



ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES
EN LAS COMUNIDADES DE AYAGUALO, SACAZIL, GRANADILLAS
Y EL LIMÓN
MUNICIPIO DE SANTA TECLA
(ZONA SUD DE LA CORDILLERA DEL BÁLSAMO)



Sílvia Laura Codina Thomatis
Ingeniera Técnica de Minas



ÍNDICE

1. AGRADECIMIENTOS.....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	4
2.1. OBJETIVOS	7
3. ZONA DE ESTUDIO	8
3.1. INFORMACIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO.	8
3.2. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS	13
3.2.1. GEOMORFOLOGÍA.....	13
3.3. GEOLOGÍA	17
3.3.1. FORMACIONES GEOLÓGICAS EN LA ZONA	17
3.3.2 HISTORIA GEOLÓGICA	19
3.3.3 TECTÓNICA	20
3.3.4 PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES	21
4. MÉTODO DE TRABAJO	28
4.1. PARÁMETROS	30
4.1.1. SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO	30
4.1.2. OTROS FACTORES QUE AFECTAN AL RIESGO	35
5. PROCESAMIENTO DE DATOS	37
5.1. CÁLCULO DE SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO.....	38
5.2. ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE LA VULNERABILIDAD.....	46
5.3. TABLA COMPARATIVA DE PARÁMETROS. RIESGO ESTIMADO.....	50
6. CONCLUSIONES.....	53
7. RECOMENDACIONES	53
8. BIBLIOGRAFÍA	54



1. AGRADECIMIENTOS

Es un placer para mí poder estar escribiendo estas letras. Eso significa que he podido hacer realidad el proyecto que con tantas ganas quería realizar. Significa que he podido vivir la experiencia de conocer El Salvador, de conocer a su gente, sus costumbres, tradiciones... pero también me gratifica el haber conocido a tantas otras bellísimas personas que han contribuido a que estos dos meses hayan sido maravillosos. Agradecerles a todas ellas su ayuda.

Esto no habría sido posible sin Geólogos del Mundo, el CCD y la Alcaldía de Santa Tecla. Doy las gracias especialmente a Cristina por estar tan a mi lado en todo momento, por saber convivir conmigo y ayudarme tantísimo.

Y gracias por vuestra compañía y ayuda a: Juli, Carol, Roger, J.M.Mata, Miguel, Karla, Pilar, Carles, Miguel A.H., José Ortega, Mercy, Alfredo Alvarenga y Don Atilio.



2. INTRODUCCIÓN

La situación geológica-geográfica de La República de El Salvador caracteriza al país por presentar una intensa actividad eruptiva a lo largo de su historia geológica que ha dado lugar a la formación de numerosos edificios volcánicos sobre un relieve de planicie. Se trata pues, de un país relativamente joven, de tierras fértiles y abundante agua durante el período de lluvias y de agentes geológicos internos como la continua sismicidad que afecta a todo el país. Un país altamente vulnerable a la erosión, en el que el fuerte control tectónico favorece la incisión de la red de drenaje y la ocurrencia de movimientos gravitatorios. Las amenazas geológicas desencadenadas por lluvias y sismos son principalmente las inestabilidades, a las que se asocian la ocurrencia de avenidas e inundaciones.

Sin embargo, la historia del hombre sobre estas tierras ha incidido negativamente y de manera incalculable en las innatas riquezas que el país poseía. El “éxito” de la evolución o desarrollo del hombre debería medirse según su adaptación al medio en el que vive, incluyendo el respeto a los demás seres vivos y de cómo ha manejado los recursos naturales de los que disponía o dispone. Sin embargo el modelo de desarrollo impuesto a lo largo de la historia del hombre se orienta hacia otros valores que no han respetado y valorado las primeras y únicas maravillas, la tierra y los elementos que la conforman. Los recursos naturales han sido y están siendo, visto el panorama mundial actual, objeto de guerras, explotaciones y tantas y tantas atrocidades que intentan mostrarnos como sucesos cotidianos.

Nuestro estudio se centra en la localidad de Santa Tecla, concretamente en la zona sur de La Cordillera del Bálsamo en comunidades rurales que se caracterizan por vivir con ese riesgo. Y es que La Cordillera del Bálsamo es actualmente uno de los temas ambientales de mayor interés y difusión nacional. Su ubicación estratégica al sur del gran San Salvador, la colocan como una de las zonas de mayor presión urbanística, dadas sus características climáticas y geográficas. Por la cual cosa debemos conocer



con exactitud los aspectos geológicos y geomorfológicos de La Cordillera del Bálsamo para poder entrar en detalle en estudios de la zona de Santa Tecla.

Por lo que se refiere a los posibles daños en el área de estudio se debería considerar la fragilidad de la Cordillera del Bálsamo en cuanto que los sismos son, además de una amenaza en sí mismos, detonantes de deslizamientos que a su vez han demostrado ser los fenómenos que más muertes han causado a lo largo de los últimos años (el 58% de las muertes causadas por terremoto del 13 de enero de 2001 fueron provocadas por el deslizamiento de las Colinas, en Santa Tecla).

Por ello hay que considerar los fenómenos colaterales a los sismos, como son los deslizamientos, que han demostrado ser fenómenos de gran impacto y mucho más dañinos que los terremotos que los detonaron. Esto se debe a que las zonas habitacionales aledañas a las laderas de la Cordillera del Bálsamo Tecleña son de alta densidad, por lo que el riesgo asociado a los fenómenos geológicos en esta zona es considerablemente alto. La ubicación de estas viviendas, encajadas en quebradas o al pie de taludes de altas pendientes y poca estabilidad las hace realmente vulnerables ante el posible deslizamiento de los taludes.

La interpretación de la ocurrencia de inestabilidades gravitatorias requiere del conocimiento de las condiciones y procesos que las controlan en el área de estudio, no tanto en cuanto al proceso de movimiento de ladera en sí, sino por las consecuencias que ésta acarrea.

Las inestabilidades gravitatorias son causadas cuando la fuerza de la gravedad moviliza la roca o los suelos por la pendiente. Son una de las formas de erosión naturales conocidas también como desgaste de masas y que son definidas, de manera general, como la erosión que involucra como agente causante del movimiento a la gravedad. Dado que la gravedad actúa permanentemente sobre una pendiente, las inestabilidades gravitatorias sólo ocurren cuando la fuerza de la gravedad excede la resistencia del material.

En cualquier parte de la superficie de la tierra, la gravedad empuja continuamente los materiales hacia niveles más bajos. El término más común que se utiliza para nombrar estos movimientos es el de deslizamientos o derrumbes, sin embargo, se trabaja en la actualidad para dar a conocer entre los técnicos y actores dedicados a estos procesos una nomenclatura común que facilite la comprensión y que de lugar a estudios



comparables. La ocurrencia de los movimientos depende de las siguientes variables: clase de rocas y suelos, orientación de las fracturas o grietas en la tierra, cantidad de lluvia en el área, actividad sísmica, actividad humana (cortes en ladera, falta de canalización de aguas, etc.), erosión (por actividad humana y de la naturaleza).

Para el entendimiento de la dinámica de este proceso, se presenta una caracterización de las diferentes tipologías de taludes inestables presentes en los cantones de Sacazil, Ayagualo, Granadillas y El Limón, cuatro de los siete cantones de Santa Tecla. Con el mismo objetivo, se ha elaborado un inventario de un gran número de las inestabilidades que actualmente se observan, donde se reflejan las características de éstas. Este inventario pretende iniciar una toma de registros continuos de este proceso.

El estudio parte de la necesidad de conocer, por parte de la Alcaldía de Santa Tecla, cuáles son los riesgos geológicos que amenazan a las comunidades del área de la Cordillera Sur. El masivo y descontrolado asentamiento humano en las laderas, las intervenciones humanas en el medio natural como la deforestación, ocupación y cambios de uso de suelos, la modificación de las laderas, las modificaciones en los regímenes de los cauces naturales y de los niveles freáticos son acciones que pueden acelerar la fragilidad del medio, causando inestabilidades de ladera, inundaciones y otros desastres acontecidos a raíz de terremotos. Si se llegan a controlar todas estas acciones que influyen en la alta probabilidad de ocurrencia de fenómenos geológicos que ponen en peligro a tantas familias y bienes, se podrá reducir el riesgo geológico que es una realidad en Santa Tecla e igualmente en todo el Salvador.

Estudiando puntos susceptibles a la inestabilidad, su entorno y la vida de quienes viven cerca del riesgo, se pretende obtener un análisis claro y entendedor para que desde la Alcaldía de Santa Tecla se procedan a obras de mitigación de riesgo en las zonas más necesitadas y informar de la situación de riesgo que viven las comunidades y servir ejemplo a seguir, de manera continua en los demás cantones y así obtener un estudio más exhaustivo del riesgo total geológico que se vive en toda Santa Tecla. Éste es pues un paso más para la





lucha contra el riesgo geológico que tanto nos da que hablar en estas tierras; esperemos se siga caminando...

2.1. OBJETIVOS

El proyecto pretende profundizar en los conocimientos técnicos y científicos con lo que respecta a los movimientos de laderas en las zonas de estudio para conocer el estado de riesgos en las comunidades, analizando de manera zonal cuales son los factores que puedan conllevar a desprendimientos que afecten a las mismas. Estudiar laderas cercanas a las comunidades, analizar su morfología, orientación, litología, pendientes, geotecnia, humedades, vegetación...todo ello a fin de conocer cual es la susceptibilidad a deslizamientos e igualmente conocer cual es la vulnerabilidad que sufren las comunidades cercanas al riesgo.

Este proyecto pretende mostrar un modelo a seguir en posteriores estudios que se van a realizar en toda Santa Tecla en los que se caracterizará con más precisión el riesgo geológico a partir de cartografías de susceptibilidad que servirán de herramienta para la prevención de desastres.

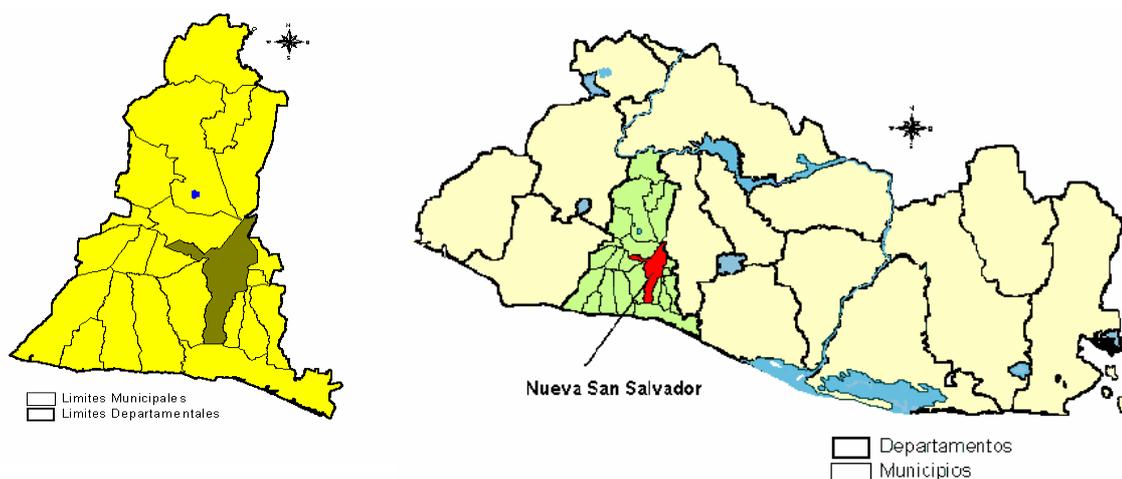
Como objetivo principal centramos el hecho de dar continuidad a los proyectos de mitigación de riesgos en la zona de la Cordillera del Bálsamo. Y es que ya lo dice el refrán que “más vale prevenir que curar”. Para prevenir los desastres hay que conocer muy bien cuáles son las raíces que hacen crecer al Riesgo que tanto tememos y contra las que luchamos cada día con más fuerza.



