



COMISIÓN NACIONAL DE PREVENCIÓN DE RIESGOS Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

San José, Costa Rica

“ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE LADERAS DEL DESLIZAMIENTO PARAÍSO, CHÁNGUENA, BUENOS AIRES”



1905C16-S-03-DOC-Rev1

Octubre, 2019

PREFACIO

Participaron en la elaboración del presente informe los siguientes profesionales:

Ing. Adrián Ulloa Leitón, M. Eng.
Ingeniería Geotécnica

Ing. Geólogo. Francisco Cervantes, M.Sc.
Geología

Geógrafo. Mario Hernández, M.Sc.
Sociología y Ambiente

Ing. María José Chacón
Ingeniería hidráulica e hidrología

Control revisiones de documento					
Número de revisión	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Descripción de cambios
1	02/10/2019	A. Ulloa, F. Cervantes, M. Hernández, M. Chacón	O. Jiménez	O. Jiménez	Incorporación de cambios revisión CNE
0	24/09/2019	A. Ulloa, F. Cervantes, M. Hernández, M. Chacón	O. Jiménez	O. Jiménez	Emitido para entrega

Índice

	Página
PREFACIO	1
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO	5
1.2 ANTECEDENTES	5
1.2.1 Informe de la Comisión Nacional de Emergencias del 20 de enero de 1999 (DPM-INF-013-99)	6
1.2.2 Tesis del Lic. Esteban Bonilla	6
1.3 ÁREA DE ESTUDIO	8
2. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	11
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS	11
2.2 USO Y COBERTURA DE SUELO	16
2.3 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	17
2.3.1 Climatología general de la zona	17
2.3.2 Caracterización de la precipitación	19
3. CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS Y PROCESOS DE INESTABILIDAD DE LADERAS	25
3.1 METODOLOGÍA	25
3.2 GEOLOGÍA LOCAL	26
3.2.1 Unidades sedimentarias	26
3.2.2 Unidades Inconsolidadas	36
3.2.3 Aspectos estructurales	45
3.3 CARACTERIZACIÓN DEL DESLIZAMIENTO DE PARAÍSO Y GEODINÁMICA	47
3.3.1 Sector activo	54
3.3.2 Sector latente o inactivo inferior	55
3.3.3 Sector latente o inactivo superior	56
3.3.4 Zonas inestables locales	56
3.3.5 Resumen de situación actual (o análisis teórico)	59
3.4 SUSCEPTIBILIDAD A LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS	62
3.4.1 Descripción de los factores condicionantes	65
3.4.2 Descripción de los factores detonantes	68
3.4.3 Resultados obtenidos	70
3.5 ESTADO ACTUAL DE ESTABILIDAD	72
3.5.1 Generalidades	72
3.5.2 Limitaciones	74
3.5.3 Factores de seguridad mínimos admisibles	74
3.5.4 Modelo geotécnico	75
3.5.5 Análisis de estabilidad	80
3.6 NIVELES UMBRALES DE LLUVIA QUE GENERAN DESLIZAMIENTOS	93
3.7 MEDIDAS DE INTERVENCIÓN	96
3.7.1 Medidas de intervención local	96
3.7.2 Medidas de intervención nacional	103
4. CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y MEDIDAS DE INTERVENCIÓN	104
4.1 USO ACTUAL DE LA TIERRA, CAPACIDAD DE USO Y CONFLICTOS DEL USO	104
4.1.1 Introducción	104
4.1.2 Uso actual del suelo	104

4.1.3	Capacidad de uso	106
4.1.4	Conflictos del uso.....	107
4.1.5	Elementos geológicos que influyen en la propuesta de uso del suelo del área de estudio 108	
4.1.6	Propuesta de zonificación de uso del suelo.....	109
4.2	REGISTRO DE EVENTOS CRÍTICOS VINCULADOS AL DESLIZAMIENTO	112
4.3	CARACTERIZACIÓN SOCIAL DE PARAÍSO DE CHÁNGUENA	113
4.3.1	Introducción	113
4.3.2	Datos demográficos	113
4.3.3	Infraestructura comunal.....	115
4.3.4	Servicios de emergencia disponibles desde Paraíso de Chánguena.....	116
4.3.5	Inventario de organizaciones en Paraíso de Chánguena	117
4.3.6	Principales actividades económicas	118
4.4	IDENTIFICACIÓN Y SEÑALAMIENTO DE INFRAESTRUCTURA VULNERABLE ANTE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO	119
4.5	ANÁLISIS DE LA PERCEPCIÓN COMUNAL DEL RIESGO AL DESLIZAMIENTO	120
4.5.1	Taller comunal, Paraíso de Chánguena, Buenos Aires. 26 de julio, 2019	121
4.6	ASPECTOS POSITIVOS Y NEGATIVOS IDENTIFICADOS	126
4.6.1	Degradación ambiental	126
4.6.2	Gestión del riesgo	126
4.6.3	Trámites de construcción- Plan Regulador.....	127
4.6.4	Salud- Educación.....	127
4.7	ESCENARIOS DE INTERVENCIÓN DEL ESTADO Y MUNICIPIO.....	128
4.8	OPCIONES PARA LA TRANSFERENCIA DEL RIESGO	129
4.9	PROPUESTA PARA INCORPORAR LA INFORMACIÓN GENERADA AL PLAN REGULADOR	129
4.10	PROPUESTA DE UNA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN SOCIAL A CINCO AÑOS PLAZO	130
4.11	INVOLUCRAMIENTO DE LA MUNICIPALIDAD DE BUENOS AIRES	131
5.	DISEÑO DEL SISTEMA DE VIGILANCIA Y ALERTA TEMPRANA DEL DESLIZAMIENTO.....	133
5.1	GENERALIDADES	133
5.2	DISEÑO DEL MONITOREO HIDRO METEOROLÓGICO	134
5.3	PROPUESTA DE MEDICIÓN DE DESPLAZAMIENTOS DEL TERRENO	136
5.3.1	Técnicas de monitoreo.....	136
5.3.2	Esquema de monitoreo de desplazamientos	143
5.4	PROPUESTA DE MEDICIÓN DE DESPLAZAMIENTOS EN ESTRUCTURAS.....	145
5.5	PROPUESTA DE MEDICIÓN DE NIVELES DE AGUA EN EL CAUCE.....	146
5.6	ALERTAS Y PROTOCOLOS PARA POSIBLES DESLIZAMIENTOS PROVOCADOS POR LLUVIAS	147
5.6.1	Definición de tipos de alertas	147
5.6.2	Advertencias, avisos e informes meteorológicos	148
5.7	PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS DEL SAT (DIAGRAMAS DE FLUJO)	148
5.8	PROTOCOLO DE OPERACIÓN RUTINARIA DEL SISTEMA.....	153
5.9	SISTEMA DE ALERTAS ANTE SISMOS.....	154
5.10	DIFUSIÓN DE LA ALERTA A LA POBLACIÓN	155
5.11	RUTAS DE EVACUACIÓN Y SITIOS PARA ALBERGUES TEMPORALES.....	156
5.12	PROPUESTA DE CAPACITACIÓN Y PREPARACIÓN A LA POBLACIÓN SOBRE EL DISEÑO DEL SISTEMA DE VIGILANCIA Y ALERTA TEMPRANA	156
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	158
6.1	CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA	158
6.2	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y ASPECTOS SOCIO AMBIENTALES	162
6.3	SISTEMA DE VIGILANCIA Y ALERTA TEMPRANA	163
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	165

8. GLOSARIO	167
9. ANEXOS	168

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

La Unidad de Investigación y Análisis de Riesgo de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (IAR-CNE) ha realizado la contratación directa del proyecto en cuestión, a la empresa CARBÓN Ingeniería S.A., con el fin de disponer de insumos para la implementación de delimitaciones en el uso de la tierra en el área de influencia del Deslizamiento Paraíso, en Chánguena de Buenos Aires de Puntarenas.

Mediante este proyecto se busca caracterizar el deslizamiento de Paraíso de Chánguena y los procesos involucrados en el mismo. Además, se pretende determinar la vulnerabilidad de las poblaciones afectadas y establecer posibles medidas de intervención.

Finalmente, se propone la definición de un sistema de vigilancia y alerta temprana del deslizamiento, con el fin de mitigar los riesgos asociados a su existencia.

Los productos a generados involucraron tanto trabajo de gabinete, como visitas de campo, donde tuvieron participación diferentes áreas técnicas (Geología, Geotecnia, Hidrología y Sociología y Ambiente).

El trabajo ha requerido estudiar los antecedentes del deslizamiento, el contexto geológico regional y local, los procesos geodinámicos involucrados y los parámetros hidrometeorológicos del sitio y sus alrededores.

Para las labores de caracterización de la amenaza y la vulnerabilidad del área de estudio, fue necesario realizar visitas técnicas en la comunidad de Paraíso y sus alrededores, para conocer en sitio aspectos asociados a su infraestructura y a lugares habitados que podrían verse afectados directa o indirectamente por el problema de inestabilidad que impacta la zona.

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) fue utilizado para generar los mapas técnicos que demarquen los componentes más importantes del área y que son solicitados, los cuales permiten ilustrar de manera muy clara las condiciones de vulnerabilidad del área estudiada y constituyen una herramienta valiosa para tareas de ordenamiento territorial y en la prevención de desastres.

1.2 ANTECEDENTES

El área donde se encuentra la comunidad de Paraíso, es contemplada en diversos estudios geológicos, sin embargo, la mayoría de índole regional, por lo que los detalles locales no son temas de discusión.

