo y Villa Libertad, estas dos últimas se sitúan en el casco urbano de Esquipulas; debido a las zonas muy susceptibles a deslizamientos se recomendó la reubicación de 14 viviendas.

Sistema Nacional para la Prevención Mitigación y Atención de Desastres (SINAPRED), INETER, Programa Mundial de Alimentos (PMA), Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-Managua (UNAN), Universidad Nacional de Ingeniería - Recinto Universitario Pedro Arauz Palacio (UNI), 2017; Realizaron una caracterización de puntos críticos ante inundación y deslizamientos de los 13 municipios del Departamento de Matagalpa, así mismo caracterizaron las tipologías constructivas, esto para conocer el nivel de riesgo y genera un mapa de los municipios que sean de utilidad para la toma de decisiones.

Asociación de Municipios Productivos del Norte (AMUPNOR), 2013; Desarrolló un Diagnostico Municipal el cual aborda aspectos que inciden en el ordenamiento del territorio, tomando en cuenta ecosistemas y áreas inestables. Como resultado se propusieron cinco zonas de desarrollo sostenible, esto en base al análisis espacial del grado de susceptibilidad a inestabilidad de laderas cuyo resultado fue que entre el 33% y un 36% del área del Municipio se encuentra en un nivel medio y alto respectivamente y solamente un 19.27% se encuentra en un nivel muy alto.

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Cisneros, Díaz, Downs, & Noguera, 2001; Ejecutó un estudio que incluyera la fusión de técnicas participativas con la población y metodologías cualitativas de análisis, los resultados obtenidos indican que las inundaciones, los deslizamientos de terrenos y la sismicidad constituyen las principales amenazas para el municipio de Esquipulas.

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y INETER, 1997; Efectuó una evaluación preliminar de peligros por terrenos inestables, en el Municipio de Esquipulas, departamento de Matagalpa, esto debido a que la vertiente ubicada al Oeste del municipio, mostro signos de actividad geodinámica, presentando flujos, coladas y hundimientos, algunos incluso de más de 10 metros, se identificaron 2 deslizamientos de gran tamaño denominados como Esquipulas sección A (ES-A) y Esquipulas sección B (ES-B), los cuales corresponden a un

deslizamiento lento y profundo que afecta a toda una vertiente de rocas volcánicas, a su vez se encontraron deslizamiento en el extremo suroeste y sur del Cerro Santa María.

Ehrenborg, 1996; Propone una nueva estratigrafía para el Grupo Coyol y Matagalpa, además sugiere la separación de las fuentes volcánicas y sus facies medias y distales tomando en cuenta las litologías, facies, alteraciones hidrotermales, buzamientos, y rasgos geomorfológicos de los centros volcánicos estudiados.

Vargas, 1971; Este autor definió la Topografía, Geomorfología y Estratigrafía de cuatro cuadrángulos del Departamento de Matagalpa, entre ellos el municipio de Esquipulas; se concluyó que el cuadrángulo de Esquipulas forma parte del grupo Matagalpa el cual consiste de una gruesa secuencia de rocas volcánicas, predominantemente piroclásticas (Ignimbritas, tobas y brechas) las cuales alternan con lavas de composición Intermedia a Básica.

McBirney y Williams, 1965; clasificaron las rocas volcánicas Terciarias de Nicaragua en dos grandes Formaciones: Formación Matagalpa y Formación Coyol. De acuerdo a esta propuesta, en el área que abarca el presente estudio, las Formaciones rocosas pertenecen a la Formación Coyol en el Sub Grupo Coyol Inferior, cuya formación se dio aproximadamente en el Mioceno-Plioceno. La litología de este Sub Grupo está formada generalmente por rocas ignimbríticas, tobas, andesitas, basaltos y andesitas basálticas.

La antigua estratigrafía del volcanismo Terciario está basada en un concepto de actividad volcánica cíclica, cada ciclo comienza con un volcanismo basáltico, continua con un volcanismo andesítico y termina con un volcanismo dacítico riolítico (McBirney & Williams, 1965).

2.2. Marco Referencial

2.2.1. Localización y Generalidades del Área de estudio

2.2.1.1. Ubicación

El área de estudio se ubica en el sector Sur del Departamento de Matagalpa, a 106.3 km al Noreste de Managua, capital de Nicaragua, comprende las hojas topográficas 3054-3, 3054-2, 3053-4, 3053-1 (*ver tabla N°1 vértices del área*), a escala 1: 50,000 editadas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales INETER, (1988), (*Ver Mapa. N°1*), abarca una superficie total de 219 km², se encuentra a una altitud de 520 msnm y posee una población total de 15,877 habitantes (INIDE, 2005). Limita al Norte con los municipios de San Dionisio y Matagalpa, al Sur con los municipios de Boaco y San José de los Remates, al Este con el municipio de Muy Muy y al Oeste con los municipios de Terrabona y San Dionisio (INETER, Macro región central, 1995).

Tabla de vértices del Área		
Vértices	x	y
1	620938	1400113
2	624043	1397393
3	634016	1397493
4	646956	1399206
5	650308	1402339
6	645088	1404207
7	638549	1412696
8	623493	1403960

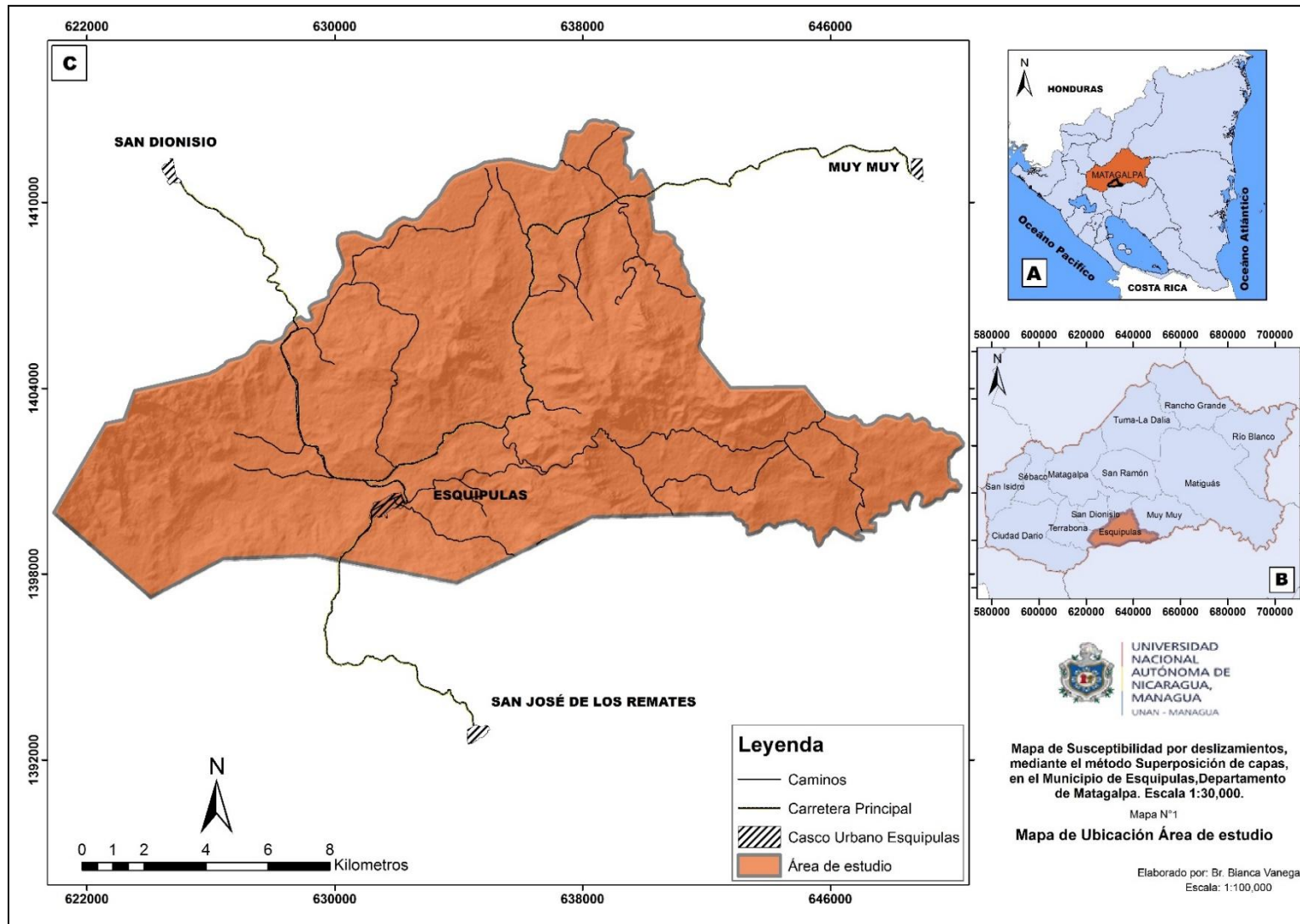
Tabla N°1: vértices del área

2.2.1.2. Vías de Acceso

Al sitio se llega a través de tres vías de acceso:

- ✚ La primera desde el Municipio de San Ramón ubicado 18 kilómetros al Norte de Esquipulas, posteriormente se toma la carretera que conduce al Municipio de San Dionisio.
- ✚ La segunda desde el Municipio de San José de los Remates.

- ✚ La tercera, desde la comunidad Puertas Viejas, cerca de la laguna de Moyuá, posteriormente se continua sobre la carretera que conduce a la intersección entre el Municipio de San José de los Remates y Esquipulas.

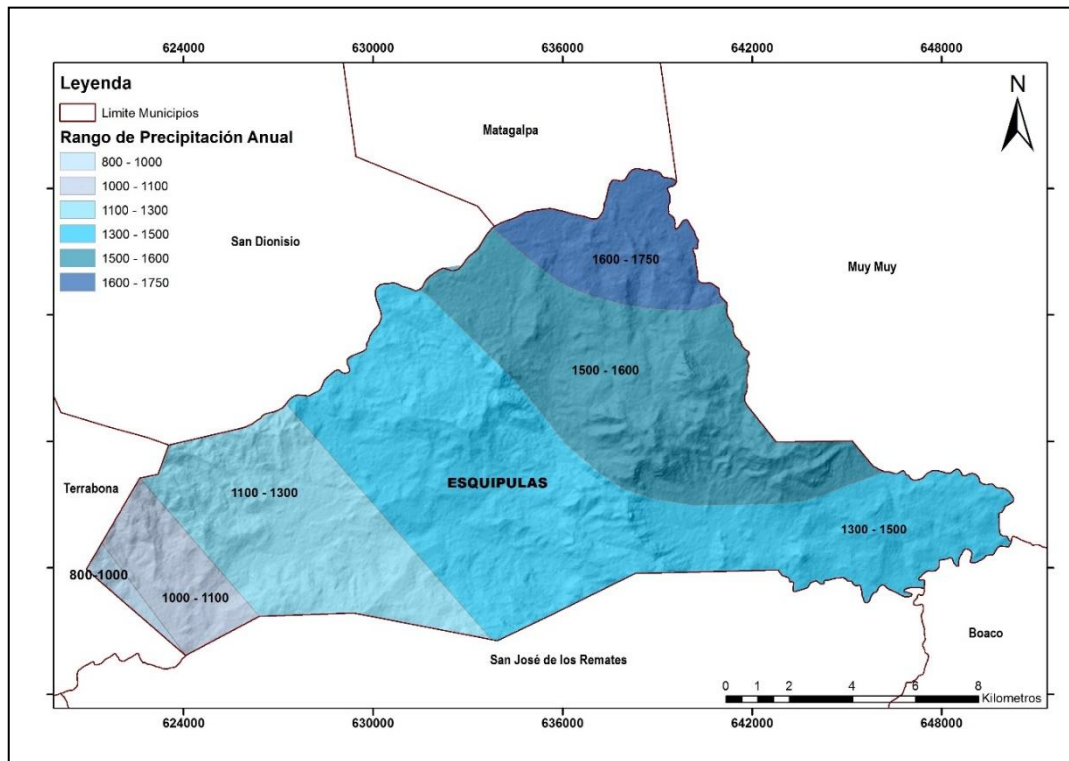


Mapa N°1. Mapa de ubicación área de estudio: A) Mapa de Nicaragua que indica la zona de estudio, B) Mapa Departamental que indica la zona de estudio. C) Ubicación de zona de estudio

2.3. Marco Teórico

2.3.1. Clima

De acuerdo a la clasificación de Koppen, (1884), el Municipio de Esquipulas se caracteriza por tener un clima de tipo sabana tropical, modificado con características cálidas y húmedas. (AMUPNOR, 2013). La estación Lluviosa se distribuye entre los meses de mayo a octubre, con precipitaciones que aumentan de Oeste a Este, entre los 800-1750 mm anual, a nivel de distribución en el territorio el rango con mayor precipitación anual es de 1300-1500 mm, el cual abarca un 41.9% de la superficie del Municipio (AMUPNOR, 2013). *(Ver Mapa. N°2)*



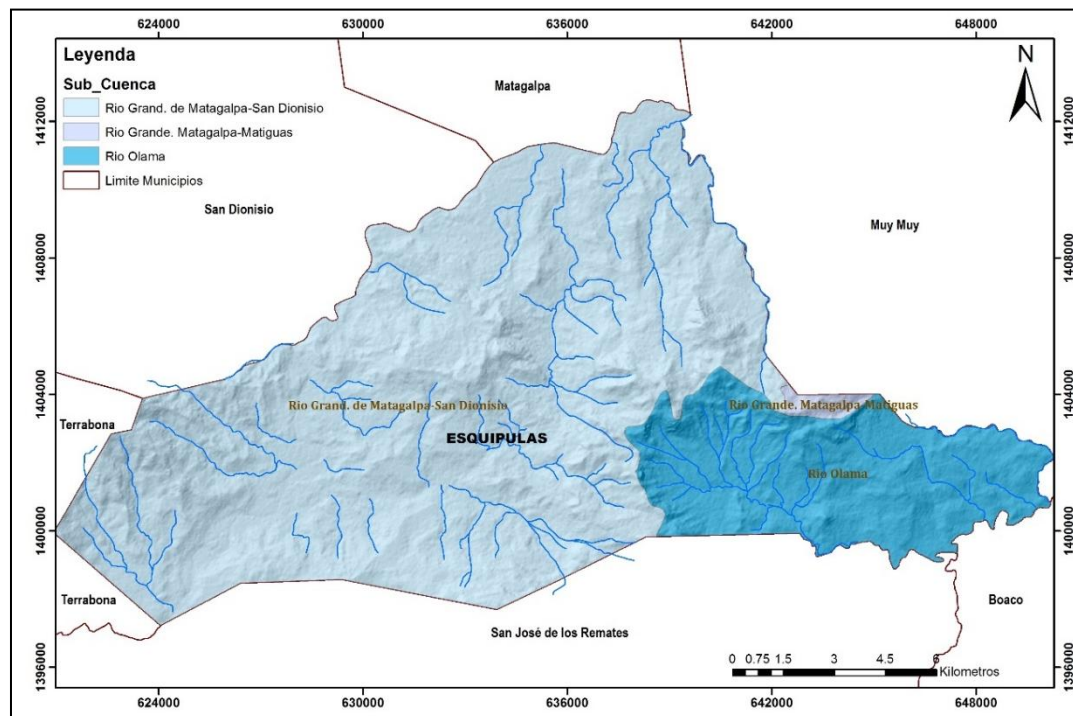
Mapa. N°2 Mapa de Rango de Precipitación Anual

(Modificado del Mapa de Rango de Precipitación DODT- (AMUPNOR, 2013))

Las precipitaciones mínimas de 800 mm (anual), al igual que las máximas temperaturas mayores de 27°C, ocurren en el Suroeste, además en esta región del municipio se manifiesta una canícula acentuada, siendo por lo tanto el área más seca y cálida de la región (AMUPNOR, 2013).

2.3.2. Hidrografía

Hidrográficamente Nicaragua se encuentra dividida por 21 cuencas, siendo 8 cuencas que fluyen sus aguas al Océano Pacífico y 13 lo hacen hacia el Océano Atlántico. La cuenca N° 55, es la del Río Grande de Matagalpa a ella pertenecen las tres sub cuencas: Río Grande de Matagalpa, – San Dionisio, Río Grande de Matagalpa – Matiguas y Río Olama (*Ver Mapa. N°3*) que se encuentran en el Municipio de Esquipulas. El Río Grande de Matagalpa tiene un patrón de drenaje exorreico, el Río Olama de drenaje dendrítico y ambos ríos son anchos y de curso permanente (AMUPNOR, 2013).



**Mapa.
N°3:**

Mapa de Sub-Cuencas Municipio Esquipulas

(Modificado del Mapa de Sub-Cuencas DODT- (AMUPNOR, 2013))

En el municipio hay 23 micro cuencas, que pertenecen a las tres sub cuencas; Río Grande de Matagalpa – San Dionisio, Río Grande de Matagalpa-Matiguas y Río Olama de la cuenca del Río Grande de Matagalpa. La red de drenaje fluvial es moderadamente densa, está compuesta por pequeñas quebradas de corto recorrido con patrón dendrítico, marcado por su orientación y control litológico de permeabilidad baja y topografía fuertemente onduladas (AMUPNOR, 2013).

2.3.3. Definición y Consideraciones Geológicas

2.3.3.1. Cartografía Geológica

Según Sotasol y Serveis (2015), la Cartografía Geológica es una técnica de representación de los distintos tipos de rocas, sedimentos y suelos que afloran en la superficie terrestre; la interpretación de su disposición y geometría en profundidad. Esta es una herramienta fundamental, que se complementa y mejora con el uso de técnicas digitales.

El resultado de la cartografía Geológica, es un mapa geológico, el cual es un documento cartográfico que se ha proyectado sobre un plano horizontal. Para realizar mapas geológicos, se obtienen datos directamente sobre el terreno y se elaboran estudios para la caracterización litológica, de los materiales, entre otros (Sotasol & Serveis, 2015).

2.3.3.2. Petrología

Es la rama de la geología que se ocupa del estudio de las rocas, esta además se encarga de la sistematización y descripción de las rocas. Implica el conocimiento de la génesis de las rocas, los procesos físico químicos que sufrieron en su evolución, los fenómenos secundarios que la afectaron, etc.; Es considerada una de las principales ramas de la geología (Soto, 1978).

2.3.3.3. Geología Estructural

Uno de los pilares que contribuyen al conocimiento geológico y que tiene por objetivo la descripción geométrica de los cuerpos rocosos, el análisis cinemático y dinámico de los procesos que dan lugar a las estructuras y la elaboración de modelos que expliquen las estructuras descritas es la Geología Estructural, esta se encarga del estudio de los procesos de deformación de los cuerpos rocosos (Catalán, 2003).

Las rocas que forman la corteza terrestre se deforman cuando son sometidas a grandes esfuerzos. Dependiendo del tipo de esfuerzo, del tiempo de actuación, de la profundidad a la que se encuentran las rocas sobre las que actúan, en menor medida del tipo de roca, puede resultar que estas recuperen su geometría original, o que por el contrario la deformación sea perenne (Catalán, 2003).

Estas condiciones de esfuerzo van cambiando a lo largo del tiempo y a menudo como resultados de estos cambios se generan: Fallas, Fracturas, Pliegues y Diaclasas.

Las fallas se pueden clasificar de acuerdo al movimiento relativo producidos entre los bloques, estos son: normal, inverso y transformante.

- **Fallas normales:** Si el movimiento ocurre conforme a la línea de máxima pendiente, la falla es normal; el desplazamiento es tal que el bloque de techo se desliza hacia abajo con relación al bloque de piso (UNAM, 2011).
- **Fallas inversas:** La falla es inversa cuando el movimiento ocurre en dirección de la línea de máxima pendiente y el bloque de techo se desliza hacia arriba con relación al bloque de piso. (UNAM, 2011)
- **Fallas transformantes o de desplazamiento:** es el borde de desplazamiento lateral de una placa tectónica respecto a la otra. Su presencia es notable gracias a las discontinuidades del terreno, este tipo de fallas conecta las dorsales mesoceánicas otras simplemente acomodan el desplazamiento entre placas continentales que se mueven en sentido horizontal. La falla transformante más conocida es la Falla de San Andrés, en California (Sensagent, 2013)

2.3.4. Procesos de Inestabilidad de Laderas

La inestabilidad de laderas se define como el movimiento de masas de rocas, detritos o tierra a favor de la pendiente, bajo la influencia directa de la gravedad (Varnes, 1978).

La rotura de los materiales en las laderas ocurre cuando la fuerza de gravedad excede el esfuerzo de la roca o suelo que conforman la ladera, es decir ocurren cambios en el equilibrio. El material desplazado puede movilizarse de forma lenta (milímetros por año), rápida y extremadamente rápida (metros/día) según la topografía, el volumen de la masa de suelo o roca, el mecanismo de rotura la acción del agua y entre otros factores. A su vez estos procesos incluyen, generalmente, una combinación de procesos erosionales y denudacionales, por ejemplo, la erosión en ríos es un fenómeno activador de movimientos en masa y los dos fenómenos actúan conjuntamente en el proceso de inestabilidad de laderas. Los procesos denudacionales pueden activar procesos erosionales y viceversa (INETER & COSUDE, Proyecto MET-ALARN, 2005).

Los factores que contribuyen a crear una situación de inestabilidad en una ladera son múltiples; rara vez actúan solo, estos se dividen en:

- **Factores condicionantes:** estos son relativos a la propia naturaleza o características de la ladera, pueden ser: Geológicos (litología, discontinuidades estratigráficas y estructurales y alteración en las rocas), Hidrológicos, Geomorfológicos (áreas con pendientes altas, geometría del talud, topografía irregular), Climáticos (INETER & COSUDE, Proyecto MET-ALARN, 2005).
- **Factores desencadenantes:** son aquellos que disparan o detonan la inestabilidad en la ladera, pueden ser: Naturales (las precipitaciones, filtración de agua pluvial en el terreno, sismos), Antrópicos (deforestación, quemas o incendios forestales, cortes de talud para construcción de carreteras u otra infraestructura, el asentamiento humano en las laderas, actividad minera, uso inadecuado del suelo, etc.) (INETER & COSUDE, Proyecto MET-ALARN, 2005).

2.3.5. Clasificación de la Inestabilidades de Ladera

Los procesos de inestabilidad de ladera no necesariamente ocurren de manera individual, sino que generalmente evolucionan hacia mecanismo complejos que combinan diversas tipologías, siendo por ello muy difíciles de clasificar. Sin embargo, algunos autores como David Varnes (1978), y otros, han propuesto clasificaciones para las inestabilidades de laderas de ocurrencia más frecuente. (INETER & COSUDE, Proyecto MET-ALARN, 2005).

Aunque en la actualidad existen diversas clasificaciones para estos procesos, en este estudio se aplicara la clasificación según (Varnes, 1978) la cual abarca:

1. Derrumbes y Caídas de bloques
2. Avalanchas de rocas/de detritos
3. Volcamiento o Basculamiento
4. Reptación de suelos
5. Deslizamientos
6. Coladas de flujos

A continuación, se hará una breve descripción del punto numero 5:

2.3.5.1. Deslizamientos

a. Deslizamientos peliculares o superficiales

Presentan una superficie de deslizamiento y provoca cambios notables de la estructura del suelo, Se considera un fenómeno abundante en Centroamérica. La principal característica de estos deslizamientos es la morfología de cáscara de naranja, lo que se conoce como caminos de vaca. El material afectado son horizontes terrosos, depósitos coluviales e eluviales finos, preferentemente sobre pendientes iguales o mayores a los 20°. (INETER & COSUDE, Proyecto MET-ALARN, 2005).

b. Deslizamientos rotacionales o circulares

Movimiento relativamente lento de una masa de suelo, roca o ambos, a lo largo de una superficie de rotura en forma circular sobre la cual se mueve una masa, en algunos casos a medida que la masa se desplaza los materiales se dislocan progresivamente y el mecanismo de inestabilidad deviene complejo. Eventualmente se da en terrenos homogéneos, isotrópicos, poco cohesivos, este tipo de movimientos pueden involucrar tanto volúmenes pequeños como volúmenes de gran material.

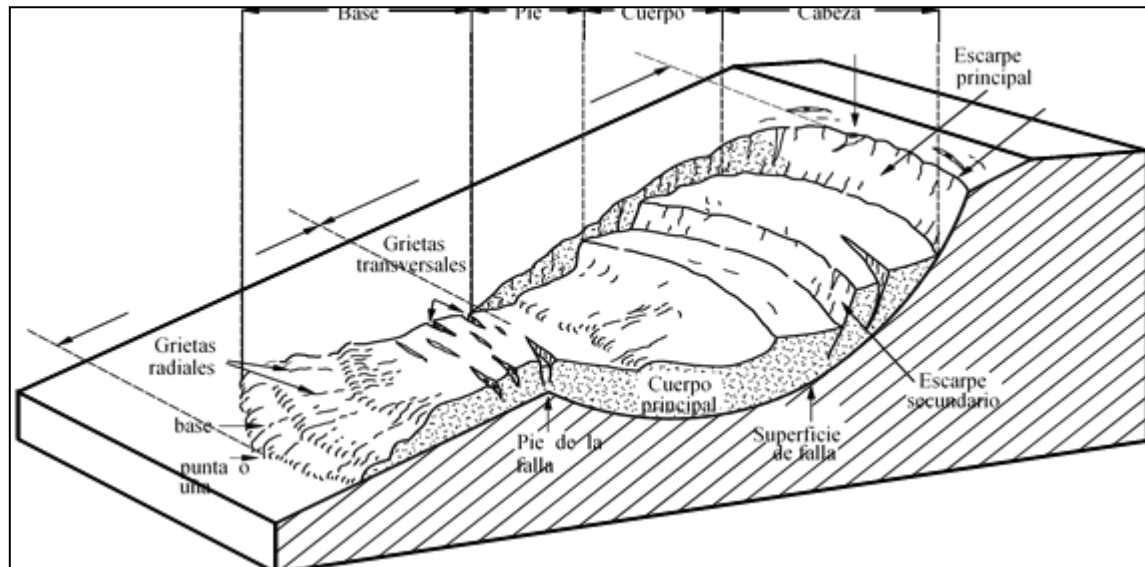
c. Deslizamientos Traslacionales

Se origina en zonas que presentan superficies de discontinuidad, de niveles poco competentes, el material afectado es rocoso, estratificado o diaclasado, formando placas o paquetes cuyas bases quedan desprovistas de soporte, ya sea por erosión natural o por cortes artificiales en una ladera, este tipo de movimientos pueden involucrar tanto volúmenes pequeños como volúmenes grandes de material y las velocidades de propagación de la masa desplazada pueden ser también muy variables.

d. Deslizamientos complejos

Se aplica a grandes deslizamientos donde aparecen mecanismos combinados debido a una larga evolución. Por lo general se trata de deslizamientos antiguos de evolución muy lenta, con periódicos episodios de aceleración. Puede decirse que son deslizamientos permanentes regidos por la acción de esfuerzos residuales posteriores a la fase de ruptura.

En la región centroamericana existen cientos de deslizamientos de este tipo, casi todos son relación genética estructural y que ocupan vertientes enteras, caso de San José de los Remates,



San Dionisio, Esquipulas. (INETER & COSUDE, Proyecto MET-ALARN, 2005)(Ver Fig. N°1).

Fig. N°1; Nomenclatura de las diferentes partes que conforma un deslizamiento, (por caída libre, movimientos en masa, erosión y flujos) Fuente: (Suárez, 2005)

2.3.6. Criterios para la Identificación de Zonas Afectadas por Inestabilidad de Laderas

La formación de movimientos de ladera genera una serie de cambios en las características de las rocas y forma del relieve, que nos permiten detectar aquellas zonas que han sido afectadas por Inestabilidad.

Los indicadores de movimientos en masa se pueden observar directamente sobre el terreno y algunos de ellos a través de fotos aéreas, estos son los denominados Indicadores Antecedentes: son aquellos que indican áreas que ya han sido afectadas por inestabilidad de laderas, estos pueden ser: Terreno en pequeñas depresiones, afloramiento de rocas alteradas en nichos de arranque, abundancia relativa de agua, postes inclinados, cables tensos o flojos, casas o construcciones agrietadas o inclinadas, grietas u ondulaciones en los pavimentos, cercos desplazados, nombres de lugares que pueden sugerir inestabilidad del terreno como Cerro de

Agua, Cerro partido, testimonios o documentos de eventos pasados (INETER & COSUDE, Proyecto MET-ALARN, 2005).

Otro criterio que permite identificar áreas que posiblemente no han sido afectadas por inestabilidades de laderas, pero en las cuales el terreno presenta alguna característica que las hace potencialmente inestables se denominan Indicadores Potenciales: ya que indican áreas que si bien no han sido afectadas por inestabilidades, pueden ser afectadas en un futuro próximo, por ejemplo: terreno en pequeñas depresiones, relieve ondulado, apertura de grietas en el terreno, planos de fracturación a favor de la pendiente, reptación de árboles (INETER & COSUDE, Proyecto MET-ALARN, 2005).

2.3.7. Susceptibilidad

La susceptibilidad a deslizamientos es la propensión o tendencia de una zona a ser afectada por desestabilización, movimientos del terreno o alcance de los depósitos, determinada a través de un análisis comparativo (cualitativo o cuantitativo) de factores condicionantes y/o desencadenantes y las áreas afectadas. También puede definirse como la probabilidad espacial relativa de la ocurrencia de deslizamientos de un tipo y volumen en particular. Los resultados del análisis se materializan normalmente en forma de mapas de susceptibilidad que indican el comportamiento probable de la ladera en función de las condiciones o factores analizados (Andrade, 2013).

2.3.7.1. Métodos para identificar la susceptibilidad a deslizamientos

Existen diferentes métodos para la identificación de la susceptibilidad. Estas se pueden agrupar en métodos heurísticos y estadísticos.

a) Métodos heurísticos (o criterios de experto):

El experto o investigador utiliza su experiencia o sus propios criterios para estimar la influencia que tiene cada factor (pendiente, geomorfología, litología, uso de suelos, precipitaciones, sismicidad, etc.) en la ocurrencia de deslizamientos. Es por ello que son considerados métodos subjetivos. Pueden subdividirse en dos tipos:

- **Análisis geomorfológico:** O método de la cartografía directa, donde el grado de susceptibilidad del terreno es determinado por el investigador directamente en el campo.

Los criterios aplicados varían de acuerdo al experto y el sitio estudiado (Castellón & Acosta, 2004).

- **Combinación cualitativa de mapas:** Este tipo de enfoque heurístico se basa en el conocimiento de las condiciones que propician la ocurrencia de deslizamientos en el área investigada. El experto utiliza dicha experiencia para asignar pesos relativos de influencia a una serie de parámetros o factores de susceptibilidad. Estos factores se suman y el mapa resultante se clasifica en rangos o categorías. Su confiabilidad es directamente dependiente de qué tanto y qué tan bien el investigador conozca los procesos geomorfológicos que actúan en el terreno (Castellón & Acosta, 2004).

b) Métodos estadísticos:

Estos métodos consideran que “el pasado y el presente son la clave para conocer el futuro”. El objetivo de estos métodos es analizar las condiciones bajo las cuales han ocurrido deslizamientos en el pasado y estimar las condiciones críticas que puedan generar futuros eventos. Se consideran métodos objetivos porque la influencia de cada factor de susceptibilidad (pendiente, geomorfología, litología, uso de suelos, precipitaciones, sismicidad, etc.) se define en base a la cantidad de deslizamientos ocurridos en el sitio de estudio. La fortaleza del enfoque depende directamente de la calidad y cantidad de datos recolectados. Errores en la cartografía de deslizamientos registrados ejercen una gran influencia en el modelo. Como el método es regido estrictamente por los datos de área específica, no se recomienda extrapolar los resultados a otras regiones (Castellón & Acosta, 2004).

c) Métodos híbridos:

Combinan elementos de los métodos estadísticos y heurísticos para obtener la susceptibilidad a deslizamientos. Debido a que existen diferentes métodos para evaluar la susceptibilidad de un territorio frente a la inestabilidad de laderas. La elección de uno u otro está en función de la disponibilidad de la información: número de movimientos inventariados, tipo, factores condicionantes, etc. (Castellón & Acosta, 2004).