3. ZONA DE ESTUDIO

3.1. INFORMACIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO.

Municipio de Santa Tecla (Nueva San Salvador),
Departamento de La Libertad, República de El Salvador



La ciudad de Santa Tecla, hasta hace poco conocida oficialmente como Nueva San Salvador, es la cabecera del departamento de La Libertad, en la zona central de El Salvador. El municipio tiene aproximadamente una población de 165,000 habitantes y es parte de la región denominada Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), cuyo centro es la capital Salvadoreña, San Salvador, al Este de Santa Tecla. El municipio adquirió los nombres con los que se le conoce por haber sido erigida en la antigua Hacienda de Santa Tecla a raíz del terremoto que afectó San Salvador en 1854. La idea original de su edificación debido a dicho terremoto fue la de construir la nueva capital, de allí el nombre Nueva San Salvador, aunque la población siempre se identificó con el nombre Santa Tecla. El crecimiento urbanístico de la ciudad data de ese año de 1854. El 7 de noviembre de ese año se conceden sitios a quienes edifiquen en Nueva San Salvador, señalándose términos de la concesión y criterios para la construcción de las casas. El 2 de enero de 1855 la Junta de Delineación de Nueva San Salvador autoriza la distribución de terrenos. El 11 de marzo de 1882



queda sin efecto la Ley Ejidal que destinaba el terreno a la agricultura, volviéndose potencialmente urbano. En 1911 se anexan terrenos del Volcán de San Salvador expandiéndose así los límites de la ciudad.

Santa Tecla ha recibido durante las últimas décadas un gran flujo de nuevos habitantes y además sus principales calles, trazadas en ángulo recto, fueron invadidas por comerciantes en busca del sustento diario. El mayor crecimiento urbanístico acelerado y desordenado se produce en el período entre 1968 y 2000, incidiendo nuevamente las catástrofes naturales, los terremotos de 1965 y 1986 en San Salvador, y además la guerra civil en la década de los 80s, hasta romper los límites de las zonas naturales restringidas, establecidos por el Metroplan 80 – 2000 que regula el ordenamiento territorial y el uso de los suelos en las municipalidades del Área Metropolitana de San Salvador, produciéndose un gran impacto ambiental en las faldas del Volcán de San Salvador y la Cordillera del Bálsamo. Esa combinación de factores propició la pérdida de vidas en la colonia tecleña de Las Colinas, una urbanización autorizada por el gobierno central en áreas restringidas de la Cordillera del Bálsamo, durante el terremoto de enero de 2001. Este evento reforzó en la municipalidad la necesidad de planificar hacia el futuro un mejor municipio con la ayuda de la ciudadanía. De esta manera se inició en el año 2002 el proceso de Planificación Estratégica Participativa, dentro del cual se ha elaborado el Plan Estratégico Participativo, instrumento que recoge el consenso de la ciudadanía y sus autoridades respectó a los principales problemas, objetivos estratégicos y líneas de acción que deben ser emprendidas para impulsar el desarrollo del municipio.

Información Básica de Santa Tecla:

Extensión Territorial: 112.2 Km².

Área urbana: 135 Ha.

Ubicación:

El municipio de Santa Tecla se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas 13°44'47" LN (extremo septentrional) y 13°32'22" LN (extremo meridional); 89°15'45" LWG (extremo oriental) y 89°23'58" LWG (extremo occidental). Limita al norte con los municipios de Colón, San Juan Opico, Quezaltepeque y Nejapa; al Este por San



Salvador, Antiguo Cuscatlán, Nuevo Cuscatlán, San José Villanueva y Zaragoza; al Sur por La Libertad y al Oeste, por Talnique y Comasagua.

Red Vial: 80% asfaltada y pavimentada.

Altitud: 789 m.s.n.m.

Temperatura promedio: Oscila entre los 18 y 24 C°.

Condiciones Naturales del Territorio Municipal:

La mayoría del territorio es Bosque Húmedo Subtropical, con un monto pluvial anual entre los 1900 y 2200 mm. El terreno presenta elevaciones en el volcán, en las colinas y la cordillera montañosa.

División Política Administrativa:

Se reconocen actualmente 12 Cantones habitados, en los cuales se ubican 51 caseríos.

En el área urbana se encuentran 62 colonias, y 18 comunidades en vías de desarrollo.

Principales Actividades Económicas:

Las principales actividades económicas del municipio se concentran alrededor de la agricultura, el comercio y la industria.

Uso del Suelo:

Cerca de un 60% del total del territorio esta dedicado al cultivo del café. Las plantaciones de café representan un gran potencial para el municipio tanto en lo económico como en lo ambiental. En la zona del Volcán de San Salvador se encuentran ubicadas varias fincas, concentradas en pocos propietarios. En la parte central y sur del municipio están ubicados beneficios y centros de acopio del grano. En los últimos 10 años, debido a la caída de los precios del café a nivel internacional, al acelerado proceso de desarrollo urbanístico y las migraciones de población, existe una presión y tendencia en el cambio de uso de suelo de agrícola a urbanístico.

En la zona sur del municipio son característicos los minifundios y las parcelas individuales de cultivo de granos básicos como: maíz y frijol. Una parte de la población cultiva en terrenos alquilados por lo que se conforman con la asignación de las peores tierras. Actualmente en algunos terrenos utilizados para el cultivo de granos básicos se



están construyendo asentamientos humanos, lo que ha disminuido las áreas de cultivo.

POBLACIÓN POR CANTÓN Y RELACIÓN DE SEXO			
CANTÓN	MASCULINO	FEMENINO	TOTAL
ALVAREZ	507	604	1111
EL PROGRESO	1690	1998	3688
VICTORIA	560	644	1204
EL MATAZANO	482	532	1014
EL LIMÓN	513	552	1065
AYAGUALO	245	364	609
SACAZIL	487	536	1023
LAS GRANADILLAS	894	916	1810
EL TRIUNFO	633	780	1413
LOS PAJALES	246	268	515
POBLACIÓN TOTAL	6257	7194	13,451

Figura 1: Población por cantón y relación de sexo

El Estudio se centra en los Cantones de Sacazil, El Limón, Las Granadillas y Ayagualo. Los caseríos que se han analizado son El Combo, Loma Las Papayas, Los Peñates y Sacazil Centro de Sacazil; el Calvario, Limón Centro, Lomas de San Antonio, La Cuchilla y Los Samayoa, de El Limón; Santa Marta, La Mascota, Ayagualo Centro, Monteverde I y Monteverde II de Ayagualo; y los caseríos de Granadillas Centro, El Nance, Los Borja, Los Pineda y La Providencia del Cantón de Granadillas.

Se han levantado inventarios de un total de 43 taludes que quedan descritos en fichas (Anexo 2) y por un mapa de localización de Taludes (Anexo 1). A continuación se muestra la tabla 1 donde quedan reflejadas las coordenadas geográficas de cada uno de los taludes.



NUMERO TALUD	COORDENADAS (m)		
	X	Y	Z
2	463063	281879	-
3	463013	282029	-
4	469147	278748	-
5	469145	278781	-
6	469316	278768	-
7	469357	278769	956
8	463521	281283	1006
9	469181	278457	846
10	468449	277395	809
11	467028	278441	997
12	467069	278526	829
13	467244	278703	822
14	467290	279044	833
15	467385	279261	833
16	469168	278763	922
17	466869	277569	769
18	466873	277471	785
19	466847	277445	778
20	466775	277673	789
21	466702	277625	824
22	465968	276880	797
23	466856	277612	797
24	464771	279642	750
25	464771	279614	734
26	464806	279626	734
27	464688	279773	789
28	464837	281627	-
29	464588	283354	-
30	464092	281536	-
31	465845	282590	-
32	465818	282399	-
33	465031	280022	-
34	465204	280326	-
35	465295	280458	-
36	465963	282618	-
37	465698	279868	129
38	465709	279926	871
39	465881	280070	877
40	465874	280112	935
41	466601	281646	935
42	465907	280000	935
43	465888	279964	-
44	466634	280314	964

Tabla 1: coordenadas de los taludes estudiados



3.2. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

3.2.1. GEOMORFOLOGÍA

La Cordillera del Bálsamo está situada al sur del sector central de El Salvador, al Suroeste de San Salvador, y pertenece a la unidad geomorfológico de la Cordillera Litoral.

Tiene una longitud aproximada de 60 km. En dirección E-W, y un ancho aproximado de 20 km. Sus elevaciones oscilan entre los 600 hasta los 1000 m.s.n.m. alcanzando su altura máxima a los 1500 m.s.n.m.

La morfología de la Cordillera del Bálsamo se debe a varios episodios de deslizamientos que se han ido sucediendo a lo largo de los tiempos dando lugar a escarpes con surcos como “cucharadas” actualmente cubiertos de vegetación o sobre los que se han construido algunas colonias. En general los bordes de estos antiguos deslizamientos se sitúan en las zonas superiores de las laderas y de las quebradas.

Las pendientes en la ladera sur del Bálsamo son más moderadas que en la ladera norte, aunque en éstas, las quebradas y ríos que discurren de norte a sur han moldeado valles cuyas laderas orientadas hacia este y oeste pueden presentar fuertes pendientes similares a las de la ladera norte, sobretodo en el sector poniente.

Es importante señalar que las pendientes abruptas no siempre se localizan en las cercanías de la cima de la Cordillera. Muchas veces se sitúan en partes medias o bajas de las laderas. La desestabilización de éstas partes medias y bajas debilitan las partes superiores, por lo que deben tratarse con particular atención. Especialmente cuando se traten de cortes producidos por antiguos deslizamientos o por cortes de talud para realizar cualquier tipo de infraestructura o actividad agrícola.

Las pendientes de su ladera norte y sur han sido perfiladas por múltiples quebradas tributarias de ríos, que han modelado en ellas valles jóvenes y profundas que corren:

EN LA VERTIENTE SUR:

Hacia el sur (de poniente a oriente):

Ríos el pulpito. La Periquera. El Salto. El Sacazil. El Limón. San Isidro y Granadillas. Afluentes del Chilama.

Río Providencia, quebradas trituradas del río San Antonio, afluentes del río Asucho.



Hacia sur-poniente:

Quebradas que nacen en el cantón Loma Larga. Tributarias del río El Zanjón.

EN LA VERTIENTE NORTE:

Hacia el norte-poniente:

Quebradas que nacen en el cantón Loma Larga tributarias del río Los Chorros.

Hacia norte-oriente:

Zanjón El Astillero, La Montaña, quebrada Los Cedros, afluentes del río Guarumal.

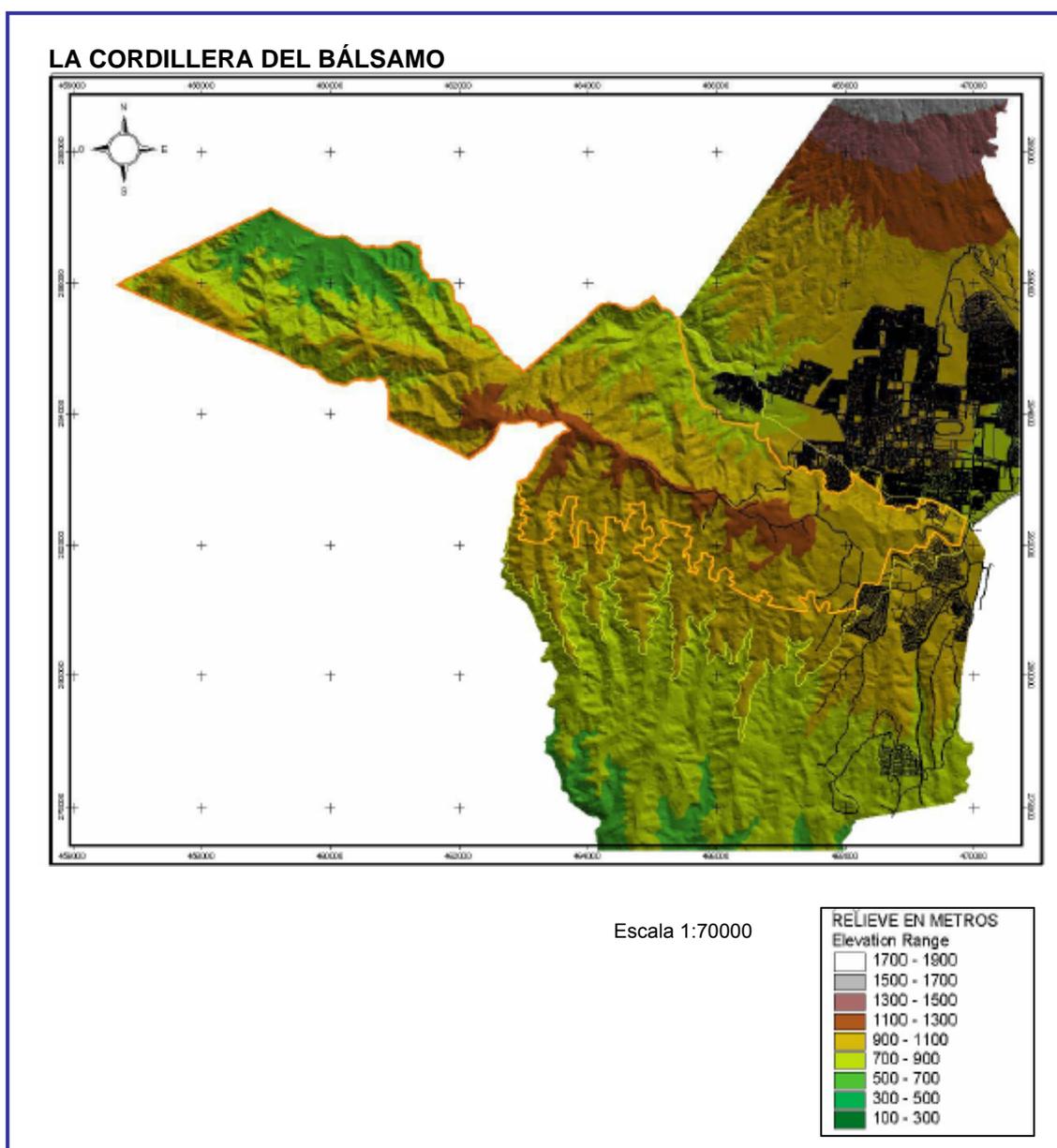


Figura 2: Variación del relieve en la Cordillera del Bálsamo

Las características geomorfológicas se han sintetizado bajo los siguientes títulos:



- **LLANURAS**

Son áreas planas, con pendientes menores o iguales a 15°. Estas zonas son las partes bajas de laderas y ríos o quebradas en régimen de transporte. En ellas la susceptibilidad a deslizamientos es baja, pero son las áreas potencialmente afectadas por éstos, así como por las inundaciones (en las zonas cercanas a ríos o quebradas).