Los huracanes que impactaron el país, particularmente a finales de los 80 y en la década de los 90 del siglo pasado (Huracán Juana en 1988, Huracán César en 1996 y Huracán Mitch en 1998), tuvieron un efecto negativo en las laderas donde se localiza la comunidad de Paraíso, Chánguena, Buenos Aires, Puntarenas. Durante el proceso de ejecución del presente estudio, se tuvo acceso a 2 documentos relacionados específicamente con el deslizamiento Paraíso, a saber:

- DPM-INF-013-99 - Desplazamiento de Paraíso Reactivado por Influencia del Huracán Mitch (22/10/1999) - Informe Interno CNE
- Estudio Diagnóstico de Amenazas Asociadas a la Geodinámica Externa en la Parte Media de la Cuenca del río Limón, Cantón de Buenos Aires, Puntarenas. Tesis de grado de licenciatura, Esteban Bonilla

A nivel socio ambiental, no se cuenta con estudios específicos previos en la comunidad, por lo que este trabajo constituye un primer avance en la caracterización de la población y su percepción del riesgo, ante la amenaza con la que conviven (deslizamiento).

1.2.1 *Informe de la Comisión Nacional de Emergencias del 20 de enero de 1999 (DPM-INF-013-99)*

Este informe fue preparado por el Geól. Julio Madrigal con base en lo acontecido por las lluvias extraordinarias generadas por el Huracán Mitch que afectó Centroamérica por un periodo de 11 días (22 de octubre al 02 de noviembre de 1998). Este evento provocó una reactivación del deslizamiento Paraíso y una socavación de la quebrada Paraíso, ocasionando pérdidas materiales, daños de consideración en el camino principal y fincas.

El informe técnico realiza una serie de recomendaciones con el fin de minimizar el avance de la zona de inestabilidad, así mismo una potencial reactivación futura. Para ello emplaza la responsabilidad a las instituciones del Estado que tienen injerencia directa o indirecta para que apliquen estatutos y leyes que controlen el uso de la tierra y restrinjan la construcción de infraestructura en sectores de riesgo. También las convoca para que procedan con la reparación del camino de acceso y al reforzamiento del puente sobre el río Limón.

1.2.2 *Tesis del Lic. Esteban Bonilla*

La tesis de licenciatura del Lic. Esteban Bonilla desarrollada durante los años 2005 a 2006 está dedicada al estudio geológico del deslizamiento Paraíso y contiene el detalle de las unidades geológicas que afloran en la zona de interés. Las formaciones geológicas fueron establecidas con base en un levantamiento geológico de campo, además se ejecutaron algunas perforaciones superficiales (de poca profundidad) con el método DPL para

caracterizar de forma general las características de los suelos que componen el deslizamiento.

De acuerdo con las conclusiones del Lic. Bonilla (2006), el deslizamiento de Paraíso posee una extensión aproximada de 5 km², y fue dividido en dos sectores: el sector inactivo y el sector activo o de mayor movilización. Se mantiene la hipótesis que el deslizamiento de Paraíso se formó en al menos tres etapas, antes de la reactivación del sector basal, debido a la presencia de varias cicatrices observadas dentro del deslizamiento, que se podrían asociar a desprendimientos de material que no ocurrieron de manera simultánea.

También indica que los escarpes lineales y las dimensiones del deslizamiento, sugieren que existe un control estructural sobre el mismo, provocado principalmente, por la disposición del buzamiento y de los sistemas de fracturas, los cuales facilitan el movimiento del material. Otras conclusiones importantes fueron las siguientes:

- a. El sector activo del deslizamiento, presenta efectos como grietas, bloques del terreno basculados y desplazados en forma de anfiteatro, nacientes, acumulación de agua en forma de ciénegas, cárcavas poco profundas; además de presentar una zona de depósito en la margen del río Limón. Los terrenos de este sector, se consideran sumamente peligrosos y móviles, impidiendo un aprovechamiento óptimo de los mismos.
- a. El sector inactivo no presenta actividad asociada al deslizamiento principal; sin embargo, se observa formación de cárcavas que alcanzan hasta 15 metros de profundidad, acumulación de agua en forma de ciénegas y formación de deslizamientos pequeños por ampliación del cauce de la quebrada Paraíso. Por lo tanto, se considera un sector con posibilidades de afectar viviendas o infraestructura comunal, debido a que presenta suelos con una mala calidad geotécnica y por que podría presentar una reactivación durante un sismo o un periodo excepcional de lluvias.
- b. La parte activa afecta directamente a cuatro viviendas; además el retroceso de su corona lateral, ocasiona destrucción del camino principal, lo que podría provocar aislamiento en la comunidad y pérdidas económicas que se sumarían a los cultivos destruidos que se encuentran en esta zona.
- c. Las viviendas que se encuentran en el sector inactivo, no presentan efectos asociados a movimientos diferenciales del terreno; no hay reportes de reventaduras en pisos y paredes, ni de columnas o vigas separadas, o grietas en terrenos aledaños. Sin embargo, la presencia de viviendas en este sector no deja de ser un elemento de riesgo asociado al deslizamiento, sobre todo las que se encuentran cerca de los márgenes de la quebrada Paraíso, ya que podrían ser afectadas por erosión severa en las paredes del cauce, generando pequeños

desprendimientos que paulatinamente aumentarían su tamaño hasta conformar un deslizamiento de mayor peligrosidad.

El trabajo de Bonilla (2006) es una apropiada fuente de información de donde se puede partir para desarrollar los alcances establecidos en el presente contrato. Varios de los elementos expuesto por Bonilla (2006) serán discutidos en diversos capítulos de este documento.

1.3 **ÁREA DE ESTUDIO**

La zona donde se circunscribe el área de estudio es la cuenca media-alta del río Limón (o Limoncito así reconocido por los pobladores de Paraíso), tributario del río Grande de Térraba, cuya confluencia se encuentra en los alrededores de Paso Real de Buenos Aires. Se encuentra localizada en entre las elevaciones 580 y 1220 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Abarca un área de 18 km² definida por la CNE (2019: 3), con una forma rectangular que abarca el área de cobertura directa e indirecta del Deslizamiento Paraíso, en Chánguena de Buenos Aires, entre las coordenadas Lambert Costa Rica Sur 310.000-313.000 y 557.000563.000 de la Hoja cartográfica Coto Brus (IGNCR, 1980), o las coordenadas Costa Rica Transversal Mercator 2005 593.875-599.876 y 977.080-980.087 (ver Mapa de la Figura 1.1).

Esta zona constituye parte de las estribaciones norte de la Fila Cruces, que separa las estribaciones y sabanas sur de la Cordillera de Talamanca, con las planicies aluviales de los ríos Esquinas y Claro, que drenan hacia océano Pacífico en la sección sureste del país.

Paraíso posee terrenos de relieves plano ondulados y escarpados, ubicados entre la Fila Punta Redonda (al norte) y la Fila Anguciana (al oeste y sur), (IGNCR, 1980), los cuales muestran un patrón de drenaje constituido por quebradas de tercer y cuarto orden, sin nombre, que discurren en dirección predominante oeste-este, hacia el río Limón. Estas tierras han sido desprovistas de su cobertura boscosa, a partir de las políticas de colonización y avanzada de la frontera agrícola con más intensidad a partir de la segunda mitad del siglo veinte.

Actualmente el paisaje geográfico posee una predominancia antrópica, determinada por las actividades ganaderas y agrícolas, sobre suelos de los órdenes entisoles e inceptisoles (IICA y CIA, 2017), que conservan algunos sectores con bosque hacia el sur del área de estudio, cercanos al Territorio Indígena Coto Brus, mismo que alberga población indígena del pueblo Ngäbe.

Según Tosi (1969), de encontrarse esta zona ecológicamente inalterada, estaría ocupada por la sucesión vegetal denominada Bosque pluvial premontano (bp-P), conformada por bosques siempre verdes, con dos o tres estratos, con árboles del dosel entre los 30 y 40 metros de altura, abundante cantidad de epífitas, alta biodiversidad, muy densos y de mediana altura. Esta zona de vida cuenta con una precipitación promedio superior a los 4.000 mm/año, aunque en algunas partes del país se sobrepasa el promedio de 7.000 mm/año. Este tipo de clima es atractivo para el desarrollo de actividades agropecuarias sostenibles por la excesiva precipitación y la alta humedad atmosférica.

Administrativamente el área de estudio se localiza en la Región de Planificación Brunca, específicamente en el distrito Chánguena (7), del cantón de Buenos Aires (3), de la provincia de Puntarenas (6). Paraíso de Chánguena puede determinarse como una comunidad rural, de emplazamiento lineal sobre el principal camino de acceso y salida, tanto hacia el noroeste rumbo a la localidad de Chánguena como al sureste, con dirección a la localidad de La Casona de Coto Brus (territorio indígena) y al centro urbano de San Vito.