2.3.7.1. Método de superposición de capas o suma ponderada

Para generar el mapa de susceptibilidad por deslizamientos se ha optado por utilizar un método heurístico de combinación cualitativa de mapas, el método de superposición de capas o suma

ponderada comprende la asignación de pesos a los diferentes factores condicionantes y desencadenantes considerados. Está basado en la suma de cada capa (litología, pendiente, precipitación, usos de suelo, Deslizamientos) de entrada y la multiplicación por un factor de ponderación (el cuál va de 1 a 5) que indica su importancia en el modelo y la posterior suma de las capas así modificadas. El resultado es una nueva capa con valores numéricos, cuya magnitud representa en una escala relativa la favorabilidad de cada zona (Bonham-Carter, 1994). Este método permite la incorporación en el modelo de una gran cantidad de información, a pesar de su sencillez y facilidad de aplicación, utilizando las funciones básicas proporcionadas por todos los paquetes SIG. (IGME, 2011). Para ello se utilizará el programa ArcGis, con las extensiones Spatial Analyst Tools. Esta última extensión usa la herramienta Overlay la que incluye la metodología Weighted Overlay de asignación de pesos anteriormente comentada, para ello se utiliza la fórmula siguiente:

$$S = \frac{\sum n_i S_i W_i}{\sum n_i W_i}$$

(Bonham-Carter, 1996)

Donde:

S es el peso que se da a un área (aquí representado como píxel)

W_i es el peso de la capa

S_i es el peso de la clase

La utilización de este método tiene como limitante que puede ser ciertamente subjetivo, ya que la asignación de pesos para cada factor la define el experto según su conocimiento y experiencia. A cada parámetro se le definen clases y a cada clase se les asigna un peso porcentual, este varía en rango de 1 a 5 como significado de muy bajo a alto (IGME, 2011). (**Ver fig. N°2**)

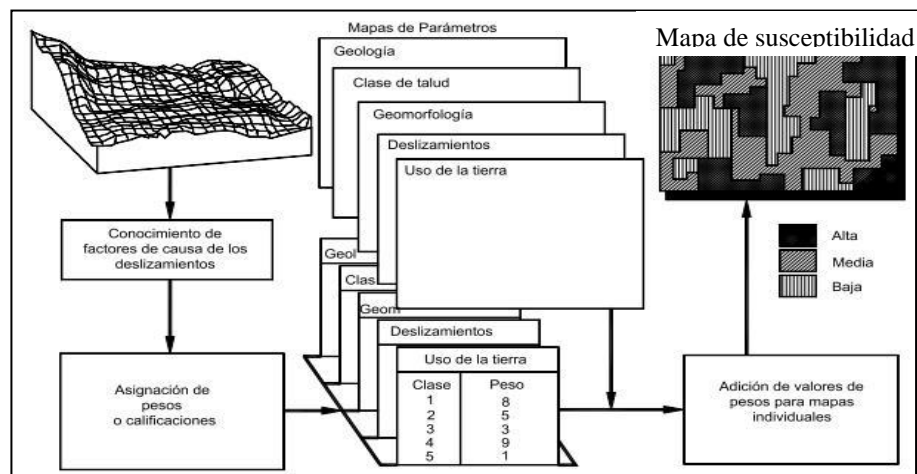


Figura N°2; Ejemplo de superposición de capa (IGME, 2011)

2.3.8. Geotectónica América Central

América Central se localiza en la Placa Caribe entre las Placas de Norteamérica y Sudamérica, esta limita al Norte con la Placa Norteamericana a través del sistema de fallas Motagua – Polochic - Jocotán y la Fosa Caimán; al Este por la Fosa de Puerto Rico y la zona de subducción de las Antillas Menores; al Sur por la Placa Suramericana y al Oeste por la Fosa Mesoamericana (Ver Fig. N°3). La tectónica de América Central ha estado sujeta en los últimos 50 millones de años por la subducción de la Placa Cocos debajo de la Placa Caribe con una velocidad aproximada de 8 cm/año y una inclinación de 25° en la parte superficial y 84° a profundidades de 100 km y 220 km. (Frischbutter, 2002).

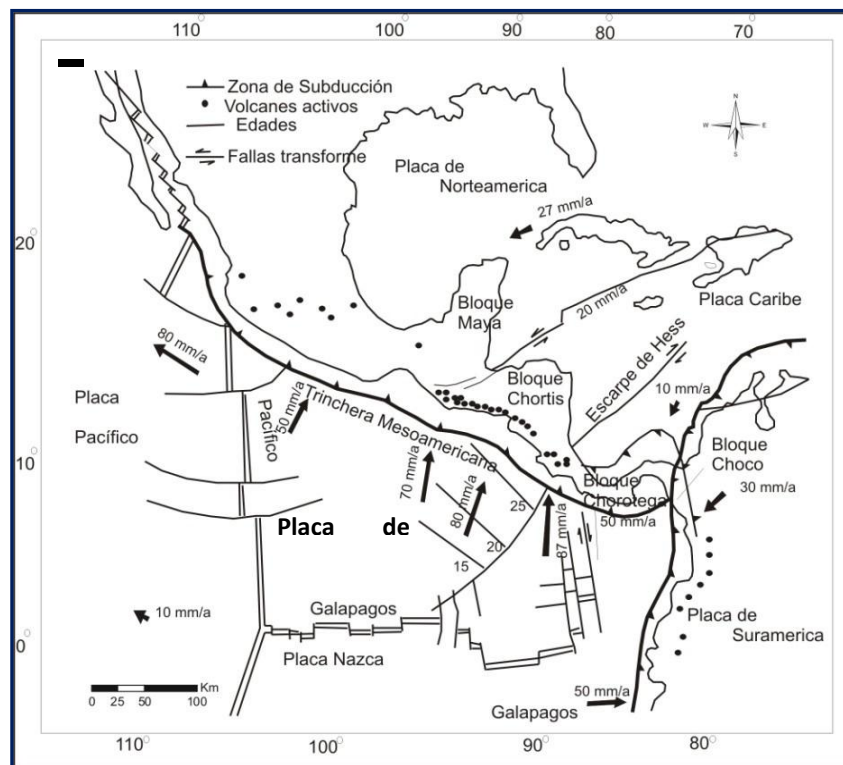


Fig. N°3; Mapa Tectónico de América Central y de placas relacionada (Frischbutter, 2002)

América Central está caracterizada por presentar una alineación tectónica mayor que determina su forma geográfica Elíptico, forma así un arco cóncavo hacia el Caribe en la parte de Costa Rica y otras cóncavas en el Pacífico en el territorio panameño. Estructuralmente ha sido clasificada en tres unidades más o menos paralelas (Dengo, 1973).

1. **El arco del Pacífico**, donde se exponen las rocas más antiguas del área las que afloran en la península de Nicoya.
2. **Arco interno:** incluye las sierras más altas del área de la cordillera de Tala manca etc. La Cuenca del Caribe.
3. **Las provincias Septentrional y Meridional**, que se iniciaron en ambientes tectónicos diferentes. La primera bordeada en una zona continental o criogénica y la segunda como promontorio submarino sin masa terrestre adyacente. Ambas provincias fueron cubiertas por rocas volcánicas del Terciario (Dengo, 1983).

Las Estructuras productos de la Tectónica de América Central son:

- Depresión Nicaragüense y Depresión Central (El Salvador)
- Cadena Volcánica del Cuaternario (CVC)
- Cuencas pull-apart a lo largo de la CVC

2.3.9. Geología Regional de Nicaragua.

La evolución geológica del país inicia desde el Paleozoico con el desplazamiento del basamento metamórfico cristalino, desde la parte norte de Centro América hasta la parte norte y centro de Nicaragua, constituyendo las rocas más antiguas del país (Dengo, 1983).

Este basamento está compuesto por rocas metamórficas como esquistos, filitas, mármoles, cuarcitas y gneises incluidas dentro de la Formación Palacaguina (Bracci, 1957) o Esquistos de Nueva Segovia y se encuentran instruidas por cuerpos ígneos plutónicos del Mioceno, entre los que sobresale el Batolito de Dipilto constituido por granito, granodiorita, tonalita y diorita (Garayar, 1971).

Durante el Cretácico al SW de Nicaragua, se produjo la emersión del basamento ofiolítico incluyendo basaltos elipsoidales, aglomerados de basaltos, rocas intrusivas gabroicas, calizas silíceas, pedernales, grauwas y peridotitas serpentinizadas, representando un afloramiento del manto subcortical; todas estas rocas han sido agrupadas bajo el nombre de Complejo de Nicoya (Dengo G. , 1973).

Sobreyaciendo en contacto discordante a este basamento, se encuentran rocas sedimentarias del Cretácico Superior, representadas por intercalaciones de estratos de areniscas y lutitas, contenidas

dentro de la Formación Rivas. Durante el Terciario, a partir del Eoceno hasta el Plioceno en la Costa del Pacífico Nicaragüense, se depositaron rocas sedimentarias en una cuenca de subsidencia de ambiente nerítico y deltaico (Kuang, 1971), las cuales fueron agrupadas en cinco formaciones geológicas: Formación Brito, Formación Masachapa, Formación El Fraile, Formación Tamarindo y Formación El Salto (Bracci, 1957), representadas por calizas, grauwacas, areniscas, lutitas, conglomerados y tobas, exceptuando la Formación Tamarindo, que está representada principalmente por rocas volcánicas de composición básica-intermedia-ácida interdigitada en su parte inferior con lutitas y areniscas de la Formación El Fraile (Kuang, 1971)

En cambio, entre el Eoceno Plioceno, en las Tierras Altas del Interior de Nicaragua, se produjo la actividad volcánica Terciaria como consecuencia de la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa del Caribe, dando como resultado la deposición de considerables capas de rocas volcánicas incluyendo una serie de unidades sedimentarias epiclásticas y piro clásticas, comprendidas dentro de los grupos Matagalpa y Coyol (McBirney & Williams, 1965); (Corporation, 1972)

Durante el Oligoceno, en la Parte Norte de Nicaragua, ocurrió la sedimentación de materiales de origen continental, representados por sedimentos clásticos y conglomerados, comprendidos dentro de la Formación Totogalpa. A finales del Terciario e inicios del Cuaternario, se creó un sistema de fallas en dirección NW como resultado de esfuerzos locales de tensión, producidos por la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa del Caribe, lo que permitió la formación de la Depresión o Graben de Nicaragua, en la que se incluyen dos grupos geológicos, cuyas edades varían entre el Pleistoceno y el Holoceno, estos son: Grupo Las Sierras y Grupo Managua, representados por depósitos aluviales y piroclásticas que están rellenando la depresión, estableciendo un espesor aproximado de 2000 m (Kuang, 1971); esta depresión comprende la Cadena Volcánica Cuaternaria Nicaragüense y los Lagos de Nicaragua, constituyendo los principales rasgos de la actividad tectónica Cuaternaria de América Central (McBirney & Williams, 1965) y estructuralmente consiste en un graben amplio y superficial, con dirección Noroeste, limitado por dos sistemas de fallas normales paralelas. En cambio, durante el Pleistoceno, en los Llanos de la Costa Atlántica Nicaragüense, ocurre la deposición de rocas sedimentarias y aluviales recientes, como consecuencia de la erosión en las Tierras Altas del Interior de Nicaragua; los cuales sobre yace a las rocas sedimentarias Terciarias formando la

Cuenca de Sedimentación de la Mosquitia y el Banco de Nicaragua, presentando ligeras extensiones de rocas ígneas intrusivas y extrusivas (Kuang, 1971). Estas rocas están incluidas en cinco formaciones y un miembro: Formación Bragman Bluff, Formación Martínez, Formación Mosquitia, Formación Punta Gorda, Formación Tuoche y Miembro Kamanon (Hodgson, 1971).

El área sometida a esta investigación es parte de la unidad geomorfológica, Cordilleras Centrales, donde existe un predominio de rocas volcánicas Terciarias pertenecientes al grupo Coyol, (*Ver Fig. N°4*) (McBirney & Williams, 1965); (Garayar, 1971) como producto de movimientos tectónicos de las placas Cocos y Caribe también se hallan numerosas y extensas estructuras circulares como resultado de los eventos geológicos los cuales favorecieron la deposición de minerales en casi todas las zona de la provincia.

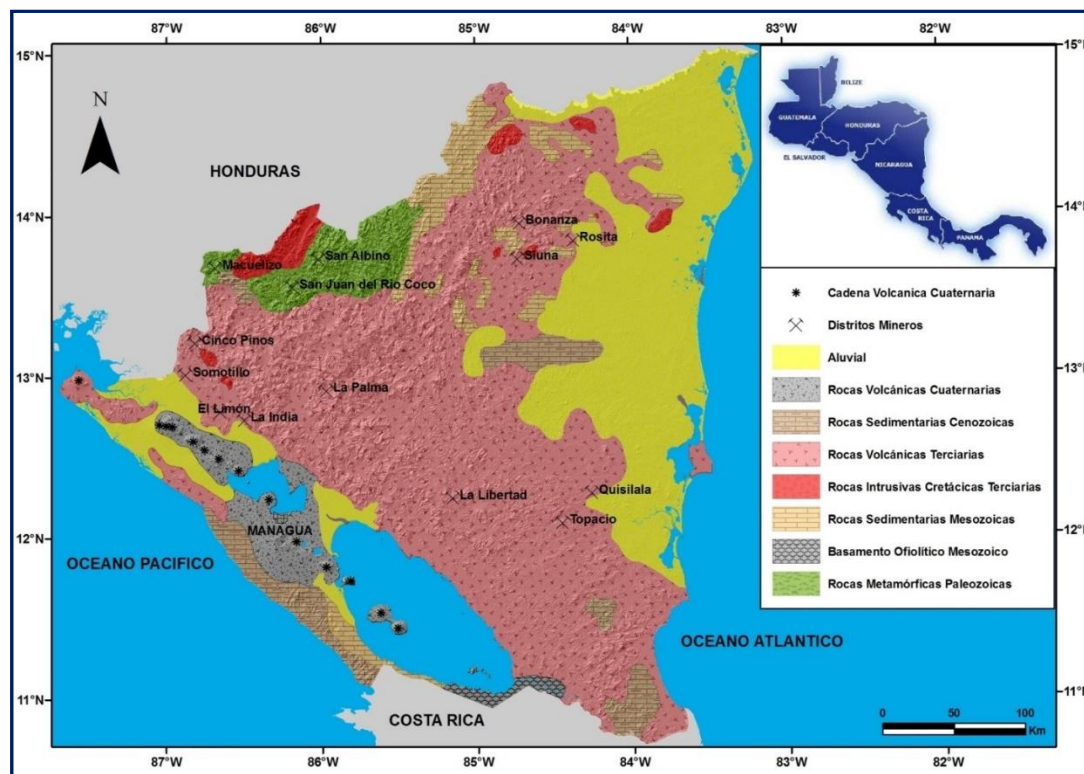


Fig. N°4; Mapa Generalizado de Nicaragua; Simplificado del Mapa Geológico de Nicaragua, editado por INETER, (1995).

2.3.10. Grupos Litológicos de la Región Central

(McBirney & Williams, 1965); (Corporation, 1972); (Ehrenborg, 1996) ; y otros, dividieron en dos grandes unidades importantes a la cordillera central: El Grupo Matagalpa y Grupo Coyol.

- El Grupo Coyol: el cuál abarca la zona de estudio, es de edad Mioceno-Plioceno, sobre yace al Grupo Matagalpa fue subdivido en base a dataciones radiométricas, en: *Coyol Superior* compuesto por basaltos andesíticos y aglomerados basálticos y *Coyol Inferior* constituido por flujos piroclástico dacítico a Riolítico, basaltos, basalto-andesitas, brechas y aglomerados, el cual equivale al Grupo Tamarindo de la Costa del Pacífico Nicaragüense (Ehrenborg, 1996).

Una diferencia es que el Grupo Coyol presenta un volcanismo en estrato-escudo y volcanismo de domos Riolítico, mientras que el Grupo Matagalpa presenta un vulcanismo Ignimbrítico que es menos característico para el Grupo Coyol (Ehrenborg, 1996). La actividad volcánica finalizó con la formación de grandes calderas centrales acompañadas de alteración hidrotermal de domos Riolítico intra-caldera y pocos conos cineríticos de composición basáltico- andesítica.

2.4. Hipótesis

Por su posición en el relieve, el Municipio de Esquipulas se encuentra expuesto a amenazas por procesos de inestabilidad de laderas, esto ha quedado evidenciado en los trabajos que han efectuado diferentes autores en el municipio, los cuales indican que después del Huracán Mitch se desencadenaron muchos de estos procesos, actualmente se cree que estos eventos continúan afectando en si el medio de vida principal (la actividad agrícola), así como también la infraestructura y el acceso a las comunidades. Por tal razón este proyecto de tesis considera como prioridad la identificación de factores condicionantes y desencadenantes de los sitios inestables, para posteriormente definir zonas susceptibles a deslizamientos, esto con la finalidad de mejorar la planificación del uso del suelo urbano y rural del municipio de Esquipulas, de esta manera se tendrá un mejor control de los sitios críticos del municipio, que a su vez sirvan de base para la elaboración de planes de ordenanza municipal y programas de prevención, mitigación y gestión de desastres.

Capítulo III

3.1. Diseño Metodológico

3.1.1. Tipo de estudio

El tipo de estudio se clasifica en analítico o experimental, esto debido a que se busca contestar por qué sucede dicho fenómeno, cuál es la causa o factor de riesgo asociado, o cuál es el efecto de esa causa. (Pineda & Alvarado, 1994).

3.1.2. Universo y Muestra

Como universo se toma el Departamento de Matagalpa donde en su mayoría la información geológica ha sido en base a estudios puntuales y la muestra se encuentra representada por el municipio de Esquipulas.

3.2. Método de recolección de datos

La metodología realizada en esta investigación que permitió el alcance de los objetivos planteados, se divide en tres principales etapas. Estas a su vez se subdividen, explicando el detalle de los procesos realizados a lo largo del estudio.

3.2.1. Etapa de Gabinete

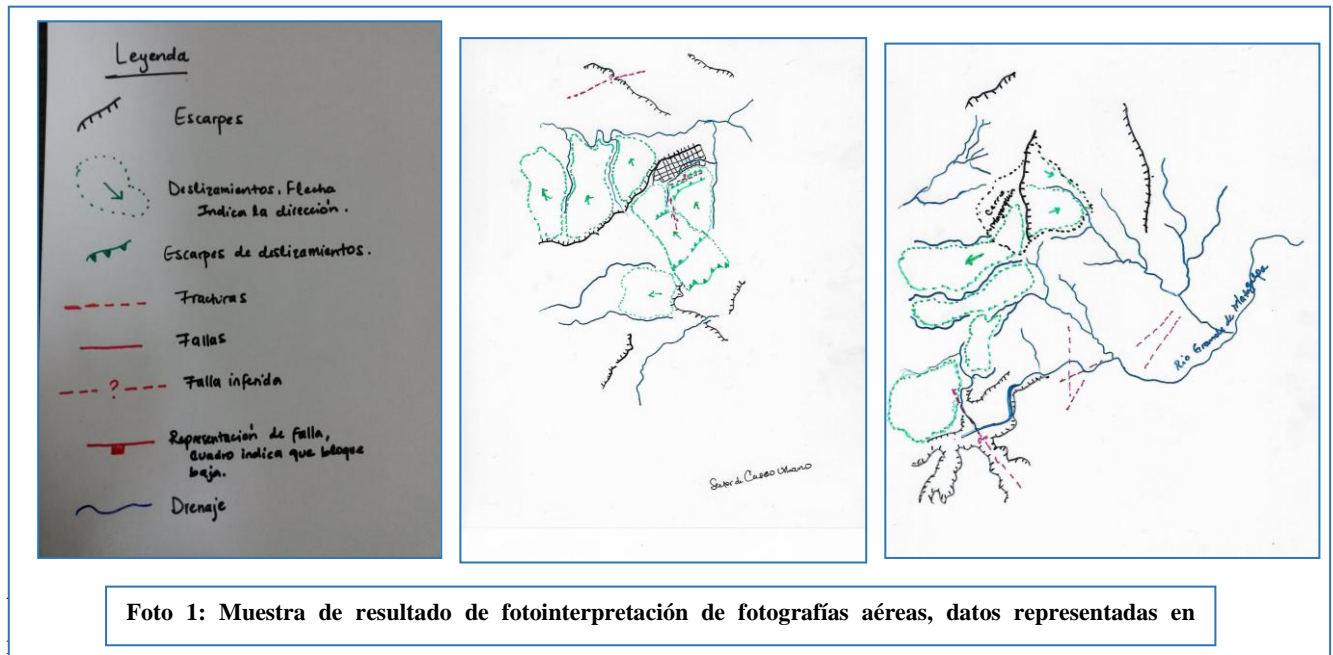
a) Recopilación y Análisis de la Información

Esta etapa consistió en la recopilación y análisis de la información existente referente al tema y área de estudio, por lo cual se visitaron centros de documentación como: INETER, MEM, CIGEO-UNAN-Managua, en los cuales se obtuvo informes técnicos, artículos científicos, mapas (Topográficos y Geológicos) e imágenes (Fotografías aéreas e imágenes satelitales). A su vez la información recopilada trató sobre las metodologías a utilizar en este caso sobre la clasificación de deslizamientos y la metodología para generar el mapa de susceptibilidad.

Una vez recopilada la información de los distintos centros de documentación e instituciones, se procedió a seleccionarla en base a la importancia y utilidad, posteriormente se sistematizaron los documentos, mapas y fotografías aéreas para trabajarlos de manera ordenada.

b) Análisis e interpretación de materiales didácticos

En esta etapa se analizaron e interpretaron a detalle fotografías área a escala 1:40,000, editadas por INETER (año 1981), específicamente 3 líneas de vuelo (23,24 y 25) que abarcan en su totalidad el Municipio de Esquipulas, en ellas se identificaron sitios donde se han producido deslizamientos o bien lugares que dan indicios de inestabilidad, así como también lineamientos, estructuras circulares, contactos geológicos, fallas, drenaje, escarpes, etc. (*Ver Foto N° 1*).



modelo de elevación digital del terreno (MDE), generado por el satélite Alos2 en el año 2011, el cual tiene una resolución de 12.5 metros, mediante el cual se extrajeron curvas de nivel del modelo digital del terreno y posteriormente se digitalizaron las curvas del mapa topográfico preexistente para hacer la comparación y verificación, esto para obtener el mapa topográfico, en el que se representa el relieve superficial del área, identificando así la morfología (valles, ríos, estructuras remanentes) y estructuras geológicas superficiales tomando en cuenta el comportamiento de las curvas de nivel.

Además de ello mediante la información obtenida de la fotointerpretación se realizaron mapas temáticos (geológicos) y representativos del sitio, a partir de la base topográfica se elaboró un mapa altimétrico (*Ver Mapa N° 11*), el cual mediante una gama de colores representa las diferentes elevaciones topográficas del área de estudio; un mapa de pendientes (*Ver Mapa N°*

12), que representa a través de colores los diferentes grados de alturas entre las curvas de nivel del área. Mediante el análisis de estos mapas se identificó los diferentes patrones geomorfológicos, los principales rasgos estructurales y direcciones de fallamiento que afectan el área.

En conjunto con la información obtenida se prosiguió a la elaboración de los mapas base (el primero constó de los deslizamientos que se identificaron, así como también sitios propensos a inestabilidad de laderas, el segundo mapa un mapa fotogeológico y de estructuras preliminar, el cual incluyo fallas, fracturas, escarpes.), (*Ver Foto N° 2*); los cuales se elaboraron a partir del análisis e interpretación de fotografías aéreas, imágenes satelitales y modelos digitales del terreno. Los rasgos estructurales posteriormente se comprobaron durante las visitas de campo.

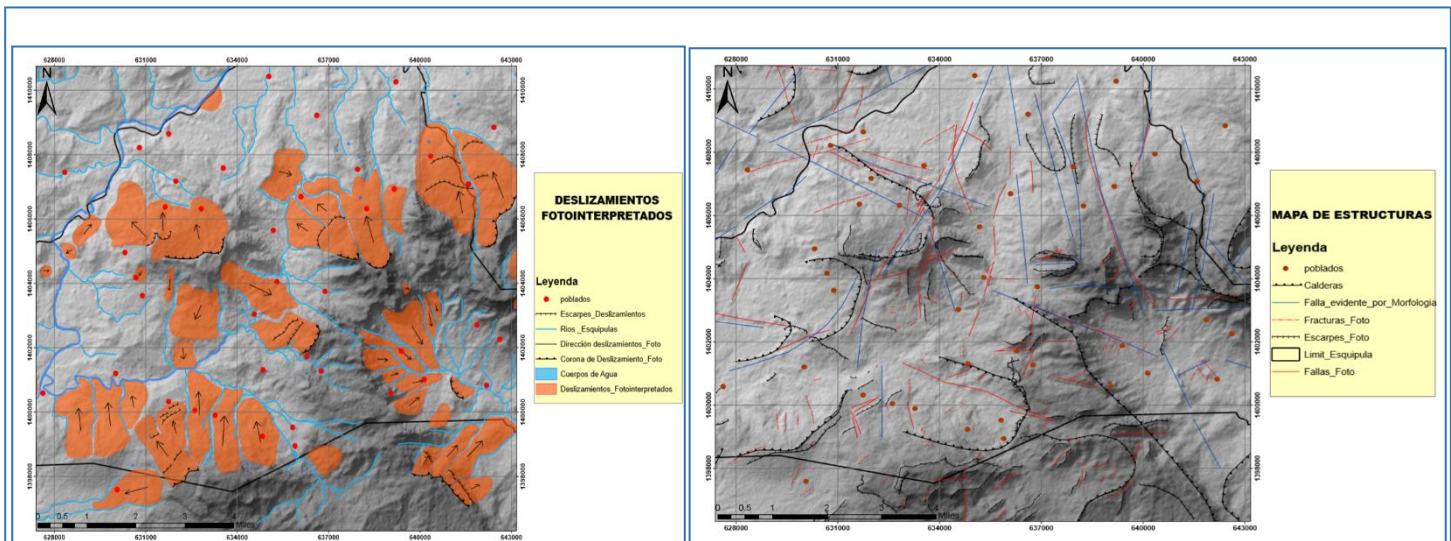


Foto 2: La figura del extremo izquierdo representa el mapa base donde se indican sitios propensos y lugares donde se desarrollan procesos de deslizamientos, mientras que la del extremo derecho indica el mapa fotogeológico y de estructuras preliminar del área de

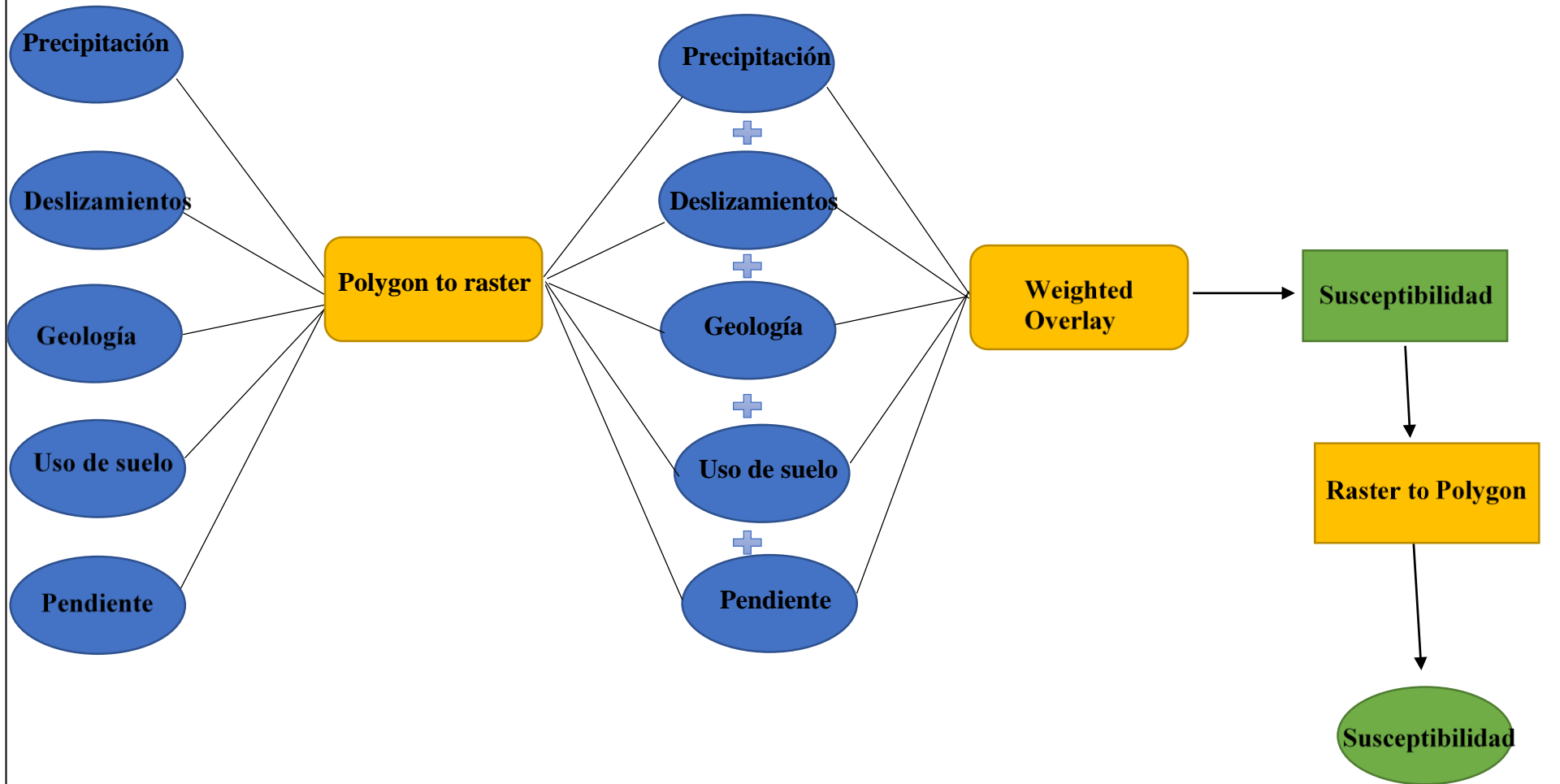
c) Análisis e interpretación de la metodología e instrumento a utilizar

La etapa consistió primordialmente en definir el instrumento a utilizar para el levantamiento del inventario de deslizamientos del área; la información se obtuvo durante la etapa de recopilación de la información, en dicha etapa se encontró una ficha de identificación de datos de deslizamientos elaborada por el proyecto MET-ALARM de COSUDE en el año 2005, debido a

su extenso tamaño y tomando en cuenta que muchos datos de entrada no eran necesarios para los objetivos de este estudio ya que las fichas fueron pensadas para la identificación de diferentes inestabilidades de laderas y en este proyecto de tesis únicamente se está tomando en cuenta los deslizamientos se procedió a modificar dicha ficha de tal manera que fuera práctica y se adecuara en base a las prioridades del área de estudio (*Ver en Anexo, ejemplo de fichas de deslizamiento*), la ficha contempla aspectos generales como ubicación y coordenadas del sitio, así como también tipo de movimiento, factores condicionantes y desencadenantes, geomorfología de la ladera, etc.

Por otra parte, mediante la información obtenida en la etapa de recopilación de la información, se definió la metodología a utilizar para el cálculo de la susceptibilidad, para ello como se explicaba en el acápite de marco teórico se hará uso del método de superposición de capas o suma ponderada el cual sencillamente se basa en la suma de cada capa de entrada (litología, pendiente, precipitación, uso de suelo, deslizamiento), por un factor de ponderación el cual va de 1 a 5 que representa valores de muy baja a muy alta susceptibilidad, para emplear este método se definió el siguiente esquema metodológico, el cual establece los pasos a seguir para obtener el mapa final.

Esquema Metodológico:



3.2.2. Etapa de Campo

El trabajo de campo estuvo dividido en tres grandes actividades, todas con la finalidad de corroborar la información obtenida a través del análisis o trabajo de gabinete, primeramente, se efectuó el levantamiento geológico en los puntos que se determinaron lo cual incluía en el levantamiento de columnas litológicas, estructuras geológicas (fallas y fracturas), caracterización macroscópica de las rocas, mediciones de espesores, rumbo, buzamiento, esto para poder definir los patrones estructurales en el sitio de interés. A su vez, en esta etapa se llevó a cabo la cartografía de deslizamientos necesaria para efectuar el mapa de susceptibilidad.

a) Reconocimiento de Campo

Se efectuó un reconocimiento general de campo, para así localizar los principales puntos de interés en los cuales se realizaría el levantamiento de inventario de deslizamientos y datos estructurales, utilizando los mapas previamente elaborado. Posterior se efectuó la planificación del trabajo de campo.

b) Levantamiento Geológico

Se llevaron a cabo 5 giras de campo de 1 semana para efectuar el levantamiento cartográfico del sitio, el cual es de suma importancia tomando en cuenta que la litológica forma parte de los factores condicionantes del área de estudio.

Consistió en la identificación y descripción a detalle de las diferentes unidades de rocas y contactos geológicos observados, realizando descripciones macroscópicas y posteriormente analizando las muestras de roca durante la interpretación de los demás datos obtenidos en las etapas de campo, además se efectuaron mediciones de rumbo, buzamiento y longitud de las estructuras. A su vez se llevó a cabo el levantamiento estructural, el cuál comprendía mediciones de rumbo, buzamiento, ancho, de fallas, fracturas, para así determinar su geometría y arreglo tomando en cuenta sus indicadores cinemáticos (*Ver Foto N° 3*).



Foto 3: Se muestran imágenes del levantamiento geológico en sitios donde se pudo extraer información sobre la litología y aspectos estructurales del área de estudio.

c) Llenado de fichas de deslizamiento

Posteriormente se llevaron a cabo 4 giras de campo de 1 semana para realizar el levantamiento de los deslizamientos del área de estudio, haciendo uso de las fichas de identificación de deslizamientos previamente establecidas para el levantamiento de los deslizamientos, se visitaron sitios de interés previamente establecidos, en donde se recolectaron datos sobre los escarpes de deslizamientos, depósitos de los mismos, nicho de arranque, dirección del movimiento, tipo de

material, tamaño de rodados, etc. y a su vez aspectos generales que contempla la ficha (*Ver Foto*



Foto 4: En las imágenes se puede observar el levantamiento de los deslizamientos del área.

N° 4).

3.2.3. Etapa de Procesamiento e Interpretación de los Datos Obtenidos en Campo

a) Interpretación Geológica y estructural

Además de la interpretación realizada en el campo, se procede a hacer una descripción con más detalle de cada una de las muestras recolectadas, describiendo su composición macroscópica, los minerales que la conforman, textura y origen. A su vez se tomaron los datos de rumbos y buzamientos de las fracturas encontradas y se incorporaron en tablas Excel para posteriormente hacer una relación con las fallas plasmadas en el mapa realizado previo a la etapa de campo, por

otra parte, se incorporaron los datos estructurales, en tablas de datos y rosetas de fracturas en este caso se utilizó el programa GeoRose que consiste en un diagrama sencillo que facilita la visualización de las direcciones de los rumbos generales, planos de debilidad como fracturas y fallas.