- **VALLES MODERADOS**

Los valles moderados tienen profundidades desde 50 a 100 m de desnivel. Se caracterizan por tener pendientes que oscilan entre 15° y 35° (salvo algunas excepciones) y ser las partes de ríos o quebradas en régimen de tránsito entre la erosión y el transporte. La susceptibilidad a deslizamientos en éstas zonas es moderada, podrían darse deslizamientos puntuales en las zonas en las que el agua produce una erosión preferencial, aquellas que han sido desforestadas, o en las que se han modificado la pendiente natural de la ladera o la dinámica natural del flujo hídrico.

- **VALLES PROFUNDOS**

Se trata de valles de 100 a 150 m de desnivel, cuyas laderas son generalmente abruptas, con pendientes mayores a los 35°. Existen excepciones en taludes menores a los 35° y que se consideran muy profundos debido a su desnivel. Los ríos y quebradas discurren en éstos con gran poder erosivo. Es por ello que son las áreas en las que la susceptibilidad a deslizamientos, según las características del suelo presente, suele ser moderada a alta. Cualquier variación en la masa forestal, las pendientes y el curso hídrico, sin haber tomado medidas adecuadas para preservar la estabilidad de los taludes podrían condicionar la ocurrencia de deslizamientos. También las lluvias intensas, cambios bruscos en los caudales de ríos o quebradas, sismos, pueden detonar repentinos deslizamientos en éstas zonas, o bien dar fragilidad a las laderas, condicionando deslizamientos a medio o largo plazo.

- **VALLES MUY PROFUNDOS**

Se trata de valles de 150 hasta 250 m de desnivel, cuyas laderas presentan pendientes variables entre 35 y 90°. Corresponden a los nacimientos de quebradas donde éstas tienen un gran poder erosivo. Es en estos puntos donde se produce con



mayor frecuencia la erosión regresiva, dando lugar a deslizamientos en las cabeceras de ríos o quebradas. Estos valles son muy susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos dadas sus condiciones de pendiente y fragilidad del suelo. La masa vegetal ejerce un papel indispensable en estos valles, en tanto que sujeta el suelo y disminuye el volumen de agua infiltrada mediante la transpiración. Las variaciones en las pendientes, peso añadido o masa forestal son nefastas especialmente en estas áreas y en las aledañas.

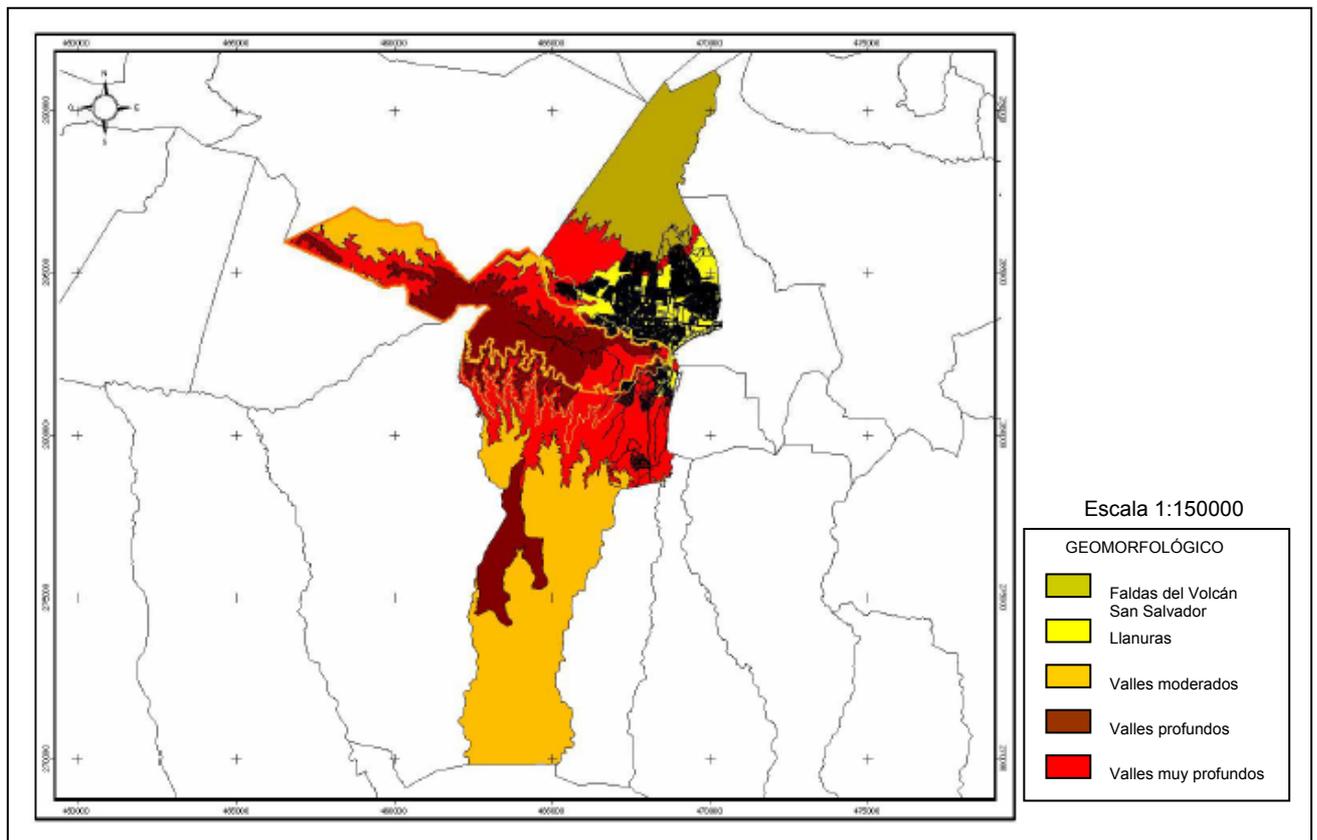


Figura 3: Mapa geomorfológico de la Cordillera del Bálsamo.



3.3. GEOLOGÍA

3.3.1. FORMACIONES GEOLÓGICAS EN LA ZONA

Los materiales que forman el área de la Cordillera del Bálsamo pertenecen a tres grandes formaciones geológicas definidas, y a una cubierta de material cuaternario.

De más joven a más antiguo son:

MATERIALES CUATERNARIOS

Los materiales cuaternarios son básicamente productos de la actividad volcánica más reciente asociada al volcán San Salvador y que se compone de epiclastitas y piroclastitas intercaladas a corrientes de lava.

FORMACIÓN SAN SALVADOR (Edad: Terciario-Cuaternario)

La formación San Salvador está constituida básicamente por rocas piroclásticas y epiclastitas volcánicas intermedias a ácidas.

Las rocas piroclásticas son en su mayoría cenizas con granulometría variable de fina a gruesa con intercalaciones de escoria y tobas de lapili.

Estos materiales se caracterizan por un bajo nivel de compactación que les hace altamente vulnerables a la erosión y que suelen formar los depósitos sedimentarios de pie de ladera.

FORMACIÓN CUSCATLÁN (Edad: Plio-pleistoceno)

La formación Cuscatlán está constituida por piroclastita-epiclastitas ácidas y lavas efusivas básicas a intermedias (basaltos y andesitas) de una actividad vulcanotectónica que ha contribuido a desarrollar diques en las fallas que atraviesan la cuenca.

FORMACIÓN BÁLSAMO (Edad: Mioceno-Plioceno)

Está constituida por lavas andesíticas, tobas fundidas y aglomerados que presentan un alto grado de alteración dando lugar a pequeños niveles de limos rojos de descomposición de los materiales.



Formación geológica	Simbología Características	litológicas
Cuaternario	Q'f1	Aluviones, localmente con intercalaciones de Piroclastitas
	Q'f2	Aluviones, localmente con intercalaciones de Piroclastitas: principalmente barras costeras
	Q'f3	Aluviones, localmente con intercalaciones de Piroclastitas: principalmente zonas de manglar
Formación San Salvador	s5'b	Conos de acumulación (escorias, tobas de lapilli, conos de cinder)
	s5'a	Efusivas básicas e intermedias, basaltos olivínicos
	s4	"Tierra Blanca": Piroclastitas, ácidas y Piroclastitas, volcánicas subordinadas localmente efusivas ácidas. Pómez de 20-30 cm. Cenizas, brechas y tobas.
	s3'a	Piroclastitas, ácidas y epiclastitas volcánicas (tobas color café). Cenizas y bancos de pómez, lahares, acumulaciones de ceniza, ignimbritas intermedias y ácidas.
	s2	Efusivas básicas e intermedias, Piroclastitas, subordinadas. Lavas con piroclastos subordinados, basaltos, andesitas, piroclastos y lacustres.
	s1	Piroclastitas, ácidas, epiclastitas volcánicas localmente efusivas básicas e intermedias. Tobas poco compactas, coladas individuales.
Formación Cuscatlán	c3	Efusivas básicas e intermedias. Andesitas y basaltos, conos de cinder, diques, coladas de aspecto sano y denso.
	c2	Efusivas ácidas e intermedias ácidas. Dacitas, domos y stock volcánico.
	c1	Piroclastitas, ácidas y epiclastitas volcánicas. Tobas fundidas, tobas brechosas, ignimbritas. Depósitos de tipo nube avalancha ardiente.
	c1'1	Sedimentos fluvio-lacustres. Areniscas volcánicas, calizas de agua dulce, calizas oolíticas, diatomitas, capas de lignito.
Formación Bálsamo	b3	Efusivas básicas e intermedias. Piroclastitas, domos, coladas andesíticas, conos de cinder, ceniza y lapilli, basaltos.
	b2	Efusivas básicas-intermedias, piroclastitas, epiclastitas volcánicas subordinadas (estratos no diferenciados y edificios volcánicos). Aglomerados andesíticos, lavas de poco espesor, tobas brechosas basálticas, tobas y lavas.
	b1	Epiclastitas volcánicas y piroclastitas: localmente efusivas básicas e intermedias intercaladas con lapilli de pómez. Ignimbritas, tobas brechosas andesíticas, tobas interestratificadas y pequeños flujos de lava, tobas aglomerádicas y tobas ácidas.

Tabla 2. Resumen de las formaciones geológicas y sus características (Según Weber & Wisemann, 1978 y Baxter, 1984)



3.3.2 HISTORIA GEOLÓGICA

El área de estudio está situada en el límite Sur de la cadena volcánica Centroamericana, sobre el borde de la depresión estructural conocida como "Fosa Central". Esta depresión se formó probablemente después de grandes erupciones explosivas que produjeron flujos piroclásticos muy voluminosos de variada naturaleza y con diferentes grados de litificación. A esta fase se la conoce como "Fase Ignimbrítica", que caracteriza el vulcanismo del Terciario Superior en gran parte de Centro América. La emisión de grandes volúmenes de ignimbrítas o posiblemente una fase tectónica distensiva dieron lugar al hundimiento de la "Fosa Central".