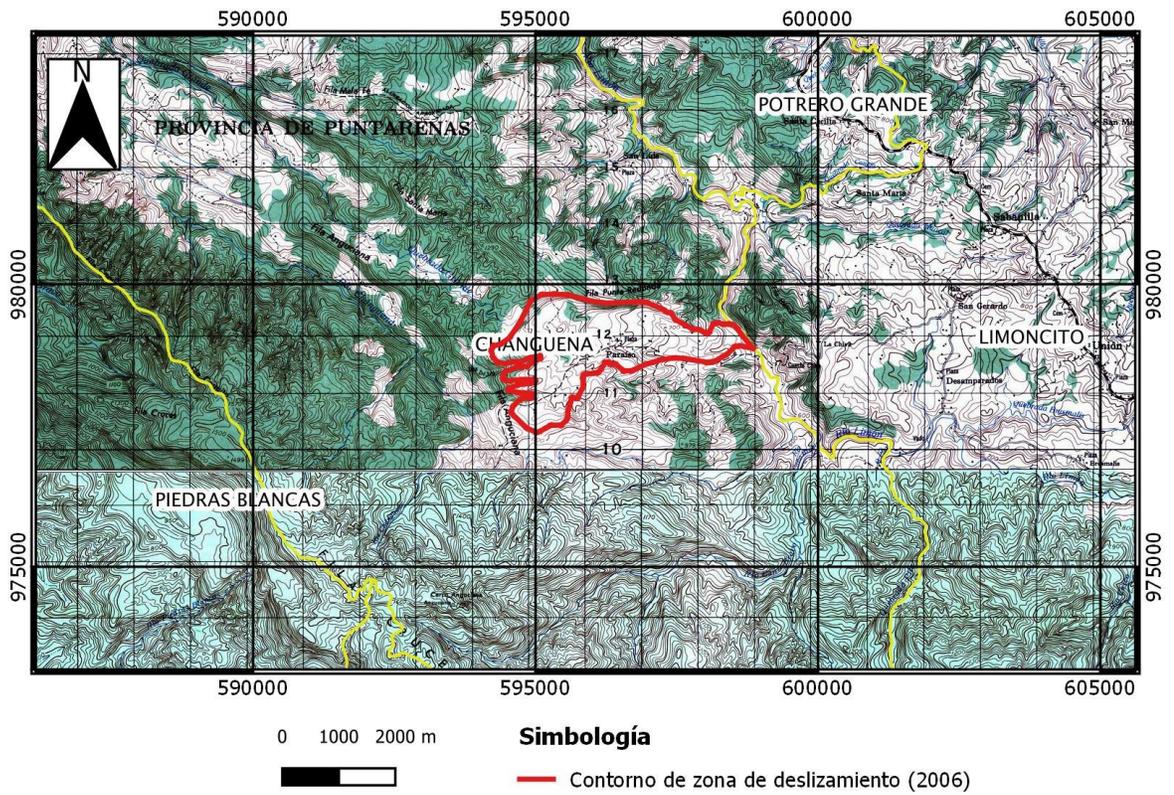


Figura 1.1. Ubicación del área de estudio

2. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS

Con base en la cartografía 1:25000 del Instituto Geográfico Nacional (SNIT), se procedió a trazar la divisoria de aguas de la cuenca hidrográfica de las quebradas de interés para la zona del deslizamiento, definidas en los respectivos sitios de confluencia con el río Limón (Figura 2.1). La cuenca denominada como Cuenca A corresponde a la cuenca que discurre en el interior de la zona del deslizamiento activo, mientras que la Cuenca B discurre en el sector exterior de la zona de deslizamiento, pero se determinó en la visita de campo que afecta la estabilidad del camino existente que recorre su divisoria de aguas. Ambas quebradas son afluentes del río Limón, que a su vez es afluente del río Grande de Térraba (Cuenca principal: Río Grande de Térraba. Sub cuenca: Río Limón).

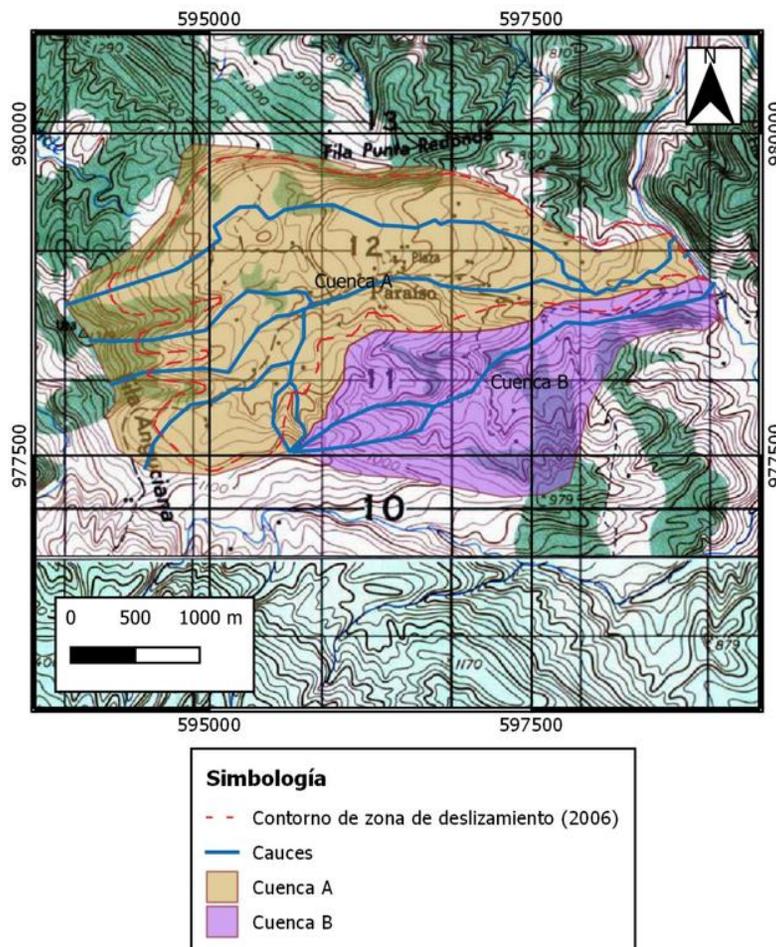


Figura 2.1. Delimitación de las cuencas de las quebradas de interés dentro de la zona de deslizamiento (Fuente: Hoja cartográfica escala 1:50000 Coto Brus, IGN) Cuadrícula CRTM-05

Una vez delimitadas las cuencas, se procedió a calcular sus características morfológicas (parámetros geométricos, hipsométricos, del cauce principal y de la red de drenaje), tal como se muestra en el Cuadro 2.1. Para el cálculo de los parámetros de relieve, longitud del cauce principal y afluentes se utilizó la información de las curvas de nivel en escala 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional.

La Cuenca A de 6.44 km² tiene una forma ligeramente alargada, lo que se ve reflejado en un índice de compacidad de Gravelius de 1.38. Presenta elevaciones que varían desde los 520.00 msnm en las cercanías de la confluencia con el río Limón hasta los 1300.00 msnm en la parte alta de la Fila Anguciana. La red de drenaje es de tipo dendrítico; en la zona de estudio la quebrada tiene una serie de pequeños afluentes sin nombre en la zona este y norte de la cuenca. Hasta el punto del control de la confluencia el cauce de la quebrada sin nombre tiene una longitud de 5.65 km. Su perfil se muestra en la Figura 2.3 y presenta una pendiente media de 8.05% según el criterio de Taylor y Schwarz.

Cuadro 2.1 Características principales de las cuencas de las quebradas de interés dentro de la zona de deslizamiento

Característica	Valor Cuenca A	Valor Cuenca B
Área de drenaje (km ²)	6.44	2.87
Perímetro (km)	12.54	8.44
Índice de compacidad de Gravelius	1.38	1.40
Pendiente media de la cuenca (%)	30.65	38.37
Elevación media de la cuenca (msnm)	937.54	829.91
Elevación máxima de la cuenca (msnm)	1300	1140
Elevación mínima de la cuenca (msnm)	520	540
Longitud del cauce principal (km)	5.65	3.66
Elevación máxima del cauce (msnm)	1300	1140
Elevación mínima del cauce (msnm)	520.00	540.00
Pendiente media del cauce principal - aritmética (%)	13.80%	16.40%
Pendiente media del cauce principal - Taylor y Schwarz (%)	8.05%	8.14%
Número de orden de la cuenca	3	2
Longitud total de cauces (km)	14.56	4.87
Densidad de drenaje (km/km ²)	2.28	1.7

La Cuenca B de 2.87 km² tiene una forma ligeramente alargada, lo que se ve reflejado en un índice de compacidad de Gravelius de 1.40. Presenta elevaciones que varían desde los 540.00 msnm en las cercanías de la confluencia con el río Limón hasta los 1140.00 msnm en la parte alta de la Fila Anguciana (Figura 2.2). La red de drenaje es de tipo dendrítico; en la zona de estudio la quebrada tiene dos pequeños afluentes sin nombre en la zona este de la cuenca. Hasta el punto del control de la confluencia el cauce de la quebrada sin nombre tiene una longitud de 3.66 km. Su perfil se muestra en la Figura 2.4 y presenta una pendiente media de 8.14% según el criterio de Taylor y Schwarz.

En la Figura 2.2 se muestra el mapa de elevaciones de las cuencas de las quebradas de interés. Las zonas de mayor elevación se ubican en el sector oeste, correspondiendo con los cerros de la fila Anguciana, mientras que las zonas de menor elevación se localizan en la confluencia de las quebradas con el río Limón, en el sector este del mapa.