Este diagrama está compuesto por varios círculos concéntricos sobrepuesto sobre un conjunto de líneas radiales donde el radio de cada círculo sucesivo es mayor que el radio del círculo previo y las unidades de distancia medidas a lo largo del radio representan una cantidad media, que es la cantidad de datos presentes dentro de un rango que se encuentra en el eje, desde el centro (0%) hacia el margen (100%). De esta manera se elaboraron rosetas de fracturas en las que se distribuyen las líneas de rumbos generales mostrando la dirección preferencial de las estructuras geológicas, determinando así los esfuerzos que afectan el área de estudio. Tomando en cuenta estos datos obtenidos en campo, se realizó en el programa ArcGIS el mapa geológico del área de estudio.

b) Elaboración de inventario de deslizamientos

Mediante las fichas de identificación de deslizamientos se obtuvo un flujo de información extenso por lo que se depuro la información obtenida, la cual se transformó en su mayoría en un inventario de deslizamientos el cual está constituido por los siguientes campos: código, tipo de deslizamiento, sitio, área, coordenadas, Litología, pendiente (grados), uso de suelo. (*Ver Tabla N°2*)

c) Análisis de factores condicionantes y desencadenantes

En esta etapa se efectuó un análisis de la información obtenida en campo, en especial el inventario de deslizamientos del área, se identificaron los rasgos en común de cada proceso de deslizamiento para así lograr definir qué factores estaban influyendo en su generación, en este caso se definieron 5 capas (constituidas por factores condicionantes y desencadenantes), a las cuales se les asignó una ponderación la cual está definida desde rangos valores desde muy bajo a muy alto, a su vez se definió para cada capa un porcentaje de influencia esto en base a cuanto influye la capa y cada rango que la compone en la generación de procesos de deslizamientos

d) Elaboración de Mapa de Susceptibilidad



Foto 5: Calculo de susceptibilidad.

La etapa consistió en aplicar el esquema metodológico definido en la etapa de gabinete, en donde se procedió a convertir en capas raster las 5 capas identificadas, una vez teniéndolas en ese formato, se aplicó el método de superposición de capas descrito en la sección del marco teórico, esto con ayuda del programa ArcGIS, donde se incluyó a su vez las ponderaciones y porcentajes de influencia de cada una de ellas (*Ver Foto N°5*).

e) Elaboración de informe final

Una vez obteniendo todos los productos como mapas, tablas, y descripciones de sitios de deslizamientos y unidades de roca, se procedió a elaborar el informe final el cual detalla el proceso que se realizó para llevar a cabo la investigación, así como también un compendio de los resultados.

Capítulo IV

4.1. Análisis de los resultados

4.1.1. Geomorfología

La forma actual del relieve es consecuencia del vulcanismo del período Neógeno y la geodinámica activa del municipio de Esquipulas.

Como resultado de la interpretación de fotografías aéreas, escala 1: 40,000, e imágenes satelitales; análisis de mapas: altimétrico (*ver en anexo Mapa N°11*), pendientes (*ver en anexo Mapa N°12*) y observando las geoformas del área, se clasificó el relieve del área, en cuatro unidades geomorfológicas (*Ver Mapa N° 5*), cada una con sus correspondientes subunidades, tomando como base las clasificaciones geomorfológicas propuestas por Van Zuidam, 1975:

Unidad de origen Denudacional (D)

- Sub Unidad de Áreas con Movimientos en Masa Severos (D11)

Unidad de Origen Estructural (S)

- Sub Unidad de Domos (S10)

Unidad de Origen Volcánico (V)

- Sub Unidad de Flujos de Lava (V9)
- Sub Unidad de Lahar (V11)
- Sub Unidad de Remanentes de Caldera (V14)
- Sub Unidad de Colinas Volcánicas (V16)

Unidad de Origen Fluvial (F)

- Sub Unidad de llanuras aluviales (F3)

a) Unidad de origen Denudacional (D)

Está relacionada a las formas originadas a partir de la acción erosiva y meteorización, las pérdidas del suelo generan fenómenos en forma Laminar, surcos y cárcavas. Bajo condiciones húmedas favorece la meteorización del subsuelo y los movimientos gravitatorios con los deslizamientos.

- **Sub Unidad de Áreas con Movimientos en Masa Severos (D11)**

Sub unidad situada en gran parte de la zona de estudio, por ejemplo, en la Finca La Garnacha al Sureste del casco urbano de Esquipulas, Finca San Vicente, Cerro Santa María, Comunidad Cumaica Norte (*ver Foto 6*), representada principalmente con cerros de elevaciones de hasta 1100 msnm.

El relieve se caracteriza por zonas escarpadas y disectadas, que varían entre pendientes de 15° a 40° aproximadamente. Litológicamente la unidad está constituida por rocas volcánicas de composición heterogénea (Ignimbrita, basalto y flujo piroclástico) y en algunos sitios por sedimentos de ladera como es el caso de Finca La Garnacha, Lomas de Guadalupe y el Castillo Arriba.



Foto 6: Deslizamiento Superficial ubicado en la comunidad Cumaica

b) Unidad de Origen Estructural (S)

Comprende zonas dominadas por bloques tectónicos; sus formas son originadas a partir de la interacción entre los esfuerzos producidos a lo largo de las zonas de fallas, dando la forma actual del terreno de las siguientes subunidades:

- **Sub Unidad de Domos (S10)**

Sub unidad situada en la parte Sureste del área de estudio, al Norte de la comunidad Cumaica Norte. Cubre un área aproximada de 1.32 km², siendo su mayor elevación Cerro El Pelón con 758 msnm (643580E – 1400363N) ubicado al Sureste de Esquipulas.

El relieve se caracteriza por presentar cúpulas con cimas subredondeadas y pendientes inclinadas a moderadamente escarpadas y medianamente disectadas, que varían entre pendientes de 20° a 80° aproximadamente. La topografía es moderada a abrupta con curvas de nivel bastante continuas y elevaciones que oscilan entre 470 a 730 msnm.

Litológicamente esta unidad se constituye de rocas ígneas volcánicas de composición basáltica. Su origen se debe al ascenso de magmas viscoso dentro de una estructura volcánica (*ver Foto 7*), controlada por fallas Regionales y locales.

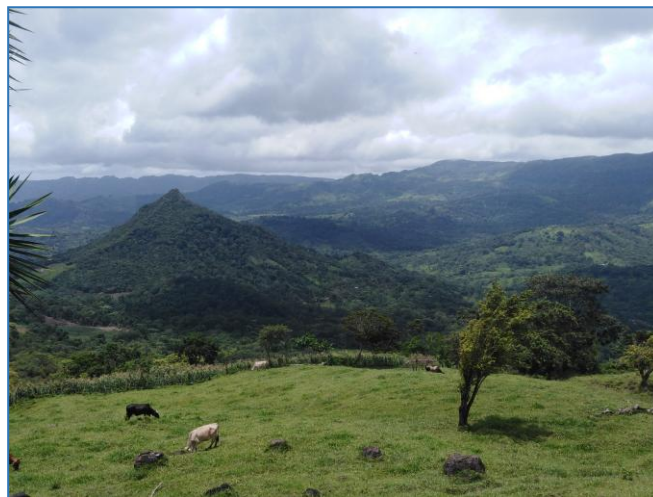


Foto 7: Domo ubicado al Norte de la Comunidad Cumaica Norte (643580E – 1400363N)

c) Unidad de Origen Volcánico (V)

Esta unidad se encuentra relacionada a formas originadas a partir de la actividad volcánica ocurrida durante el Terciario, donde la erosión no ha sido responsable de su construcción dando la forma actual del terreno de las siguientes subunidades:

- **Sub Unidad de Flujos de Lava (V9)**

Localizada en el extremo Sur y Sureste del área de estudio principalmente, en las comunidades Cinta Verde y Cumaica Norte. Comprende un área aproximada de 38 kilómetros siendo su mayor elevación el Cerro Santa María (634140E – 1397702N) (*ver Foto 8*), ubicado al Sur de Esquipulas.

El relieve de esta sub unidad se caracteriza por mostrar cuevas con pendientes escarpadas que varían entre pendientes de 0° a 45° aproximadamente. La topografía es ondulada a abrupta con curvas de nivel seguidas a un poco distales a medida que disminuyen las elevaciones, las cuales oscilan entre 150 a 1080 msnm. Litológicamente esta sub unidad está constituida por flujos de rocas ígneas volcánicas de composición basáltica, afectada por fracturas. Su origen se debe a la acumulación de magma fluido a través de erupciones efusivas de estructuras volcánicas del período Neógeno.



Foto 8: sub unidad de flujos de lava (634140E – 1397702N)

- **Sub Unidad de Lahar (V11)**

Unidad localizada en el extremo Sur y Sureste del área de estudio principalmente, comprende un área aproximada de 39 kilómetros siendo su mayor elevación el Cerro Santa María (634140E – 1397702N) (*ver Foto 9*), ubicado al Sur de Esquipulas.

El relieve de esta sub unidad se caracteriza por mostrar cuevas con pendientes escarpadas que varían entre pendientes de 0° a 45° aproximadamente. La topografía es ondulada a abrupta con curvas de nivel seguidas a un poco distales a medida que disminuyen las elevaciones, las cuales oscilan entre 150 a 1080 msnm. Litológicamente esta sub unidad está constituida por flujos de rocas ígneas volcánicas de composición heterogénea distribuidas de manera caótica, su formación se debe a la mezcla de material volcánico con el agua meteórica los materiales se mezclan logrando una masa que se desplaza transportándolos por los barrancos y cauces fluviales.



Foto 9: sub unidad de lahar en el cerro Santa María (634140E – 1397702N)

- **Sub Unidad de Remanentes de Caldera (V14)**

Esta sub unidad se encuentra distribuida a lo largo del área de estudio, caracterizada por su relieve escarpado con elevaciones que oscilan entre 400 a 1020 msnm (*ver Foto 10*), sus altas cordilleras con pendientes inclinadas varían entre pendientes de 20° a 80° aproximadamente. Litológicamente esta sub unidad está formada por efusiones de rocas ígneas volcánicas principalmente asociadas a zonas de fallas que provocan la aceleración de procesos de erosión y

meteorización. Su origen se atribuye a una explosión súbita que vació rápidamente la cámara magmática, colapsando la parte interna de la estructura.



- **Sub Unidad de Colinas Volcánicas (V16)**

Concentrada en la parte Noreste, Noroeste y Suroeste del área de estudio, en las comunidades Cerro El Castillo, El Terrero, Villa Libertad, Piedras Grandes (*ver Foto 11*), y El Zapotal. Cubre un área aproximada de 132 km², siendo su mayor elevación el Cerro El Castillo con 870 msnm (633428 E – 1404470 N), ubicado al Noroeste del casco urbano de Esquipulas. El relieve de esta subunidad se define por mostrar colinas y cerros con pendientes suaves a inclinadas que varían entre pendientes de 0° a 40° aproximadamente. El drenaje típico de esta subunidad es el subdendrítico debido a la uniformidad en la litología del terreno. Litológicamente esta subunidad está compuesta por rocas ígneas volcánicas de composición basáltica e ignimbrítica.



d) Unidad de Origen Fluvial (F)

Esta unidad está dominada por la acción de corrientes de agua y el transporte de sedimentos sobre la superficie terrestre, estos procesos conllevan la formación de Geoformas características del sistema fluvial, principalmente los abanicos, llanuras aluviales y terrazas aluviales.

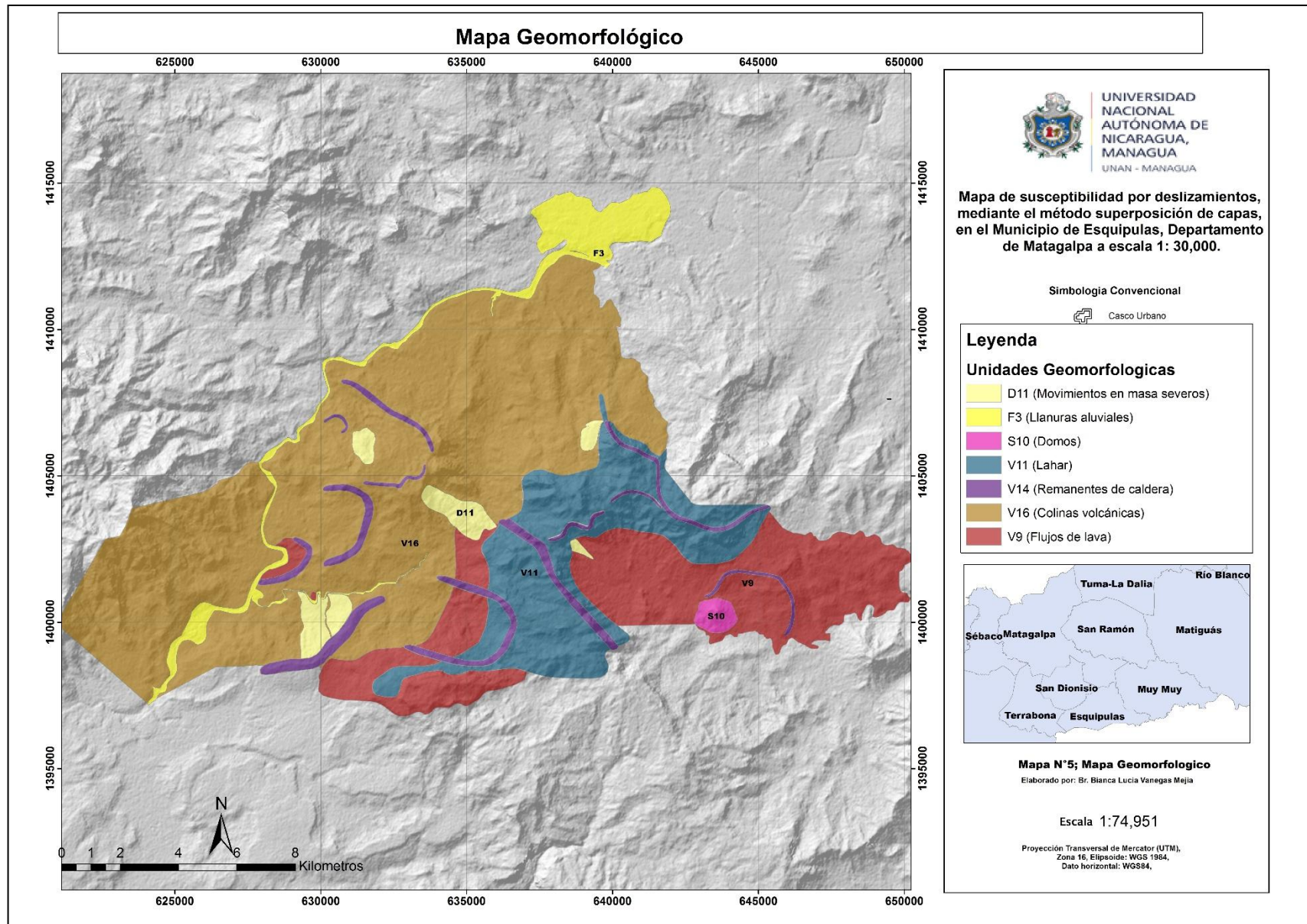
- **Sub Unidad de Llanuras Aluviales (F3)**

Esta unidad se encuentra ampliamente distribuida en la parte NW y SW del área de estudio. El relieve se caracteriza por tener llanos con pendientes suaves que varían entre pendientes de 0° a 20° aproximadamente. La topografía es casi plana y escasamente irregular con curvas de nivel bastante separadas y elevaciones que oscilan entre los 300 msnm. El drenaje se caracteriza por ser tipo detrítico hacia el Norte del área de estudio en las localidades El Terrero, Quebrada Grande y La Esperanza.

Litológicamente esta sub unidad está constituida por sedimentos aluviales provenientes de rocas volcánicas, su origen se debe a la deposición de materiales aluviales por parte de los ríos que la atraviesan, los cuales acumulan en forma vertical los diferentes tipos de depósitos aumentando su altura con el tiempo (ver Foto 12).



Foto 12: sub unidad de llanuras aluviales



4.1.2. Geología Local

El ambiente geológico del área de estudio ha sido el resultado de los procesos geodinámicos internos y externos los cuales han influenciado en la formación de estructuras que desde el periodo Neógeno han venido migrando provocando el vaciamiento, colapso y posteriormente formación de los sistemas de calderas resurgentes encontradas en el área de estudio. Durante este periodo fue posible la deposición de material volcánico que ha ido modelando el relieve del sitio exponiendo en la superficie flujos lávico, flujos piroclástico basales, así como también flujos laharicos pertenecientes al grupo Coyoil Inferior- de la época Mioceno reciente a medio.

Durante el levantamiento de campo se determinaron 9 unidades litoestratigráficas (***Ver en Anexo Mapa N°4***) las cuales se describen a continuación de la más antigua a la más reciente:

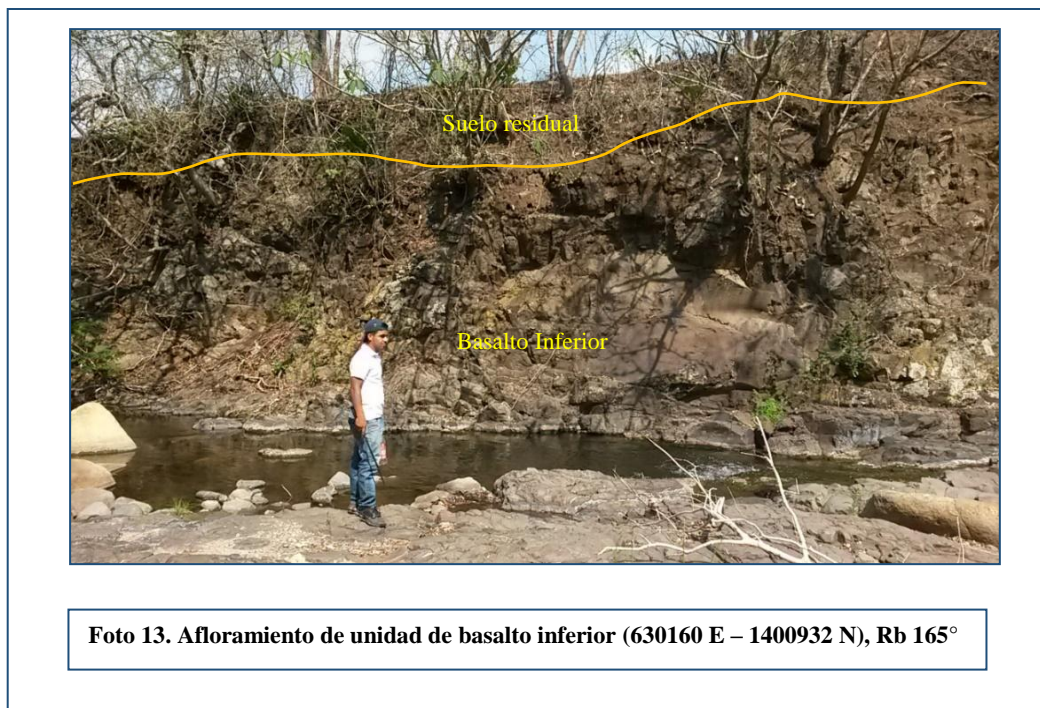
- Unidad de colada Basáltica Inferior (Nmcb (inf))
- Unidad de Toba Cristalina (Nmct)
- Unidad de Ignimbrita soldada inferior (Nmci (inf))
- Unidad de Ignimbrita soldada superior (Nmci (sup))
- Unidad de colada Basáltica Superior (Nmcb (sup))
- Unidad de Domo Basáltico (Nmcd)
- Unidad de Flujo Laharico (Nmcl)
- Unidad de Sedimentos Aluviales (Qal)
- Unidad de Sedimentos de Ladera (Qc)

a) Unidad de colada Basáltica Inferior (Nmcb (inf))

Esta unidad concentrada principalmente en la parte Suroeste del área de estudio, con un espesor aproximado de 2.5 metros constituida por flujos lávicos de composición basáltica, lo cuales constituyen la parte basal de la secuencia estratigráfica. Se encuentra subyaciendo a las unidades de Toba Cristalina, Unidad de Ignimbrita soldada inferior, Unidad de Ignimbrita soldada superior, Unidad de colada Basáltica Superior, Unidad de Domo Basáltico, Unidad de Flujo Laharico, Unidad de Sedimentos Aluviales, Unidad de Sedimentos de Ladera.

Macroscópicamente poseen una textura afanítica y presentan colores oscuros muy sólidos, color que es impregnado por los minerales máficos característicos de la roca, estos varían de negro cuando se encuentran sin ningún tipo de meteorización a café cuando están afectados por meteorización.

Morfológicamente representada en los pisos de antiguas calderas volcánicas, esta unidad aflora en la Quebrada Caulapa cerca de la comunidad El Coyolar (630160 E – 1400932 N) (**Ver Foto 13**). La unidad se encuentra con un grado de fracturamiento medio, dichas fracturas poseen un ancho de 4.5cm y están rellenas de sílice y a su vez de óxido de hierro.



b) Unidad de Toba Cristalina (Nmct)

La unidad de roca se encuentra presente en el sector Suroeste del municipio de Esquipulas, con un espesor aproximado de 15 metros, se encuentra subyaciendo a las unidades de Ignimbrita soldada inferior, Unidad de Ignimbrita soldada superior, Unidad de colada Basáltica Superior, Unidad de Domo Basáltico, Unidad de Flujo Laharico, Unidad de Sedimentos Aluviales, Unidad de Sedimentos de Ladera.

Macroscópicamente está constituida por una textura hipocristalina, presenta cavidades rellenas de cristales de cuarzo y pequeños líticos de composición heterogénea, con cristales de plagioclasas los cuales se están meteorizando a arcilla, la roca está compuesta en su mayoría por material vítreo y cristales (*Ver Foto 14*). La unidad se forma principalmente por la deposición de cenizas y lapilli durante las erupciones piroclásticas con una velocidad de enfriamiento rápida.

Desde el punto de vista geomorfológico esta unidad se distingue por presentarse en los bordes externos de las calderas volcánicas con alturas máximas de hasta 600 msnm; la unidad se encuentra con una meteorización media y con un alto grado de fracturamiento.



Foto 14. Figura de la izquierda muestra Banco de préstamo de material, donde aflora la unidad de roca (633768 E -1402667 N); la imagen de la derecha representa una muestra de mano en la cual el círculo de color rojo indica una cavidad de la roca rellena por cristal de cuarzo, así como también se observa su composición vítreo.

c) Unidad de Ignimbrita soldada inferior (Nmci (inf))

Unidad caracterizada por ser la de mayor extensión en el sitio de estudio, se encuentra presente en el sector NW y SW del municipio de Esquipulas, con un espesor aproximado de 160 metros, está constituida por flujos densos de cenizas calientes que incluye fragmentos de lava enfriados rápidamente y deformados en su caída, muestra alteraciones hidrotermales tipo cloritización y propilitización

La unidad se originó producto del colapso de una columna eruptiva donde los flujos densos de cenizas calientes que incluyen fragmentos de lava enfriados rápidamente y deformados durante su caída, son de tonalidades blanquecino-rosado y aspecto homogéneo, masiva, bien soldadas, fuertemente fracturadas y meteorizadas.

Desde el punto de vista geomorfológico esta unidad se distingue por presentarse en forma de mesas alargadas (*ver Foto 15*) principalmente se presenta en los bordes externos de calderas volcánicas con alturas máximas de hasta 1100 msnm; esta se encuentra subyaciendo a las unidades de Ignimbrita soldada inferior, Unidad de Ignimbrita soldada superior, Unidad de colada Basáltica Superior, Unidad de Domo Basáltico, Unidad de Flujo Laharico, Unidad de Sedimentos Aluviales , Unidad de Sedimentos de Ladera.



Foto 15. Unidad de Ignimbrita en Forma de Mesas, Cerro El Castillo 631123 E – 1405841 N

Macroscópicamente la unidad se caracteriza por presentar una matriz microcristalina, con un 10% de minerales de mica (*ver Foto 16 y 17*), se pueden observar líticos accidentales de composición heterogénea, así como también pómez aplastadas (*ver Foto 18*) las cuales quedaron de esta



Foto 16. Muestra de mano unidad de roca Ignimbrita (631123 E – 1405841 N)



Foto 17. Circulo de color rojo muestra fragmento de pómez aplastada.



Foto 18. El circulo de color rojo indica los minerales en este caso se encuentra presenta mayormente las Micas.

manera debido a las elevadas presiones al momento de la deposición del material.

d) Unidad de Ignimbrita soldada superior (Nmci (sup))

La Unidad de roca se encuentra presente en el sector Noreste del municipio de Esquipulas (*ver Foto 19*), con un espesor aproximado de 35 metros. Constituida por flujos densos de cenizas calientes que incluye fragmentos de lava enfriados rápidamente y deformados en su caída.

La unidad se originó producto de flujos densos de cenizas calientes que incluyen fragmentos de lava enfriados rápidamente y deformados durante su caída, en el caso de esta unidad se depositó a

una temperatura diferente a la de la Ignimbrita inferior, dejando como evidencia en la roca una tonalidad marrón muy marcada y fiames muy representativos de estas rocas félsicas (*ver Foto 20*).

Desde el punto de vista geomorfológico esta unidad se distingue por presentarse en forma de mesas alargadas principalmente se presenta en los bordes externos de calderas volcánicas en este caso en el extremo Noroeste de la caldera La Luna, con alturas máximas de hasta 900 msnm; la unidad se encuentra medianamente meteorizada y con un grado de fracturamiento medio a alto esta se encuentra sobreyaciendo a las unidades de colada Basáltica Superior, Unidad de Domo Basáltico, Unidad de Flujo Laharico, Unidad de Sedimentos Aluviales, Unidad de Sedimentos de Ladera.



Foto 19: Afloramiento unidad de Roca Ignimbrita carretera Muy Muy; (640361 E – 1405841 N)



Foto 20: círculo de color rojo indica el fiame de la roca Ignimbrita.

e) Unidad de colada Basáltica Superior (Nmcb (sup))

Esta unidad está concentrada en la parte Sureste del área de estudio, con un espesor aproximado de 20 metros, constituida por flujos lávicos de composición basáltica, la unidad se encuentra meteorizada a arcilla, y sus minerales como piroxenos se están alterando a óxido de hierro. Se encuentra Sobreyaciendo a las unidades de Domo Basáltico, Unidad de Flujo Laharico, Unidad de Sedimentos Aluviales, Unidad de Sedimentos de Ladera.

Macroscópicamente poseen una textura afanítica y presentan colores oscuros muy sólidos, estos varían de negro cuando se encuentran sin ningún tipo de meteorización a café cuando están afectados por meteorización.

Morfológicamente está representada en los pisos de antiguas calderas volcánicas, como se observa en la caldera La Luna, a su vez en menor grado está representada por cerros alargados (Eje. Santa María de 1183 msnm), esta unidad aflora en la parte alta del cerro Santa María, se puede observar que debido al fracturamiento y rápido enfriamiento del flujo lávico tiene una forma columnar (*ver Foto 21 y 22*).



Foto 21: Afloramiento unidad de Roca Basáltica Cerro Santa María (642711 E – 1397331 N)



Foto 22: Se observa la forma columnar que tiene la unidad, así como también el grado de meteorización (642711 E – 1397331 N)

f) Unidad de Domo Basáltico (Nmcd)

Unidad centralizada en la parte Sureste del área de estudio, con un espesor aproximado de 100 metros, constituida por un Domo de composición basáltica, presentado meteorización a arcilla, esta subyacente por las unidades de Flujo Laharico, Unidad de Sedimentos Aluviales, Unidad de Sedimentos de Ladera.

Macroscópicamente posee una textura afanítica (*ver Foto 23*), rica en silicatos de hierro, la unidad presenta colores oscuros muy sólidos color que es impregnado por los minerales máficos característicos de la roca. Morfológicamente está representada por un cerro de 748 msnm, ubicado en la comunidad Cumaica Norte al Sureste del casco urbano de Esquipulas (*ver Foto 24*).

g) Unidad de Flujo Laharico (Nmcl)

Caracterizado por un flujo de escombros con mala clasificación y consistencia similar al concreto se encuentra mayormente en la parte superior del cerro Santa María con un espesor aproximado de 15 metros (*ver Foto 25*). En el afloramiento se pudo observar una intercalación de material fino (ceniza) y material que contenía materiales de composición Heterogénea y de diversos



Foto 23: Muestra de mano roca correspondiente al domo basáltico



Foto 24: Se observa Domo de composición basáltica (6423161 E – 1400271

tamaños.

La unidad se forma cuando material volcánico (durante una erupción volcánico o no) se mezcla con el agua meteórica, la de escorrentía superficial, los materiales se mezclan logrando una masa que se desliza transportándolos por los barrancos y cauces fluviales que tienen sus cabeceras en las laderas del volcán.

Desde el punto de vista morfológico esta unidad se distingue por presentarse en forma de mesetas alargadas y cerro de gran altura, específicamente situada en el borde externo de la caldera volcánica La Luna y en la parte alta del Cerro Santa María con alturas máximas de hasta 1100 msnm, la unidad se encuentra Sobreyaciendo a las unidades de Sedimentos Aluviales, Unidad de Sedimentos de Ladera.

h) Unidad de Sedimentos Aluviales (Qal)

Esta unidad es originada por los procesos de meteorización, erosión y transporte; el material que ha sido producto de estos procesos es arrastrado desde las partes altas y depositadas en partes bajas por la misma acción del viento y el agua (*ver Foto 26*), se encuentra especialmente en la parte SW y NW de la zona de estudio, con un espesor aproximado de 7 metros, Sobreyaciendo a



Foto 25: Afloramiento de flujo Laharico en la parte superior del Cerro Santa María (632875 E – 1398217 N), la imagen de la izquierda muestra fragmentos de composición heterogénea.

la unidad de sedimentos coluviales. La unidad está constituida por fragmentos de rocas volcánicas angulosas, sub angulosas y sub redondeadas depositados en una matriz arcillo-limoso de color variable, de composición heterogénea (*ver Foto 27*); debido a la alteración de los minerales contenidos en dicha matriz la granulometría de esta unidad está representada por clastos que varían desde centímetros a metros.

Morfológicamente es una zona constituida por un río principal, en este caso el río grande de Matagalpa y pequeñas quebradas como La Danta y Caulapa, como se observa en las comunidades El Terrero, Quebrada Grande, El Naranjo, La Danta y La Luna.

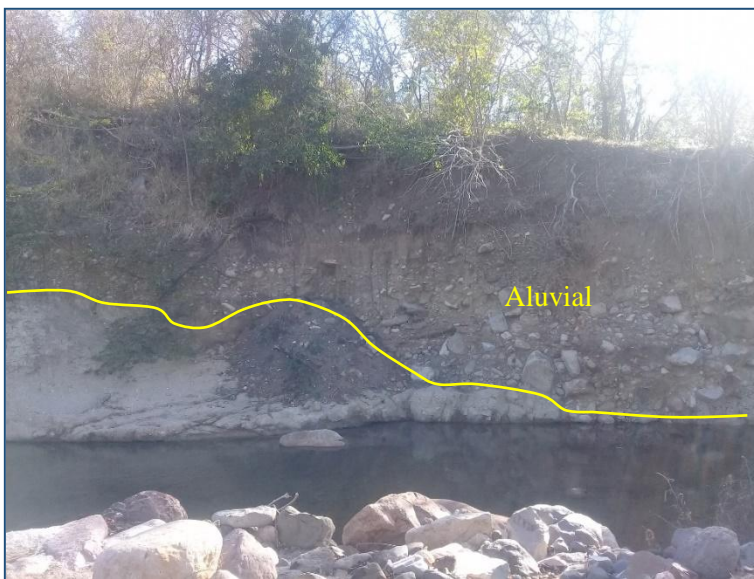


Foto 26: Unidad de sedimentos aluviales, la imagen muestra la pared sur de Quebrada Grande (632674 E – 1401248 N)



Foto 27: en la imagen se puede observar los clastos de composición heterogénea y tamaño variable (631041 E – 1401013 N)

i) Unidad de Sedimentos de Ladera (Qc)

Esta unidad ha sido producto de procesos de inestabilidad de laderas por la acción de la gravedad desde las partes altas y depositadas en partes bajas por la acción del agua no canalizada, se encuentra especialmente en las áreas de movimientos en masa del sitio de estudio, con un espesor aproximado de 0.5 a 1.5 metros (*ver Foto 28*), subyaciendo a las unidades de colada Basáltica Inferior, Unidad de Toba Cristalina, Unidad de Ignimbrita soldada

inferior, Unidad de Ignimbrita soldada superior, Unidad de colada Basáltica Superior, Unidad de Domo Basáltico, Unidad de Flujo Laharico, Unidad de Sedimentos Aluviales.

La unidad está constituida por fragmentos de rocas volcánicas de diversos tamaños y litológica homogénea, englobados en una matriz arenosa. Se caracteriza por tener clastos angulosos a subanguloso distribuidos de forma caótica, sin selección ni estratificación aparente (*ver Foto 29*).