Las partes altas de ésta fueron sometidas a fenómenos erosivos y a una intensa meteorización, mientras que en las partes bajas se acumulaban los espesos depósitos de lahares y epiclastitas. Tras la formación de la Fosa tuvo lugar de nuevo la emisión de cubiertas piroclásticas desde centros ubicados en su interior conocidas como Formación "Cuscatlán". Los materiales más recientes del interior de la Fosa pertenecen a la Formación San Salvador, caracterizada por lavas y piroclastitas.

La Formación Bálsamo constituye el esqueleto de la cordillera y aflora de forma discontinua en la ladera norte hasta la cota 1.030 m.s.n.m y en la ladera sur-este en afloramientos cerca de la cota 1.000 m.s.n.m. Entre las tobas de esta Formación se identificaron en Pinares de Suiza flujos de lavas basalto-andesíticas en coladas de 5 a 10 m de espesor, que presentan niveles de reacción entre coladas y fragmentos escoriaáceos en superficie. Las "cenizas" se encuentran en la parte media-alta de la Cordillera a lo largo de toda su longitud, aunque dada la presencia de la densa cubierta vegetal y de suelos, es difícil identificar buenos afloramientos. Estos niveles reposan en la mitad oriente sobre las tobas y al poniente sobre las lavas de la Formación Bálsamo.

Las "piroclastitas de caída" presentan múltiples afloramientos dado que han sido afectadas por varios deslizamientos entre los cuales se observan los recientemente detonados por los sismos de 2001. En la cima de la Cordillera éstas se presentan en niveles regulares casi paralelos son orientados según la pendiente de la antigua topografía. La Formación San Salvador se encuentra también en la parte baja de la ladera norte de la Cordillera como en algunos afloramientos en Pinares de Suiza.



3.3.3 TECTÓNICA

El basamento estructural de la Cordillera es del tipo “Horst” y “Graben” a gran escala, orientados aproximadamente Este-Oeste. Estas estructuras se reconocen también en el área de estudio mediante las familias de fallas más viejas presentes a lo largo de la Cordillera. Al “Graben” Este-Oeste se asocian fallas Norte-Sur, que generan movimientos de bloques normales e inversos y también con fallas orientadas 160° Norte, casi verticales, que a veces tienen movimiento transcurrente derecho.

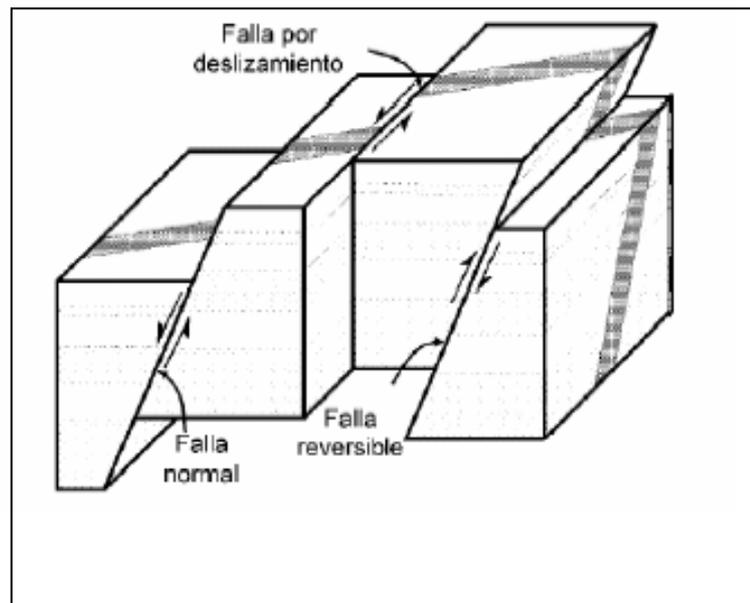


Figura 4: Principales tipos de fallas en la zona

Desde el punto de vista tectónico, el área de la Cordillera entre las Delicias y La Colina es representada para un monoclinal orientado prácticamente Este-Oeste y buzando hacia el Sur-Suroeste.

En el área de estudio se encuentran, fallas orientadas Noreste-Suroeste, complementarias a las fallas mayores, más jóvenes y con movimiento izquierdo que cruzan el área del deslizamiento. La zona se está afectada por numerosas fallas, reflejo en superficie de eventos que han implicado al substrato más antiguo y que en la mayoría de los casos se observa solamente a través de la fotointerpretación.



Existen otras fallas que afectan exclusivamente al sustrato suprayacente más frágil de la cordillera, producto de los terremotos o el reacomodo de los materiales tras este tipo de eventos. El reconocimiento de este tipo de fracturas es difícil dado que el mismo suelo las sella haciendo muy difícil su reconocimiento en superficie. Sin embargo, a veces el agua utiliza estas fracturas para abrirse paso, dejándolas al descubierto y profundizándolas, como en el caso de la fractura en el sector de Las Árdenas.

3.3.4 PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES

Las prospecciones geotécnicas disponibles hasta ahora realizadas dentro del área de la Cordillera del Bálsamo son:

- Las prospecciones realizadas por la consultora Lotti &Associatti para el estudio de la ladera norte de la Cordillera del Bálsamo afectada por varios deslizamientos detonados por los terremotos de 2001 (12 perforaciones en el área del proyecto).
- Las prospecciones de la consultora Rivera Harrouch para el estudio Medio Ambiental del proyecto ESEN (29 perforaciones en el área del proyecto).
- Las prospecciones realizadas por el Ingeniero Francés Fadón de F-C, S.A de C.V, para el análisis de situación del monumento de Tecleños del Corazón (tres perforaciones en el área del proyecto).

Estos estudios pretenden hacer una “radiografía” de los materiales para saber su capacidad frente a la construcción, es decir, las condiciones que la construcción deberá presentar para garantizar su estabilidad sobre esos materiales en un intervalo de tiempo determinado (el tiempo de vida útil determinado para la construcción, por ejemplo 50 o 100 años). De ellas se derivan las propiedades atribuidas a los diferentes materiales que conforman los niveles o “capas” más superficiales de ambas laderas de la Cordillera del Bálsamo para el municipio de Santa Tecla:

- **Propiedades físicas de los materiales** (clasificación de los suelos mediante el sistema unificado para este fin (SUCS)).
- **Propiedades mecánicas** (estado real inicial y estado tensional inicial, que determinan la consistencia, cohesión y el ángulo de fricción o rozamiento interno).



Sin embargo no hay que considerar a este tipo de estudios detallados de los materiales como elemento único y absoluto para analizar su comportamiento ante construcciones y su tendencia a desestabilizarse. Primero deberían considerarse diferentes factores del contexto en el que estos materiales se incluyen, ya que algunas veces estos factores de contexto prevalecen frente a las características propias a los materiales y nos explican algunas incoherencias entre los resultados de laboratorio y las “fallas” de construcción observadas sobre el terreno.

La reacción de los materiales de la Cordillera del Bálsamo frente a múltiples impactos, entre los cuales los terremotos, lluvias intensas y muy periódicas, etc. precisa de otro tipo de estudios específicos, que consideren no solamente las características del suelo en puntos determinados, sino estudios a mayor escala del contexto geológico, meteorológico y ambiental.

El objetivo es conocer qué factores condicionan las amenazas de deslizamientos y otros tipos de amenazas, y el estado y características del suelo sólo es uno de esos factores.

Los factores de contexto a tomar en cuenta son:

- Morfologías de los niveles o capas de materiales estudiados: **orientación y continuidad** lateral de las capas de materiales. (*Estratigrafía tridimensional del área estudiada*)
- **Estructuras tectónicas locales y regionales:** deformaciones de las capas y presencia de fallas tanto en los propios materiales como en el basamento sobre el que éstos yacen. (*Consideración de la tectónica regional y local*)
- **Reacción a los sismos:** en algunos sectores (determinados por las propiedades de los materiales pero también la tectónica, morfología e hidrogeología del terreno en el que se engloban). (*Estimación de la función de amplificación de la onda sísmica*)
- Dinámica y características de la **escorrentía superficial:** (Volumen e **intensidades máximas críticas del periodo de lluvias**, procesos erosivos intensos).

Considerados los factores de contexto deben realizarse los estudios sobre las propiedades geotécnicas de los materiales, tomando las muestras adecuadas para que los resultados sean representativos del área de estudio, es decir que deberá determinarse la distribución de la malla de perforaciones en el espacio para que ésta sea lo más representativa posible.



Una de las condiciones para que la muestra sea representativa es determinar previamente la morfología de los niveles de materiales identificados, sus espesores, así como posibles franjas de alteración puntuales que podrían alterar la representatividad de la muestra. Si las variaciones de los materiales en espesor y lateralmente son considerables deberá preverse siempre una red de perforaciones que responda a la realidad de las tres dimensiones del espacio. Es siempre recomendable proceder de esta manera para identificar posibles diferencias en las características de un mismo nivel o capa de materiales en las diferentes direcciones en el espacio: en el largo, ancho y en profundidad.

De los estudios de suelo citados anteriormente únicamente el realizado por C.Lotti&Associati considera tanto la caracterización física como la mecánica de los materiales, así como la mayoría de las consideraciones de contexto. Es el estudio más completo que existe de la ladera norte de la Cordillera del Bálsamo. Los otros dos estudios, determinan únicamente las propiedades físicas de los materiales, aunque de ello se puedan derivar por el método aproximativo de la correlación, algunas de las características mecánicas que han sido catalogadas por diferentes autores.

La Cordillera del Bálsamo se conforma básicamente de un sustrato consolidado aunque fallado y con niveles meteorizados a unos 73-75 metros de profundidad aproximadamente (tobas de la formación Bálsamo), y los materiales suprayacentes poco consolidados, en los que se distinguen diferentes niveles intercalados de características bien diferenciadas (formación Cuscatlán y San Salvador).



3.3.4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS SUELOS

Describiéndolos desde los suelos más granulares hacia los más finos tenemos los siguientes suelos:

- **SW** - Arenas bien graduadas o arenas con grava y con componente fina escasa u ausente.
- **SM** - Arenas limosas, mezclas de arena y limo
- **ML** - Limos inorgánicos y arenas muy finas, harina fósil, arenas finas limosas u arcillosas, limos arcillosos ligeramente plásticos.
- **CL** - Arcillas inorgánicas con plasticidad de baja a mediana, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas poco plásticas.
- **MH** - Limos orgánicos, suelos limosos o arenosos finos, micáceos o diatomáceos, limos”

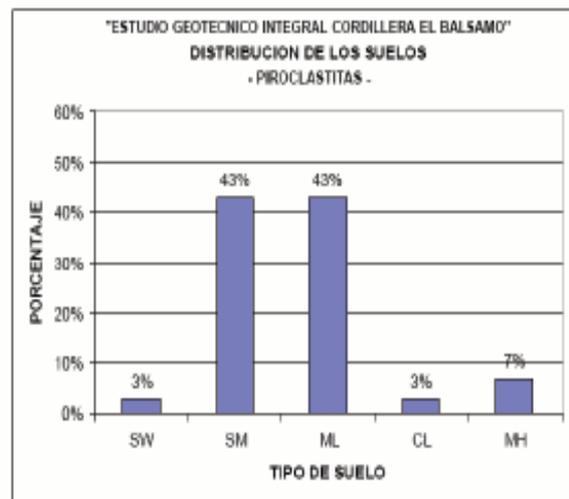
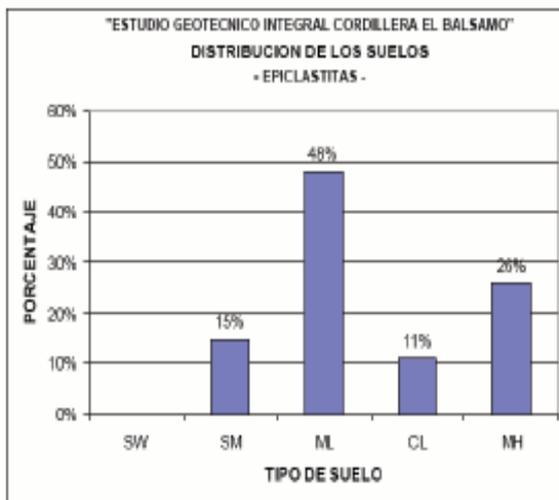


Gráfico 1 y gráfico 2. Distribución de los tipos de suelos en las epiclastitas (izquierda) y piroclastitas (derecha). Fuente: Estudio Lotti, Informe Final, anexo 1.1.

A partir de los gráficos 1 y 2 podemos darnos cuenta de que el suelo se distribuye de forma que predominan en las epiclastitas los suelos ML y en las piroclastitas predominan con igual porcentaje (43%) los suelos ML y SM. Los otros suelos aparecen con bajos porcentajes.



Por lo que respecta a las características mecánicas tenemos la tabla 3 que nos muestra como se comportan los parámetros geotécnicos dependiendo el tipo de suelo.