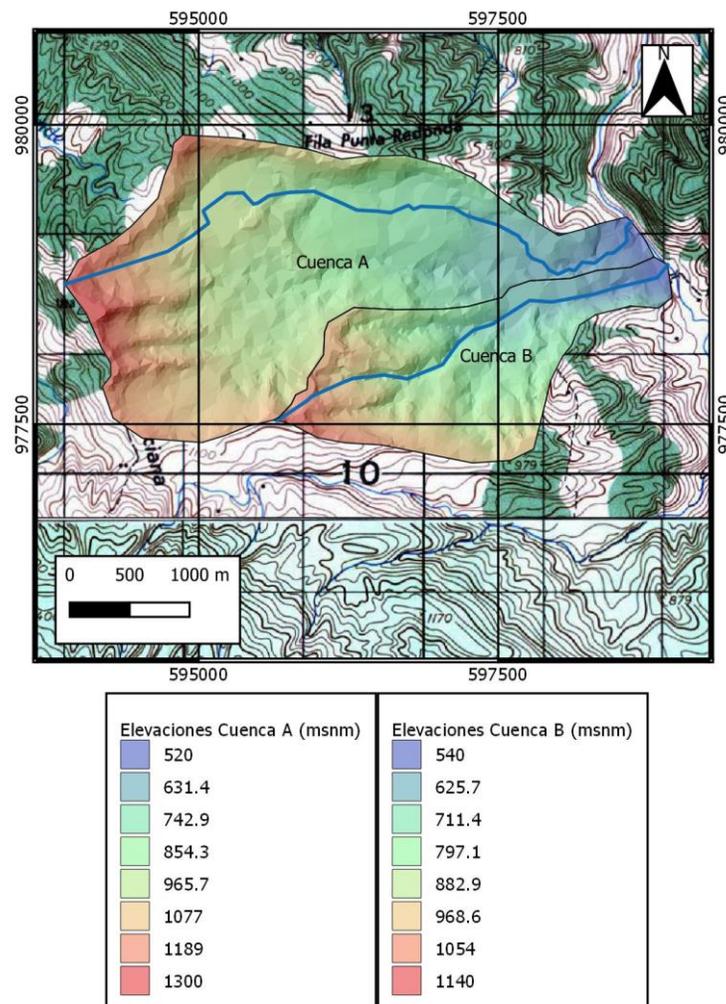


Figura 2.2. Mapa de elevaciones de las cuencas de las quebradas de interés dentro de la zona de deslizamiento (Fuente: Hoja cartográfica escala 1:50000 Coto Brus) Cuadrícula CRTM-05

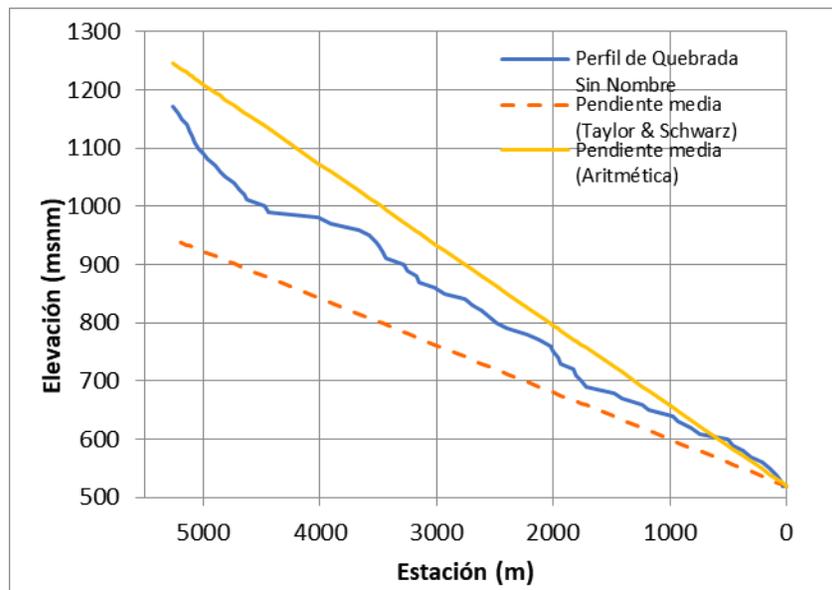


Figura 2.3. Perfil de la quebrada sin nombre Cuenca A
 (Fuente: Hoja cartográfica escala 1:50000 Coto Brus, IGN)

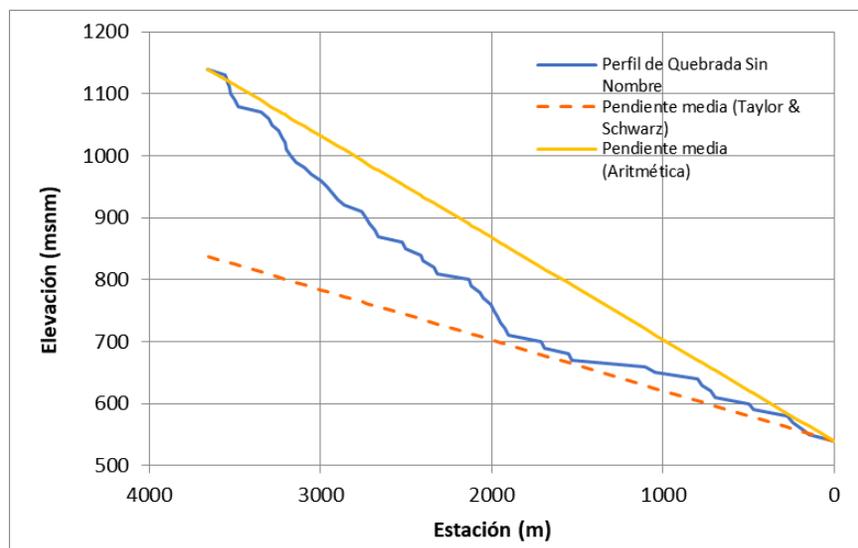


Figura 2.4. Perfil de la quebrada sin nombre Cuenca B
 (Fuente: Hoja cartográfica escala 1:50000 Coto Brus, IGN)

2.2 USO Y COBERTURA DE SUELO

Para realizar una caracterización del uso y cobertura actuales de las cuencas de la zona de estudio se utilizó al análisis de las imágenes satelitales disponibles por medio de la base de datos de Google Earth en internet y al mapa de cobertura del suelo de Costa Rica del año 2005 (ITCR, 2014). En la Figura 2.5 se muestra un mosaico de las imágenes que abarcan el área de estudio y que fueron tomadas en 2017. Con base en la información existente en el mapa, se realizó un ajuste con base en las imágenes satelitales disponibles. La clasificación realizada se muestra en la Figura 2.5.

El mapeo de coberturas de suelo muestra que la Cuenca A presenta una importante cobertura de pastizales/áreas de cultivo, que abarca el 75.01% de la cuenca, particularmente en sus sectores medios y altos. El otro 24.99% de la cuenca corresponden a coberturas de zonas urbanas, forestal y pequeños parches de bosque secundario. Un resumen de las áreas que abarcan las principales coberturas de suelo identificadas para la Cuenca A se muestra en el Cuadro 2.2.

La Cuenca B presenta una importante cobertura de bosque secundario y área forestal (60.43%). El otro 39.57% de la cuenca corresponden a coberturas de pastizales/zonas de cultivo. Un resumen de las áreas que abarcan las principales coberturas de suelo identificadas para la Cuenca B se muestra en el Cuadro 2.3.

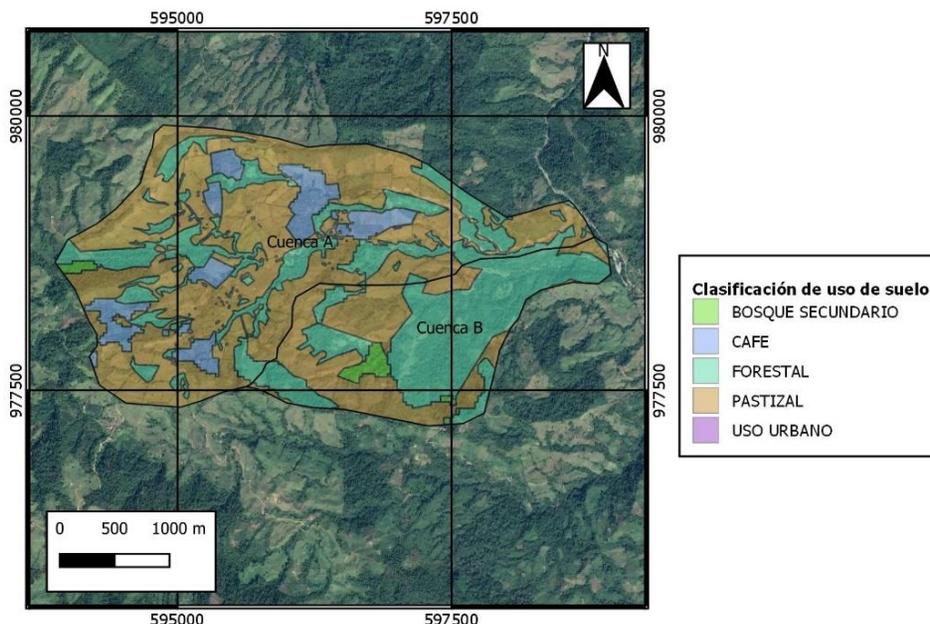


Figura 2.5. Mosaico de imágenes satelitales mostrando la cobertura del suelo del área de las quebradas de interés en el sitio del deslizamiento (Para efectos de la caracterización de las cuencas) (Fuente: Google Earth, 2017)
Cuadrícula CRTM-05

Cuadro 2.2. Coberturas de suelo predominantes en la Cuenca A

Cobertura	Área	
	Km ²	Porcentaje
Bosque secundario	0.03	0.48%
Cultivos (Café y otros)	0.74	11.47%
Forestal	1.55	24.07%
Pastizales	4.09	63.54%
Urbano (Residencia rural)	0.03	0.44%
Total	6.44	100.0%

Cuadro 2.3. Coberturas de suelo predominantes en la Cuenca B

Cobertura	Área	
	Km ²	Porcentaje
Bosque secundario	0.10	3.37%
Forestal	1.64	57.06%
Pastizales	1.14	39.57%
Total	2.87	100%

2.3 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

2.3.1 Climatología general de la zona

Climatológicamente el área de estudio se encuentra dentro de la Región Pacífico Sur (Figura 2.6), según la clasificación del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) a partir de criterios regionales de temperatura, precipitación anual y comportamiento estacional de las precipitaciones (Solano y Villalobos, 1997).

Debido a su ubicación, la Región Pacífico Sur se ve afectada por las condiciones meteorológicas del Pacífico (vientos ecuatoriales y Zona de Convergencia Intertropical, ZCI) y las condiciones orográficas que imponen los valles y las montañas de la Cordillera de Talamanca. Estas condiciones se reflejan en una variabilidad climática en la zona, la cual se describe mediante cinco subregiones definidas por IMN, según se muestra en el Cuadro 2.4 y en la Figura 2.6 (Solano y Villalobos, 1997).