4.1.3. Geología Estructural

4.1.3.1. Entorno Estructural del Área de Estudio

Para la interpretación de la geología estructural, se utilizaron cuatro diferentes tipos de mapas que facilitaron la determinación de estructuras presentes en la zona de estudio, de los cuales a continuación se detallan las diferentes características que posee la zona de estudio obtenido de

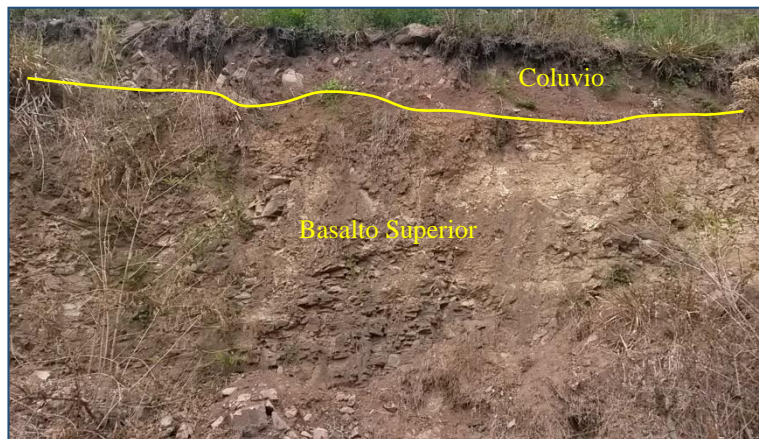


Foto 28: Unidad de sedimentos de ladera o Coluvio en las faldas del cerro Santa María (631783 E – 1399068 N)



Foto 29: se observan los sedimentos de ladera en el deslizamiento de Finca La Garnacha (630821 E – 1400037 N)

cada una de ellos.

✓ **Mapa topográfico**

A simple vista se puede observar el mapa topográfico que el área de estudio es un lugar bastante accidentado debido a la cercanía que poseen las curvas de nivel, se observa con mayor predominio en la parte Sur del sitio de estudio, así como también en la parte Noreste y Noroeste representando zonas escarpadas en el área (*ver Mapa N° 13*).

En base a las curvas se puede diferenciar dos tipos de relieve, uno bajo y suave que corresponde mayormente a zonas de drenaje y una zona alta que cubre la mayor parte del área de estudio.

✓ **Mapa altimétrico**

En este mapa se puede observar la variación de altura diferenciadas por intervalos de colores que vienen desde tonos más claros las zonas más bajas y con tonos más fuertes las zonas más altas (*ver Mapa N° 11*).

Tomando en cuenta lo antes mencionado, en este mapa se pueden observar con mayor claridad las estructuras presentes en el área de estudio y el tipo de relieve que se encuentra, se puede observar relictos de caldera en la porción Sureste del área con alturas máximas de 1,110 msnm, así como una extensa mesa en el sector Noroeste con una elevación de 773 msnm, los cuales exponen bordes con pendientes pronunciadas.

Las zonas más bajas o de relieve bajo se encuentra entre elevaciones de 320 a 480 msnm corresponden a los valles de los ríos concentrados principalmente en la zona Noroeste y Suroeste del sitio. Posteriormente se observa un relieve medio con alturas que van desde 500 a 650 msnm comprenden los bordes y laderas de las zonas. Por último, están las zonas altas cuyas alturas van de 800 a 1120 msnm hay presencia de pendientes moderadas.

✓ **Mapa de pendiente**

En el mapa de pendiente se representa a través de una gama de colores, los colores en grados correspondientes a la inclinación del terreno. Además, se puede diferenciar la geomorfología a partir del cambio de coloración de sus pendientes.

El mapa de pendientes de la zona de estudio presenta tres diferentes patrones morfológicos de acuerdo a los cambios de pendientes presentados por las diferentes gamas de colores (*ver Mapa N° 12*). Por tanto, se pueden visualizar valles y mesetas con pendientes suaves; laderas con pendientes moderadas; y zonas pronunciadas o moderadamente escarpadas con valores representada por tonos de color rojo. A su vez las pendientes representadas por colores amarillos y rojos distinguen estructuras como los pequeños cerros y lomas que se encuentran dentro del área de estudio.

✓ **Mapa de modelo de sombreado**

El mapa de modelado de sombreado es una presentación tridimensional del área de estudio en el cual se puede observar el relieve de la zona de una manera más directa y fácil de apreciar. De esta manera serán perceptibles las estructuras que están dentro del área de estudio, como lo son las fallas, cerros, lineamientos u otro tipo de formación presente

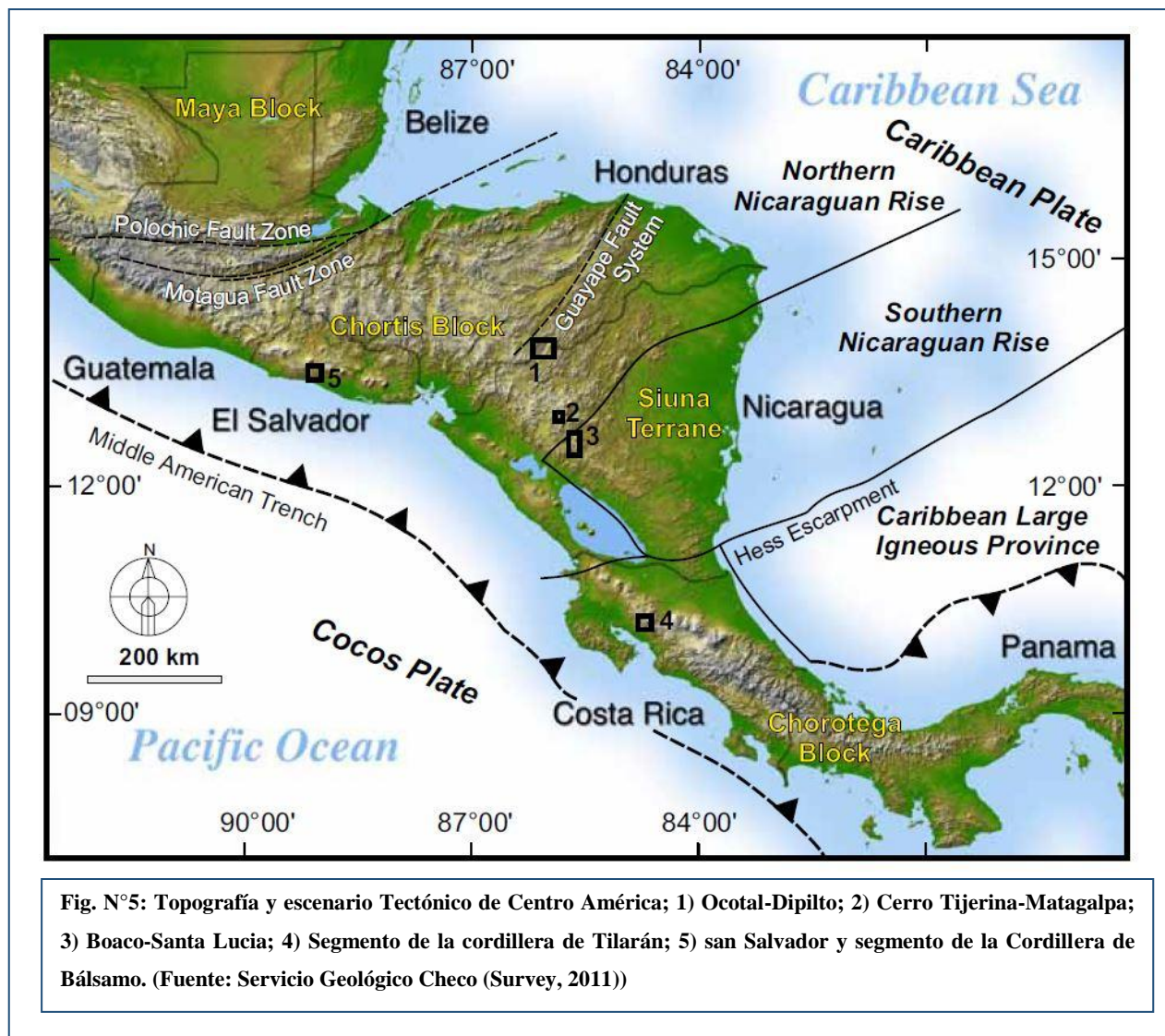
Con ayuda del mapa de modelo de sombra se definen de una manera más fácil y precisa las fallas que se encuentran en el área de estudio. Gracias a esto, las fallas observadas en las fotografías aéreas se pueden verifican con los trazos presentes en el relieve tridimensional que se muestran en este mapa, debido a que este posee un mayor parecido a la imagen en relieve que se observan en fotografías aéreas. Mediante el análisis de los diferentes mapas y según lo visualizado en campo mediante el comportamiento o la cinemática de las estructuras geológicas en el área de estudio se definieron a través de los criterios de Cizalla e indicadores cinemáticos el entorno estructural del área el cual obedece a dos direcciones de máximo esfuerzo el primer patrón va de NE – SW, corresponde a un fallamiento de tipo normal con movimiento lateral derecho y el segundo de NW – SE, corresponde a un fallamiento de tipo inverso con movimiento lateral derecho, estos dos sistemas de esfuerzos regionalmente se atribuyen a dos estructuras; la primera corresponde al límite derecho de la Depresión Nicaragüense con un esfuerzo en dirección hacia NW – SE y con un sistema de falla de tipo normal; el segundo sistema corresponde al terreno Siuna, (*ver Fig. N°5*) el cual según (Rogers, 2007), es un bloque de origen continental que acrecentó al bloque Chortis en el cretáceo tardío.

El régimen de deformación en que se encuentra sometido el sitio de interés es de tipo frágil, debido al alto índice de fracturamiento observable en las visitas de campo; esto se debe a la

perdida de cohesión del macizo rocoso al aplicarse un esfuerzo, el cual supera la resistencia de la roca y esta tiende a fracturarse. Esto dependerá tanto de la composición química, contenido de agua, temperatura, presión confinante de la roca como el tiempo.

Dado que, el área de estudio se formó en un ambiente volcánico y no fue observable la identificación de marcadores estratigráficos en campo que pudieran definir el sentido del movimiento de los bloques, se recurrió a la identificación de indicadores cinemáticos en los macizos rocoso tales como: fracturas en sistemas conjugados, fracturas paralelas, estructuras sigmoidales, estructuras R, harina de falla, sistemas escalonados y brecha de fallas.

4.1.3.1.1. Fases de Deformación



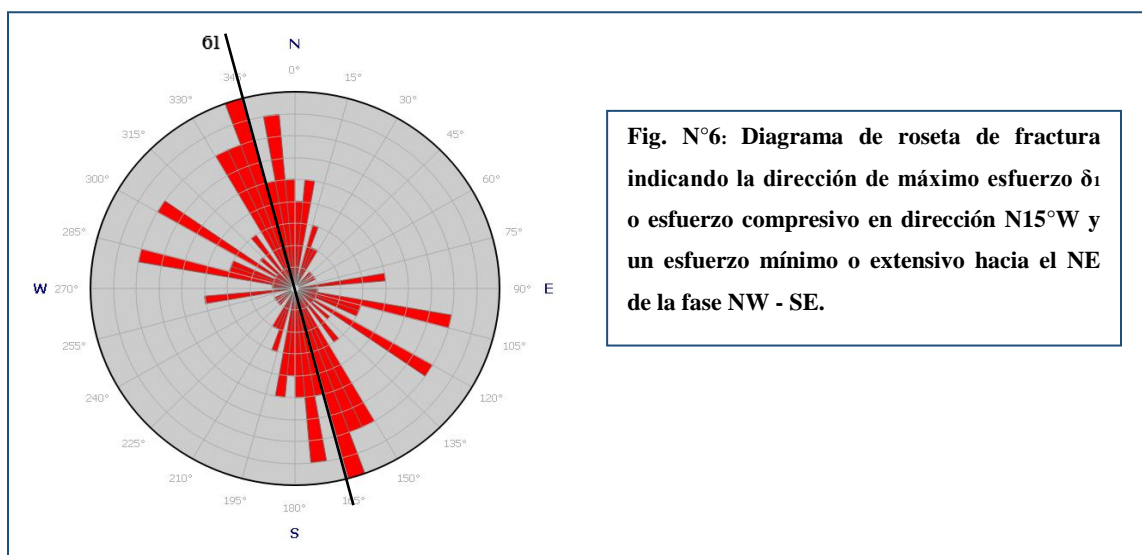
Para establecer el ambiente estructural al que ha estado sometido el área de estudio fue necesario el análisis tanto de roseta de fractura como modelo de sombra, los que sirvieron como guía para determinar que el sitio sometido a esta investigación se encuentra afectado por dos patrones de fallamiento con dirección NW – SE y NE – SW.

4.1.3.1.1.1. Fase NW – SE

Se encuentra constituida por 2 fallas comprobadas en campo (consideradas como fallas normales) y 9 fallas inferidas, las cuales se encuentran segmentadas en su mayoría debido al desplazamiento que han tenido por la fase NE – SW. Reciben su denominación de acuerdo al punto geográfico donde se localizan en: El Naranjo, Lomas de Guadalupe y Quebrada Caulapa (inferida). La exposición de los mejores afloramientos solo fue posible visualizarlos en los lechos de las quebradas debido que los aspectos climáticos de alta humedad generaron espesos suelos y abundante vegetación en el sitio de interés. El análisis de roseta de fractura para esta fase de deformación de actividad tectónica expresa un esfuerzo máximo o compresivo δ_1 en dirección hacia el NW, mientras que al NE se da la dirección de acortamiento es decir esfuerzo extensivo δ_3 , (Ver Fig. N°6).

a) Falla El Naranjo

Localizada en la porción NE del casco urbano del municipio de Esquipulas con una orientación NW, corresponde a una estructura lineal, dividida en 1 segmento, limita con el borde NE del remanente de caldera volcánica La Garnacha. Las coordenadas UTM correspondiente al segmento son: 632280E – 1401238N; 632428E – 1400097N, con una longitud de 0.89 km cerca



de la comunidad La Esperanza.

Caracterizada por coincidir con la zona de Quebrada El Naranjo, la falla se encuentra afectando litológicamente la unidad de Ignimbrita soldada inferior, se estima que esta falla tiene una continuidad en el cerro Santa María en donde se identificó fracturamiento Paralelo.

Para definir la cinemática de esta falla se estudiaron varios afloramientos, en los que se determinaron indicadores cinemáticos como fracturas paralelas, una estructura sigmoidal con rumbo N15°W la cual indica un sentido de movimiento normal (*ver Foto. N°30*), así mismo otra estructura sigmoidal con arreglo anastomosado que indica que la falla posee un sentido de movimiento lateral derecho y terminación en cola de caballo (*ver Foto. N°31*), estos indicadores se observan en quebradas y cortes de camino.

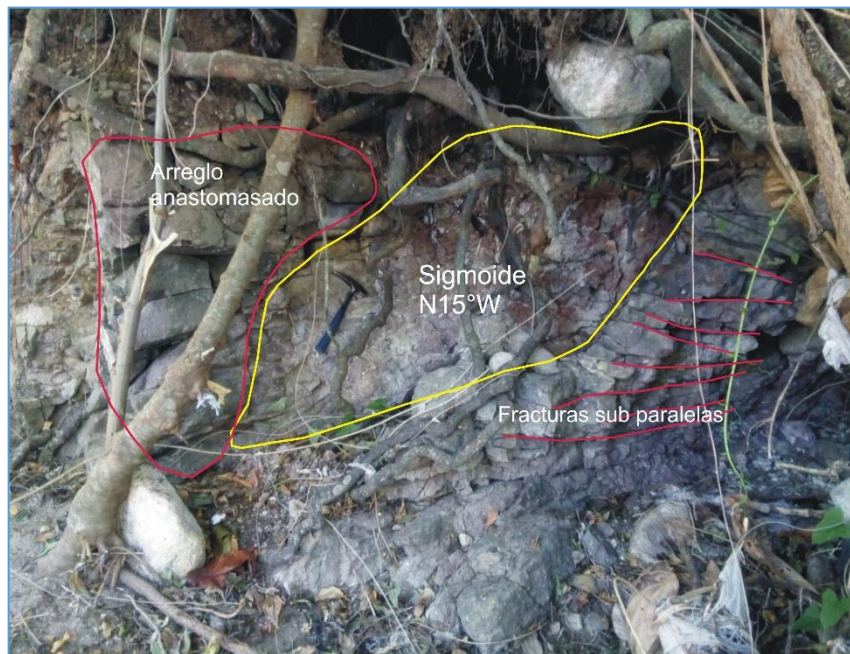


Foto 30. Estructura sigmoidal en la Quebrada El Naranjo (632388 E – 1401267 N).

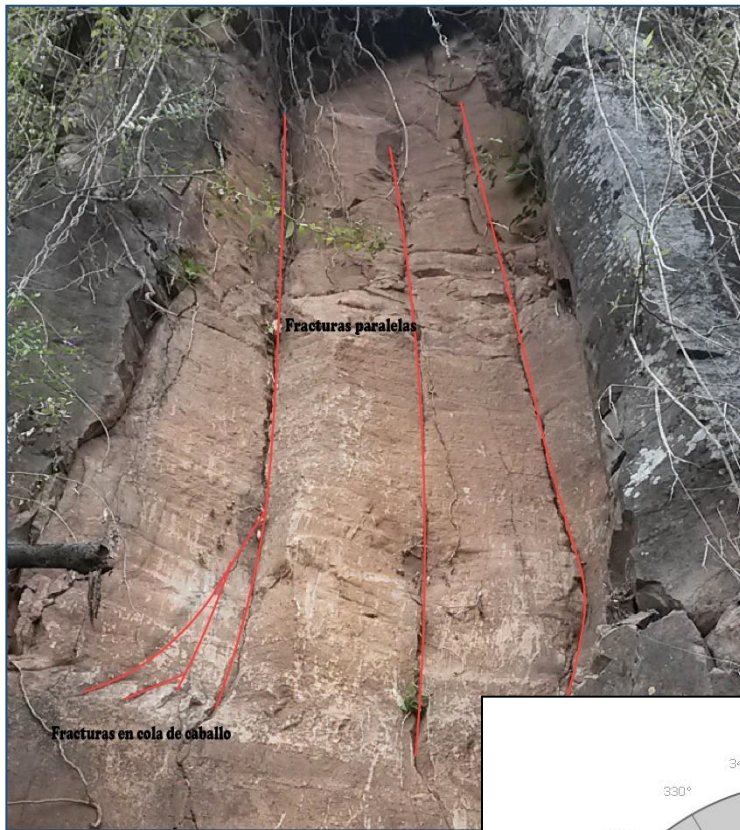


Foto 31. Fracturas paralelas medidas en el extremo Nw del Cerro Santa María (633557 E – 1398178 N), las cuales indican zonas específicas de cizallamiento.

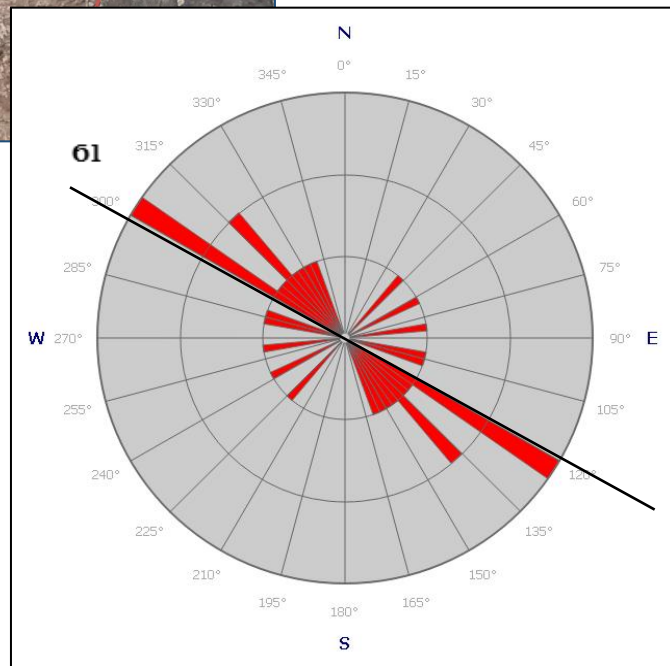


Fig. N°7: Diagrama de Roseta de Fracturas indicando el esfuerzo máximo o esfuerzo compresivo en dirección N60°W.

b) Falla Lomas de Guadalupe

Esta falla se localiza al Sur del área de estudio con una orientación NW; corresponde a una estructura lineal, la cual está dividida en 1 segmento, limita con el borde externo de la caldera La Garnacha. Las coordenadas UTM correspondiente al segmento son: 631336E – 1399803N; 631692E – 1399044N, con una longitud de 0.84 km cerca de la localidad Lomas de Guadalupe.

Se caracteriza por coincidir con una zona de confluencia entre las quebradas de la localidad Lomas de Guadalupe, la falla se encuentra afectando litológicamente la unidad de Ignimbrita soldada Inferior, se estima que esta falla tiene una continuidad hacia la caldera La Garnacha.

La Falla identificada es de tipo normal, para definir su cinemática se estudiaron varios afloramientos, en los que se determinaron indicadores como fracturas paralelas, estructuras en domino las cuales están asociadas a fallas normales (este tipo de falla forma un estilo de deformación en bloques tipo domino), estructuras sigmoidales con arreglo anastomosado lo que indica que la falla tiene un movimiento lateral derecho y fracturas en sistemas conjugados (*ver Foto. N°32 y 33*).



Foto 32. Indicadores cinemáticos medidos a lo largo de la Quebrada Lomas de Guadalupe (631241 E – 1399601 N), indicando principalmente estructuras en domino, y fracturas paralelas.

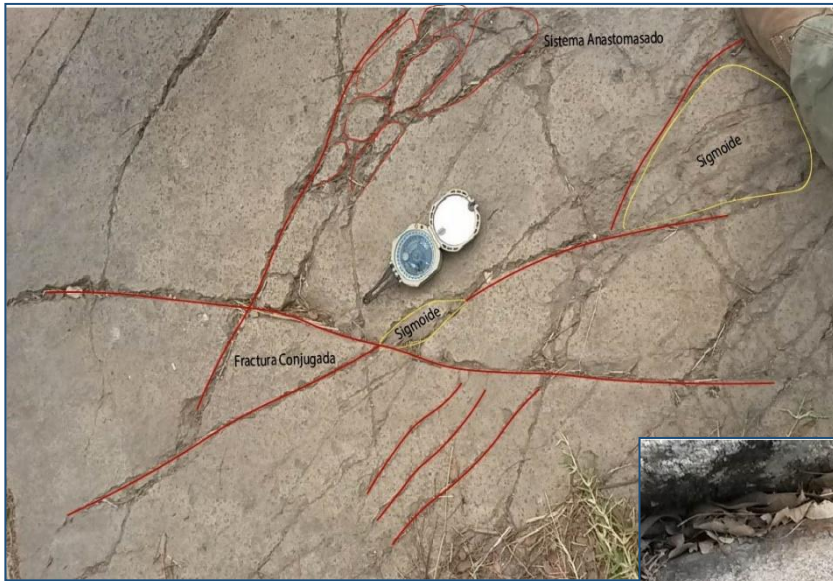
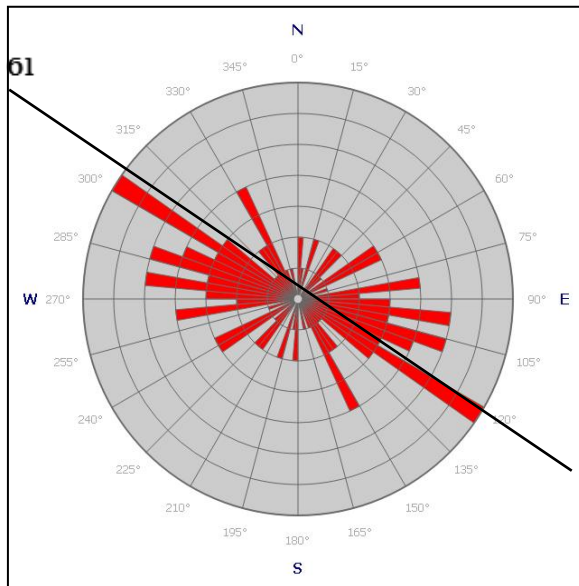


Foto 33. En la imagen de la izquierda se observa estructuras sigmoidales (631280E – 1399499N), fracturas en sistemas conjugado, en la imagen inferior se observa una estructura R.

Fig. N°8: Diagrama de Roseta de Fracturas indicando el esfuerzo máximo o esfuerzo compresivo en dirección N60°W.



c) Falla (inferida) Quebrada Caulapa

Localizada al NW del casco urbano de Esquipulas, con una orientación hacia el NW, corresponde a una estructura lineal, la cual está dividida en 1 segmento, limita con el borde interno de la caldera La Garnacha. Las coordenadas UTM correspondiente al segmento son: 629967E – 1401197N; 630065E – 1400321N, con una longitud de 0.90 km cerca de la localidad El Terrero.

Caracterizada por coincidir con una zona de drenaje superficial y a su vez con la Quebrada Caulapa, la falla se encuentra afectando litológicamente la unidad de Ignimbrita Soldada Inferior, se estima que esta falla tiene una continuidad hacia la caldera La Garnacha específicamente hasta la Finca San Miguel en donde se identificó sistemas conjugados y fracturamiento.

Se estudiaron varios afloramientos en quebradas y cortes de camino, en los que se determinaron indicadores cinemáticos como Fracturas paralelas, Fracturas en sistemas conjugados y zonas de desplazamiento entre fracturas (*ver Foto. N°34 y 35*), sin embargo, aunque se identificaron indicadores estos no fueron suficientes para determinar el tipo de fallas, por ende, se establece como falla inferida.



Foto 34. Indicadores cinemáticos medidos a lo largo de la Quebrada Caulapa (630160 E – 1400932 N), indicando principalmente sistema de Fracturas paralelas y sistemas conjugados.



Foto 35. En la imagen de la izquierda se muestra un sentido de movimiento lateral izquierdo en el desplazamiento entre fracturas.

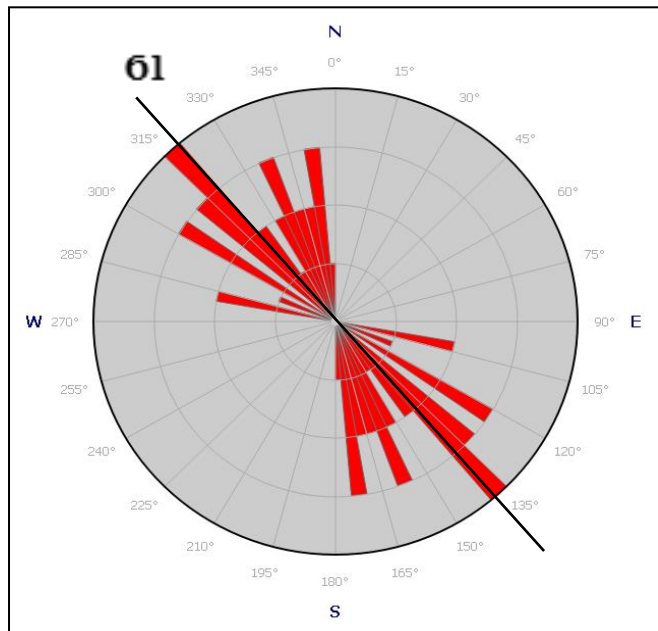


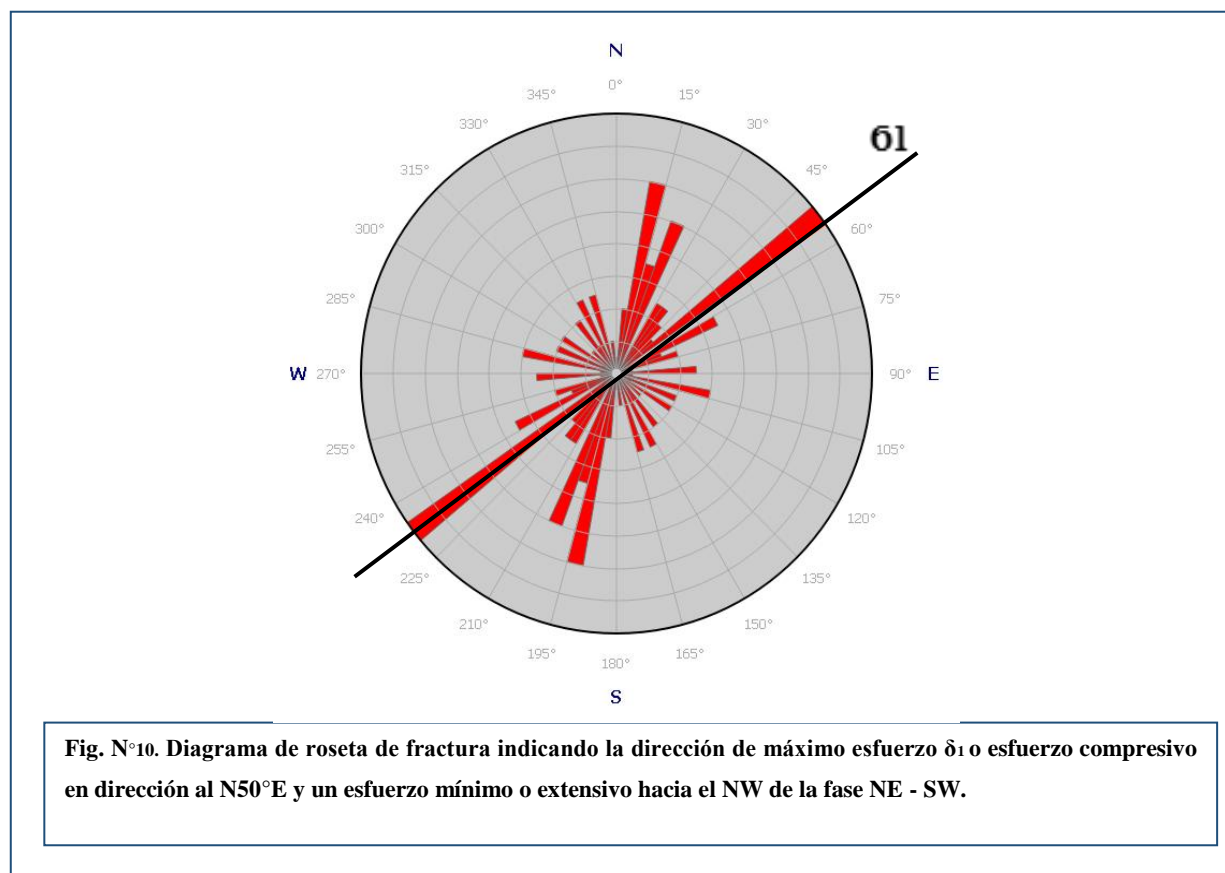
Fig. N°9: Diagrama de Roseta de Fracturas indicando el esfuerzo máximo o esfuerzo compresivo en dirección N45°W.

4.1.3.1.1.2. Fase NE- SW

Se encuentra constituida por 2 fallas comprobadas en campo y 4 fallas inferidas cuya dirección predominante es hacia el NE, determinadas a través de las mediciones de campo y diagrama de roseta de fractura; estas fueron identificadas anteriormente en fotografías aéreas, modelo de sombra e imagen Raster y posteriormente comprobadas en campo.

Reciben su denominación de acuerdo al punto geográfico donde se localizan en: Falla Quebrada Grande (inferida), Falla La Pita (Fallamiento Lútrico de tipo normal) y Falla El Paragüito (Falla inversa). La exposición de los mejores afloramientos solo fue posible visualizarlos en los lechos de las quebradas debido, a que, los aspectos climáticos de alta humedad generaron espesos suelos y abundante vegetación en el sitio de interés

Con los datos recolectados en campo se confecciono un diagrama de roseta de fractura para esta fase de deformación tectónica que indica que el máximo esfuerzo δ_1 está orientado hacia el NE



con un mínimo esfuerzo de acortamiento δ_3 dirigido al NW, (*Fig. N° 10*).

a) Falla El Paragüito

Localizada en la porción NW del casco urbano del municipio de Esquipulas con una orientación NE, corresponde a una estructura lineal, dividida en 2 segmentos, se encuentra desplazando una porción del remanente de la caldera El Castillo. Las coordenadas UTM correspondiente al primer

segmento son: 631374E – 1402226N; 631985E – 1403797N, con una longitud de 1.7 km. El segundo segmento tiene las coordenadas UTM 63414E – 1404104N; 634136E – 1407501N, con una longitud de 3.83 km cerca de la comunidad Valle Santa Ana.

Morfológicamente está representada por zonas escarpadas como lo es el cerro El Castillo, la falla se encuentra afectando litológicamente la unidad de Ignimbrita Soldada Inferior.

La falla se identificó como tipo inverso esto debido a que se observó como el techo sube con respecto al piso (*ver Foto. N°37*), para definir la cinemática de esta falla se estudiaron varios afloramientos, en los que se determinaron indicadores cinemáticos como Fracturas paralelas, fracturas en sistemas conjugados, terminación en cola de caballo, Brecha de falla la cual se genera durante procesos de cizalla y estructura sigmoidal con arreglo anastomosado la cual indica un movimiento lateral derecho (*ver Foto. N°36*).