Terreno	Angulo de fricción	Cohesión	Peso de volumen seco
	°	KPa	kN/m ³
Piroclastitas	30-35	60-80	11
Epiciastitas	30-33	30-40	11
Paleosuelo	20-24	5-10	11
Tobas	35-38	200	18

Tabla 3. Características mecánicas de los suelos del área de estudio Lotti. Fuente: Lotti&Asociati, Informe ejecutivo, pág. 2-7.

- CONCLUSIÓN:

Se constata que tanto las piroclastitas y epiciastitas materiales suprayacentes a las tobas (de alta cohesión), son frágiles. Además, existe un nivel de paleosuelo intercalado entre éstas últimas y las tobas, cuya cohesión es prácticamente insignificante, el cual se estima que fue el nivel de despegue en el deslizamiento de Las Colinas detonado por el terremoto del 13 de enero de 2001. Este nivel se reconoce a lo largo de toda la ladera norte de la Cordillera del Bálsamo, por lo que pudiera ser el nivel de despegue de futuras inestabilidades a lo largo de ésta.

3.3.4.2. ESTUDIOS DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA EN EL ÁREA DEL ESTUDIO

Los estudios de amplificación de la onda sísmica se realizaron según los principios del método Nakamura, que consiste en la medición de los micro-ruídos sísmicos naturales y artificiales que se propagan en los terrenos y en el cálculo del factor de amplificación, en función de la frecuencia, mediante la relación espectral entre las componentes vertical y horizontal.

- Tanto en la zona del deslizamiento como a lo largo del resto de la ladera norte de la Cordillera del Bálsamo sujeta a estudio, muestran las mismas características de amplificación de la onda sísmica, que es de un factor 4 para frecuencias de 1Hz.
- En la zona urbana, las características son similares a las anteriores aunque los factores de amplificación de la onda sísmica son claramente inferiores a 4.



Las verificaciones de estabilidad demuestran en línea general que toda la zona presenta condiciones críticas. Es decir, de los resultados se concluye que toda la zona a lo largo de la cual se colocaron las secciones de estudio está sometida a fenómenos de inestabilidad en ocasiones de condiciones críticas (terremotos y eventual incremento del grado de humedad del terreno). En particular las observaciones e investigaciones realizadas “in situ” no permiten efectuar evaluaciones con respecto a la variación del contenido de agua de los materiales, aún si no se observan napas de agua suspendidas o dentro de la parte superior de las pendientes. Es evidente que las variaciones locales, o la morfología y la geometría de los niveles geológicos pueden causar una acumulación de agua en áreas o estratos particulares.

En parte, esto puede haber sido la causa del distinto comportamiento de la zona de La Colinas, donde los estratos de material piroclástico y de cenizas, al presentar una pendiente diferente a la de la ladera, pueden haber favorecido localmente el incremento del contenido de agua en los niveles débiles.

Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental Proyecto ESEN. Oscar Manuel Hernández Palma, consultor nacional.

El área de este estudio queda fuera de los límites de esta propuesta, pero se sitúa en sus cercanías. Sin embargo es sólo un reconocimiento de las características físicas de los materiales que no difieren de los propuestos por Lotti.

Algunas de las conclusiones expresadas en este estudio son:

- Las características físicas de los suelos son altamente susceptibles a la erosión y presentan diferentes grados de capacidad de infiltración. Encontrándose que el 50.8% de los mismos, tienen tasas de infiltración de 0.71 litros/m²/día y el 49.2 % restante, tasas de 2.10 litros/m²/día.
- Hidrológicamente, bajo condiciones de intensidad crítica de la lluvia, el escurrimiento superficial ocasionado por la modificación física del terreno, tiende a incrementar la concentración de caudales hacia el drenaje principal constituyendo un factor de riesgo en las partes bajas del sistema hídrico del río San Antonio. Cuestión subsanable a través de medidas de previsión y compensación orientadas a mejorar la escorrentía.
- ...recomendándose sin embargo, algunas medidas de prevención compensación y de mitigación necesarias para hacer más viable el desarrollo proyectado.



- En términos generales, estos suelos están integrados por una sucesión no continua de estratos de ceniza volcánica pomicítica parcialmente transformada, escorias basálticas de grano medio (0.5-1.0cm), lahares piroclásticos parcialmente consolidados y estratos laminares de arenas finas compactadas, que descansan sobre suelos enterrados bastante maduros; formados a partir de piroclastitas ácidas (gravilla silícica de tipo perlita), localizadas a más de 8m de profundidad.

- En base a las características físico-mecánicas y granulométricas de los tipos de suelos descritos, se infiere que la sensibilidad erosiva de los horizontes superiores de éstos, es gradualmente mayor en cuanto conforman superficies de mayor pendiente. En este caso, debido a que las cenizas volcánicas que los constituyen pierden su resistencia mecánica en la medida que aumenta el grado de saturación, la susceptibilidad erosiva puede incrementarse en la misma medida. Situación que puede verse incrementada cuando los estratos del suelo son expuestos por las actividades de terracería.



4. MÉTODO DE TRABAJO

El estudio pretende llegar a reflejar cual es el grado de riesgo geológico existente en cada una de las comunidades de los Cantones. Para poder definir el riesgo se parte de la teoría siguiente:

La Gestión de Riesgos es un camino en el que vamos tomando conciencia de la situación de riesgo en que estamos y porqué vivimos así, para ir construyendo y aplicando las acciones oportunas que transformen nuestra realidad.

Podemos definir el riesgo como el producto entre una amenaza y una vulnerabilidad.

$$\text{RIESGO} = \text{AMENAZA} \times \text{VULNERABILIDAD}$$

Una amenaza es cualquier evento causado por la naturaleza, los seres humanos o ambos al mismo tiempo que podría causar pérdidas humanas o materiales en un determinado lugar, en un determinado momento (tiempo). Estas amenazas pueden ser:

- **Amenazas Naturales.** Tienen su origen en la transformación propia del planeta, ya sea en la atmósfera, en el océano o en la tierra.
- **Socio-Naturales.** Se expresan a través de fenómenos naturales, pero a causa de la intervención humana.
- **Antrópicas o causadas por la sociedad.** Atribuibles a la acción humana sobre elementos de la naturaleza (aire, agua, suelo) que ponen en grave peligro la integridad física o la calidad de vida de las comunidades.

Las amenazas son distintas en cada población o comunidad según afecten directa o indirectamente a ellas. Para caracterizar el Riesgo debemos seleccionar cuáles son las amenazas que afectan en la zona a estudiar.

Las amenazas que describe este estudio son amenazas naturales y socio-naturales caracterizadas hasta el grado de susceptibilidad del terreno a que tengan lugar.



La vulnerabilidad se puede definir bien como fragilidad. Una sociedad es vulnerable cuando está o queda expuesta a los efectos de un fenómeno de origen natural, socio-natural o humano, sin tener la capacidad de recuperarse por si misma de los efectos de éste. La vulnerabilidad puede clasificarse en:

- **Vulnerabilidad Ambiental.** Relacionadas con la manera en que el ser humano explota los recursos naturales de su alrededor como son los árboles, los suelos, el agua, etc. Debilitando el medio ambiente.
- **Vulnerabilidad económica.** Tanto la ausencia de recursos económicos de los miembros de la comunidad así como también la mala utilización de los recursos disponibles por parte de las entidades responsables.
- **Vulnerabilidad física.** Asociada a la ubicación física de los asentamientos y la calidad de materiales con los que se construyen las casas.
- **Vulnerabilidad social.** Conjunto de relaciones, comportamientos, creencias, formas de organización y manera de actuar de las personas y las comunidades que las hacen más o menos vulnerables.
- **Vulnerabilidad política.** Los niveles de autonomía que posee la comunidad para tomar o influir sobre las decisiones que le afectan, y a su capacidad de gestión y de negociación ante los agentes externos.
- **Vulnerabilidad organizativa / organizacional.** Tanto la capacidad para organizarse y establecer en su interior lazos de solidaridad y cooperación mutua como la representación y legitimidad de sus organizaciones y líderes.

La vulnerabilidad que existe en El Municipio de Santa Tecla se podría resumir con lo siguiente:

- **Vulnerabilidad social:** Violencia familiar, pandillas, drogadicción.
- **Pobreza:**
 - En área urbana: Desempleo, bajos salarios, marginación.
 - En área rural: Desempleo, falta mano de obra capacitada, analfabetismo
- **Salud:**
 - En área urbana: Epidemias, Saneamiento, higiene personal, vectores;
 - En área rural: Falta de educación en higiene personal, poca capacidad canaletas de aguas lluvias, ausencia de políticas de salud, deficiente servicio de tren de aseo.



- Vivienda:

En área urbana: Ilegalidad de terrenos y viviendas, vivienda temporal, zonas alto voltaje;

En área rural: Legalización de organización comunitaria. Legalización de terrenos.

- Inseguridad: Delincuencia, vial; Comunidades y Colonias.

- : Deslizamientos, inundaciones, Comunidades y Colonias: Falta de capacidad de tuberías y drenajes, terrenos inestables.

Éste proyecto se ha centrado básicamente en los parámetros que definen la amenaza y no se ha tenido en cuenta la vulnerabilidad en su totalidad como parámetro de cálculo ya que resulta muy complicado dar valores numéricos a niveles de vida, actuaciones de la población, niveles económicos o legislaciones vigentes en las poblaciones entre otros muchos elementos que definen una vulnerabilidad en un lugar como se ha mostrado anteriormente.

4.1. PARÁMETROS

4.1.1. SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO

PENDIENTE:

La pendiente del talud la obtenemos a partir del ángulo de talud. Con el ángulo de talud obtenido en campo para cada uno de los taludes y teniendo en cuenta el tipo de cohesión de cada tipo de suelo hemos dado parámetros según el razonamiento que aparece en la siguiente tabla. Los parámetros van del 1 al 4 siendo los que tienen menor importancia por lo que respecta al riesgo geológico aquellos que tengan una numeración menor. Se le ha dado parámetros más elevados a los mayores valores de pendiente y a los suelos menos cohesivos. Sabemos que un suelo cohesivo tiene menores probabilidades a ser deslizado que los suelos no cohesivos. Igualmente el mayor riesgo a ser deslizado un suelo existe en los taludes de mayor pendiente (mayor ángulo de talud).



ÁNGULO DE TALUD	PARÁMETROS		
	EN ROCA	EN SUELO COHESIVO	EN SUELO NO COHESIVO
$\alpha \leq 40^\circ$	1	2	3
$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	2	3	4
$60^\circ < \alpha < 70^\circ$	3	4	4
$\alpha \geq 70^\circ$	4	4	4

Tabla 4: Parámetros según ángulos de taludes

LITOLOGÍA:

El estado y características de los suelos son factores que condicionan las amenazas de deslizamientos y otros tipos de amenazas. Conociendo las propiedades geomecánicas de los materiales litológicos que conforman cada talud a analizar se han dado parámetros a cada uno de los taludes partiendo de que hay litologías más propensas a los deslizamientos que otras. Los parámetros más elevados son aquellos que tienen mayor probabilidad a deslizar.

La tabla siguiente muestra qué parámetro se ha dado a cada litología. La nomenclatura para cada litología queda reflejada en el apartado 3.3.1. (Tabla 1. Resumen de las formaciones geológicas y sus características (Según Weber & Wisemann, 1978 y Baxter, 1984)).

Para la asignación de parámetros de susceptibilidad en función de las litologías se ha diferenciado en primer lugar los tipos litológicos del área de trabajo, a saber:

1. Formaciones sedimentarias cuaternarias vinculadas a la actividad de los agentes geodinámicos externos, a saber, la acción fluvial, marítima costera, gravitatoria, y en proceso en la actualidad. Miembros Q'f1, de la Formación San Salvador.
2. Formaciones ligadas a episodios volcánicos, comprendiendo en este caso dos tipos principales de litologías:
 - 2.1. Coladas de lavas, rocas compactas. (Basaltos, dacitas, riocitas, etc.)
 - 2.2. Depósitos vulcanosedimentarios, ligados a la actividad volcánica explosiva, compuestos por piroclastitas: cenizas, tobas, lapillo, etc.; epiclastitas, etc.Estos materiales comprenden la mayor parte de las rocas existentes en el área de trabajo.
3. Formaciones sedimentarias no actuales, producto de la sedimentación ligada a cuencas fluviales, lagos, o a cursos fluviales. Miembro c1'1 de la Formación Cuscatlán.