El área de estudio se ubica dentro de las subregiones climáticas PS1 y PS2. Presenta un clima lluvioso con influencia monzónica, con lluvia media anual entre 3050 mm y 3710 mm y con un promedio de días de lluvia de 174. Estas subregiones tienen el período seco más corto, con una duración de 2-3 meses, la temperatura media anual es de entre 23°C y 27°C.

Cuadro 2.4. Características de las subregiones climáticas de la Región Pacífico Sur (según Solano y Villalobos, 1997)

Subregión	Precipitación media anual (mm)	Temperatura máxima media anual (°C)	Temperatura mínima media anual (°C)	Temperatura media anual (°C)	Promedio de días con lluvia	Período seco (meses)
PS1	3050	29	18	23	175	3
PS2	3710	32	22	27	174	2
PS3	4820	32	22	27	220	Sin período
PS4	4282	>30	17 a 23	27	192	Sin período
PS5	3320	24	17	20	211	Sin período

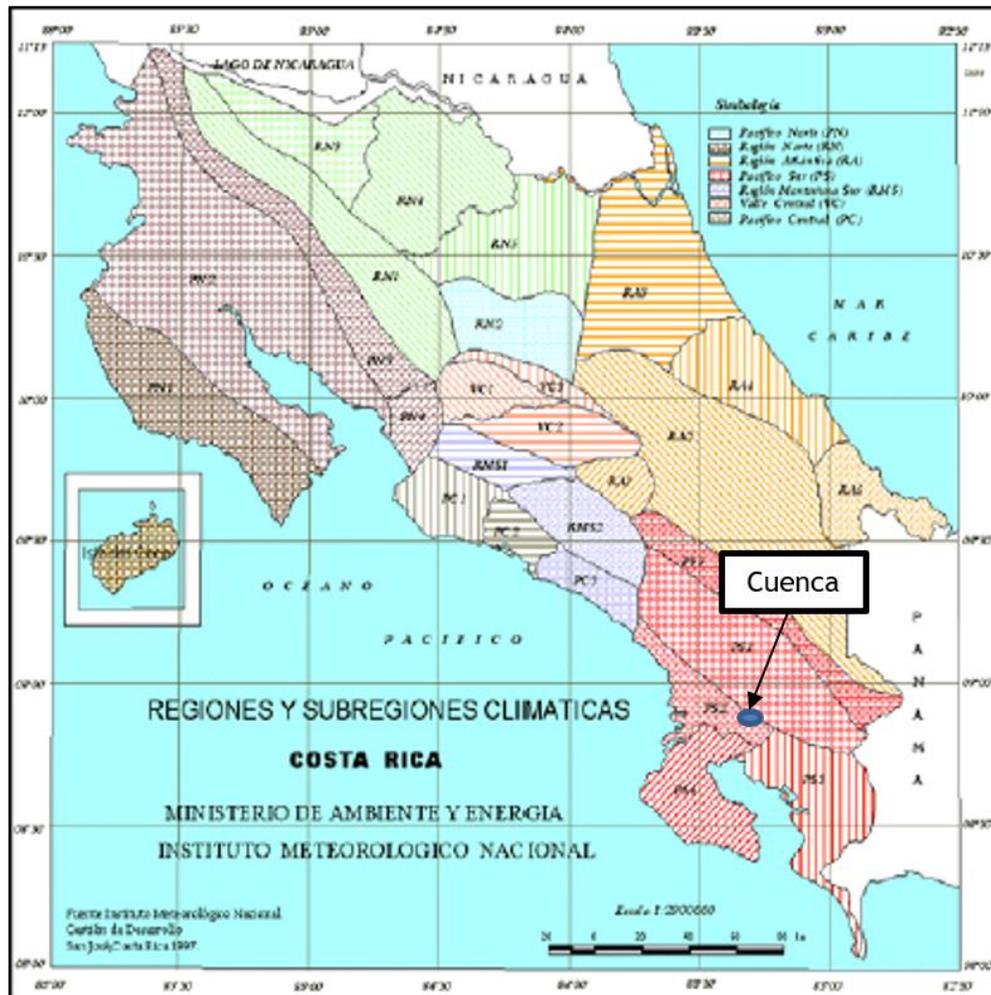


Figura 2.6. Mapa de regiones y subregiones climáticas de Costa Rica - Instituto Meteorológico Nacional. Fuente: Solano y Villalobos, 1997

2.3.2 Caracterización de la precipitación

Precipitación promedio mensual y anual para la zona de estudio

En la región de la cuenca del río Grande de Térraba existen una serie de estaciones pluviográficas del ICE, las más cercanas al sitio de estudio se muestran en la Figura 2.7 y el Cuadro 2.5.

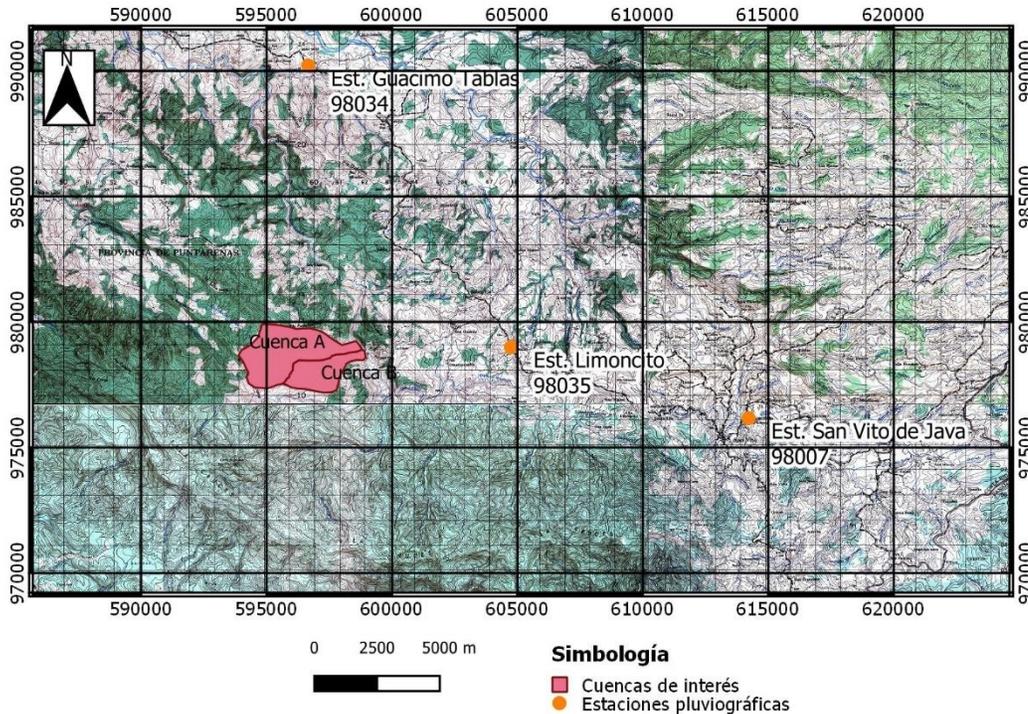


Figura 2.7. Estaciones pluviográficas cercanas a la zona de estudio Cuadrícula CRTM-05

Cuadro 2.5. Estaciones pluviográficas cercanas a la zona de estudio

Estación	98007	98034	98035
Nombre	San Vito de Java	Guácimo Tablas	Limoncito
Coordenada X (CRTM05)	976159	990217	978991
Coordenada Y (CRTM05)	614231	596668	604750
Altitud (msnm)	1011	345	863
Periodo de registro	1993-2018	1993-2018	1993-2018

En el Cuadro 2.6 y la Figura 2.8 se muestra la precipitación promedio mensual de las tres estaciones para el período de 1993 - 2018, mientras que el Cuadro 2.7 y la Figura 2.9 muestran la precipitación anual para este mismo período de registro.

Se observa que la tendencia mensual de la precipitación es consistente para las tres estaciones, con una disminución marcada de las lluvias entre los meses de diciembre a febrero. En términos de precipitación anual, la estación Limoncito presenta los mayores valores de precipitación, seguida de San Vito de Java, los valores para la estación Guácimo Tablas son considerablemente menores con respecto a las otras dos estaciones de la zona.

Cuadro 2.6. Precipitación promedio mensual para las estaciones de interés en la zona (mm)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total anual
98007-San Vito de Java	90.6	67.4	120.9	224.0	439.3	372.6	308.3	423.3	445.3	583.3	473.3	166.6	3714.8
98034-Guácimo-Tablas	21.3	33.6	65.6	143.6	288.2	273.6	222.7	267.6	345.0	347.0	205.8	50.0	2263.9
98035-Limoncito	77.9	68.0	134.1	256.1	476.7	457.0	376.8	472.1	541.9	631.7	476.6	188.5	4157.5

Cuadro 2.7. Precipitación total anual para las estaciones de interés en la zona (mm)

*Celdas resaltadas representan años con pérdida de información

Año	San Vito de Java	Guácimo Tablas	Limoncito
1993	3763.5	2655.9	4277.6
1994	3573.5	2004.7	3679.5
1995	4069.4	2494.4	4879.5
1996	4564.7	2853.4	4449.3
1997	3328.4	2095.4	2632.6
1998	4252.1	2360.5	4079.7
1999	4448.0	2621.9	4073.4
2000	3629.1	2070.1	3818.7
2001	3355.4	1955.4	4051.8
2002	2472.6	2167.0	3168.0
2003	4424.7	2496.9	4822.1
2004	3420.7	2166.7	3919.0
2005	4324.8	2130.3	3970.2
2006	3355.1	2187.7	4053.7
2007	4011.1	2603.8	4630.0
2008	3992.7	2128.2	3951.4
2009	3415.5	1640.6	3424.8
2010	4735.6	3048.3	5622.5
2011	2930.0	1785.3	3880.8
2012	2840.4	2037.0	3484.1
2013	2773.5	1724.5	3770.9
2014	3044.6	2190.6	3865.1
2015	2736.5	2057.5	3428.8
2016	4101.7	2387.2	4536.4
2017	3112.9	2313.1	4791.7
2018	3726.9	672.3	4354.7
Prom.	3630.9	2186.5	4062.2