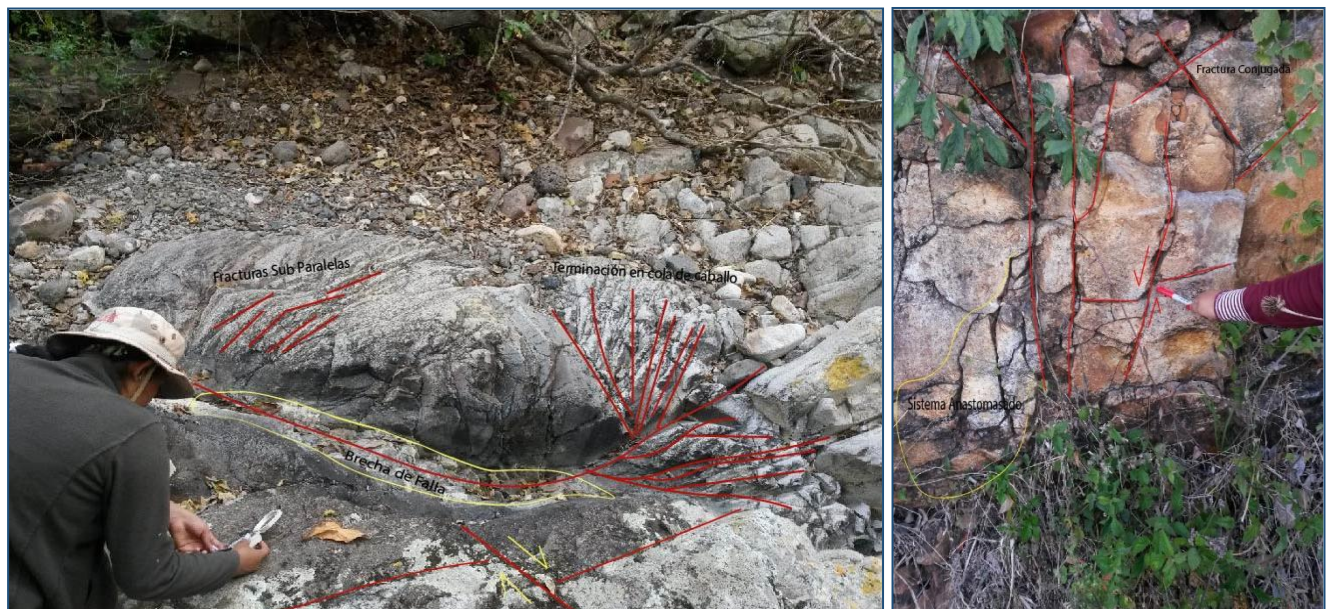


Foto 36. Indicadores cinemáticos medidos a lo largo de la Quebrada El Pinol (631863 E – 1401358 N), indicando principalmente sistema de Fracturas paralelas, terminación en cola de caballo, Brecha de Falla y desplazamiento entre fracturas.

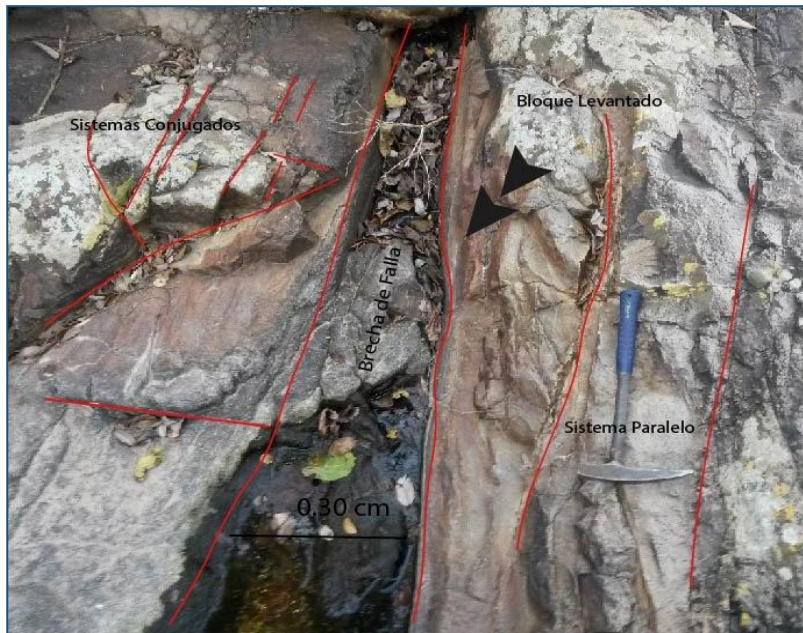
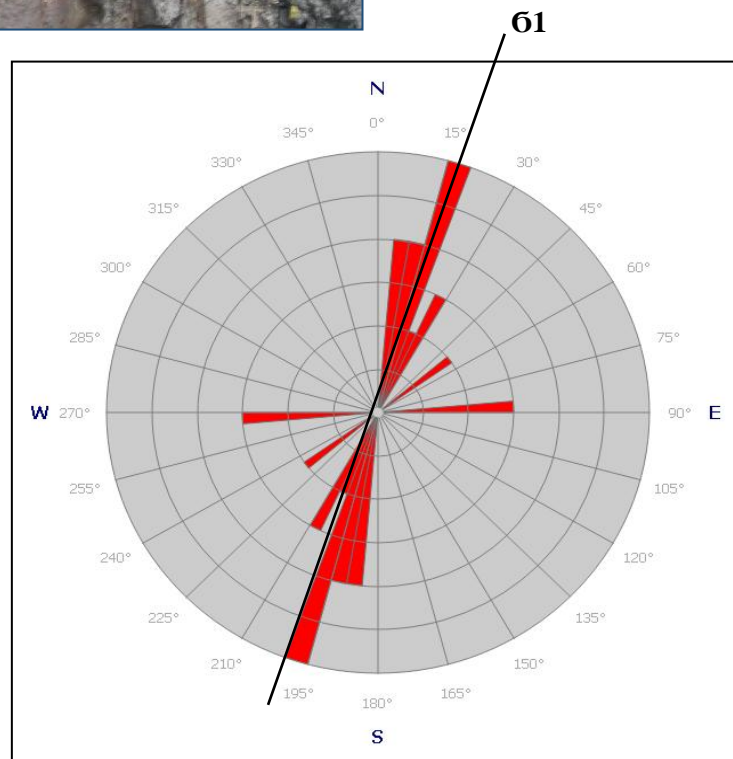


Foto 37. En la imagen de la izquierda se muestra indicadores cinemáticos como sistemas conjugados, fracturas paralelas, a su vez en la imagen se aprecia cual es el bloque levantado, deduciendo que la falla se trata de un tipo inverso.

Fig. N°11: Diagrama de Roseta de Fracturas indicando el esfuerzo máximo o esfuerzo compresivo en dirección



b) Falla (inferida) Quebrada Grande

Localizada en la porción NE del casco urbano del municipio de Esquipulas con una orientación hacia NE, corresponde a una estructura lineal, dividida en 1 segmento, limita con el borde NE del remanente de caldera volcánica La Garnacha. Las coordenadas UTM correspondiente al segmento son: 631692E – 1401195N; 633353E – 1401058N, con una longitud de 1.69 km cerca de la comunidad San Francisco.

Caracterizada por coincidir con la Quebrada Grande y La Danta, la falla se encuentra afectando litológicamente la unidad de Ignimbrita Soldada Inferior.

Se estudiaron varios afloramientos en quebradas y cortes de camino, en los que se determinaron indicadores cinemáticos como fracturas sub paralelas y fracturas en sistemas conjugados (*ver Foto. N°38 y 39*), por otra parte, se observó un desnivel en la geomorfología donde se observaba que el techo sube con respecto al piso, sin embargo, aunque se identificaron indicadores estos no fueron suficientes para determinar el tipo de falla, por ende, se establece como falla inferida.

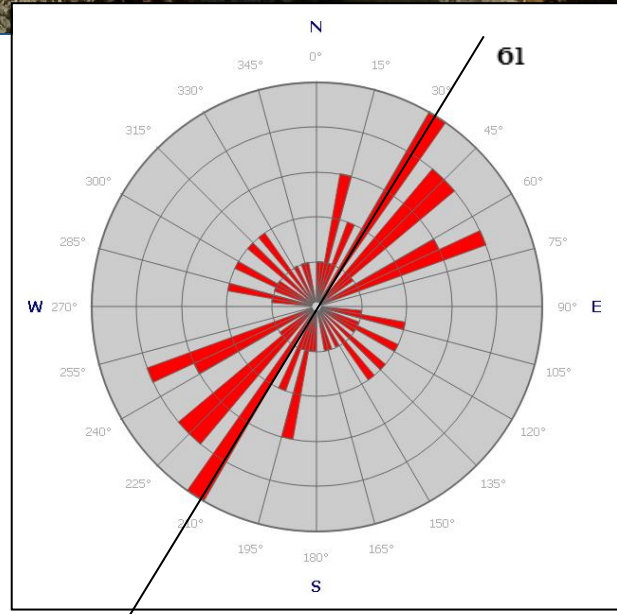


Foto 38. Indicadores cinemáticos medidos a lo largo de la Quebrada Grande (632848 E – 14001215 N), indicando principalmente sistema de fracturas sub paralelas y sistemas conjugados.



Foto 39. La imagen superior muestra fracturas en sistemas conjugados medidos en Quebrada Grande (632848 E – 14001215 N), así como también un fracturamiento principal.

Fig. N°12: La imagen de la derecha muestra el Diagrama de Roseta de Fracturas indicando el esfuerzo máximo o esfuerzo compresivo en dirección N30°E.



c) Falla La Pita

Localizada al SE del casco urbano de Esquipulas, con una orientación hacia el NE; corresponde a una estructura lineal, la cual está dividida en 2 segmentos, limita con el borde interno de la caldera Santa María. Las coordenadas UTM correspondiente al primer segmento son: 633176E – 1399361N; 6331445E – 1399924N, con una longitud de 0.57 km, las coordenadas correspondientes al segundo segmento son: 633205E – 1400117N; 633523E – 1400657N, con una longitud de 0.65 km.

Se caracteriza por estar ubicada dentro de la caldera Santa María, la falla se encuentra afectando litológicamente la unidad de ignimbrita soldada inferior y a su vez corta la unidad de toba cristalina. La estructura identificada posee un fallamiento listrico de tipo normal (está haciendo rotar la estructura sigmoidal) (*ver Foto. N°39*), para obtener la cinemática de esta falla se estudiaron varios afloramientos, en los que se determinaron indicadores cinemáticos como estructura sigmoidal la cual tiene un rumbo N10°E, que a su vez indica un sentido de movimiento normal y fracturas paralelas (*ver Foto. N° 40*).

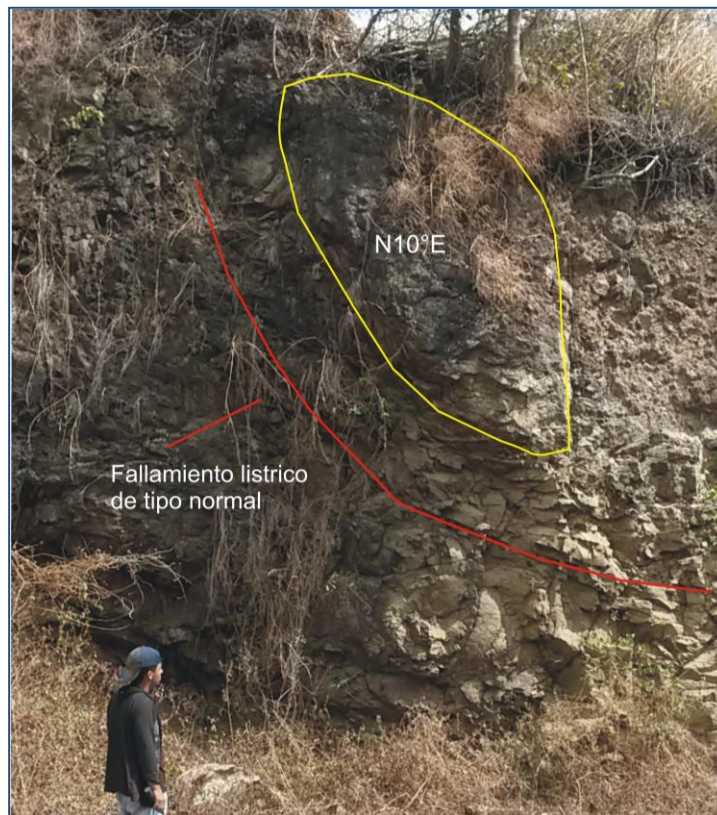


Foto 39. Indicadores cinemáticos medidos a lo largo de un corte de camino en la Comarca La pita (633701 E – 1399212 N), indicando una estructura sigmoidal en dirección N10°E.

Foto 40. La imagen superior muestra indicadores cinemáticos como estructura sigmoidal, fracturas en sistema conjugado, Brecha de Falla y fracturas paralelas (633768E – 1402667N).

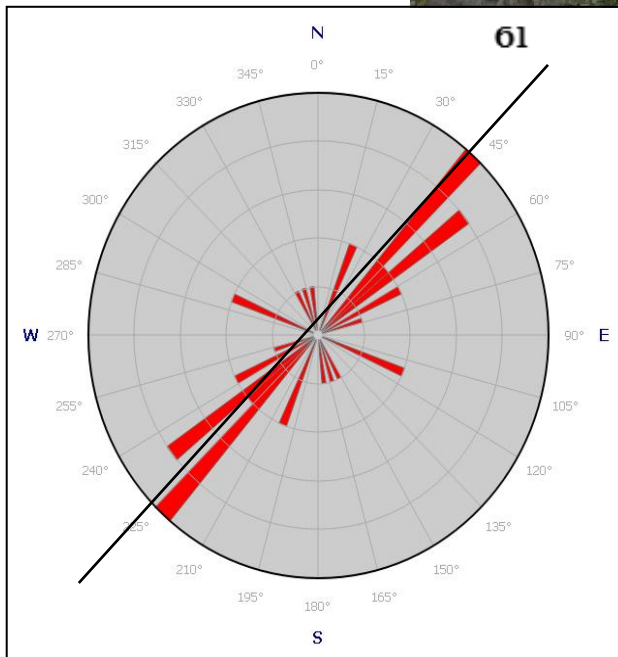


Fig. N°13: Diagrama de Roseta de Fracturas indicando el esfuerzo máximo o esfuerzo compresivo en dirección N40°E.

4.1.4. Inventario de deslizamientos

Con la información obtenida en las fichas de identificación de deslizamiento se elaboró un inventario de deslizamiento (*Ver en Anexo Mapa N°9*), el cual está constituido por los siguientes campos: código, tipo de deslizamiento, sitio, área (km²), coordenadas, Litología, pendiente (°), uso de suelo, en total se identificaron 63 deslizamientos (*ver en Anexo tabla N°2*), los cuales se agruparon en 3 grupos, deslizamientos superficiales, Rotacionales y complejos que se describen a continuación.

a) Deslizamientos superficiales

Movimiento en masa que provoca cambio notables en la estructura del suelo, identificado en las comunidades Monte Alegre, Santa Rosa, San Matías, La Luna, El Dorado, San Vicente, Buenos Aires, La Reforma, El Zapotal, El Paraguaito, Cinta Verde, Lomas de Guadalupe y tramo de carretera Esquipulas-Muy Muy, ubicadas principalmente hacia el NW y SE del área. En el área de estudio se considera que los deslizamientos superficiales son los de mayor extensión o proporción en el sitio, a continuación se hace una breve descripción de 2 sitios más relevantes de este grupo.

#1: Cerro Los Ángeles

Departamento: Matagalpa

Municipio: Esquipulas

Coordenadas: E: 642074, N: 1402534

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento Superficial

Sitio ubicado 15 km al NW del Municipio de Esquipulas en el cerro Los Ángeles, caracterizado como un deslizamiento superficial, en una pendiente de 13°-15°, en este se identificó un proceso muy activo, de igual manera se identificaron indicadores de inestabilidad de ladera como, es reptación de suelo, escalones visibles de 1.5 a 2m y superficie de depósitos de deslizamientos previos. Se identificaron 3 escarpes el primero en las coordenadas: 642110E / 1402476N, el segundo 642045E / 1402510N y el tercero 642033E / 1402527N (*ver foto N°41 y 42*).

Litológicamente corresponde a una roca basáltica moderadamente meteorizada, la cual permite la infiltración de agua, formando pequeños ojos de agua en épocas de invierno, en la parte superior a 2m de la Corona del deslizamiento se ubicada una vivienda.



Foto 41



Foto 42

Foto 42., Tercer Escarpe coordenadas: 642033E / 1402527N, 11B, se muestra un pequeño flujo de suelo ubicado en el extremo Este del cerro Los Ángeles, de 2.5metros de ancho x 3m de alto. El círculo de color rojo indica la casa ubicada a 2m de la corona del deslizamiento

#2 El Zapotal, Caserío Los Garcias

Departamento: Matagalpa

Municipio: Esquipulas

Coordenadas : E: 635999, N: 1404872

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento Superficial

Dimensiones: 110 metros de ancho x 38 metros de largo.

Sitio ubicado 4.5km al NE del casco urbano de Esquipulas, con una elevación de 458 msnm y una pendiente de 15°-22° hacia el Este. En el sitio se identificó un deslizamiento superficial generado el día 15/08/19 a causa de las intensas precipitaciones, aunque esta emplea el papel de

factor detonante, las malas prácticas humanas en este caso los ángulos en los cortes de carretera influyeron en la inestabilidad del terreno.

El deslizamiento catalogado como superficial tiene un ancho de 110m y 38m de largo (*ver foto N° 43*). Litológicamente representado por sedimentos de ladera (Qc) el cual subyace a una Ignimbrita soldada del coyol inferior.



Foto 43. Deslizamiento superficial en las coordenadas 635999/ 1404872. La línea de color rojo muestra el escarpe del deslizamiento y la Línea de color amarillo la dirección del deslizamiento.

b) Deslizamientos Rotacionales

Movimiento definido a lo largo de una superficie de rotura en forma circular, identificado en las comunidades El Gorrión, La Luna y Anonal, ubicadas principalmente hacia el NE y SE del área de estudio, se desarrollan en terrenos homogéneos poco cohesivos, y suelen involucrar volúmenes pequeños, así como de gran tamaño, a continuación, se hace una breve descripción de los sitios más relevantes de este grupo.

#1: Sector La Luna

Departamento: Matagalpa

Municipio: Esquipulas

Coordenadas : E: 638381, N: 1402571

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento Rotacional

Dimensiones: Superficie de Ruptura 180 metros.

Se sitúa a 25 km al NE del casco urbano de Esquipulas, caracterizado por ubicarse en la ladera SW de una antigua caldera volcánica, del mioceno (Grupo Coyol inferior) conocida comúnmente como La Luna, comprenden varios relictos de centros volcánicos, así como la formación de calderas coalescentes, el límite de esta caldera presenta una pared de más de 400 m de altura y una pendiente de mayor de 30% al NE. En las coordenadas 638267/ 1402553 se identificó un deslizamiento del tipo rotacional en el cual se identificaron dos escarpes, el primero presenta 180 m en su longitud en su zona de ruptura, con una profundidad de 6 m. este afecto el camino que comunica la comunidad la Luna con Esquipulas.



Foto 44. Deslizamiento rotacional en las coordenadas 638267/ 1402553, afectando el camino que conduce a la comunidad La Luna.

a) Deslizamientos Complejos

Considerados como mecanismos antiguos de evolución lenta, interfieren mecanismo combinados debido a su larga evolución, en el área de estudio están localizados en la localidad San Vicente y La Garnacha hacia el NE y SE del sitio, a continuación, se hace una breve descripción de los sitios más relevantes de este grupo.

Sitio#1 Comunidad El Terrero / Finca La Garnacha

Departamento: Matagalpa

Municipio: Esquipulas

Coordenadas : E: 630828, N: 1400346

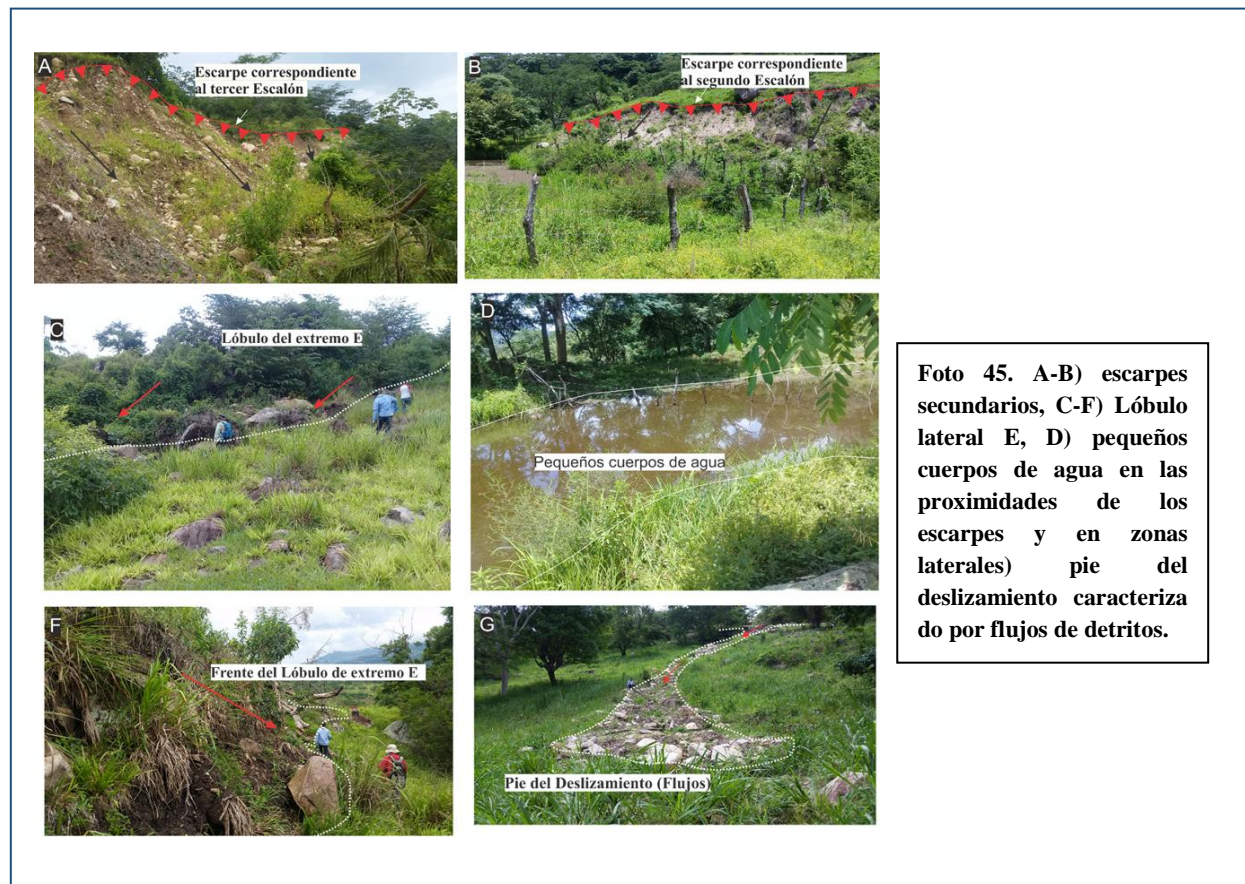
Tipo de deslizamiento: Deslizamiento Complejo

Dimensiones: Superficie de ruptura 350 metros

Deslizamiento ubicado en el extremo Noroeste del casco urbano de Esquipulas en donde se identificó un escarpe principal, ubicado en las coordenadas 069075/1399904 con una profundidad estimada de 60 m, el cual corresponde a un escarpe tectónico que limita el borde NW de una pequeña caldera volcánica del tipo resurgente, perteneciente al Mioceno (Grupo Coyol inferior).

A su vez se identificaron 3 escarpes secundarios los cuales se ubican en las coordenadas 060875/1399911, 0630740/1399948, 0630772/1400056, (**Ver Foto 45-A, B**) caracterizados por la presencia de pequeños cuerpos de agua temporales, los cuales tienen una orientación NE-SW. (**Ver Foto 45.C-F**).

Litológicamente se caracteriza por presentar un horizonte de suelo coluviales, con una matriz limo-arcillosa de coloración blanquecina, con clastos, heterogéneos, ángulos a sub redondeados, estos clastos en su mayoría se describen como una Ignimbrita, de coloración rosácea, de grano fino del tamaño lapilli, con una matriz cristalina, con abundantes líticos de coloración rojiza y



abundantes fragmentos de pómez (generalmente de varios mm a cm de diámetro, (*Ver Foto. 45. A-B y Figura N°14*).

Se estimó una zona de ruptura de 350 m de longitud, la zona de acumulación es de 260 m, con un ancho promedio de 640 m y una longitud de 940 m, la dirección preferencial N35W. En el extremo E se pudo identificar un lóbulo lateral de más de 10 m de altura y un ancho promedio de 100 m, en este se pudieron observar árboles que han sido volcados y están siendo desplazado, así como grandes bloques de roca que de igual manera están siendo transportado, tanto en las zonas laterales como en su zona frontal.

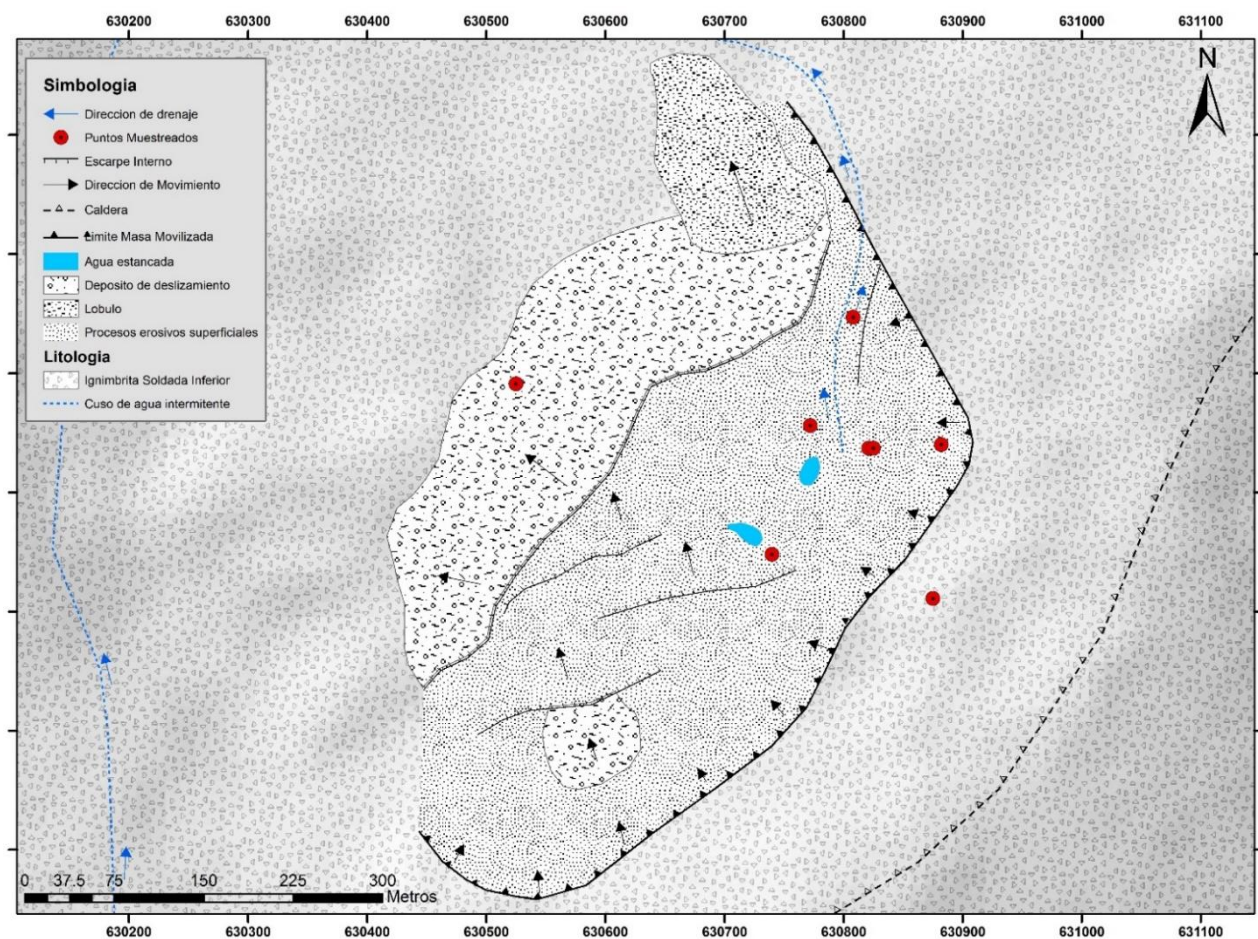


Fig. N °14. Esquema de deslizamiento Complejo en Finca La Garnacha

Sitio#2 Finca San Vicente

Departamento: Matagalpa

Municipio: Esquipulas

Coordenadas: E: 639165; N: 1406842

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento Complejo

Dimensiones: Superficie de ruptura 36 metros

La hacienda San Vicente se ubica a 10 km al NE del casco urbano de Esquipulas, en el extremo W de un cerro llamado Cerro EL Gorrión, el cual tiene una elevación de 1165(msnm) y una pendiente de 40-45 % hacia el E, cabe mencionar que es una de las mayores elevaciones en el área, morfológicamente se caracteriza por remanentes de estructuras de calderas volcánicas, así como describir una pendiente escarpada la cual oscila entre 30-80%.

Se identificó un deslizamiento complejo ubicado en las coordenadas 0639144/1406170 en el extremo S de la hacienda San Vicente, en este se identificaron dos escarpes, los cuales conforman dos escalones de un deslizamiento muy activo, de igual manera se identificaron indicadores de inestabilidad de ladera como lo es reptación de suelo, escalones visibles y superficie de depósitos de deslizamientos previos (*Ver foto N°46*).



El primer escalón identificado encampo tiene 80m de longitud en su en su corona, con un escarpe de 85 cm a 1 m de altura, con una longitud de 100 m.

Litológicamente corresponde a depósitos coluviales, esto a partir de acumulaciones constituidas por materiales de diverso tamaño, con clastos heterogéneos en composición, siendo estos bloques de origen Ignimbrítico y laháricos inmerso en una matriz limo arenosa, no se identificaron estratificación ni selección, este tipo de depósitos es muy común en las vertientes del territorio con grandes pendientes, estos se formaron por alteración y desintegración in situ de las rocas ubicadas en las laderas superiores adyacentes, así como la acción de la gravedad (*Ver Fig. N°15*).

El segundo escalón se ubica en las coordenadas 638955/1406439, a 279 m del primer escalón evidenciado, este tiene, 95 m de longitud en su corona, con un escarpe de 4.20 m de altura, la zona de ruptura es de 36 m, y 40m en de zona de acumulación.

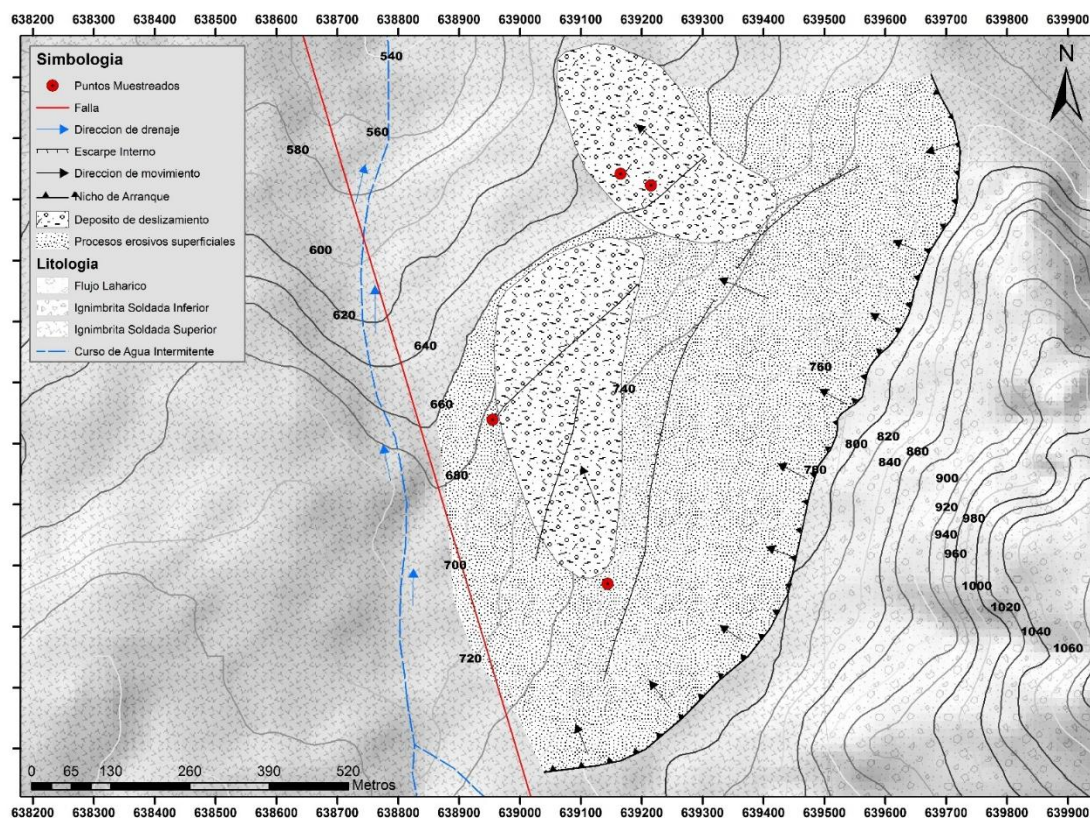


Fig.

N°15. Esquema de deslizamiento Complejo en Finca San Vicente.