En siguiente lugar, y antes de la justificación de los parámetros asignados hay que reseñar que las descripciones de los distintos miembros de las formaciones aflorantes se han diferenciado por zonas, y grupos de materiales. Estos miembros en ocasiones comprenden varios tipos distintos de materiales. Por ejemplo, el miembro b3 de la Formación Bálsamo, está compuesto por piroclastitas, conos de Zinder, cenizas y lapilli (materiales vulcanosedimentarios, 2.2) y por domos, coladas andesíticas y basaltos (2.1). Así, la asignación de un valor u otro responde a tipo de litología y a la naturaleza del conjunto de materiales que conforman uno u otro miembro.

ASIGNACIÓN DE PARÁMETROS

Para los materiales del grupo 1, en concreto el miembro Q'f1 es el que presenta un mayor riesgo con respecto a los deslizamientos debido a que se corresponde con los materiales retrabajados, usualmente inestables producto de deslizamientos (materiales coluviales), o ligados a depósitos sedimentarios en quebradas, o cursos fluviales. Son materiales sin consolidar cuyo potencial para el deslizamiento se verá incrementado con la disminución de su heterogeneidad. Los otros dos miembros: Q'f2 y Q'f3 no presentan riesgo potencial de deslizamiento al ser depósitos sedimentarios ligados a zonas costeras, y que no conforman en principio taludes en la zona.

Para lo materiales del grupo 2 se ha diferenciado el riesgo de deslizamiento en primer lugar en función de la proporción de coladas de lava o piroclastos de cada miembro. Miembros constituidos exclusivamente por lavas (por Ej. C3 Fm. Cuscatlán), presentan en principio menor riesgo, salvo por el potencial derivado de la fracturación que presenten, factor que se ha de comprobar en cada caso particular. Miembros constituidos exclusivamente por materiales vulcanosedimentarios tendrán un valor u otro en función de su heterogeneidad, de su granulometría, y en su caso, de si los materiales son o no compactos en función de su fusión tras el depósito (por ej. Las ignimbritas se pueden presentar parcialmente fundidas, con lo que constituirán materiales con más cohesión que por ejemplo un depósito de cinder constituido por ceniza acumulada y sin fusionarse.). A los miembros mixtos se les ha asignado un determinado valor en función del predominio de uno u otro tipo de material. Finalmente, los materiales más recientes (formación San Salvador) presentan en principio menos compactación que aquellos de formaciones más antiguas (formaciones Cuscatlán y Bálsamo). Este hecho también se ha considerado para evaluar el valor a asignar.



Los materiales del tercer grupo no presentan mayor potencial para el deslizamiento que los materiales volcánicos debido principalmente a su escasez en las áreas de mayor riesgo de deslizamiento, aunque, debido a su consolidación o al grado de alteración de los mismos también pueden ser proclives de deslizar (deslizamientos ligados a suelos derivados de la alteración de materiales calizos, etc.)

TIPO LITOLOGÍA	PARÁMETRO
Q'f1	4
Q'f2	4
Q'f3	4
s5'b	3
s5'a	1
s4	3
s3'a	4
s2	2
s1	3
c3	1
c2	1
c1	3
c1'1	2
b3	3
b2	3
b1	3

Tabla 5: parámetros según el tipo de litología.

FRACTURACIÓN:

La fracturación en los suelos es un indicador que define muy bien la probabilidad de que un suelo pueda deslizar. Un suelo muy fracturado es más propenso a caerse que un suelo no fracturado, por lo cual se han dado parámetros a todos los taludes según el número y el tipo de fracturas que contenían. También se ha tenido en cuenta el espaciado, largo y profundidad de las fracturas para poder clasificarlas según están poco o muy fracturadas.

Atendiendo a todo eso los parámetros fijados han sido los que refleja la tabla 6.

Nº FRACTURAS	DESCRIPCIÓN	PARÁMETRO
0	-	0
1	Poco fracturado	1
	Muy fracturado	2
≥2	Poco fracturado	3
	Muy facturado	4

Tabla 6: Parámetros según el número de fracturas existentes en el talud



VEGETACIÓN:

La vegetación es un elemento fundamental en los aspectos de conservación de suelos, ya que al sustentarse sobre él ejerce con las raíces una acción de sujeción importante. Por otra parte, la masa forestal actúa como amortiguador del agua de las lluvias, disminuyendo su capacidad erosiva antes de llegar al suelo y disminuyendo la escorrentía superficial.

Aunque directamente no se pueda considerar la presencia o ausencia de vegetación en un área como el factor condicionante por tratarse de un elemento protector del suelo y condicionante del comportamiento hidrológico en un área. En consecuencia es de interés para el presente estudio conocer cuales son las comunidades vegetales que ocupan la zona en la actualidad.

Para ello hemos dado unos parámetros considerando un talud más susceptible al deslizamiento cuanto más desnudo sea éste. También se ha separado el cuerpo de talud de la cabeza de talud teniendo en cuenta que la cabeza de talud es la zona más propensa al deslizamiento cuando le manca vegetación. Es por eso que en cabeza de talud se dan parámetros más elevados que en el cuerpo, como se puede observar en la tabla 7.

SITUACIÓN	DESCRIPCIÓN	PARÁMETRO
En cuerpo de talud:	Desnudo, Semidesnudo-Herbáceo	4
	Poblado-Herbáceo, Semidesnudo-Arbustivo	3
	Poblado-Arbustivo, Semidesnudo-Arbóreo	2
	Poblado-Arbóreo	1
En cabeza de talud:	Desnudo, Semidesnudo-Herbáceo	4
	Poblado-Herbáceo, Semidesnudo-Arbustivo	4
	Poblado-Arbustivo, Semidesnudo-Arbóreo	3
	Poblado-Arbóreo	2

Tabla 7: parámetros según la situación de la vegetación.



VOLUMEN DE TALUD:

Un factor muy importante para valorar la magnitud de un desastre e incluso el grado de riesgo que conlleva un talud susceptible a ser deslizado es su volumen. Aquellos deslizamientos que comporten la caída de mayor masa serán los que tengan el riesgo más elevado, por eso en la tabla se dan valores más elevados a aquellos taludes que tengan mayor masa o volumen. El hecho que un talud sea voluminoso comporta alcances a mayores distancias así que las afectaciones de ese desprendimiento serán mayores.

VOLUMEN	PARÁMETRO
volumen \leq 300 m ³	1
300 m ³ < volumen \leq 600 m ³	2
600 m ³ < volumen \leq 1500 m ³	3
volumen \geq 1500 m ³	4

Tabla 8: Parámetros según el volumen del talud

4.1.2. OTROS FACTORES QUE AFECTAN AL RIESGO

Adentrarse en la consideración de los aspectos sociales es complejo pero al mismo tiempo indispensable y esencial para comprender los niveles de vulnerabilidad o fragilidad de las comunidades ante fenómenos amenazantes como son los deslizamientos y sismos. Es precisamente la vulnerabilidad el aspecto que incrementa en gran medida los niveles de riesgo en el sector, considerando al riesgo como una sola moneda cuyas caras conjugadas son amenaza y vulnerabilidad.

El hecho que la población sea vulnerable radica en los altos niveles de fragilidad de los factores que componen una estructura social, es decir, aquellos que contribuyen a caracterizar la incapacidad de la sociedad a prevenir, mitigar, responder y recuperarse adecuadamente del impacto de los fenómenos a los que está expuesta (sean éstos de origen natural, social o ambos, como por ejemplo los deslizamientos).

El Riesgo es la suma de pérdidas supuestas si ocurriera un determinado fenómeno de origen natural, humano o ambos en un lugar determinado: lo que se cree que podría ser dañado por la ocurrencia de un fenómeno. Normalmente se expresa en dinero (costo de las pérdidas) aunque las vidas humanas no deberían entonces incluirse en el cálculo puesto que no tienen precio. Es una estimación visionaria de lo que podría ocurrir, de los que se podría perder en caso de suceder dicho fenómeno. Esas



pérdidas vienen determinadas por la magnitud del evento y su ámbito de alcance pero principalmente por todo lo que nos hace frágiles frente a ese fenómeno. Estar en su ámbito de alcance, no poder recuperarse de los daños que nos causa, la calidad de nuestras vidas, etc. es decir NUESTRA VULNERABILIDAD. Ella es la que determinará en mayor grado la magnitud de las pérdidas.

La vulnerabilidad no se cuantificará a modo individual para cada talud pero sí se cuantificarán otros factores como son los tipos de afectaciones, número de casas afectadas, calles, manantiales, ríos, tendidos eléctricos y tuberías. Todos estos factores hacen que se pueda calificar un talud de más o menos peligroso. Daremos parámetros a los factores físicos que afecten a las comunicaciones como son calles y infraestructuras de servicios, pero no se han dado parámetros numéricos a las viviendas ya que es complicado cuantificar el peligro en función del número de vidas humanas expuestas a tal.

AFECTACIONES:

Un hecho a tener en cuenta para analizar el grado de riesgo que conlleva un deslizamiento de un talud en una comunidad es el tipo de afectación que pueda acarrear. Los tipos de afectaciones que a las que se les ha dado parámetros en la siguiente tabla se refieren a las comunicaciones y a las infraestructuras de servicios que puedan ser dañadas en caso de desprendimiento. Según la menor o mayor importancia de la afectación se le ha dado un valor distinto de parámetro.

TIPO AFECTACIÓN	PARÁMETRO
Calle secundaria	1
Calle principal	2
Carretera	4
Tendido eléctrico	3
Tuberías	3
Río	4
Manantial	4

Tabla 9: Parámetros según el tipo de afectación.



PROXIMIDAD RIESGO-POBLACIÓN:

Los parámetros que aparecen en la tabla 10 han sido dados según la distancia a que se encuentran los taludes de cualquier vivienda o núcleo habitado. La proximidad del riesgo a la población es un factor que hace incrementar la vulnerabilidad de los que habitan cerca. Así los mayores parámetros reflejan mayor vulnerabilidad o mayor riesgo.

DISTANCIA (d)	PARÁMETRO
$d \geq 1\text{Km}$	1
$500 \leq d < 1000\text{m}$	2
$250 \leq d < 500 \text{ m}$	3
$d \leq 250\text{m}$	4

Tabla 10: parámetros según la distancia entre el riesgo y la población.

5. PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de datos se ha realizado a través de tablas donde quedan reflejados los parámetros que han obtenido cada talud dependiendo de sus características, tanto factores que se refieren a las amenazas como factores referidos a la susceptibilidad al deslizamiento.

Para el cálculo del grado total de riesgo para cada talud, se han sumado previamente todos los parámetros que definen la susceptibilidad al deslizamiento, que quedan reflejados en la tabla de parámetros totales, y por otro lado se han sumado otros parámetros que vienen definidos por otros factores que afectan al riesgo, resultados que pueden verse en la tabla de parámetros totales.

Con la obtención de los parámetros totales, se ha realizado una tabla de comparación de ambos. El método de cálculo utilizado para obtener tales parámetros se explica en el apartado 4 de este estudio. Éstos resultados son los que vamos a utilizar para sacar conclusiones de este trabajo que se reflejan en el apartado 6.



5.1. CÁLCULO DE SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO

PENDIENTES				
CANTÓN	COMUNIDAD	TALUD	ÁNGULO TALUD	PARÁMETRO
Sacazil	El Combo	2	60°	4
		3	60°	4
	La Papaya	8	40°	3
		29	70°	4
		30	20°	3
		31	50°	4
	Sacazil Centro	28	40°	4
		32	40°	3
		33	60°	4
		34	70°	4
		35	75°	4
		36	40°	3
	Los Peñates	24	60°	4
		25	45°	4
26		28°	3	
27		40°	3	
28		40°	3	
Granadillas	Granadillas Centro	12	45°	4
		17	48°	4
	Los Pinedas	18	48°	4
		19	40°	3
		20	34°	3
		21	40°	3
		23	48°	4
		11	56°	4
	Los Borja	13	64°	4
		14	49°	4
15		52°	4	
22		66°	4	
Ayagualo	Santa Marta	4	60°	4
		5	70°	4
	La Mascota	16	70°	4
		10	36°	3
		6	45°	4
El limón	Monteverde II	7	62°	4
		9	40°	3
	Ayagualo Centro	37	54°	4
		38	40°	3
		39	60°	4
	Lomas San Antonio	42	56°	4
		43	46°	4
		40	60°	4
41		70°	4	
44		46°	4	

Tabla 11: Parámetros obtenidos a partir de las pendientes de talud.