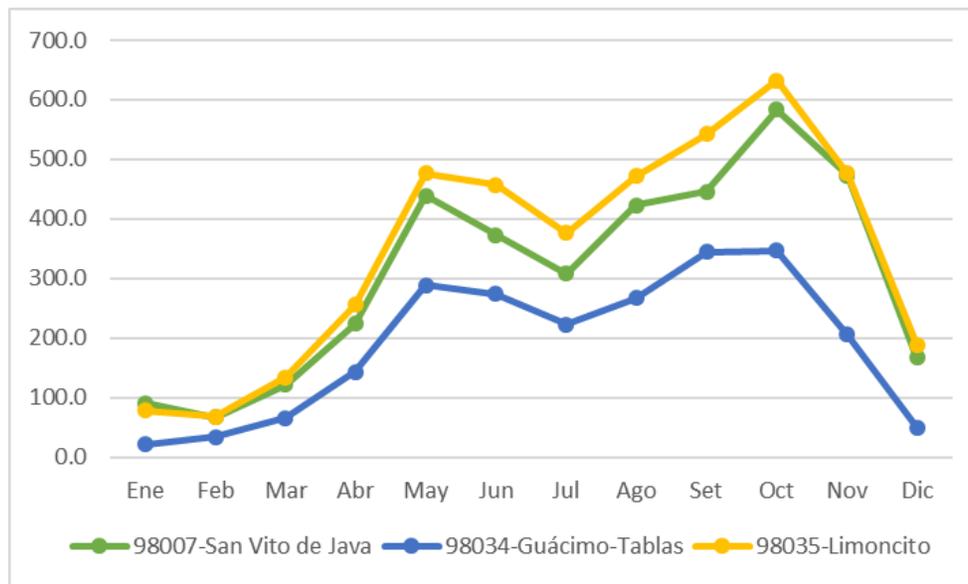


Figura 2.8. Precipitación promedio mensual para las estaciones de interés en la zona (mm)

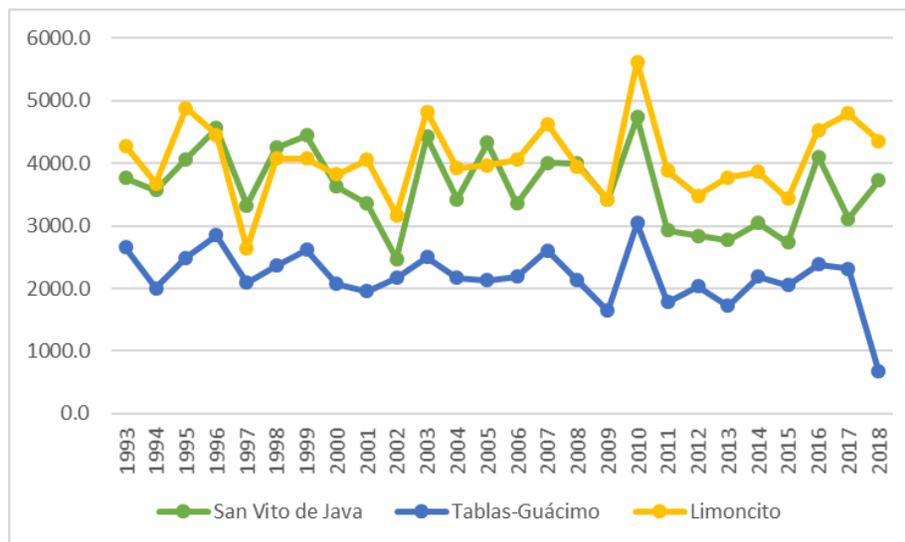


Figura 2.9. Precipitación promedio anual para las estaciones de interés en la zona (mm)

En su trabajo final de graduación, García. E (2015) elaboró un mapa de zonas de influencia de las diferentes estaciones mediante el método de polígonos de Thiessen. A partir de dicho mapa se puede concluir que la estación más representativa para las cuencas del presente estudio es la estación Limoncito (ver Figura 2.10).

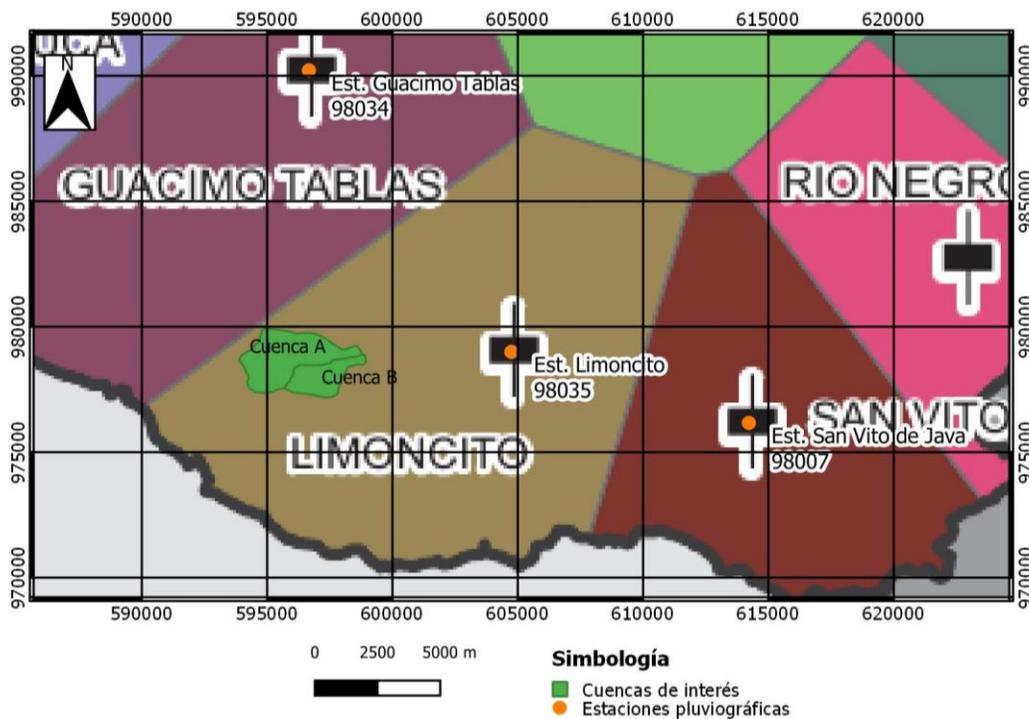


Figura 2.10. Área de influencia de las estaciones pluviográficas cercanas a la zona de estudio
Fuente: Adaptado de García. E (2015)
Cuadrícula CRTM-05

Análisis probabilístico de precipitaciones máximas en 24 horas

Con la información de lluvia diaria es posible realizar un análisis probabilístico con el fin de determinar los valores de precipitación máxima de 24 horas para diferentes períodos de retorno, lo cual puede servir como insumo para derivar tormentas de diseño para la aplicación de modelos precipitación-escorrentía.

Para el análisis de frecuencia, se decidió utilizar la estación Limoncito, ya que se considera que resulta representativa del comportamiento de la precipitación dentro de la cuenca en estudio. La información base para el análisis de frecuencia fueron las precipitaciones máximas anuales acumuladas en 24 horas registradas en el período 1989 - 2018.

Los datos de precipitación diaria (P_D) primero fueron transformados en precipitación de 24 horas (P_{24}) multiplicándolos por un factor de 1.16, correspondiente al ajuste de Weiss, tal como se recomienda en la literatura (Dwyer y Reed, 1995). Este ajuste obedece a que los datos reportados como lluvia diaria responden a una discretización sistemática de la lluvia en intervalos regulares de un día meteorológico, lo cual constituye un muestreo que puede dejar por fuera valores mayores de precipitación en períodos de 24 horas que no coinciden con los intervalos de medición.

Realizada la corrección anterior, se procedió a hacer un análisis de *outliers* (datos dudosos), para los cuales se evaluaron los datos que presentaban un comportamiento salido de la tendencia general.

Una vez con las series anuales de precipitaciones máximas de 24 horas (P_{24}) verificadas, se procedió a aplicar la metodología de factores de frecuencia (Chow et.al., 1994). En este caso, la ecuación de factores de frecuencia para precipitación se puede escribir como:

$$P_{24,máx}(TR) = \overline{P_{24,máx}} + K(TR) * S_{P_{24,máx}}$$

donde $P_{24,máx}(TR)$ es la precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno TR ; $\overline{P_{24,máx}}$ es el promedio de los valores de la serie anual de precipitación máxima en 24 horas; $S_{P_{24,máx}}$ es la desviación estándar de los valores de la serie anual de precipitación máxima en 24 horas; y $K(TR)$ es el factor de frecuencia para el período de retorno TR , para una distribución de probabilidad dada.

Los factores de frecuencia se estimaron para 4 distribuciones de probabilidad (log-normal, Gumbel, Pearson III y log-Pearson III) y se siguieron criterios de bondad de ajuste y límites de confianza para determinar la distribución que mejor se adaptaba a los datos (Figura 2.11). Este procedimiento permitió estimar los valores de máximos de P_{24} para diferentes períodos de retorno. Los resultados se muestran en el Cuadro 2.8.

En la Figura 2.11 se aprecia cómo la distribución de probabilidad log-Pearson III es la que mejor se ajusta a las mayores precipitaciones observadas. Por esta razón, se utilizan estos resultados para el análisis de estabilidad de laderas que se describe más adelante en el presente informe.