Sitio#3: Finca San Vicente

Departamento: Matagalpa

Municipio: Esquipulas

Coordenadas : E: 639215, N: 1406823

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento Complejo

Dimensiones: Superficie de Ruptura 152 metros

Este se sitúa en las coordenadas 639215/ 1406823, a 37 m al SE, de la hacienda San Vicente, en cual se identificaron 3 escarpes correspondientes a un deslizamiento complejo, así como muchas grietas transversales con más de 10 cm de ancho. El primer escarpe tiene 80 cm de profundidad y 25 m de longitud en su corona, el segundo escalón se sitúa a 126 metros hacia el Este, con 67 m de longitud en su corona de 10-20 cm de profundidad en su escarpe, el tercer escape presenta 40 m en su corona y un escarpe de 7 m (*ver foto N° 47*).

Litológicamente se caracteriza por presentar un horizonte de suelo coluviales, con una matriz limo-arcillosa de coloración rojiza, con clastos heterogéneos, anguloso. La longitud estimada de inestabilidad es de 750m, en su franco derecho se identificó una subsidencia de 10 a 20 cm. Se estima una zona de ruptura de 152 m. en toda la ladera de este cerro (El Gorrión) además de los deslizamientos cartografiados se identificaron indicadores de deslizamientos como lo es la reptación de suelo, lo cual indica que es una zona muy inestable.



4.1.5. Análisis de factores condicionantes y desencadenantes

a) Factores condicionantes del área de estudio

Dentro de los factores condicionantes que se pudieron identificar durante el levantamiento de campo se encuentran principalmente los de carácter geológico, en este caso la Litología la cual dentro de la variedad de factores condicionantes que inciden en los procesos de inestabilidad de ladera se considera un factor permanente, en el caso del área de estudio la litología está comprendida por rocas volcánicas del periodo terciario, estas se encuentran en su mayoría con grados de fracturamiento alto y a su vez afectadas por procesos de meteorización y alteración hidrotermal somera.

En el caso de los factores geomorfológicos se identificó que la pendiente y el relieve de la zona tienen una gran incidencia, el hecho de que el sitio de estudio se encuentra inmerso en un sistema de calderas resurgentes da lugar a sitios con altas pendientes.

b) Factores desencadenantes del área de estudio

Tomando en cuenta el entorno geológico del municipio de Esquipulas se identificaron los siguientes factores desencadenantes, primeramente, los de ámbito natural como lo son las intensas precipitaciones, las cuales toman el papel de disparadores de un evento, para tener un mejor dato de este factor se hizo uso del Mapa de Precipitación Media Anual, elaborado por INETER en el año 2019, donde se tomó en cuenta los datos de 146 estaciones meteorológicas en el periodo del año 1971 al año 2010. El Mapa refleja los datos de precipitación anual para el territorio nacional, donde el área de estudio registra desde 800 mm a 1400 mm de lluvia anualmente (*Ver en Anexo Mapa N° 6, Precipitación Media Anual en Milímetros Período 1971 – 2010*).

Por otro lado, si bien es cierto el sitio de estudio no es considerado un lugar altamente sísmico conviene tomar en cuenta este factor detonante, debido a que Nicaragua es un país geodinámicamente activo, para ello se hizo uso del catálogo de sismos brindado por el área de sismología de INETER, en donde se tomó en cuenta un periodo de 42 años comprendidos del año 1975 a 2017, en el catálogo se identificó que los sismos con mayor magnitud oscilan entre los 2.9 y 3.1 grados de magnitud (*Ver en Anexo Mapa N° 7, Mapa de Epicentro de Sismos Período 1975 - 2017*).

Otro factor desencadenante identificado es el uso de suelo, en este caso se tomó de referencia el Mapa de uso actual de suelo a nivel Municipal, brindado por la Dirección de Ordenamiento Territorial del INETER, así como también de la información levantada en campo y en el caso de la región, los suelos presentan potencial de uso diverso, por ejemplo, los suelos son mayormente de uso agrícola estos son considerados suelo profundos y moderadamente profundos. En el caso de los suelos con uso potencial forestal son profundos con texturas finas en todo el perfil, propensos a erosionarse; en terrenos con rangos de 15% hasta 75% de pendiente y relieve fuertemente inclinado a muy escarpado estos suelos ocupan más del 80% del área total del municipio (*Ver en Anexo Mapa N° 8, Mapa de Uso de Suelo*).

El último factor desencadenante identificado está relacionado con las malas prácticas humanas como es el caso de cortes de carretera, estos influyen en el desarrollo de los deslizamientos, en el caso de Esquipulas muchas de las carreteras principales y acceso a comunidades se encuentran afectados por deslizamiento la razón principal radica en los ángulos de corte al momento de construir caminos rurales y carreteras.

4.1.6. Cálculo de Susceptibilidad

Un mapa de susceptibilidad contiene información sobre los tipos de movimientos en masa, áreas más probables para su ocurrencia e incluso áreas posiblemente afectadas, el mapa de susceptibilidad puede considerarse en sí mismo un producto final que puede usarse directamente en la planificación territorial.

Existen diferentes métodos para el análisis de susceptibilidad por movimientos en masa, cuya aplicación depende de aspectos tales como el tipo de movimiento en masa, el tamaño del área de estudio, la información disponible, la escala de análisis y el conocimiento de los expertos que ejecutan los estudios.

Para llevar a cabo el cálculo de la susceptibilidad mediante el Método de superposición de capas se hizo uso de diversas herramientas de la caja de ArckToolbox del programa ArcGIS, en donde se tomaron en cuenta 5 Capas (*Ver cuadro de ponderaciones*), a las cuales se le asignó un peso o ponderación en dependencia de la influencia que tenga cada una de ellas, la escala de pesos va de 1 a 5 (la cual es definida por el método de superposición de capas) en donde:

Ponderación	
1	Muy Bajo
2	Bajo
3	Medio
4	Alto
5	Muy Alto

Cuadro de ponderaciones			
Capas	Rangos	Ponderación	% de influencia
Precipitación	800mm	3	20
	1400mm	5	
	1000mm	4	
Deslizamientos	Baja	2	25
	Muy Baja	1	
	Media	3	
	Alta	4	
Geología	Ignimbrita Inferior	5	30
	Aluvial	1	
	Basalto Inferior	1	
	Toba Cristalina	2	
	Ignimbrita Superior	4	
	Basalto Superior	4	
	Flujo Laharico	3	
	Domo Basáltico	1	
Pendiente	Alta	4	10
	Moderada	3	
	Baja	2	
Uso de suelo	Ciudades, Poblados	1	15
	Bosque Latifoliado	2	
	Vegetación arbustiva	3	
	Cultivo Anual	4	
	Cultivo Permanente	4	

En el caso de la capa de precipitación la ponderación para cada uno de sus rangos fue determinada en base a la cantidad de precipitaciones en el área y se tomó en cuenta de que manera está incidiendo en la generación de procesos de deslizamiento cada rango que constituye la capa, posteriormente el porcentaje de influencia se obtuvo del análisis global de la capa.

La capa de deslizamientos posee 4 rangos los cuales van de amenaza muy baja a alta, esto en dependencia del impacto que tiene hacia la población y su medio de vida principal en este caso como la clasificación de los rangos coincide con la ponderación que establece la metodología, simplemente se ubicó el rango de ponderación de 1 a 4. Por otra parte, la capa de geología con 8

rangos posee ponderaciones desde 1 a 5, estos datos fueron definidos en base al estado de la roca, en este caso se le dio mayor peso a las ignimbritas soldadas debido a que estas se encuentran muy meteorizadas y afectadas por alteración hidrotermal somera, además que muchas de las unidades se encuentran con grados de fracturamiento medio a alto.

La ponderación y porcentaje de influencia de la capa de pendiente se definió tomando en cuenta que áreas con pendientes altas estaban relacionadas a procesos de deslizamientos, una vez definiendo estas áreas se les asignó su valor según la tabla de ponderación. Por último, en la capa de uso de suelo se definieron los rangos y porcentajes de influencia tomando en cuenta que tanto incide esa capa en la generación de procesos de deslizamientos, por ejemplo, las zonas de cultivo anual se les dio una ponderación alta, debido a que son áreas donde las personas eliminan la cobertura vegetal dejando descubierto el suelo y de esta manera se incide a la generación de procesos de deslizamientos.

Ya que el método utiliza los valores de celda de cada Raster de entrada y los multiplica por el peso de importancia de los Raster para posteriormente sumar los valores de celda resultantes y así producir un Raster de salida, fue necesario convertir las capas que se están tomando en cuenta en este caso Precipitación, Deslizamientos, Geología, Pendiente y uso de suelo a Raster. Para ello se utilizó la herramienta Polygon to Raster de la sección Conversion Tools de la caja de herramientas (*Ver Fig. N°16*), a continuación, se muestran los resultados de la conversión de cada una de las capas.

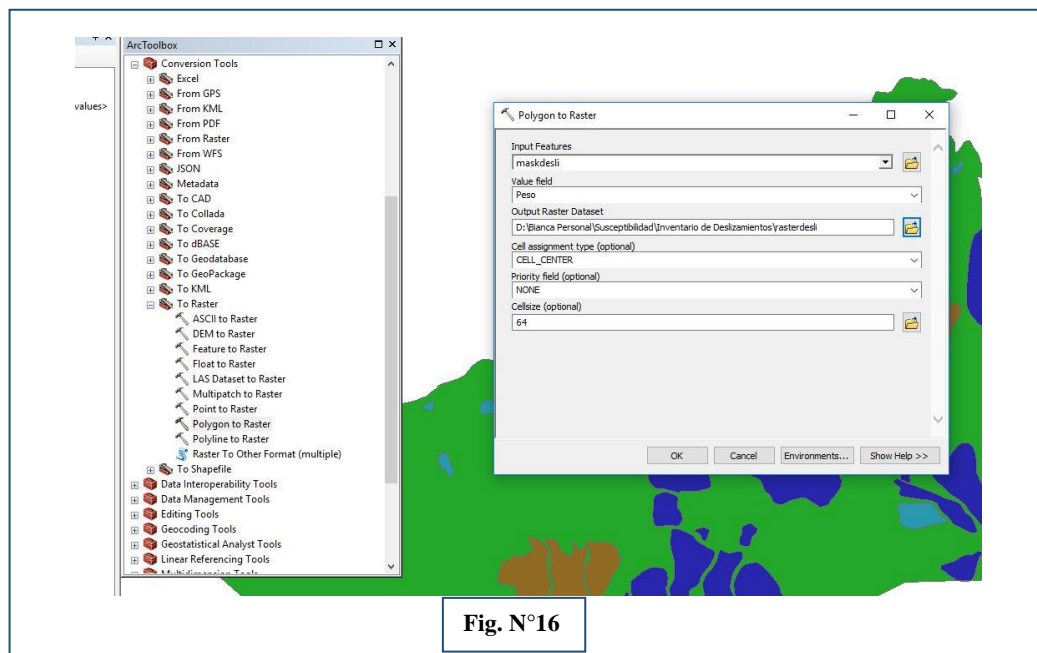


Fig. N°16

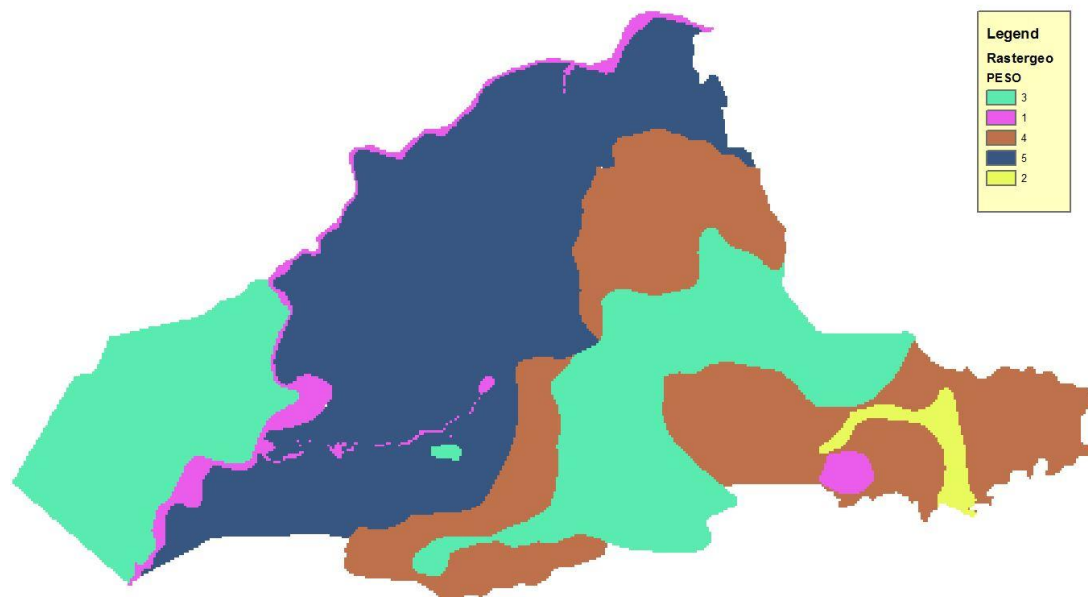


Fig. N.17. Resultado Geología en formato Raster

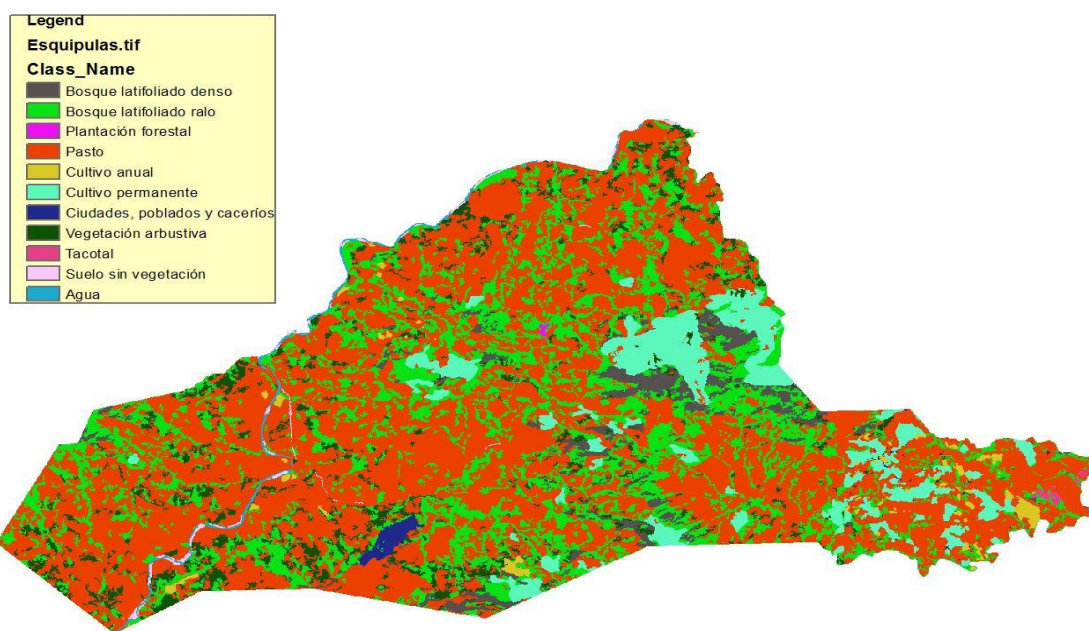


Fig. N°.18 Resultado Uso de suelo en formato Raster

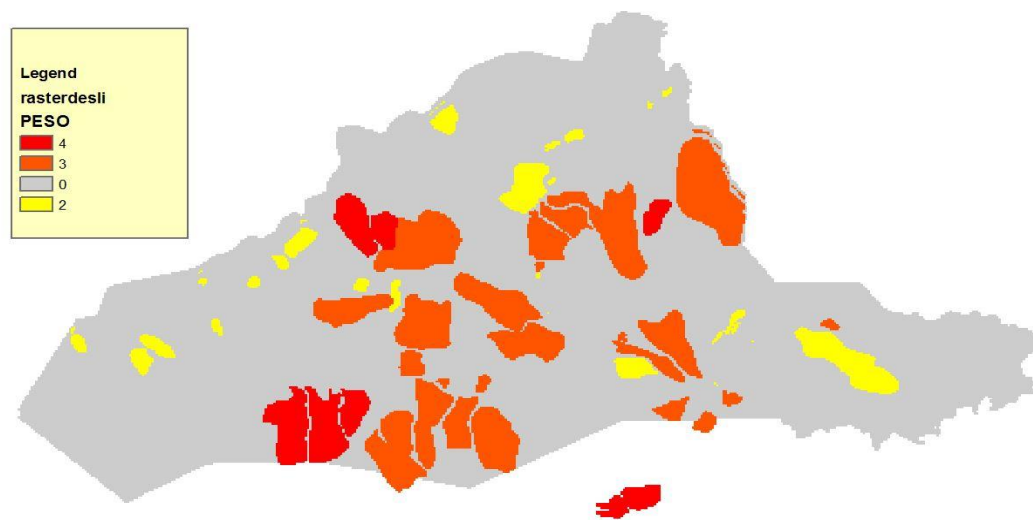


Fig. N°.19 Resultado de inventario de deslizamientos en formato Raster

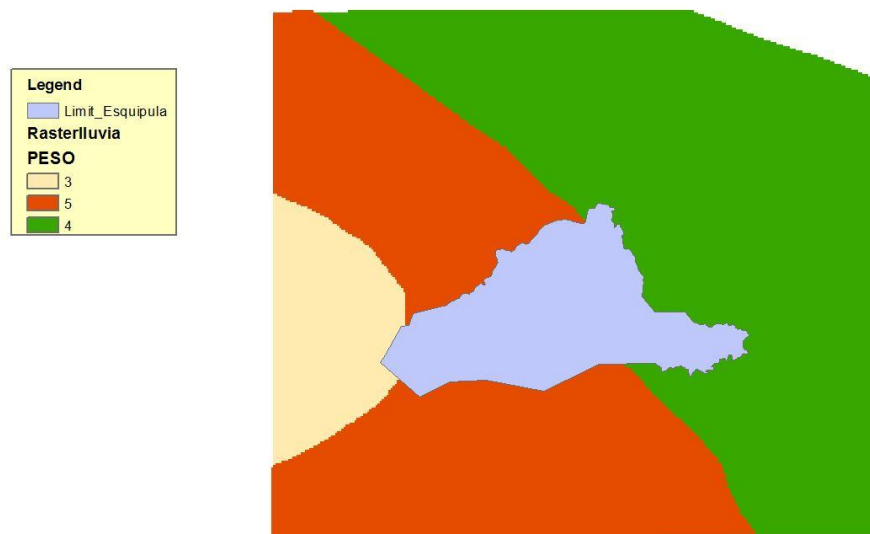


Fig. N°.20 Resultado Datos de Precipitación en formato Raster

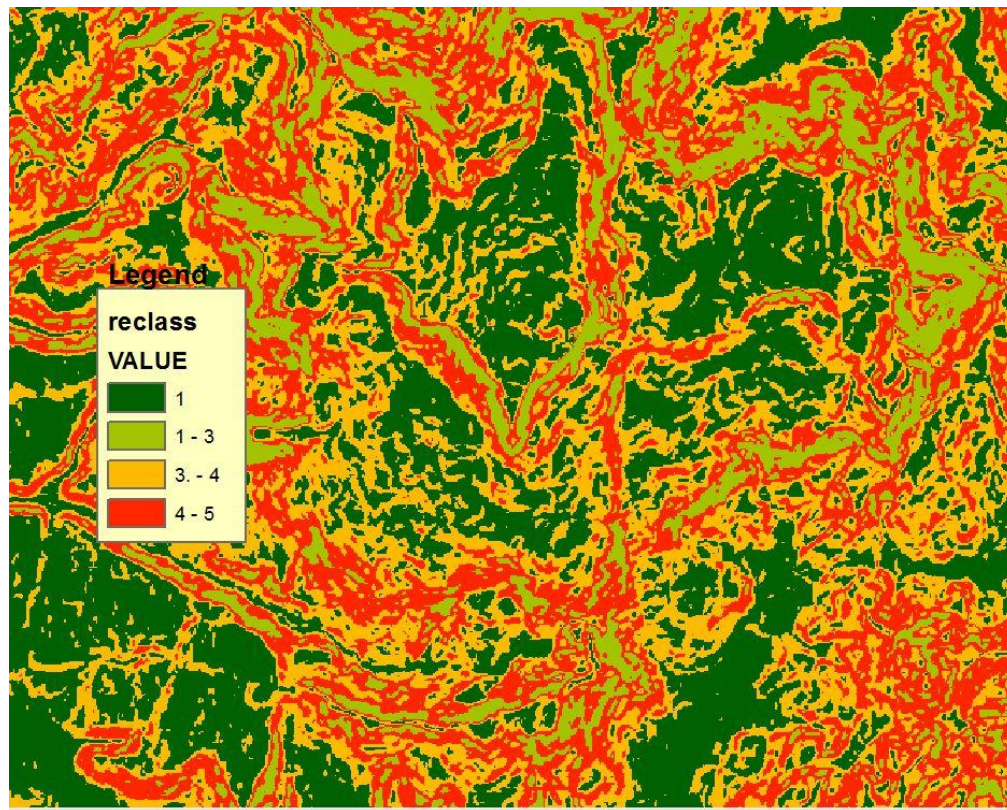


Fig. N°.21 Resultado Pendiente en formato Raster

Luego de obtener las 5 capas a tomar en cuenta en formato Raster, se insertan los datos en la extensión Overlay (*Ver Fig. 22*), la cual es parte de la herramienta Spatial Analyst Tool de la caja de herramientas, en la extensión se deben insertar las 5 capas en formato Raster, allí se les asignara el peso y el porcentaje de influencia descrito en la tabla de ponderaciones, estos datos se obtienen previo a un análisis tomando en cuenta los datos obtenidos en campo y la geodinámica del sitio. La Extensión lleva a cabo una sumatoria de cada capa teniendo en cuenta los valores establecidos el resultado de esta superposición de capas es el mapa de susceptibilidad (*Ver en Anexo Mapa N°10*) en donde se representa las zonas propensas a inestabilidades de ladera en cinco rangos: susceptibilidad muy baja, baja, media, alta y muy alta (*Ver Fig. 23*).

Mapa de Susceptibilidad por deslizamientos, mediante el método Superposición de capas, en el Municipio de Esquipulas, Departamento de Matagalpa. Escala 1:30,000

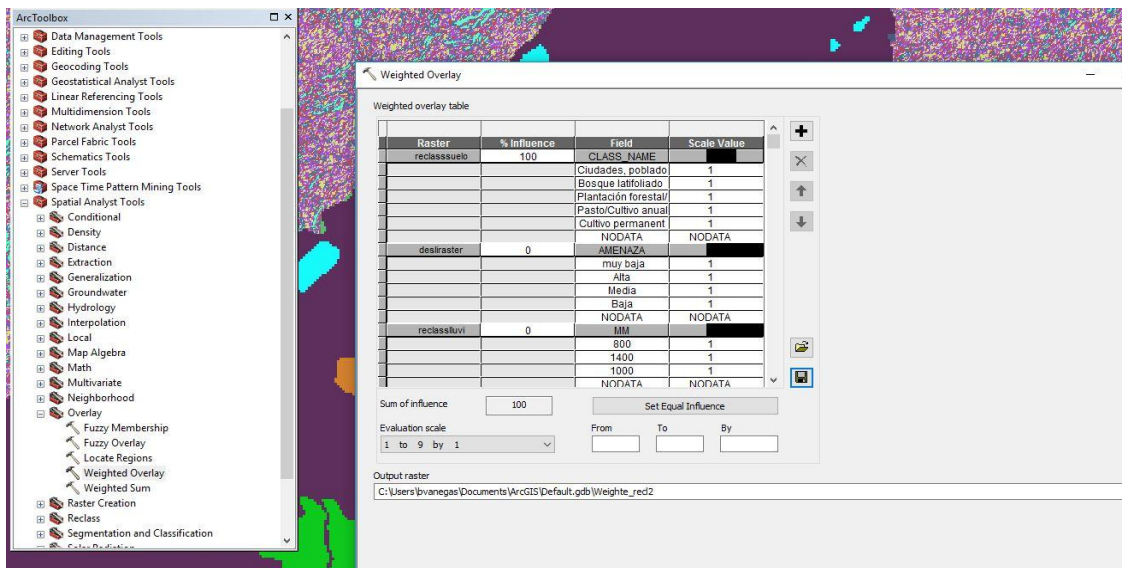


Fig. N°.22

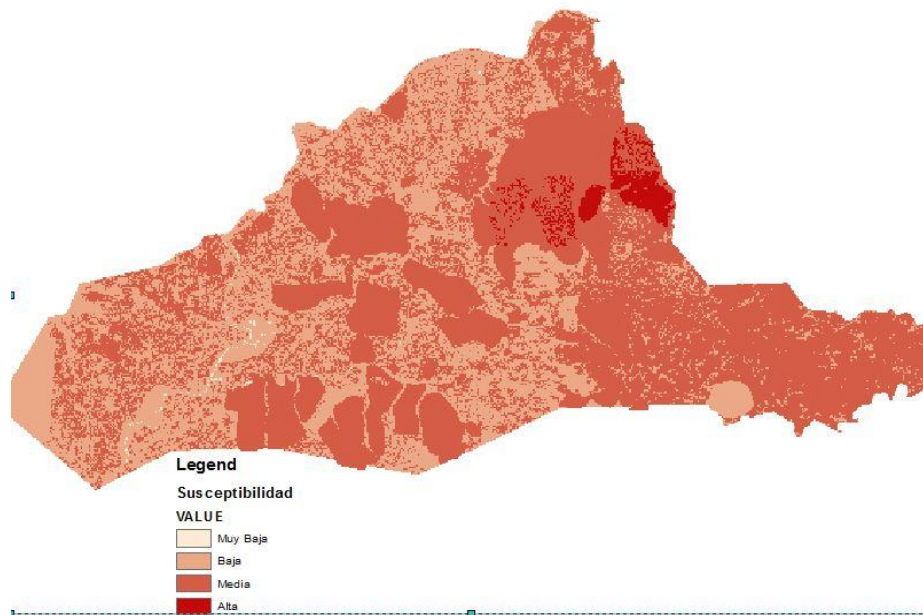


Fig. N°.23

4.1.6.1. Áreas Susceptibles a Deslizamientos

Rangos de susceptibilidad
Susceptibilidad Muy Baja
Susceptibilidad Baja
Susceptibilidad Media
Susceptibilidad Alta

La tabla muestra la gama de colores que encontramos en el mapa de susceptibilidad obtenido mediante el método superposición de capas.

a) Zona de susceptibilidad Alta

Es la zona donde se produce con mayor frecuencia y magnitud inestabilidades, el grado de susceptibilidad alta está relacionado mediante un color rojo en el mapa, esta zona se ubica hacia el NE del Municipio de Esquipulas, cerca de la Finca San Vicente cubre zonas de laderas escarpadas con pendientes de 20° o más en rocas volcánicas tipo Ignimbrita de edad Terciarias del sub Grupo Coyol Inferior, altamente intemperizadas y medianamente fracturadas.

b) Zona de susceptibilidad Media

Zona donde se produce con menor frecuencia deslizamientos en el municipio, se encuentra representada por un tono naranja en el mapa de susceptibilidad, concentrado en gran parte del Municipio por ejemplo en Finca La Garnacha y Lomas de Guadalupe, prevalecen las laderas escarpadas con pendientes de 15 a 20° en rocas volcánicas del periodo Terciario del sub Grupo Coyol Inferior, las rocas se encuentran con grados de fracturamiento medio a alto y proceso de meteorización y alteración.

c) Zona de susceptibilidad Baja

La zona de baja susceptibilidad se encuentra en gran parte del área de estudio, si bien en cierto se producen pocos deslizamientos en algunas ocasiones, por su ubicación entre zonas de alta y media susceptibilidad son propensas a los impactos de inestabilidades generadas sobre ellas. Es común encontrar acumulación de depósitos coluviales en la base de las laderas como evidencias de derrumbes o deslizamientos ocurridos. Por ello debe ser considerada como zona de impacto.

d) Zona de susceptibilidad Muy Baja

Es la zona de condiciones menos favorables para las inestabilidades, de relieve plano con pendientes bajas normalmente menor que 10° , corresponde a las zonas relacionadas con los valles de los ríos. Representa zonas viables para emplazamiento de sitios urbanos e infraestructura de servicios públicos como escuelas, centros de salud y centros de albergues, siempre y cuando se realicen medidas correctivas, y se consideren sectores aledaños con susceptibilidad media a muy alta.

Capítulo V: Discusión de resultados

Nicaragua al igual que el istmo Centro Americano sufre intensa actividad tectónica, impuesta por la subducción de la placa Oceánica Cocos debajo de la placa continental caribe, lo cual provoca procesos geodinámicos internos y externos, dentro de estos procesos se ubica la actividad volcánica en este caso la actividad del Neógeno hizo posible la deposición de material volcánico que ha ido modelando el relieve del sitio de estudio exponiendo en la superficie flujos lávicos de composición basáltica que se consideran la parte basal de la secuencia estratigráfica del área, flujos piroclásticas basales, así como flujos laharicos pertenecientes al grupo coyol inferior (McBirney y Williams, 1965), en total se definieron 7 unidades del período Neógeno y 2 unidades del Cuaternario.

En base al análisis e interpretación de los datos estructurales realizados en el área d estudio, se obtuvo lo siguiente: primeramente existen 2 fases de deformación una en sentido NE-SW y la otra en dirección NW-SE, en relación a la fase de deformación NW-SE se definió lo siguiente:

1. La estructura de movimiento lateral derecho se asocia a una estructura regional mayor como lo es el graben de Nicaragua, en este caso se considera una estructura de más edad en el área y sus esfuerzos provocan un sentido de movimiento a favor de las manecillas del reloj.

En el caso de la fase NE-SW se definió:

1. La estructura de movimiento lateral derecho se asocia a la falla Guayape de ámbito regional esta estructura está cortando a la fase NW-SE, por ende se considera más joven, los esfuerzos provocan un sentido de movimiento a favor de las manecillas del reloj.

Por rasgos geomorfológicos se identificó una falla inferida con dirección N/S denominada como San Vicente la cual se puede asociar a un fallamiento regional, definido por los Checos en el estudio geológico de rios naturales en el área de Matagalpa año 2002, a su vez mencionan que estas fallas tienen tendencia a hundimiento, lo cual coincide con la zona de estudio ya que cerca de esta estructura se observó en imágenes satelitales pequeños colapsos

en el borde de la caldera La Luna, si bien es cierto se observó en rasgos geomorfológicos no hubo indicadores en campo que determinaran más datos sobre esta estructura esto debido a que las unidades litológicas se encuentran erosionadas, por lo que se torna difícil identificar evidencias de fallamiento.

A diferencia del resto de Centro América a partir del Mioceno medio a tardío, se da la migración paulatina hacia la trinchera del frente volcánico del Neógeno, debido al aumento del ángulo de subducción, como consecuencia el vulcanismo Cuaternario en Nicaragua se concentra en un nuevo terreno Cuaternario (Dengo y Case, 1990). Debido a este procesos se desarrollan relictos volcánicos en forma de calderas coalescentes dichas estructuras exhiben pendientes abruptas lo que favorece la movilización de material y la generación de procesos de deslizamientos en el área de estudio.

Las áreas que presentan mayor susceptibilidad se ubican al Este del municipio donde están sentados los poblados de San Vicente, El Gorrión, La Pineda, La Rondailla, analizando los factores condicionantes y desencadenantes del área, se nota que un factor muy importante es el uso de suelo en estas áreas hay amplias zonas de plantaciones forestales y zonas de cultivo anual, las malas prácticas agrícolas están provocando la pérdida de la cobertura vegetal lo que facilita la erosión y los procesos de deslizamientos.

Por otra parte un factor condicionante que incide en la generación de los procesos de deslizamiento en el área es el tipo de Litología, por ejemplo, en la unidad de ignimbrita soldada superior donde se establecen zonas de susceptibilidad media a alta, se identificaron procesos de deslizamientos de gran envergadura, esto a causa que la unidad de roca se encuentra en su mayoría altamente meteorizada y en algunos casos alterada a suelos arcillosos.

En zonas donde la litología se encuentra con un grado de fracturamiento medio a alto, como es el caso de la unidad de basalto superior y la unidad de ignimbrita soldada inferior, se generan procesos de deslizamientos esto debido a que las fracturas permiten la infiltración de agua al subsuelo provocando su saturación, fenómeno que es común en épocas lluviosas.

Capítulo VI

Conclusiones

La Geodinámica activa de Nicaragua crea condiciones óptimas para la generación de procesos de deslizamientos, a causa de esa geodinámica el municipio de Esquipulas presenta un relieve montañoso muy escarpado en su entorno, esto como consecuencia de la migración de la cadena volcánica Terciaria, proceso que dejó como resultado sistemas de calderas coalescentes en la región, por tal razón la mayor parte de sus zonas urbanas se encuentran en cotas de elevación entre los 520 y 620 msnm, debido a su posición en el relieve y a su activa geodinámica externa, está expuesto a amenazas por proceso de inestabilidad de laderas.

Del levantamiento geológico realizado en el área de estudio, se identificaron 9 unidades Litoestratigráficas, correspondiente a una secuencia producida por eventos volcánicos sucesivos a partir de varios puntos efusivos, cuya composición varía desde basalto en la parte basal, hasta sedimentos de ladera en la parte superficial, e intruida por un domo de composición basáltico. Estas Unidades son: Unidad de colada Basáltica Inferior, Unidad de Toba Cristalina, Unidad de Ignimbrita soldada inferior, Unidad de Ignimbrita soldada superior, Unidad de colada Basáltica Superior, Unidad de Domo Basáltico, Unidad de Flujo Laharico, Unidad de Sedimentos Aluviales (Qal), Unidad de Sedimentos de Ladera (Qc), a su vez se pudo identificar que el área de estudio está siendo afectada por dos fases de deformación una en sentido NE-SW y otra en dirección NW-SE.