VEGETACIÓN					
CANTÓN	COMUNIDAD	TALUD	DESCRIPCIÓN VEGETACIÓN *	PARÁMETROS PARCIALES	PARÁMETRO TOTAL
Sacazil	El Combo	2	Talud- SH	4	7
			Cabeza- At,Ab	3	
		3	Talud- S,H,At	3	5
			Cabeza- Ab	2	
		8	Talud- S,H	4	7
			Cabeza- H,At,Ab	3	
	La Papaya	29	Talud- S,H,At	3	6
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		30	Talud- S,H	4	8
			Cabeza- S,H,At	4	
	Sacazil Centro	28	Talud- H, At	3	6
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		31	Talud- H, At, Ab	2	5
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		32	Talud- S, H, At	3	6
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		33	Talud- S, H, Ab	3	6
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		34	Talud- S, H, At	3	6
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		35	Talud- S, H	4	7
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		36	Talud- S, H, At	3	6
			Cabeza- H, At, Ab	3	
	Los Peñates	24	Talud- H, At	3	6
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		25	Talud- H, At, Ab	2	5
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		26	Talud- H, At, Ab	2	5
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		27	Talud- S, H, At	3	6
			Cabeza- H, At, Ab	3	
Granadillas	Granadillas Centro	12	Talud- H, At	3	6
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		17	Talud- H, At	3	6
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		18	Talud- S, H, At	3	6
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		19	Talud- S, H, At, Ab	2	5
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		20	Talud- S, H, At	3	7
			Cabeza- D	4	
		21	Talud- S, H	4	7
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		23	Talud- H, At	3	6
			Cabeza- H, At, Ab	3	
	Los Pinedas	11	Talud- H, At	3	6
			Cabeza- H, At, Ab	3	



		13	Talud- D, S	4	7
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		14	Talud- S	4	7
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		15	Talud- D, S	4	7
			Cabeza- H, At, Ab	3	
	Los Borja	22	Talud- S, H, At	3	6
			Cabeza- H, At, Ab	3	
Ayagualo	Santa Marta	4	Talud- D, S, H, At	3	5
			Cabeza- Ab	2	
		5	Talud- D, S, H, At	3	5
			Cabeza- Ab	2	
		16	Talud- S, H	4	8
			Cabeza- H, At	4	
	La Mascota	10	Talud- S, H, At	3	7
			Cabeza- H, At	4	
	Monteverde II	6	Talud- S, H	4	7
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		7	Talud- S, H, At	3	7
			Cabeza- H, At	4	
	Ayagualo Centro	9	Talud- S, H, At, Ab	1	4
			Cabeza- H, At, Ab	3	
El limón	La Cuchilla	41	Talud- S,H	4	7
			Cabeza- H,At,Ab	3	
	Los Samayoa	40	Talud- D,S,H,At	3	6
			Cabeza- H,At,Ab	3	
	Lomas San Antonio	44	Talud- H,At	3	6
			Cabeza- H,At,Ab	3	
	Limón Centro	38	Talud- H,At,Ab	2	5
			Cabeza- H,At,Ab	3	
		39	Talud- D,H,At	3	6
			Cabeza- H,At,Ab	3	
		42	Talud- D,S,At	4	7
			Cabeza- H, At, Ab	3	
		43	Talud- H,At,Ab	2	5
			Cabeza- H,At,Ab	3	
	El Calvario	37	Talud- H,At	3	6
			Cabeza- H,At,Ab	3	

*	D- Desnudo
	S- Semidesnudo
	H- Herbáceo
	At- Arbustivo
	Ar- Arbóreo

Tabla 12: Parámetros obtenidos a partir del tipo de vegetación.



VOLUMEN DE TALUD					
CANTÓN	COMUNIDAD	TALUD	m ³	PARÁMETRO	
Sacazil	El Combo	2	150	1	
		3	312	2	
			8	90	1
	La Papaya	29	400	2	
		30	1440	3	
	Sacazil Centro	28	560	2	
		31	4050	4	
		32	52	1	
		33	600	2	
		34	765	3	
		35	240	1	
			36	900	3
	Los Peñates	24	260	1	
		25	1000	3	
		26	4260	4	
		27	150	1	
Granadillas	Granadillas Centro	12	486	2	
		17	700	3	
			18	135	1
			19	150	1
			20	60	1
			21	210	1
			23	120	1
	Los Pinedas	11	567	2	
		13	720	3	
		14	252	1	
15		100	1		
Los Borja	22	120	1		
Ayagualo	Santa Marta	4	105	1	
		5	1936	4	
			16	2000	4
	La Mascota	10	6000	4	
	Monteverde II	6	288	1	
		7	30	1	
	Ayagualo Centro	9	450	2	
El limón	La Cuchilla	41	150	1	
	Los Samayoa	40	187.5	1	
	Lomas San Antonio	44	623	3	
	Limón Centro	38	1140	3	
			39	315	2
			42	131	1
			43	2880	4
	El Calvario	37	4125	4	

Tabla 13: Parámetros obtenidos a partir del volumen de los taludes.



FRACTURACIÓN						
CANTÓN	COMUNIDAD	TALUD	Nº FRACTURAS	TIPO AFECTACIÓN	PARÁMETRO	
Sacazil	El Combo	2	0	–	0	
		3	0	–	0	
	8	0	–	0		
	La Papaya	29	0	–	0	
		30	1	muy fracturado	2	
	Sacazil Centro	28	0	–	0	
		31	0	–	0	
		32	1	poco fracturado	1	
		33	0	–	0	
		34	2	muy fracturado	4	
		35	0	–	0	
	Los Peñates	24	36	1	poco fracturado	1
			25	0	–	0
		26	1	poco fracturado	1	
27		0	–	0		
Granadillas		Granadillas Centro	12	1	poco fracturado	1
			17	0	–	0
	18	1	poco fracturado	1		
	19	0	–	0		
	20	0	–	0		
	21	1	poco fracturado	1		
	23	0	–	0		
Los Pinedas	11	1	poco fracturado	1		
	13	3	muy fracturado	4		



		14	0	–	0
		15	0	–	0
	Los Borja	22	0	–	0
Ayagualo	Santa Marta	4	2	muy fracturado	4
		5	0	–	0
		16	2	muy fracturado	4
	La Mascota	10	0	–	0
	Monteverde II	6	0	–	0
		7	1	poco fracturado	1
	Ayagualo Centro	9	1	poco fracturado	1
El limón	La Cuchilla	41	0	–	0
	Los Samayoa	40	0	–	0
	Lomas San Antonio	44	0	–	–
	Limón Centro	38	0	–	0
		39	0	–	0
		42	0	–	0
		43	0	–	0
	El Calvario	37	0	–	0

Tabla 14: Parámetros obtenidos a partir de la la fracturación de los taludes.



LITOLOGÍA					
CANTÓN	COMUNIDAD	TALUD	LITOLOGÍA	PARÁMETRO	
Sacazil	El Combo	2	b3	3	
		3	b3	3	
		8	b1	3	
	La Papaya	29	b1	3	
		30	c1	3	
	Sacazil Centro	28	b3	3	
		31	b3	3	
		32	b3	3	
		33	b1	3	
		34	b3	3	
		35	b3	3	
	Los Peñates	24	b1	3	
		25	b1	3	
		26	b1	3	
27		b1	3		
Granadillas		Granadillas Centro	12	c3	1
			17	c3	1
	18		c3	1	
	19		c3	1	
	20		c3	1	
	21		c3	1	
	23	c3	1		
	Los Pinedas	11	c1	3	
13		c3	1		
14		c3	1		
15		c3	1		
Ayagualo	Los Borja	22	c3	1	
		Santa Marta	4	c1	3
5	c1		3		
16	c1		3		
La Mascota	10		c1*	3	
Monteverde II	6		c1	3	
	7		c1	3	
El limón	Ayagualo Centro	9	b1	3	
	La Cuchilla	41	s3a	4	
	Los Samayoa	40	c1	3	
	Lomas San Antonio	44	s3a	4	
	Limón Centro	38	b3	3	
		39	c1	3	
		42	c1	3	
		43	c1	3	
El Calvario	37	b3	3		

Tabla 15: Parámetros obtenidos a partir de la litología de los taludes.

* El Talud 10 no se encuentra dentro del municipio pero pertenece a la comunidad de la Mascota que sí está



Parámetros totales

CANTÓN	COMUNIDAD	TALUD	PENDIENTES	VEGETACIÓN	VOLUMEN	FRACTURA- CIÓN	LITOLOGÍA	PARÁMETROS TOTALES	
Sacazil	El Combo	2	4	7	1	0	3	15	
		3	4	5	2	0	3	14	
	La Papaya	Sacazil Centro	8	3	7	1	0	3	14
			29	4	6	2	0	3	15
		30	3	8	3	0	3	17	
		28	4	6	2	2	3	13	
		31	4	5	5	0	3	17	
		32	3	6	1	1	3	14	
		33	4	6	2	0	3	15	
		34	4	6	3	4	3	20	
		35	4	7	1	0	3	15	
		36	3	6	3	1	3	16	
Los Peñates	Granadillas Centro	24	4	6	1	0	3	14	
		25	4	5	3	1	3	16	
	26	3	5	5	0	3	16		
	27	3	6	1	1	3	14		
	12	4	6	2	1	1	14		
Granadillas	Los Pinedas	17	4	6	3	0	1	14	
		18	4	6	1	1	1	13	
	19	3	5	1	0	1	10		
	20	3	8	1	0	1	13		
	21	3	7	1	1	1	13		
	23	4	6	1	0	1	12		
	11	4	6	2	4	3	19		
	13	4	7	3	4	1	19		
	14	4	7	1	0	1	13		
	15	4	7	1	0	1	13		
Ayagualo	Los Borja	22	4	6	1	0	1	12	
		4	4	5	1	4	3	17	
Ayagualo	Santa Marta	5	4	5	4	0	3	16	
		16	4	8	4	4	3	23	
	La Mascota	Monteverde II	10	3	7	5	0	3	18
			6	4	7	1	0	3	15
	7	4	7	1	1	3	16		
	El limón	Ayagualo Centro	9	3	4	2	1	3	13
		La Cuchilla	41	4	7	1	0	4	16
		Los Samayoa	40	3	6	1	0	3	13
		Lomas San Antonio	44	4	6	3	0	4	17
		Limón Centro	38	4	5	3	0	3	15
39		4	6	2	0	3	15		
42		4	7	1	0	3	15		
43		4	5	5	0	3	17		
El Calvario	37	4	6	5	0	3	18		

Tabla 16: Parámetros totales de susceptibilidad.



5.2. ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE LA VULNERABILIDAD

AFECTACIÓN					
CANTÓN	COMUNIDAD	TALUD	TIPO AFECTACIÓN	PARÁMETRO	
Sacazil	El Combo	2	Calle secundaria, tendido eléctrico	4	
		3	Calle secundaria	1	
			8	Calle principal, tendido eléctrico	5
		La Papaya	29	Carretera, calle principal	6
			30	Calle principal	2
		Sacazil Centro	28	Calle principal	2
			31	Calle principal	2
			32	Calle principal	2
			33	Calle principal	2
			34	Calle principal	2
			35	Calle principal	2
			36	Calle principal	2
		Los Peñates	24	Calle principal	2
			25	Calle secundaria, tendido eléctrico	4
			26	Calle secundária, tendido eléctrico	4
			27	-	
	Granadillas	Granadillas Centro	12	Calle principal	2
17			Calle secundária, tendido eléctrico	4	
			18	Calle principal	2
			19	Calle principal	2
			20	Calle principal	2
			21	Calle principal	2
			23	Calle secundaria	1
		Los Pinedas	11	Calle principal	2
		13	Calle principal	2	



		14	Calle principal	2
		15	Calle principal	2
	Los Borja	22	Calle principal	2
Ayagualo	Santa Marta	4	Carretera, calle principal, tendido	9
		5	Carretera, calle principal, tendido	9
		16	Carretera	4
	La Mascota	10	–	-
	Monteverde II	6	–	-
		7	Calle principal	2
	Ayagualo Centro	9	Calle secundaria, tendido eléctrico	4
El limón	La Cuchilla	41	Calle principal	2
	Los Samayoa	40	Calle principal	2
	Lomas San Antonio	44	Calle principal	2
	Limón Centro	38	Calle principal, tendido eléctrico	5
		39	Calle principal, tendido eléctrico	5
		42	Calle principal, tendido eléctrico	5
		43	Calle principal, tendido eléctrico	5
	El Calvario	37	Calle secundaria	1

Tabla 17: Parámetros obtenidos a partir de la clase de afectación.