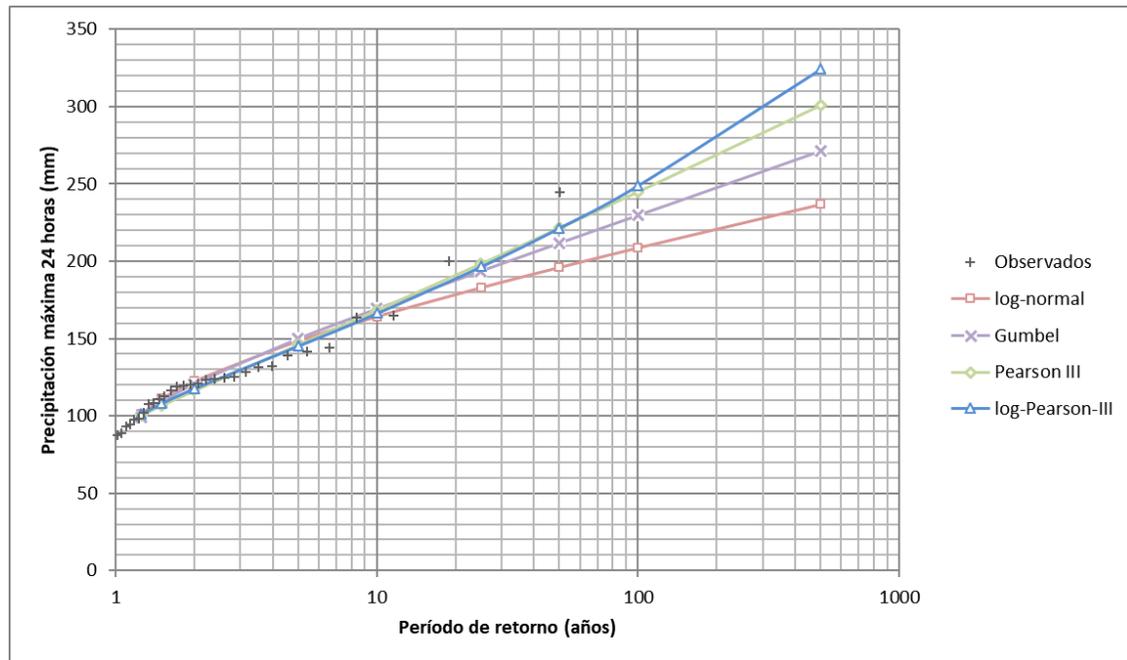


Figura 2.11. Ajuste de probabilidad de los datos observados a las distribuciones log-normal, Gumbel, Pearson III y log-Pearson III

Cuadro 2.8. Precipitaciones máximas en 24 horas ($P_{24, \text{máx}}$) estimadas

TR (años)	$P_{24 \text{ máx}}$ (mm)			
	Log-normal	Gumbel	Pearson III	log-Pearson-III
1.25	101.27	99.00	100.54	101.21
1.50	111.23	108.84	106.86	108.29
2.00	122.73	120.70	116.46	117.83
5.00	148.74	149.90	146.14	145.33
10.00	164.45	169.23	168.57	166.44
25.00	183.05	193.66	198.60	196.57
50.00	196.17	211.78	221.70	221.64
100.00	208.77	229.77	245.15	249.12
500.00	236.81	271.34	301.00	324.28

3. CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS Y PROCESOS DE INESTABILIDAD DE LADERAS

3.1 METODOLOGÍA

Para el área de estudio y el tema de interés, la información es relativamente escasa, excepto por la tesis del Lic. Bonilla (2006). La exploración ha estado orientada a una caracterización de la estructura del deslizamiento con información de superficie, fortaleciendo la parte descriptiva y poco o nada la componente analítica. No hay disponibles estudios geotécnicos de detalle, tal como exploraciones profundas usando perforaciones con recuperación o prospección geofísica, técnicas que permiten establecer con propiedad la profundidad del material inestable y la caracterización geomecánica de las capas que componen el deslizamiento, ya sea aplicando diversos ensayos de laboratorio o ensayos “in situ”. Esta situación es entendible, conociendo el costo económico que representan estas exploraciones y la escasez de recursos institucionales. Por lo tanto, para desarrollar el estudio, se ha procedido a revisar toda la información disponible e integrarla con estudios de detalle directamente en el campo, y para completar los análisis deberán considerarse premisas en cuanto a los parámetros geotécnicos.

Para la ejecución del presente estudio se han realizado las siguientes actividades:

1. Revisión de la información disponible, la tesis del Geól. Esteban Bonilla resulta muy didáctica y contiene información valiosa para usarla como punto de partida.
2. Análisis de imágenes satelitales, google y fotografías aéreas.
3. Levantamiento geológico de campo: revisión de afloramientos de roca disponibles, cartografiado de grietas, escarpes y superficies de deslizamiento.
4. Procesamiento de la información, elaboración de mapas.
5. Desarrollo de secciones geológicas para el modelamiento geotécnico.
6. Estimación de parámetros geotécnicos aplicando la técnica de *back-analysis*.
7. Cálculo de posibles escenarios de mecanismo de falla y sus respectivo factor de seguridad.
8. Establecimiento de secciones críticas y factores de disparo.
9. Análisis de los resultados para incorporar soluciones temporales o definitivas para mitigar los desplazamientos críticos.
10. Establecimiento de sectores o zonas críticas del deslizamiento Paraíso
11. Elaboración de informe con recomendaciones.

3.2 GEOLOGÍA LOCAL

Debido a que el área del cuadrante demarcado en el presente contrato no contiene los suficientes afloramientos de roca para realizar una correlación regional de las unidades litoestratigráficas, se procederá por lo tanto, a utilizar la nomenclatura definida por Bonilla (2006).

El área está dominado principalmente por materiales deslizados constituidos por brechas inconsolidadas de composición heterogénea, matriz limo-arenosa a arcillo-arenosa. Los afloramientos de rocas sedimentarias son raros o escasos, los que se logran observar se encuentran de forma aislada en pocos sectores del área de estudio. Particularmente se observan afloramientos en la quebrada Paraíso Sur, en los escarpes de la periferia del deslizamiento y en las márgenes del río Limón, incluyendo la desembocadura de la quebrada Paraíso.

3.2.1 *Unidades sedimentarias*

Dentro del área de estudio el sustrato de fondo o basamento local está constituida por unidades sedimentarias, principalmente rocas detríticas, donde predominan las areniscas de grano medio, ocasionalmente se observan capas de arenisca gruesa y lutitas. La estratificación o espesor de las capas sedimentarias tiende a ser decimétrica a métrica, aunque en muchos de los casos los afloramientos son de dimensiones pequeñas que no permiten definir esta estructura con facilidad.

En la quebrada denominada como Paraíso Sur se observan escasas ventanas de roca cuyos dimensiones varían entre 2X4 m a 5X12 m. Estos afloramientos son de roca arenisca, se presentan sanos a moderadamente meteorizados, su color es de gris verdoso cuando la roca se encuentra sana y café claro cuando están fuertemente meteorizadas (ver Figura 3.1 y Figura 3.2). Otros afloramientos de roca se encuentran en el área periférica de estudio, particularmente en la parte superior de los escarpes, tanto laterales como el anfiteatro principal del deslizamiento Paraíso. En los sectores del escarpe las rocas se encuentran moderada a fuertemente meteorizadas, incluso con meteorización esferoidal (capas en cebolla, ver Figura 3.3 y Figura 3.4).

Otros pequeños y escasos afloramientos se observan aleatoriamente a lo largo del camino que llega al caserío principal de Paraíso, particularmente entre el puente inferior sobre la quebrada Paraíso Sur y la Escuela de la comunidad (Figura 3.5). Un afloramiento aislado de roca se observa en la desembocadura de la quebrada Paraíso con el río Limón (Figura 3.6). Saliendo de la zona de estudio, en el sector Este del río Limón, hacia la comunidad de La Casona, los afloramientos de las rocas sedimentarias son más frecuentes (Figura 3.7).

Ahora bien, resulta importante mencionar que algunos de los afloramientos de roca que han sido cartografiados dentro del área del deslizamiento Paraíso, deben ser consignados con cierto grado de incertidumbre, dado que por sus dimensiones existe la posibilidad de corresponder con megabloques movilizados durante el evento principal del deslizamiento, situación normal en movimientos de masas de gran magnitud. Particularmente aquellos que tienen poca continuidad y se encuentran fuertemente meteorizados. Dos de ellos (aunque no los únicos), que tienen esta condición de duda como roca *in situ* o como bloque alóctono, corresponde con el afloramiento que se encuentra al lado del Colegio de Paraíso denominado como “tajo” (Figura 3.8) y el otro se encuentra en el camino interno que sigue hacia el norte y sube el escarpe norte (Figura 3.9 y Figura 3.10).



Figura 3.1 Sustrato de arenisca sana color gris verdoso aflorando localmente en el fondo de la quebrada Paraíso Sur (parte media), sobre él se encuentra material deslizado, dirección buzamiento de $045^{\circ} / 18^{\circ}$. Coordenadas 596148.70E - 978795.04N.