A través del mapeo geomorfológico del área de estudio fue posible clasificar el relieve en cuatro unidades geomorfológicas cada una con sus correspondientes sub unidades: **Unidad de origen Denudacional (D)**; Sub Unidad de Áreas con Movimientos en Masa Severos (D11), **Unidad de Origen Estructural (S)**; Sub Unidad de Domos (S10), **Unidad de Origen Volcánico (V)**; Sub Unidad de Flujos de Lava (V9), Sub Unidad de Lahar (V11), Sub Unidad de Remanentes de Caldera (V14), Sub Unidad de Colinas Volcánicas (V16), **Unidad de Origen Fluvial (F)**; Sub Unidad de Llanuras Aluviales (F3).

Mediante el levantamiento del inventario de deslizamientos del área se pudo identificar 63 procesos de deslizamientos activos los cuales se ubican principalmente en las unidades de Ignimbrita Soldada Inferior y Superior y en la unidad de Flujo Laharico y Basalto Superior principalmente hacia el NE, SE y SW del área de estudio, en pendientes de 10° a 25° , a su vez se definieron 5 capas las cuales <

Gracias al análisis e interpretación de los datos obtenidos de la cartografía geológica e inventario de deslizamientos se pudieron identificar zonas susceptibles a deslizamientos, por ejemplo se obtuvo que en el municipio de Esquipulas las zonas con susceptibilidad alta se ubican hacia el NE del municipio donde se producen con mayor frecuencia y magnitud deslizamientos, esto es cerca de la Finca San Vicente, posteriormente las zonas con susceptibilidad media las cuales se encuentran en mayor proporción en el área de estudio están situadas cerca del casco urbano de Esquipulas así como también en las localidades ubicadas dentro de la caldera volcánica La Luna, las zonas con susceptibilidad baja se encuentra en gran parte del área y por su ubicación entre zonas de alta y media susceptibilidad es común encontrar acumulación de depósitos coluviales en la base de las laderas como evidencias de derrumbes o deslizamientos ocurridos.

Recomendaciones

1. Se recomienda la reubicación de las 14 viviendas construidas en el borde inestable de la caldera La Garnacha, subrayando un margen de seguridad de 30 m al sur.
2. Es necesario disminuir los factores de desestabilización del macizo mediante la eliminación de toda entrada de agua a su interior, principalmente durante las lluvias.
3. Se recomienda el fortalecimiento del Comité de Emergencia Local y del Sistema de Alerta Temprana, ya en funcionamiento entre los pobladores.
4. Hacer una planificación del uso del terreno urbano y rural en base a las amenazas identificadas.
5. Ubicar señalizaciones en carreteras principales y en cortes de caminos en donde se presentan procesos de deslizamientos, por ejemplo, el tramo de carretera Quebrada Caulapa hacia la comunidad El Zapote, así como también el tramo de camino hacia la comunidad La Luna.
6. Realizar un monitoreo constante en los deslizamientos que son considerados de peligrosidad alta, como La Garnacha, San Vicente y La Luna.
7. Establecer sistemas de alerta temprana (SAT), ante deslizamientos en el municipio.
8. En las áreas donde se identificaron procesos de deslizamientos activos se debe definir umbrales de lluvia que permitan tener una probabilidad de ocurrencia en dependencia de la cantidad de precipitación en el municipio.
9. Efectuar estudio de inestabilidad de taludes en los tramos de carreteras principales y en los accesos secundarios a las comunidades.

Bibliografía

- AMUPNOR. (2013).** *Diagnóstico del plan Municipal de Ordenamiento y Desarrollo Territorial de Esquipulas*. Nicaragua.
- Andrade, E. O. (4 de Abril de 2013).** Metodología para los mapas de Susceptibilidad geológica empleando sistemas de información geográfica SIG . *Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño*. Bucaramanga, Colombia.
- Bracci, Z. (1957).** *Estudio Geológico de la Región de Palacagüina y de su depósito de antimonio*. Servicio Geológico Nacional de Nicaragua. Managua: Boletín N°1.
- Castellón , A., & Acosta, N. (2004).** *Estimación de la susceptibilidad a deslizamientos mediante sistemas de información geográfica*. Nicaragua .
- Catalán, J. R. (2003).** *Geología Estructural y Dinámica Global* . Obtenido de https://www.u-cursos.cl/usuario/88e17214fbd3bc896935dca577cbaec1/mi_blog/r/Geologia_Estructural._Unv_Salamanca_2003.pdf
- Corporation, P. (1972).** *The Geology of Western Nicaragua*. Tax improvement and natural resource inventory project.
- COSUDE, Cisneros, J., Díaz, M., Downs, M., & Noguera, E. (2001).** Análisis de Riesgos y propuesta de Plan Municipal para la Reducción de Desastres. *República de Nicaragua, Departamento de Matagalpa, Municipio de Esquipulas*. Esquipulas, Nicaragua.
- COSUDE-AH, CSS, & INETER. (1997).** *Evaluación preliminar de peligros por terrenos inestables en algunos puntos, regiones del centro y norte de Nicaragua. Región de Esquipulas*. Nicaragua.
- Dengo. (1983).** *Mid-America: Tectonic setting for the pacific margin from México to northern western Colombia in the ocean basins and margins*. The pacific ocean.
- Dengo, G. (1973).** *Estructura Geológica, Historia Tectónica y Morfología de América Central*. ICAITI. Guatemala. Guatemala .
- Ehrenborg, J. (1996).** *Una Nueva Estratigrafía de Rocas Volcánicas Terciarias en la Región Central de Nicaragua*. Proyecto conjunt Suecia-Nicaragua. Luleá: Investigación Científica en Nicaragua.
- Frischbutter, A. (2002).** *Structure of the Managua Graben, Nicaragua, from Remote Sensing Images*. *Geofísica Internacional*. Vol. 4 .
- Garayar, J. (1971).** *Geología y Depósitos Minerales de una parte de las Mesas de Estelí, Cordillera Norte y Montañas de Dipilto*. Managua: Catastro e inventario de Recursos Naturales.
- Grant, W. (15 de diciembre de 2009).** Venezuela 10 años del peor desastre. *BBC News Mundo* , pág. 1.

- Hodgson, G. (1971).** *Geología y anotaciones mineralógicas de la Planicie del Noroeste y de la Pre-cordillera Occidental*. Managua: Catastro e inventario de Recursos Naturales, Informe 13.
- IGME. (2011).** *Cartografía predictiva mediante SIG de depositos epitermales de oro en cabo de Gata, Almería, España*. España.
- INETER. (1995).** Macro región central . En *División Plotica y administrativa descripcion de los derroteros municipales*. Nicaragua.
- INETER. (Mayo de 1998-2001).** *Estudio de Inestabilidad de Laderas*. Nicaragua.
- INETER. (enero de 2007).** *Volcán Casita*. Obtenido de <https://webserver2.ineter.gob.ni/vol/casita/casita.html>
- INETER, & COSUDE. (Agosto de 2005).** Proyecto MET-ALARN. *Recomendaciones Técnicas para la Elaboración de Mapas de Amenaza por: Inestabilidad de Laderas*. Managua, Nicaragua.
- INETER, Francisco, M., Pérez, G., & Vanegas, B. (2017).** *Cartografía de Deslizamientos en el Municipio de Esquipulas, Departamento de Matagalpa*. Nicaragua.
- INETER, Gutiérrez, C., Vanegas, B., & Hernández, B. (2018).** *Cartografía de Deslizamiento en el Municipio de Esquipulas, Departamento de Matagalpa*. Nicaragua.
- INETER, Hernandez, B., Vanegas, B., & Pérez, G. (2018).** *Monitoreo de deslizamientos en el Municipio de Esquipulas, Departamento de Matagalpa*. Nicaragua.
- INETER, Mendoza, F., Vanegas, B., & Pérez, G. (2017).** *Cartografía de Deslizamientos en el Municipio de Esquipulas, Departamento de Matagalpa*. Nicaragua.
- INETER, Rodriguez, A., & Pérez, G. (2018).** *Levantamiento Cartográfico en el Municipio de Esquipulas, Departamento de Matagalpa*. Nicaragua.
- INIDE. (2005).** Censo de Población y de Vivienda. En I. N. Desarrollo, *Esquipulas en Cifras*. Esquipulas, Nicaragua.
- Kuang, J. (1971).** *Estudio Geológico del Pacífico de Nicaragua. Catastro e Inventario de Recursos Naturales*. Managua: Informe 10.
- Levi, Nystrom, & Troeng. (1987).** *Geochemistry of volcanic rocks in a traverse through Nicaragua*. San Jose Costa Rica: Revista Geológica de America Central.
- McBirney, A., & Williams. (1965).** *Volcanic History of Nicaragua*. California: University of California.

- Perú, L. P. (Miércoles de Mayo de 2017).** Obtenido de <https://laprensa.peru.com/actualidad/noticia-10-inolvidables-imagenes-terremoto-ancash-1970-12090>
- Pineda, E. B., & Alvarado, E. (1994).** *Metodología de la investigación*. Washington, D.C. 20037, E.U.A.
- Rica, U. d. (24 de Enero de 2016).** *RSN*. Obtenido de <https://rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/geologia/5718-que-es-un-fallamiento-normal>
- Rogers, R. D. (2007).** *Tectonic terranes of the chortis block based on integration of regional aeromagnetic and geologic data*. Texas, USA: special paper 428.
- Sensagent. (2013).** *Fallas Geologicas*. Obtenido de <http://diccionario.sensagent.com/Falla%20transformante/es-es/>
- Sotasol, & Serveis. (2015).** Obtenido de http://www.sotasol.cat/cartografia-geologica-geologia-barcelona_es.php
- Soto, R. S. (1978).** *Introduccion a la Petrografía* . La Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación.
- Suárez, J. (2005).** *Nomenclatura y Clasificación de los Movimientos*.
- Survey, C. G. (2011).** *Introduction to the special volume subduction-related igneous activity in central America - its nature, causes and consequences*. Republica Checa: Journal of Geosciences.
- UNAM, G. (2011).** *Pliegues y Fallas* . Obtenido de <http://usuarios.geofisica.unam.mx/gvazquez/yacimientosELIA/zonadesplegar/Clases/Clase%2011%20Fallas%20y%20fracturas.pdf>
- Vargas, L. (1971).** *Geología y Depósitos minerales de los cuadrangulos de Ciudad Darío, Terrabona, Las Playitas y Esquipulas*. Nicaragua.
- Venable, M. (1994).** *A Geologic, Tectonic and Metallogenic Evaluation Of The Siuna Terrane*
- Varnes, D. (1978).** *Slope Movement types and processes.in: Spetial Report 176: Landslides: Analysis and control*. Washintong D.C: National Academy of Science .

Glosario de términos.

Antrópico: De origen humano o de las actividades del hombre.

Deslizamiento: Se definen como movimiento profundo, lento o rápido, pendiente abajo de la parte superficial de un terreno (suelos y/o rocas). Se producen en laderas de pendiente fuerte, material suelto o poco cohesivo en combinación con factores internos o reales (fallas, fracturas) y factores externos o inmediatos (lluvias, despale).

Derrumbes y caídas de bloques: Fenómeno que tienen un alto componente de sorpresa, pues rara vez presentan signos precursores o anunciadores. La zona de origen corresponde prioritariamente a escarpes o ladera de fuerte pendiente, donde la roca está fracturada y alterada. Los volúmenes implicados no son muy grandes.

Erosión: proceso de pérdida continua y selectiva de las capas superficiales de suelo y roca, debido a la acción de agentes como el agua, viento y deshielo.

Escorrentía: es el agua que cuando llueve, no tiene oportunidad de infiltrarse, ni de evaporarse y se escurre en el drenaje y el terreno.

Falla geológica: Rompimiento del terreno con movimiento vertical u horizontal de las capas del subsuelo producidas por las fuerzas de la dinámica interna de la Tierra. Su evidencia en superficie son desniveles del terreno con rotura de rocas. Cuando se activan, son causa de temblores y terremotos.

Gestión: conjunto de reglas, procedimientos y métodos operativos para llevar a cabo con eficacia y eficiencia la acción planificada.

Mitigación: Medidas tomadas con anticipación al desastre, con el ánimo de reducir o eliminar su impacto sobre la sociedad y medio ambiente.

Ordenamiento territorial: estudio y aplicación de medidas financieras y de planeación para fomentar en el territorio nacional un equilibrio armonioso entre las actividades, necesidades de la población y los recursos del país.

Prevención: conjunto de medidas y acciones dispuestas con anticipación con el fin de evitar la ocurrencia de un evento o de reducir sus consecuencias sobre la población, los bienes, servicios y el medio ambiente

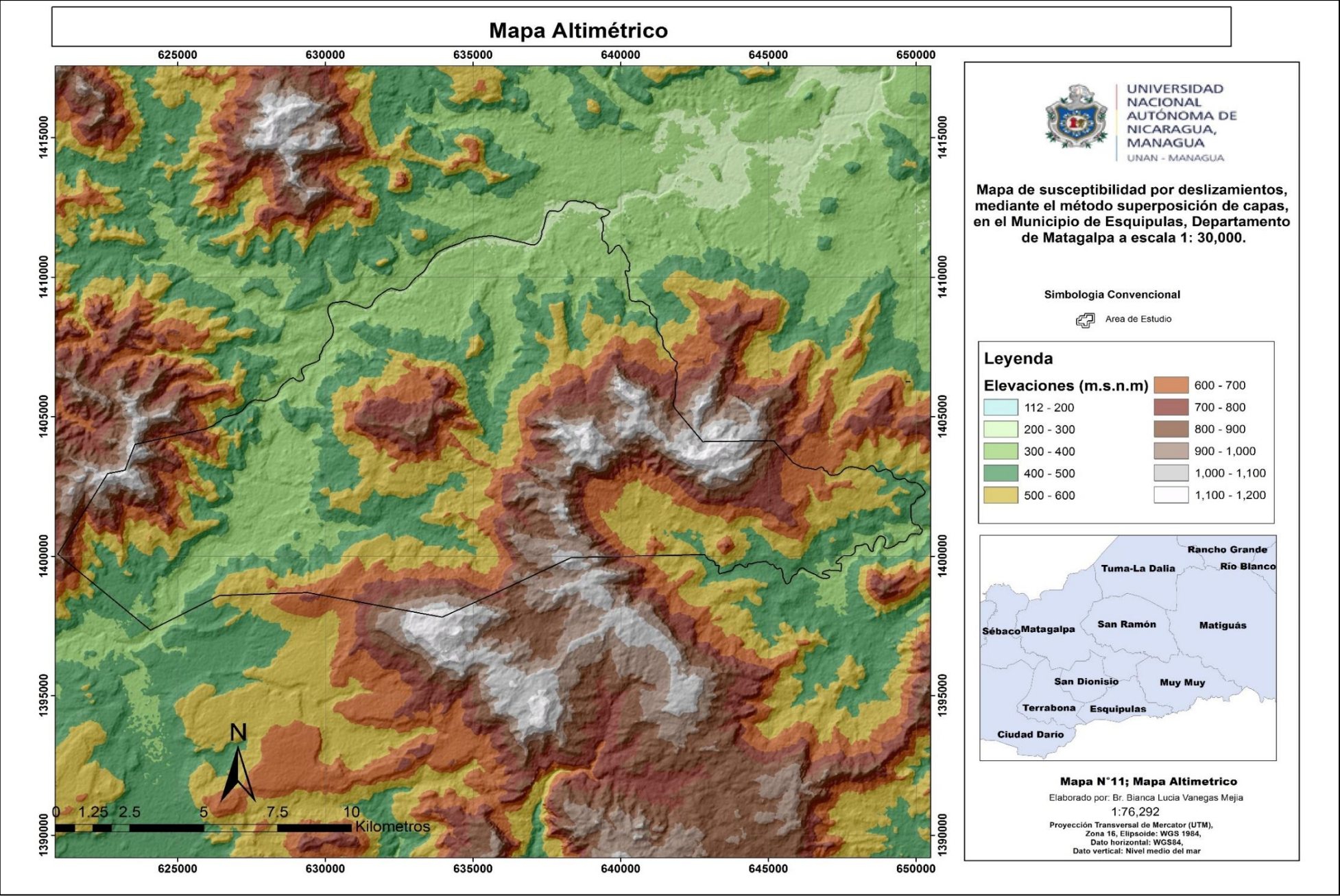
Plan: instrumento diseñado para alcanzar determinados objetivos, en el que se definen en espacio y tiempo los medios utilizables para lograrlos. En él se contemplan en forma ordenada y coherente las metas, estrategias, políticas, directrices y tácticas, así como los instrumentos y acciones que se utilizarán para llegar a los fines deseados.

Reducción: agrupa los conceptos de prever los riesgos, prevenir la ocurrencia, mitigar las pérdidas, prepararse para las consecuencias y alertar la presencia de los cuerpos de socorro.

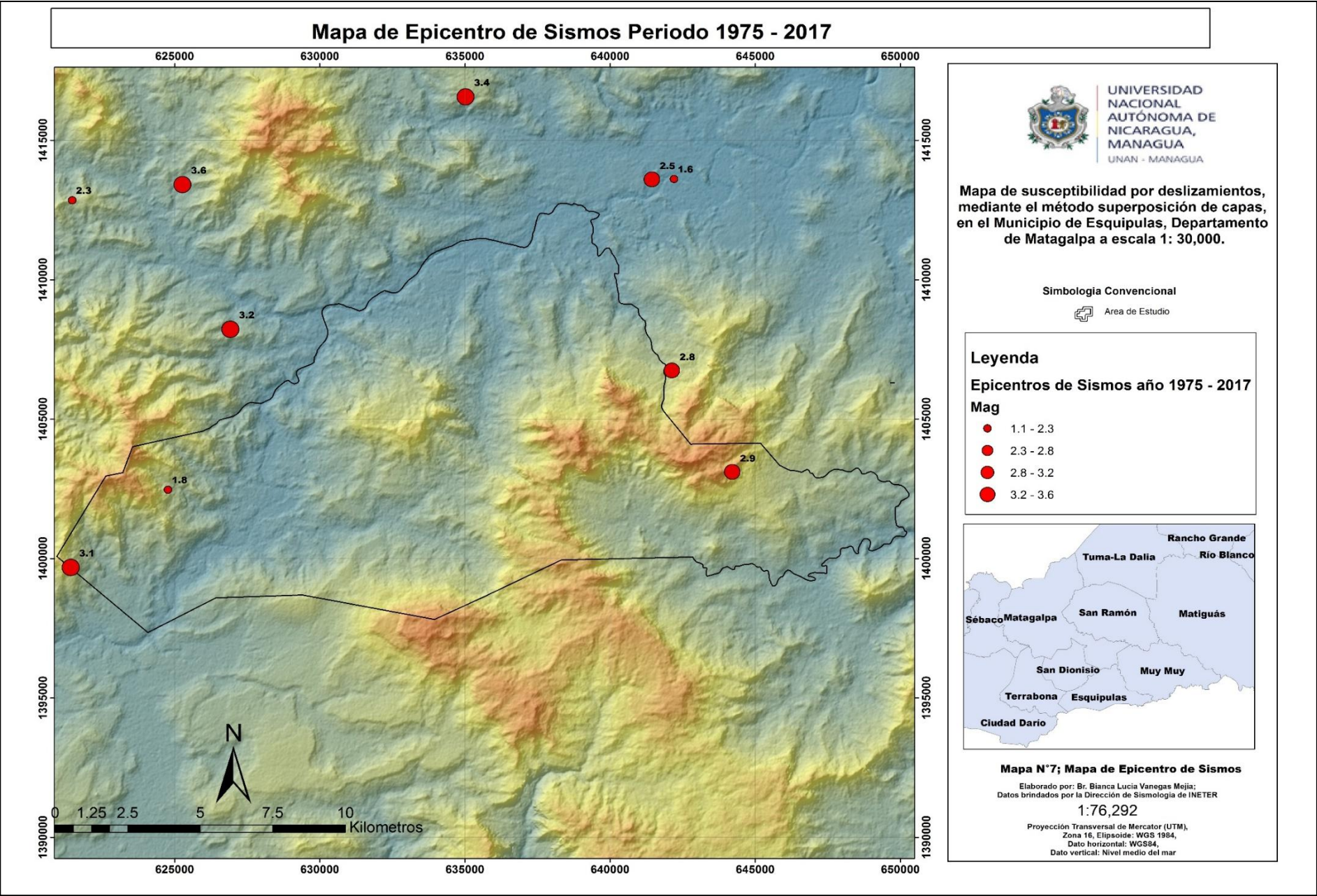
Riesgo: Número esperado de pérdidas humanas, personas heridas, propiedad dañada e interrupción de actividades económicas debido a fenómenos naturales particulares y, por consiguiente, el producto de riesgos específicos y elementos de riesgo.

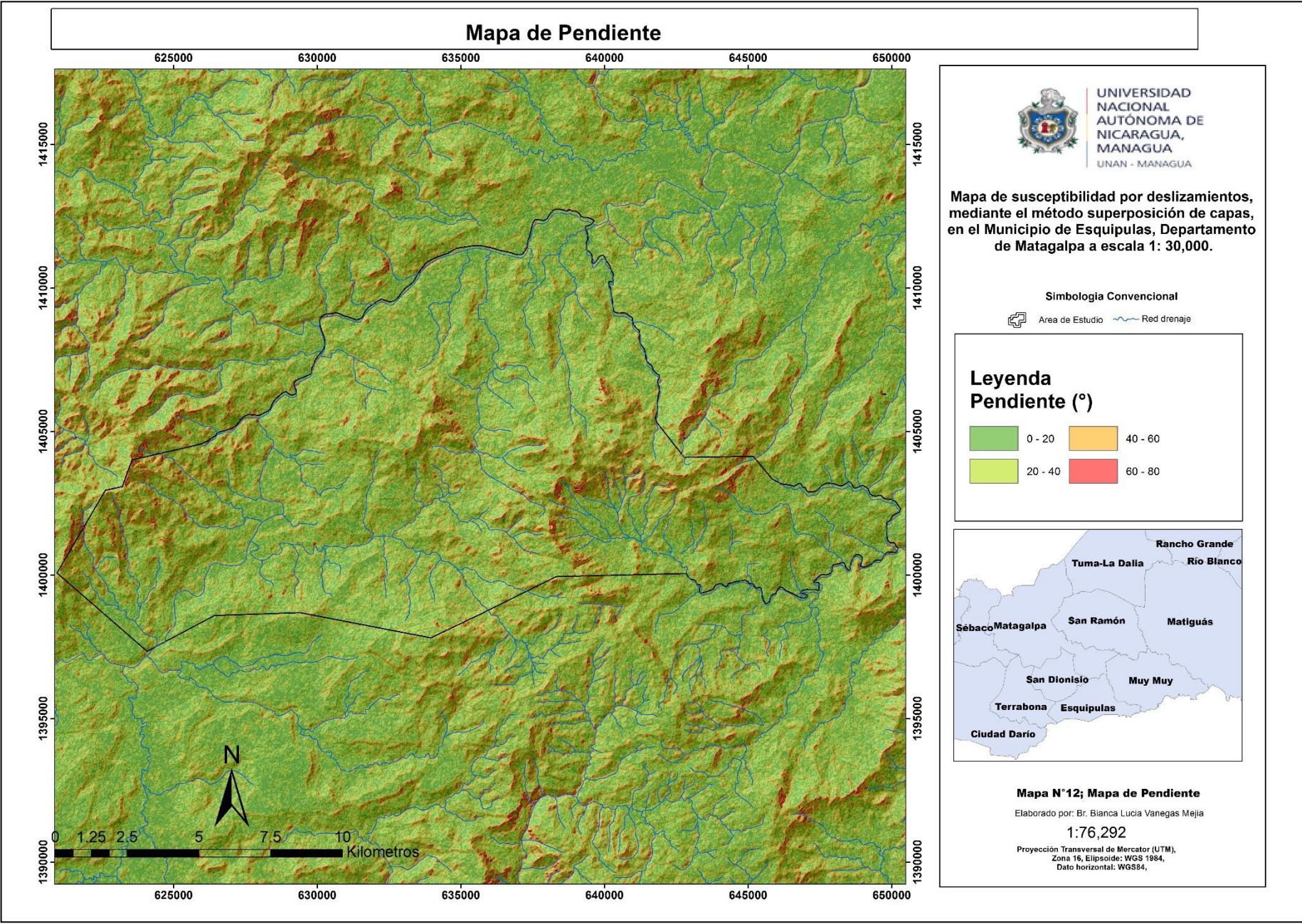
Susceptibilidad de Movimientos en Masa: medida cualitativa o cuantitativa de la magnitud y distribución espacial de movimientos en masa existentes o que potencialmente pueden ocurrir en un área, su determinación se basa solamente en el análisis de factores condicionantes. Los mapas de susceptibilidad contienen información sobre el tipo de deslizamiento y la posibilidad de ocurrencia espacial en términos de identificación de las áreas de iniciación más probables y la posibilidad de extensión.

ANEXOS

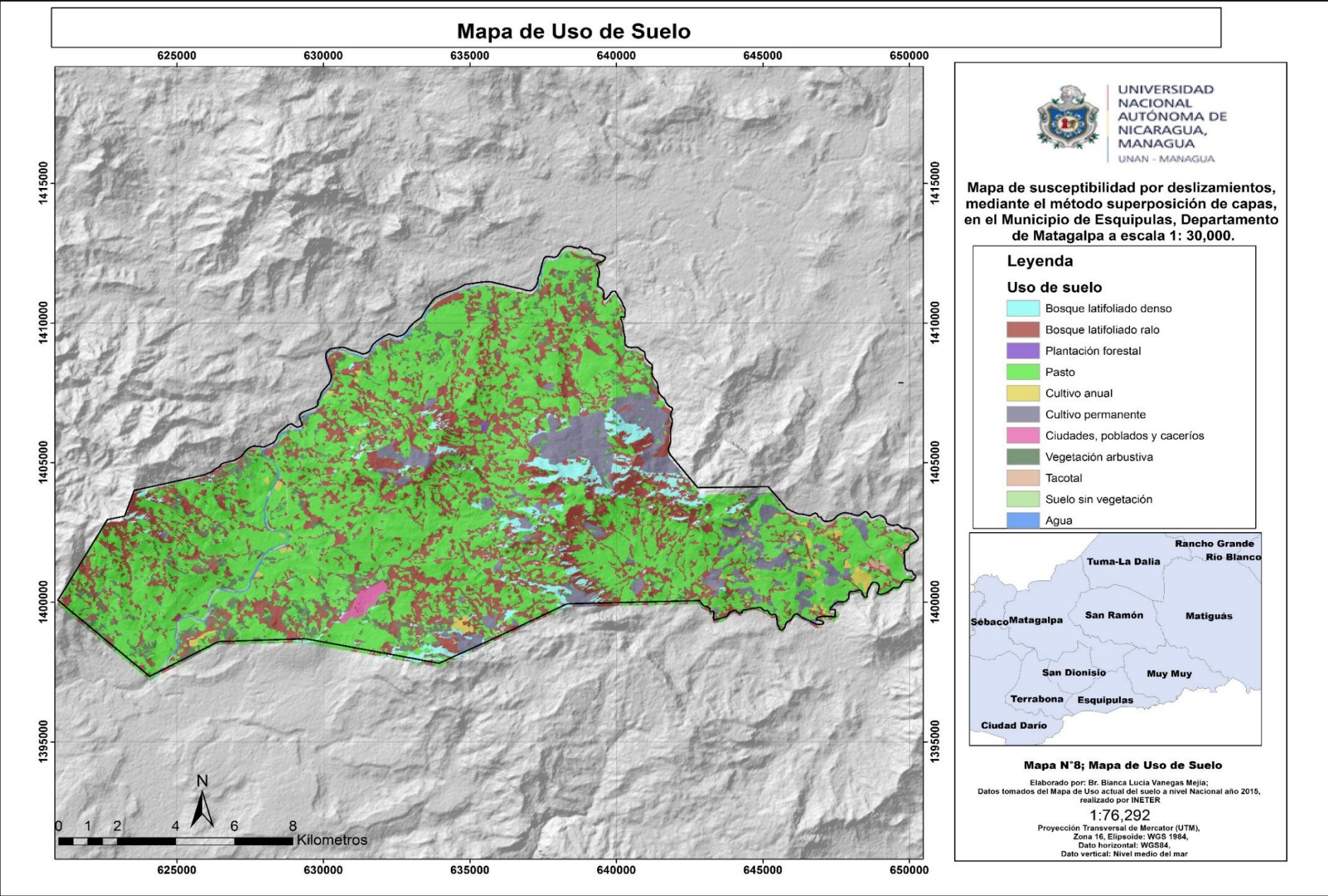


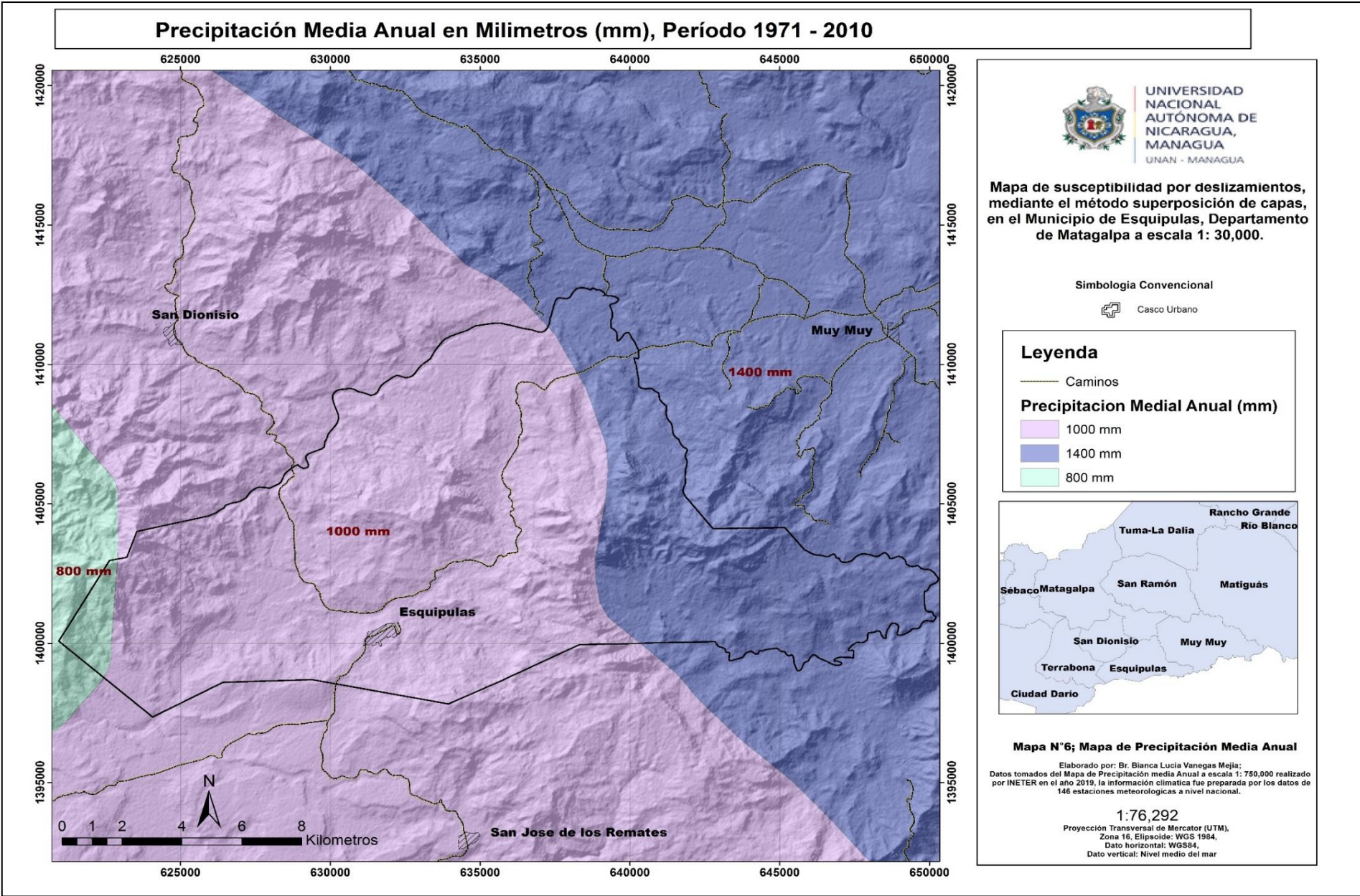
Mapa de Susceptibilidad por deslizamientos, mediante el método Superposición de capas, en el Municipio de Esquipulas, Departamento de Matagalpa. Escala 1:30,000