PROXIMIDAD RIESGO-POBLACIÓN					
CANTÓN	COMUNIDAD	TALUD	DISTANCIA	PARÁMETRO	
Sacazil	El Combo	2	< 250m	4	
		3	< 250m	4	
		8	< 250m	4	
	La Papaya	29	250 - 500m	3	
		30	> 1000m	1	
	Sacazil Centro	28	500 - 1000m	2	
		31	250 - 500m	3	
		32	> 1000m	1	
		33	250 - 500m	3	
		34	500 - 1000m	2	
		35	> 1000m	1	
	Los Peñates	36	> 1000m	1	
		24	< 250m	4	
		25	< 250m	4	
		26	< 250m	4	
		27	< 250m	4	
		Granadillas	Granadillas Centro	12	500 - 1000m
	17			< 250m	4
	18			250 - 500m	3
19	250 - 500m			3	
20	< 250m			4	
21	< 250m			4	
Los Pinedas	23		< 250m	4	
	11		250 - 500m	3	
	13		500 - 1000m	2	
	14		500 - 1000m	2	
	15		> 1000m	1	
Ayagualo	Los Borja		22	< 250m	4
			Santa Marta	4	< 250m
	5			< 250m	4
	16			< 250m	4
	La Mascota	10	< 250m	4	
		Monteverde II	6	< 250m	4
	7		< 250m	4	
	Ayagualo Centro		9	< 250m	4
	El limón	La Cuchilla	41	500 - 1000m	2
			40	500 - 1000m	2
Lomas San Antonio		44	< 250m	4	
		Limón Centro	38	< 250m	4
39			< 250m	4	
42			< 250m	4	
43			< 250m	4	
El Calvario			37	< 250m	4

Tabla 18: Parámetros obtenidos a partir de la proximidad del riesgo a la población.



Parámetros totales

		TALUD	AFECCION	PROXIMIDAD RIESGO- POBLACION	PARÁMETROS TOTALES
CANTÓN	COMUNIDAD				
Sacazil	El Combo	2	4	4	8
		3	1	4	5
		8	5	4	9
	La Papaya	29	6	3	9
		30	2	1	3
	Sacazil Centro	28	2	2	4
		31	2	3	5
		32	2	1	3
		33	2	3	5
		34	2	2	4
		35	2	1	3
		36	2	1	3
		Los Peñates	24	2	4
	25		4	4	8
	26		4	4	8
	27		-	4	4
Granadillas	Granadillas Centro	12	2	2	4
		17	4	4	8
		18	2	3	5
		19	2	3	5
		20	2	4	6
		21	2	4	6
		23	1	4	5
	Los Pinedas	11	2	3	5
		13	2	2	4
		14	2	2	4
		15	2	1	3
		22	2	4	6
Ayagualo	Santa Marta	4	9	4	13
		5	9	4	13
		16	4	4	8
	La Mascota	10	-	4	4
	Monteverde II	6	-	4	4
		7	2	4	6
	Ayagualo Centro	9	4	4	8
El limón	La Cuchilla	41	2	2	4
	Los Samayoa	40	2	2	4
	Lomas San Antonio	44	2	4	6
	Limón Centro	38	5	4	9
		39	5	4	9
		42	5	4	9
		43	5	4	9
	El Calvario	37	1	4	5

Tabla 19: Parámetros totales de vulnerabilidad de los taludes.



5.3. TABLA COMPARATIVA DE PARÁMETROS. RIESGO ESTIMADO.

CANTÓN	COMUNIDAD	TALUD	SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO	FACTORES DE VULNERABILIDAD	RIESGO ESTIMADO	
Sacazil	El Combo	2	15	8	120	
		3	14	5	70	
	8	14	9	126		
	La Papaya	29	15	9	135	
		30	17	3	51	
	Sacazil Centro	28	13	4	52	
		31	17	5	85	
		32	14	3	42	
		33	15	5	75	
		34	20	4	80	
		35	15	3	45	
	Los Peñates	36	16	3	48	
		24	14	6	84	
		25	16	8	128	
26		16	8	128		
27		14	4	56		
Granadillas		Granadillas Centro	12	14	4	56
	17		14	8	112	
	18	13	5	65		
	19	10	5	50		
	20	13	6	78		
	21	13	6	78		
	23	12	5	60		
	Los Pinedas	11	19	5	95	
		13	19	4	76	
		14	13	4	52	
Los Borja	15	13	3	39		
	22	12	6	72		
	Ayagualo	Santa Marta	4	17	13	221
			5	16	13	208
16		23	8	224		
La Mascota	10	18	4	72		
Ayagualo Centro	Monteverde II	6	15	4	60	
		7	16	6	96	
	9	13	8	104		
	La Cuchilla	41	16	4	64	
	El limón	Los Samayoa	40	13	4	52
		Lomas San Antonio	44	17	6	102
		Limón Centro	38	15	9	135
39		15	9	135		
42		15	9	135		
El Calvario	43	17	9	153		
	37	18	5	90		

Tabla 20: Tabla comparativa de parámetros de susceptibilidad y vulnerabilidad. Obtención del riesgo estimado.



La tabla anterior nos muestra una estimación del riesgo geológico a partir del producto de los parámetros de vulnerabilidad y susceptibilidad totales obtenidos. A partir de estos valores podemos ver de una manera estimada cuales taludes presentan un mayor riesgo geológico, lo cual nos permitirá llegar a unas conclusiones que nos servirán para saber qué taludes son los que presentan un mayor riesgo de deslizamiento.

La suma de todos los parámetros del riesgo estimado nos da un total de 4009 que equivaldría al 100% de los parámetros. Así, podemos deducir el porcentaje parcial de riesgo geológico de cada talud. Obtenido el porcentaje parcial de cada talud podremos calcular el total a partir del porcentaje parcial más elevado que en nuestro caso es del 5.59%. Suponiendo este valor como el 100% de los porcentajes parciales calculamos los parámetros totales y así podemos ya clasificar cada uno de los taludes según el grado de riesgo en grado muy bajo, bajo, alto y muy alto a partir de la clasificación siguiente:

PORCENTAJE TOTAL DE RIESGO	GRADO DE RIESGO
$0\% < \text{porcentaje} \leq 25\%$	Muy Bajo
$25\% < \text{porcentaje} \leq 50\%$	Bajo
$50\% < \text{porcentaje} \leq 75\%$	Alto
$75\% < \text{porcentaje} \leq 100\%$	Muy Alto

Tabla 21: Definición de los grados del riesgo geológico a partir de los porcentajes totales de riesgo.



Vemos pues, a partir de una tabla que recopila todos los porcentajes de los taludes, que los grados de riesgo geológico de cada talud son los siguientes:

CANTÓN	COMUNIDAD	TALUD	Porcentaje parcial de riesgo	Porcentaje total de riesgo	Grado de Riesgo				
Sacazil	El Combo	2	2.99%	53.4%	Alto				
		3	1.74%	31.12%	Bajo				
	La Papaya	Sacazil Centro	8	3.14%	56.17%	Alto			
			29	3.37%	60.29%	Alto			
		30	1.27%	22.72%	Muy bajo				
		28	1.29%	23.08%	Muy bajo				
		31	2.12%	37.92%	Bajo				
		32	1.05%	18.78%	Muy bajo				
		33	1.87%	33.45%	Bajo				
		34	1.99%	35.60%	Bajo				
		35	1.12%	20.04%	Bajo				
		36	1.19%	21.29%	Bajo				
Los Peñates	Los Peñates	24	2.09%	37.39%	Bajo				
		25	3.19%	57.07%	Alto				
		26	3.19%	57.07%	Alto				
		27	1.39%	24.87%	Muy bajo				
		Granadillas	Granadillas Centro	12	1.39%	24.87%	Muy bajo		
				17	2.79%	49.91%	Bajo		
18	1.62%			28.98%	Bajo				
19	1.25%			22.36%	Muy bajo				
20	1.95%			34.88%	Bajo				
21	1.95%			34.88%	Bajo				
23	1.49%			26.65%	Bajo				
Los Pinedas	Los Pinedas			11	2.37%	42.40%	Bajo		
				13	1.89%	33.81%	Bajo		
				14	1.29%	23.08%	Muy bajo		
		15	0.97%	17.35%	Muy bajo				
Ayagualo	Los Borja	22	1.79%	32.02%	Bajo				
		Santa Marta	4	5.51%	98.56%	Muy alto			
5	5.19%		92.84%	Muy alto					
16	5.59%		100%	Muy alto					
La Mascota	La Mascota		10	1.79%	32.02%	Bajo			
			Monteverde II	6	1.49%	26.65%	Bajo		
				7	2.39%	42.75%	Bajo		
Ayagualo	Ayagualo Centro		9	2.56%	54.80%	Alto			
			La Cuchilla	41	1.59%	28.44%	Bajo		
				El limón	Los Samayoa	40	1.29%	23.08%	Muy bajo
						Lomas San Antonio	44	2.54%	45.44%
		Limón Centro					38	3.37%	60.28%
39	3.37%		60.28%			Alto			
42	3.37%		60.28%	Alto					
El Calvario	El Calvario	43	3.82%	68.34%	Alto				
		37	2.24%	40.07%	Bajo				

Tabla 22: Grados de riesgo geológico a partir del porcentaje total de riesgo de cada talud.



6. CONCLUSIONES

Atendiendo a la tabla 22 comparativa de los parámetros totales tanto de susceptibilidad como de los de vulnerabilidad y de riesgo estimado se puede llegar a las siguientes conclusiones:

Los grados de Riesgo Geológico obtenidos nos muestran cuáles son los taludes que presentan un riesgo más elevado, vemos que los tres taludes se encuentran en la comunidad de Santa Marta. Esta comunidad es entonces la que precisa de una actuación para estabilizar sus taludes con mayor rapidez frente a los demás taludes estudiados ya que sus taludes son aquellos que tienen mayor susceptibilidad al deslizamiento.

El hecho de priorizar las actuaciones en Santa Marta, no debe significar un olvido por parte de la Alcaldía de Santa Tecla de los demás taludes que presentan grados elevados de Riesgo. Es por eso que la Alcaldía deberá estudiar además el estado de éstos.

De este estudio debemos sacar además la conclusión de que no debemos atender únicamente a los grados que hacen un talud susceptible a ser deslizado, sino que debemos saber con que grado de vulnerabilidad afecta a la población. El estudio de deslizamientos no tiene sentido si no existe seres vulnerables expuestos a ellos, ya que sin vulnerabilidad tampoco existe riesgo.

Esperemos que el siguiente estudio sirva de ayuda a la Alcaldía de Santa Tecla y que con ello se pueda actuar lo antes posible en todas esas comunidades expuestas a esos riesgos que siguen amenazando.

7. RECOMENDACIONES

Es importante que este estudio sirva de guía a la Alcaldía de Santa Tecla para que los a los taludes que presentan un mayor Riesgo Geológico se les apliquen métodos que aseguren su estabilidad y que se erradique la posibilidad de deslizamientos, ya sea modificando la inclinación de éstos, con medidas de drenaje, aplicando elementos estructurales resistentes (pantallas de pilotes, bulones o anclajes) o conteniendo los taludes con muros. Es posible también proteger los taludes en superficie.



Para saber que obras de mitigación deben aplicarse a cada talud deben hacerse los pertinentes estudios geotécnicos a cada talud.

Pero lo que se debe tener presente en todo momento es que es necesario que la población esté sensibilizada de en qué condiciones vive y cuál es el riesgo con el que conviven. Además, es deber de la Alcaldía mantener informadas a las Comunidades y mantener en todo momento el contacto con ellas. Sería también muy útil poder formar a éstas con aspectos geológicos para que la población comprenda su situación.

Se espera con este estudio aportar nuevos conocimientos para que se amplíen en un futuro y así luchar contra el peligro que supone vivir cerca del Riesgo Geológico y que haya cada vez más Salvadoreños que asuman este problemática.

8.BIBLIOGRAFÍA

- Geólogos del Mundo y Unidad de SIG de la Alcaldía de Santa Tecla. “ **Propuesta de Área de Alto Riesgo Geológico**”.

- Centro de Gestión de Riesgos REDES (Fundación Salvadoreña para la reconstrucción y el Desarrollo). “**Organización Comunitaria Para la Prevención de Desastres**”.

- Díaz Suarez, J. Ingeniería de suelos Ltda. 1998.“**Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales**”.

- Plan Estratégico Participativo Nueva San Salvador. “**Plan Estratégico Participativo. Nueva San Salvador. Resumen ejecutivo**”. Junio 2002.

- **Investigación Preliminar Del Sub-Suelo Realizada En El Terreno Ubicado En La Cordillera Del Bálsamo Donde Se Proyecta Construir Un Monumento.**
Fc S.A. De C.V.

- “**Investigación Geotécnica Integral en la Cordillera el Bálsamo al Sur de Santa Tecla, entre las Colonias Las Delicias y La Colina**” C.Lotti&Associati S.P.A