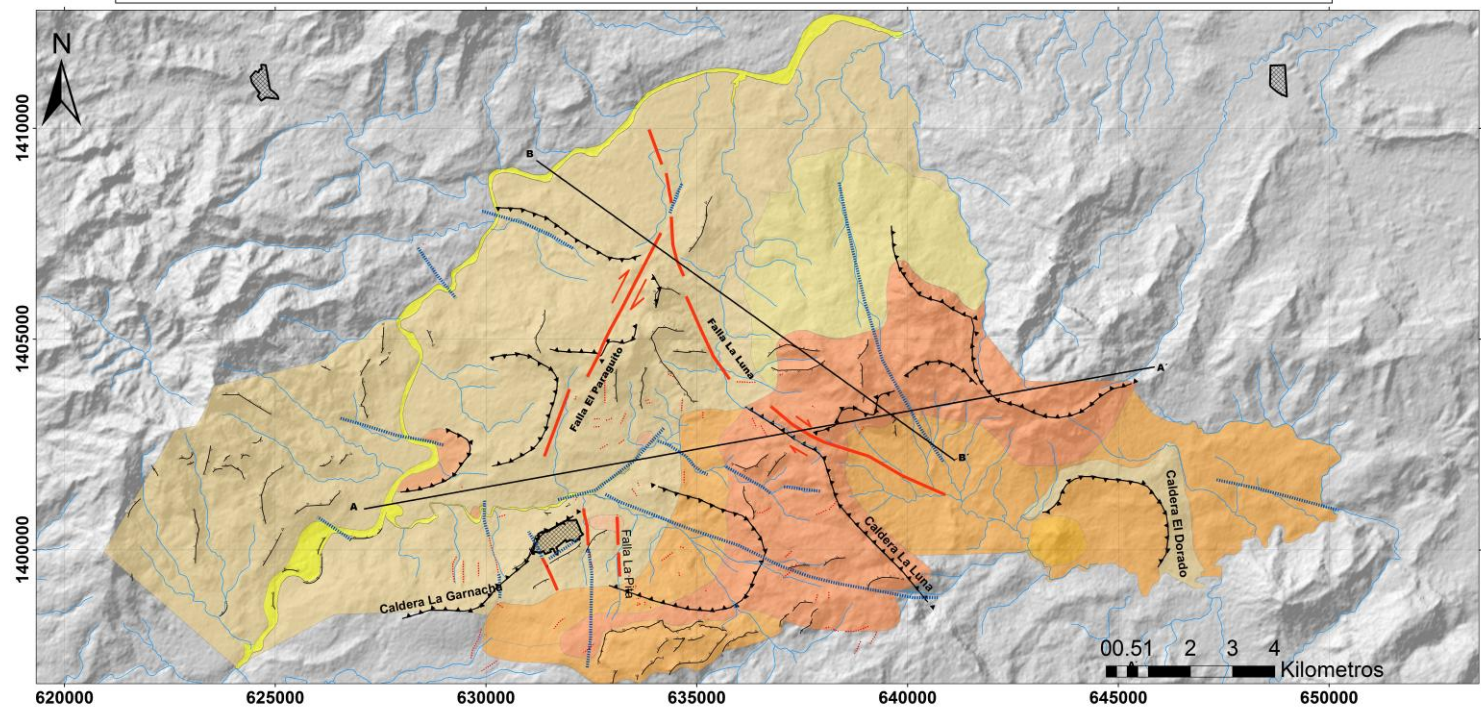


Mapa de Susceptibilidad por deslizamientos, mediante el método Superposición de capas, en el Municipio de Esquipulas, Departamento de Matagalpa. Escala 1:30,000





Mapa Geológico

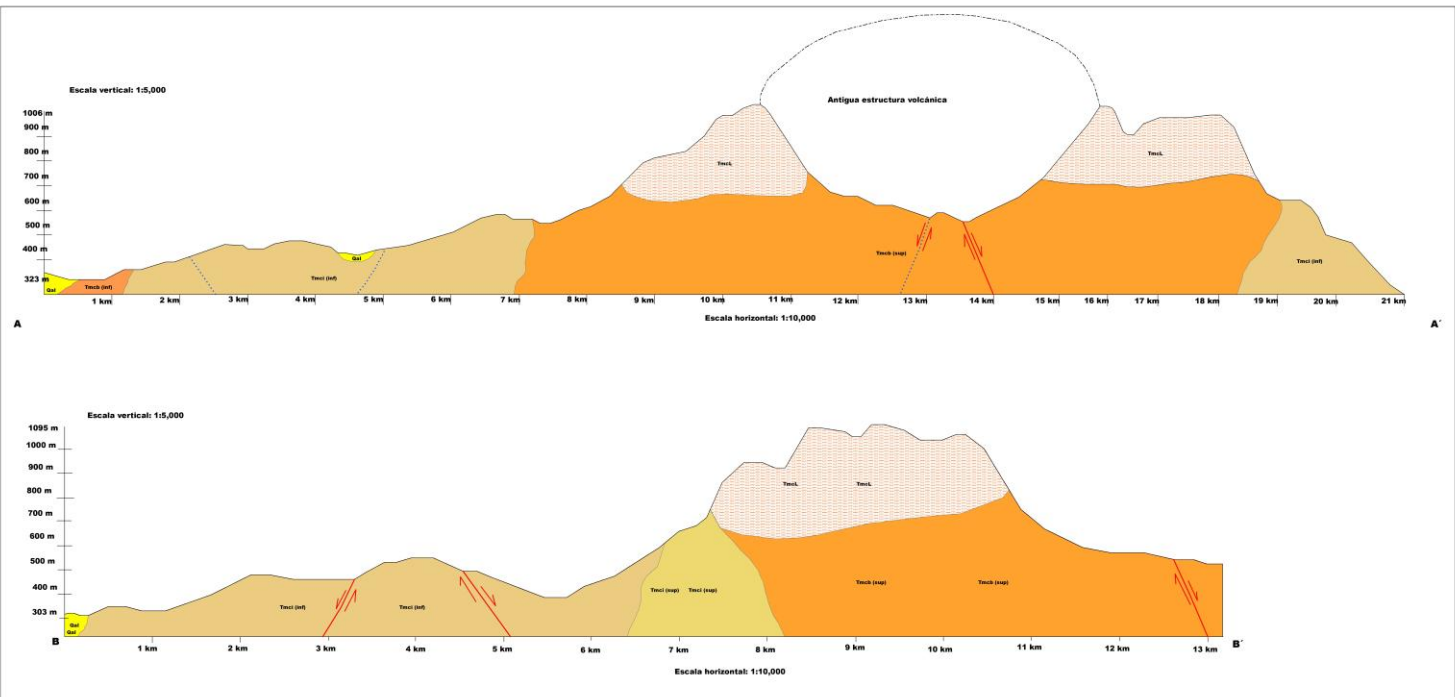


Leyenda

- Escarpes
- Falla Infrida
- Fallas
- Movimiento Falla
- Rios
- Fracturas
- Calderas
- ciudades
- Aluvial (Qal)
- Basalto Inferior (Nmcb)
- Basalto Superior (Nmcb sup)
- Domo Basáltico (Nmcd)
- Flujo Laharico (Nmcl)
- Ignimbrita Soldada Inferior (Nmci inf)
- Ignimbrita Soldada Superior (Nmci sup)
- Toba Cristalina (Nmct)

Columna Estratigrafica

Era	Periodo	Espes.	Columna Estratigrafica	Descripción	Sedimentos de ladera
Cenozoica	Neógeno	1.6 m	Qal	Sedimentos aluviales	Sedimentos de ladera
		7 m	Nmcl	Flujo de escambros, con mala clasificación	
		15 m	Nmcb (sup)	Flujos lavicos meteorizados (domo basáltico)	
		20 m	Nmcb (sup)		
		35 m	Nmci (sup)	Flujos densos de cenizas calientes	
		160 m	Nmci (inf)	Flujos densos de cenizas calientes con fragmentos de pómez deformados durante su caída	
		15 m	Nmct	Toba Cristalina	Basalto inferior



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA
UNAN - MANAGUA

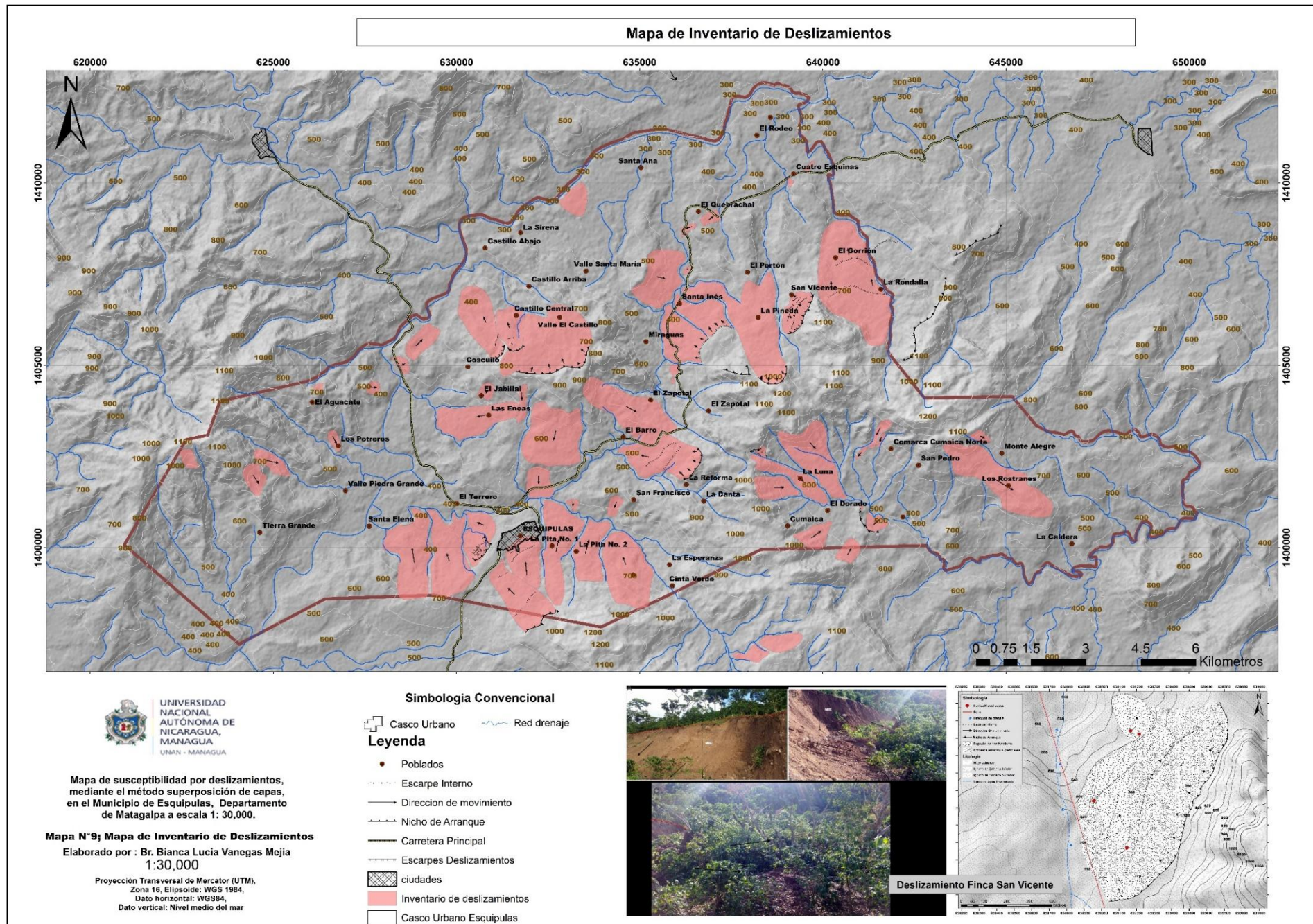
Mapa de susceptibilidad por deslizamientos, mediante el método superposición de capas, en el Municipio de Esquipulas, Departamento de Matagalpa a escala 1: 30,000.

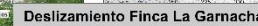
Mapa N°4; Mapa Geológico

Elaborado por : Br. Bianca Lucia Vanegas Mejia

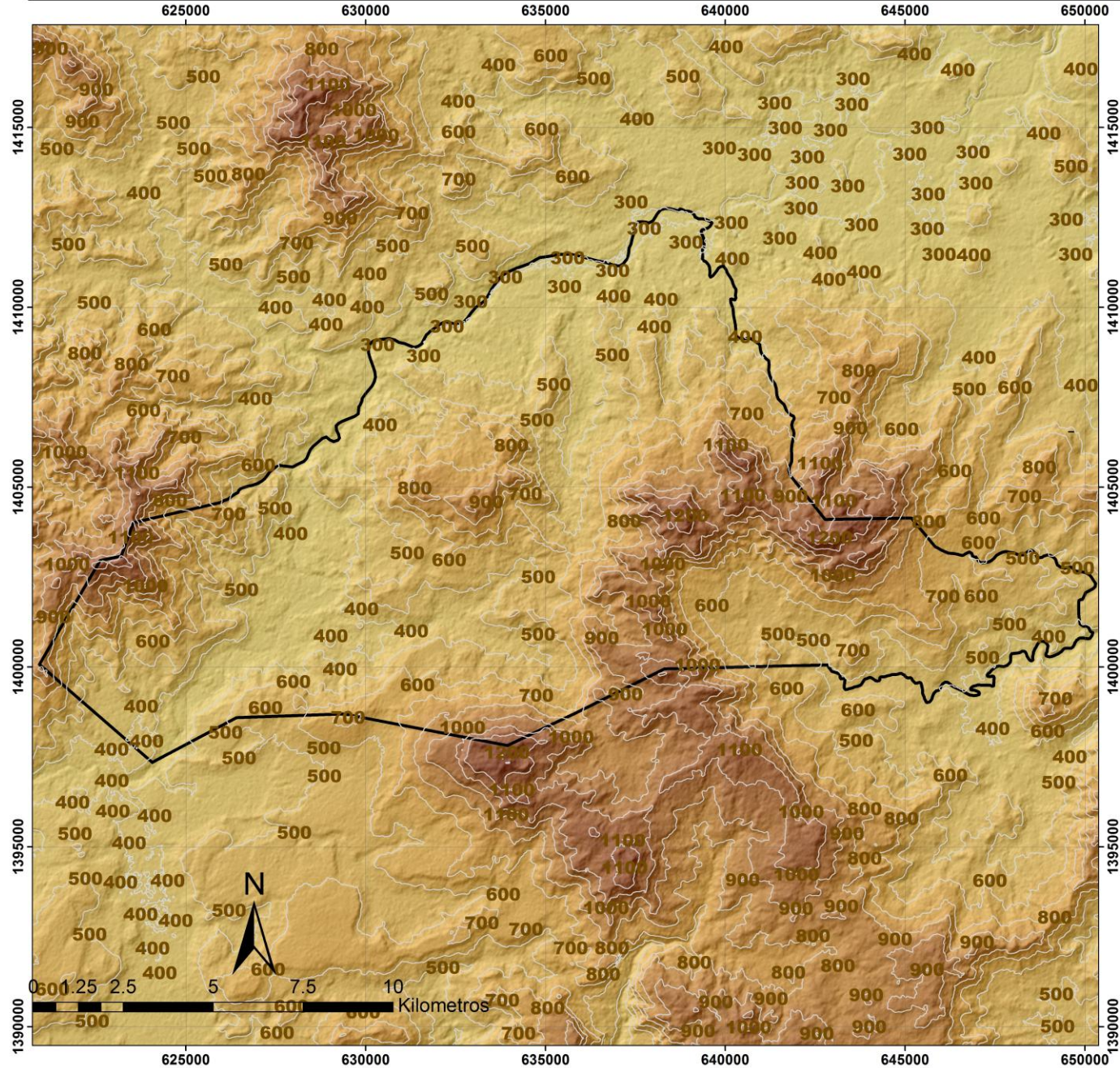
1:42,000

Proyección Transversal de Mercator (UTM), Zona 16, Elipsoide: WGS 1984, Dato horizontal: WGS84,





Mapa topográfico



Mapa de susceptibilidad por deslizamientos, mediante el método superposición de capas, en el Municipio de Esquipulas, Departamento de Matagalpa a escala 1: 30,000.

Simbología Convencional



Mapa N°13

Elaborado por: Br. Blanca Lucia Vanegas Mejia
1:76,292
Proyección Transversal de Mercator (UTM),
Zona 16, Elipsoide: WGS 1984,
Dato horizontal: WGS84,

Ejemplo de ficha de deslizamiento levantada en campo

Ficha de Deslizamiento

1. Datos Básicos

A) Datos de registro

Nº de registro: 1

Fecha de colecta: 11/05/18

Autor: Bianca Vanegas

B) Localización del movimiento:

Sitio: Limite Esquipulas - San José de los Remates

Localidad / Comarca: Monte Azul-Comarca El Roblar

Coordenada UTM: 638285 / 1397502; 900msnm

Observaciones:

II. Datos Técnicos.

A) Caracterización del Movimiento de laderas; tipo de movimiento

Deslizamiento

Rotacional	
Simple	
Múltiple	
Traslacional O Planar	
No determinado	

Otros tipos:

Reptación/Superficial: **X**

Complejo:

Hundimientos:

Edad del movimiento:

Grado de actividad:

Reciente: Histórico: **X**

Activo: **X** poco activo: Inactivo:

Grado de desarrollo:

Nulo: Detenido: Poco Activo: Inactivo: Incipiente: **X** Avanzado:

Observaciones:

A) Factores desencadenantes

Precipitaciones intensas

Precipitaciones prolongadas (horas/días de lluvias y cantidad en mm) **X**

Erosión o socavamiento en la base de la ladera o en el talud. **X**

Fenómenos Cársticos

Movimientos sísmicos

Tormenta/Huracán Nombre:

Actividad Antrópica **X**

Cambios en la geometría original de la ladera

Sobrecargas en la ladera

Otros:

Observaciones

B) Factores condicionantes:

Materiales blandos, meteorizados o alterados **X**

Alternancia de materiales de distinta competencia

Alternancia o contacto de materiales permeables o impermeables

Estructura desfavorable

Presencia de litologías plásticas (Arcillas, margas, evaporitas)

Pendientes acusadas **X**

Otros:

Observaciones:

C) Características morfológicas y geológicas del área inestable.

Materiales afectados por el movimiento de ladera:

Roca Suelo **X** Relleno

Tipo: **suelo residual producto de la meteorización de la unidad de flujo Laharico**

Espesor: **10metros**

Estructura:

Estratificación **X** Dirección y Buzamiento: _____

Imbricación: Otras discontinuidades

Grado de fracturación: Alto Medio Bajo **X**

Meteorización: Alta **X** Media Baja

Humedad: seco semi saturado **X** Saturado

Observaciones:

A) Estado de conservación y rasgos presentes sobre el depósito:

Presencia de vegetación en la cicatriz:

Desnuda: Semivegetada: **X** Herbácea: Arbustiva: Arbórea:

Cobertura:

Mayor al 70% entre 70-40% menor al 40% **X**

Presencia de vegetación sobre el depósito:

Desnudo Semi vegetada **X** Herbácea

Arbustiva Arbórea Agrícola **X**

Cobertura:

Mayor al 70% Entre 70-40% Menor al 40% **X**

Cabecera/Corona:

Conservada Erosionada Reforestada

Depósito:

Sin erosión perceptible **X** Con erosión perceptible

Observaciones:

Rasgos observables:

Escarpes frescos	X
Escarpes degradados	
Escarpes múltiples	
Escarpes sencillos	
Diques laterales conservados	
Escalones visibles	

Superficies de depósito irregular	X
Superficies de depósito plana	
Grietas laterales abiertas	
Grietas transversales abiertas	
Signos de reptación	X
Coronas menores	
Re movilización Antrópica	
Afectado por otros movimientos	

Observaciones:

A) Geometría y forma de la ladera

Cóncava Natural **X** Convexa

Plana Inducida

Altura (centro de la rotura): _____ cota cabecera: _____ cota pie: _____

Ubicación de la rotura en ladera: Cabecera: Parte media: **X** Pie: Desconocida:

Descripción y situación de grietas de tracción.

Orientación: _____ Longitud: _____ Profundidad: _____

Dimensiones

Superficie de ruptura:

Longitud: _____ Ancho: _____ Profundidad: _____

Maza desplazada:

Longitud: _____ Ancho: _____ Profundidad: _____

Observaciones:

B) Condiciones hidrogeológicas

Fuentes o manantiales en la ladera: Si **X** No Situación:

Aparición de surgencias nuevas: Si No Situación:

Desaparición manantial o fuentes: Si No

Existencia de pozos de agua próximos: Si No

Coordenada UTM:

Permeables	Semipermeables X	Impermeables
A) Uso de suelo:		
Urbano edificado	Urbano no edificado	Forestal
Industria e infraestructura	Cultivos X	Malezas
Pasto natural	Pasto mejorado	Natural
Confrontación de uso		
Adecuado	Subutilizado	Sobre utilizado
B) Velocidad del movimiento		
Alta	Media	Baja X
No determinada		
Observaciones:		

Ficha de Deslizamiento

1. Datos Básicos

A) Datos de registro

N° de registro: 2 Fecha de colecta: 9/05/18

Autor: Bianca Vanegas

B) Localización del movimiento:

Sitio: Esquipulas – Matagalpa

Localidad / Comarca: Finca La Garnacha

Coordenada UTM: 630825 / 1400037; 554msnm

Observaciones:

II. Datos Técnicos.

A) Caracterización del Movimiento de laderas; tipo de movimiento

Deslizamiento

Rotacional	
Simple	
Múltiple	
Traslacional O Planar	
No determinado	

Otros tipos:

Reptación/Superficial:

Complejo: **x**

Hundimientos:

Edad del movimiento:

Grado de actividad:

Reciente: Histórico: **X**

Activo: **X** poco activo: Inactivo:

Grado de desarrollo:

Nulo: Detenido: Poco Activo: Inactivo: Incipiente: Avanzado: **X**

Observaciones: **Se formó hace 8 años, a raíz de precipitaciones intensas**

B) Factores desencadenantes

Precipitaciones intensas

Precipitaciones prolongadas (horas/días de lluvias y cantidad en mm)

Erosión o socavamiento en la base de la ladera o en el talud.

Fenómenos Cársticos

Movimientos sísmicos

Tormenta/Huracán Nombre: **Nate**

Actividad Antrópica **X**

Cambios en la geometría original de la ladera **X**

Sobrecargas en la ladera **X**

Otros:

Observaciones

C) Factores condicionantes:

Materiales blandos, meteorizados o alterados **X**

Alternancia de materiales de distinta competencia

Alternancia o contacto de materiales permeables o impermeables

Estructura desfavorable

Presencia de litologías plásticas (Arcillas, margas, evaporitas)

Pendientes acusadas **X**

Otros: **Pendiente de 42°**

Observaciones: **Deslizamiento limitado por las zonas de escorrentías, las cuales a su vez están asociadas a zonas de connotada debilidad estructural.**

A) Características morfológicas y geológicas del área inestable.

Materiales afectados por el movimiento de ladera:

Roca **X** Suelo **X** Relleno

Tipo: **Ignimbrita meteorizada y coluvio en la parte baja del deslizamiento** Espesor: _____

Estructura:

Estratificación Dirección y Buzamiento: _____

Imbricación: Otras discontinuidades

Condiciones de la roca y suelo:

Grado de fracturación: Alto Medio **X** Bajo

Meteorización: Alta Media **X** Baja

Humedad: seco semi saturado **X** Saturado

Observaciones: **Se identificaron fracturas dentro del deslizamiento con dirección: 315°, N10°E, 330°, la unidad de roca se encuentra medianamente meteorizada y en la parte baja del deslizamiento se encuentra afectado por fluidos hidrotermales, en la parte sureste del deslizamiento la roca se observa cloritizada.**

B) Estado de conservación y rasgos presentes sobre el depósito:

Presencia de vegetación en la cicatriz:

Desnuda: Semivegetada: **X** Herbácea: Arbustiva: Arbórea:

Presencia de vegetación sobre el depósito:

Desnudo	Semi vegetada	Herbácea
Arbustiva X	Arbórea	Agrícola

Cobertura:

Mayor al 70%	Entre 70-40% X	Menor al 40%
--------------	-----------------------	--------------

Cabecera/Corona:

Conservada X	Erosionada	Reforestada
---------------------	------------	-------------

Depósito:

Sin erosión perceptible X	Con erosión perceptible
----------------------------------	-------------------------

Observaciones:

Rasgos observables:

Escarpes frescos	X
Escarpes degradados	
Escarpes múltiples	
Escarpes sencillos	
Diques laterales conservados	
Escalones visibles	X

Superficies de depósito irregular	X
Superficies de depósito plana	
Grietas laterales abiertas	
Grietas transversales abiertas	
Signos de reptación	X
Coronas menores	
Re movilización Antrópica	
Afectado por otros movimientos	

Observaciones: **Se identificaron pequeños ojos de agua a lo largo de la ladera, el nivel freático es muy somero.**

A) Geometría y forma de la ladera

Cóncava	Natural	Convexa X
---------	---------	------------------

Altura (centro de la rotura): No se pudo acceder cota cabecera: 630882 / 1400040; 555m
cota pie: 630825 / 1400037; 554m

Ubicación de la rotura en ladera: Cabecera: **X** Parte media: Pie: Desconocida:

Descripción y situación de grietas de tracción.

Orientación: _____ Longitud: _____ Profundidad: _____

Dimensiones

Superficie de ruptura:

Longitud: _____ Ancho: _____ Profundidad: _____

Maza desplazada:

Longitud: _____ Ancho: _____ Profundidad: _____

Observaciones:

A) Condiciones hidrogeológicas

Fuentes o manantiales en la ladera: Si **X** No Situación:

Aparición de surgencias nuevas: Si No Situación:

Desaparición manantial o fuentes: Si **X** No

Existencia de pozos de agua próximos: Si No

Coordenada UTM:

Comportamiento hidrogeológico de los materiales:

Permeables Semipermeables Impermeables

B) Uso de suelo:

Urbano edificado Urbano no edificado Forestal

Industria e infraestructura Cultivos **X** Malezas

Pasto natural Pasto mejorado Natural

Confrontación de uso

Adecuado Subutilizado Sobre utilizado

C) Velocidad del movimiento

Alta Media **X** Baja No determinada

Tabla N°2: Inventario de deslizamientos del área de estudio

Código	Tipo de Deslizamiento	Sitio	Área (km ²)	x	y	Litología	Pendiente (°)	Uso de suelo
1	Deslizamiento Superficial	Extremo SW cerro El Anonal	0.091	633 075	1401 254	Qr	20	Pastizales
2	Deslizamiento Complejo	Finca La Garnacha	0.92	630 821	1400 037	coluvio	40	Pastizales
3	Deslizamiento Complejo	Finca La Garnacha	2.05	629 688	1399 931	coluvio	35	Pastizales
4	Deslizamiento Superficial	Comarca El Roblar	0.5	638 285	1397 502	Qr	15	Pastizales
5	Deslizamiento Superficial	Comarca El Roblar	0.45	638 531	1397 535	Qr	15	Pastizales
6	Deslizamiento Complejo	Finca San Vicente	0.41	638 955	1406 439	coluvio	20	Cultivo
7	Deslizamiento Complejo	Finca San Vicente	0.13	639 215	1406 823	coluvio	25	Cultivo
8	Deslizamiento Superficial	San Miguel	0.002	630 409	1398 872	coluvio	20	Pastizales
9	Deslizamiento superficial	Finca Los Chavarías	1.9	630 991	1398 585	Basalto	15	Pastizales
10	Deslizamiento superficial	Cumaica-El Dorado	0.35	640 831	1400 022	Qr	8	Pastizales
11	Deslizamiento Superficial	San Pedro	0.002	642 110	1402 476	Basalto	15	Cultivo
12	Deslizamiento superficial	Cerro Los Angeles	0.001	642 033	1402 527	Basalto	13	Cultivo
13	Deslizamiento Superficial	San Matías	0.04	641 551	1402 844	Qr	8	Cultivo
14	Deslizamiento Superficial	San Matías	0.16	641 318	1402 782	Qr	9	Cultivo
15	Deslizamiento Superficial	San Matías	0.04	641 133	1402 740	Qr	10	Cultivo
16	Deslizamiento Superficial	Tramo carretera Esquipulas-Muy Muy	0.9	636 425	1406 502	coluvio	15	Cultivo
17	Deslizamiento Superficial	Castillo Arriba- sector las flores	2.31	631 123	1405 841	Ignimbrita	22	Cultivo
18	Deslizamiento Superficial	Las Eneas	0.21	631 778	1404 093	Basalto	18	Pastizales
19	Deslizamiento Superficial	Cuatro Esquinas	0.04	639 485	1410 309	Qr	10	Pastizales
20	Deslizamiento Superficial	Puente Yanae	0.033	639 034	1410 133	Ignimbrita	9	Pastizales
21	Deslizamiento Superficial	Tramo carretera Esquipulas-Muy Muy	0.16	637 096	1409 117	coluvio	8	Pastizales
22	Deslizamiento Superficial	Tramo carretera Esquipulas-Muy Muy	0.06	636 206	1408 769	coluvio	10	Pastizales
23	Deslizamiento Superficial	Tramo carretera Esquipulas-Muy Muy	0.019	636 222	1408 639	coluvio	8	Pastizales
24	Deslizamiento Superficial	Tramo carretera Esquipulas-Muy Muy	0.03	636 334	1407 560	Qr	11	Cultivo
25	Deslizamiento Superficial	Tramo carretera Esquipulas-Muy Muy	3.38	636 205	1407 036	coluvio	9	Pastizales
26	Deslizamiento	Tramo carretera	1.27	635	1405	coluvio	10	Pastizal

**Mapa de Susceptibilidad por deslizamientos, mediante el método Superposición de capas, en el Municipio de Esquipulas,
Departamento de Matagalpa. Escala 1:30,000**

	Superficial	Esquipulas-Muy Muy		943	491	o		es
27	Deslizamiento superficial	El Zapotal Centro	0.073	635 999	1404 872	Qr	22	Cultivo
28	Deslizamiento superficial	Zapotal	0.002	636 242	1403 430	Qr	10	Pastizales
39	Deslizamiento superficial	Zapotal	0.016	635 940	1404 646	coluvió	8	Pastizales
30	Deslizamiento Rotacional	La Luna	0.06	638 381	1402 571	coluvió	20	Pastizales
31	Deslizamiento Rotacional	Cerro El Anonal	0.17	634 397	1401 407	coluvió	15	pastizales
32	Deslizamiento Superficial	Piedra Grande	2.14	628 798	1399 714	--	22	Cultivo
33	Deslizamiento superficial	Lomas de Guadalupe	1.01	631 932	1399 598	coluvió	10	Pastizales
34	Deslizamiento superficial	La Loma	1.9	631 932	1399 598	Basalto	15	Pastizales
35	Deslizamiento Superficial	Cerro La Gotera	0.18	622 706	1402 387	Qr	25	Pastizales
36	Deslizamiento Superficial	Cerro El Sombrero	0.35	624 677	1401 892	Ignimbrita	18	Pastizales
37	Deslizamiento Superficial	Cerro El Sombrero	0.38	624 969	1402 246	Qr	20	Pastizales
38	Deslizamiento superficial	Cerro El Sombrero	0.13	626 644	1402 960	coluvió	15	Cultivo
39	Deslizamiento Superficial	Cerro El Sombrero	0.04	626 255	1404 397	Ignimbrita	8	Pastizales
40	Deslizamiento Superficial	Cerro El Sombrero	0.11	627 720	1404 329	coluvió	15	Pastizales
41	Deslizamiento Superficial	Comarca Coscuilo	0.51	629 014	1405 921	Ignimbrita	20	Pastizales
42	Deslizamiento Superficial	Las Eneas	1.49	631 637	1403 802	coluvió	10	Cultivo
43	Deslizamiento Superficial	El Jabillal	0.15	630 928	1404 152	Qr	15	Cultivo
44	Deslizamiento Superficial	La Esperanza	1.8	632 712	1400 805	coluvió	10	Cultivo
45	Deslizamiento Superficial	Comarca Cinta Verde	1.1	633 804	1400 532	Qr	15	Cultivo
46	Deslizamiento Superficial	Comarca Cinta Verde	2.15	634 720	1400 187	coluvió	20	Cultivo
47	Deslizamiento Superficial	El Paraguaito	0.54	631 993	1401 899	coluvió	10	Pastizales
48	Deslizamiento Superficial	La Golondrina	2.28	632 109	1403 205	coluvió	8	Cultivo
49	Deslizamiento superficial	Las Nieves	0.75	631 610	1405 848	Qr	10	Cultivo
50	Deslizamiento Superficial	Las Nieves	3.25	632 776	1405 558	coluvió	15	Cultivo
51	Deslizamiento Superficial	El Zapotal Abajo	2.19	635 281	1403 757	Qr	15	Cultivo
52	Deslizamiento Superficial	La Reforma	1.74	635 754	1402 414	coluvió	20	Cultivo
53	Deslizamiento Superficial	Comarca Santa Ana	0.36	633 469	1409 457	Ignimbrita	8	Cultivo
54	Deslizamiento Superficial	Buenos Aires	1.45	635 794	1407 726	coluvió	15	Pastizales

**Mapa de Susceptibilidad por deslizamientos, mediante el método Superposición de capas, en el Municipio de Esquipulas,
Departamento de Matagalpa. Escala 1:30,000**

55	Deslizamiento Superficial	Finca San Vicente	0.13	639 269	1406 806	coluvi o	20	Cultivo
56	Deslizamiento Rotacional	Cerro El Gorrión	4.32	640 684	1407 433	coluvi o	16	Cultivo
57	Deslizamiento Superficial	El Dorado	0.55	640 020	1400 526	coluvi o	25	Cultivo
58	Deslizamiento Superficial	El Dorado	0.61	639 058	1401 739	Qr	15	Cultivo
59	Deslizamiento Superficial	La Luna	0.75	639 825	1401 701	Qr	10	Cultivo
60	Deslizamiento Superficial	San Matías	1.74	639 883	1402 606	coluvi o	22	Pastizales
61	Deslizamiento Superficial	Santa Rosa	0.28	641 258	1400 808	Qr	20	Cultivo
62	Deslizamiento Superficial	Monte Alegre	2.57	644 668	1402 198	coluvi o	15	Cultivo
63	Deslizamiento Superficial	Monte Alegre	0.12	644 469	1403 000	coluvi o	10	pastizales

|