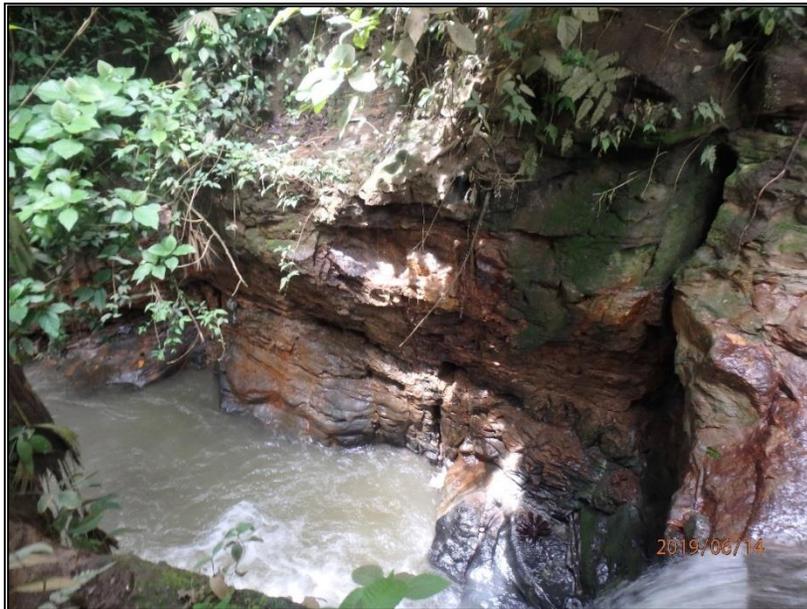


Figura 3.2 Afloramiento de areniscas detríticas de grano fino a medio color gris azulado, ligera a moderadamente meteorizadas, moderadamente fisuradas, estratificación decimétrica. Afloramiento bajo puente sobre quebrada Paraíso Sur. Coordenadas 597154.39E - 978767.75N.



Figura 3.3 Afloramiento local de areniscas medias fuertemente meteorizadas de color café. Se observa al borde del camino al norte de la comunidad de Paraíso - anfiteatro del deslizamiento. - Fila Angusiana. Coordenadas 594295.17E - 977736.73N.



Figura 3.4 Afloramiento local de areniscas medias fuertemente meteorizadas, meteorización esferoidal, de color café. Se observa al borde del camino al norte de la comunidad de Paraíso. - Fila Angusiana - anfiteatro del deslizamiento. Coordenadas 595328.16E - 977122.7290N.



Figura 3.5 Afloramiento local de areniscas medias ligera a moderadamente meteorizadas de color gris verdoso. Se observa al borde del camino hacia Paraíso, el afloramiento parece *in situ* aunque es muy pequeño para confirmarlo. Coordenadas 596764.53E - 978903.38N.



Figura 3.6 Secuencia de areniscas de grano fino a medio y lutitas color gris azulado, cementación calcárea, sanas a ligeramente meteorizadas, estratificación centimétrica. Desembocadura de la quebrada Paraíso, coordenadas 598602.65E - 979199.67N



Figura 3.7 Afloramiento local de areniscas y lutitas calcáreas ligera a moderadamente meteorizadas, de color gris. Se observa al borde del camino al Este de la zona de estudio, hacia la comunidad de La Casona (fuera del área de estudio). Coordenadas 599654.05E - 977669.94N.



Figura 3.8 Bloque métricos de areniscas gruesas ligeramente meteorizadas descansando sobre un sustrato de areniscas medias fuertemente meteorizadas. No está claro su naturaleza, ya sea afloramiento *in situ* o alóctono. Coordenadas 596148.70E - 978795.04N.



Figura 3.9 Secuencia sedimentaria de areniscas medias con presencia de una capa fosilífera, localizada hacia la parte central del deslizamiento Paraíso. El buzamiento de estas capas no es congruente con el observado en la zona, se interpreta como un megabloque deslizado (?). Coordenadas 595597.63E - 979349.76N.



Figura 3.10 Brecha calcárea con abundantes fósiles que aflora hacia el centro de la zona deslizada, se presenta como un bloque anómalo. Parece corresponder con un *megabloque* deslizado (detalle de Figura 3.9). Coordenadas 595597.63E - 979349.76N

El afloramiento denominado como “tajo” ubicado a un lado del Colegio Paraíso está constituido por “bolones” de arenisca gruesa color gris oscuro, se encuentran sobre una arenisca de grano medio fuertemente meteorizada. No se pudo observar la relación estratigráfica entre los bloques dispersos en el sitio, con la “roca” del sustrato meteorizado. El afloramiento presenta un pequeño escarpe, pero se encuentra modificado por la explotación del material localmente. La topografía es irregular, la vegetación y suelo no permiten darle continuidad visual al depósito.

El afloramiento que se encuentra en el sector NW, al lado de un camino vecinal (coordenadas 595597.63E - 979349.76N), presenta un alto topográfico anómalo. Lo constituye una secuencia sedimentaria de areniscas medias y gruesas, color gris y café, moderadamente meteorizadas, estratificación centrimétrica a decimétrica. Curiosamente se encuentran bloques de caliza detrítica constituida por fragmentos de fósiles, arena gruesa y grava (Figura 3.10). El buzamiento es de $334^{\circ}/56^{\circ}$, el cual discrepa del buzamiento local observado de la unidad sedimentaria en esta zona.

Para poder establecer con mayor criterio la relación estratigráfica de los afloramientos de roca observados en la zona del deslizamiento Paraíso, se requiere la ejecución de

perforaciones exploratorias con recuperación de núcleo y/o prospección geofísica, herramientas que se escapan de los alcances del presente contrato.

- **Correlación litoestratigráfica**

De acuerdo a lo que indica Bonilla (2006) es su tesis, las rocas sedimentarias que se encuentran aflorando en el área de estudio corresponden con rocas de las formaciones geológicas Terraba (unidad Lagarto) y Curré, denominadas informalmente como Unidad Fila Anguciana y Unidad Fila Huacal, respectivamente, en su trabajo de tesis.

Formación Terraba

Bonilla (2006) indica que las litologías que afloran al Oeste de las coordenadas 560000 - 561000 (aguas arriba de la quebrada Paraíso), pertenecen a la Unidad Lagarto de la Formación Terraba. Bonilla (2006) determina la presencia de tres tipos de litofacies diferentes: las facies de calizas, las facies de intercalaciones de lutitas y areniscas (más abundantes en el área de estudio) y las facies de brechas finas.

Mora (1979), le asignó una edad de Oligoceno Superior a Mioceno Inferior. La unidad Lagarto sobreyace concordantemente a la Unidad Zapote, también de la Formación Terraba (no aflora en el área de estudio) y subyace de forma concordante a la Formación Curré (Unidad Areniscas Fila Huacal).

La Formación Terraba fue descrita originalmente por Dengo (1962a), al mencionar la presencia de sedimentos del Terciario Superior en el valle del Terraba y en el camino entre San Isidro y Dominical. Además, la subdivide en tres miembros: Miembro Cajón, Miembro Lagarto, y Miembro Curré.

Posteriormente, Henningsen (1965) restringe la Formación Terraba al Miembro Lagarto, e indica que yace concordantemente sobre la Formación Brito (ahora Formación Descartes), donde reconoce al Miembro Cajón como perteneciente a ésta última. Además, sube de categoría al Miembro Curré nombrándolo como Formación Curré.

Mora (1979), dividió la Formación Terraba en dos unidades, a saber Unidad Zapote y Unidad Lagarto:

- Unidad Zapote (Oligoceno Inferior a Medio): Consiste de facies intermedias de depósitos turbidíticos. Se define por la alternancia de areniscas, limolitas y arcillolitas, con intercalaciones de productos de vulcanismo submarino (aglomerados, brechas, vulcarenitas y conglomerados volcánicos). Además indica, un ambiente de depositación con una profundidad intermedia (nerítica), con

estratos que varían entre 5 y 15 cm para las areniscas y de 2 a 5 cm para las limonitas y arcillolitas.

“Las brechas volcánicas y aglomerados presentan componentes de naturaleza andesítica, matriz tobácea y clastos con tamaños que varían entre 0,05 y 0,4 m. Casi todas las facies contienen cantidades escasas de fósiles, siendo difícil la consecución de buenas especies guía” (Mora, 1979). Este autor menciona que dicha unidad sobreyace concordantemente y en forma transicional a la Unidad Cajón de la Formación Brito (Formación Descartes) y subyace a la Unidad Lagarto, también concordantemente. Su espesor varía entre 1200 m siendo mayor hacia el sector oriental de la zona.

- Unidad Lagarto (Oligoceno Superior a Mioceno): Mora (1979) la define como las facies proximales de la turbiditas, con predominio de conglomerados y areniscas, además de depósitos de canales turbidíticos. Las fotografías 6 y 7 corresponden con esta unidad.

Su ambiente es de profundidad moderada, presenta algunas estructuras sinsedimentarias como laminaciones cruzadas, ondulitas, “flute cast”, bolas de arcilla y pliegues de convolución.

Indica además, que las diferentes especies encontradas corresponden al Oligoceno Superior a Mioceno Inferior. Su espesor total varía entre 1200 y 1500 m. Está subyacida por la Unidad Zapote y sobreyacida concordantemente por la Formación Curré.

La diferencia más marcada entre las descripciones de Bonilla (2006) y la nomenclatura de Mora (1979), es la presencia de facies de calizas en un par de sectores de su zona de estudio. En la presente revisión, se observó localmente un estrato de caliza bioclástica, sin embargo, el afloramiento no parece encontrarse *in situ* (tal como se mencionó). También llama la atención la cantidad “enorme” de clastos y bloques de caliza bioclástica que se encuentra en el cauce de la quebrada Paraíso Central, su procedencia no está definida.

Formación Curré

De acuerdo con Bonilla (2006), las litologías que afloran al Este de las coordenadas 560000 - 561000 (aguas abajo de la quebrada Paraíso), corresponden con las facies inferiores de la Formación Curré (Unidad informal Huacal, como la denomina). Bonilla (2006) indica la predominancia de facies de areniscas de matriz calcárea con un color gris a gris azulado, el color de meteorización es café con variaciones a tonos rojizos y amarillentos. La roca

presenta abundantes fragmentos fósiles, principalmente de organismos que son característicos de ambientes marinos poco profundos, como bivalvos, gasterópodos, ostras, placas y espículas de erizos, entre otros. En algunos sectores es posible observar paquetes de bioacumulaciones de bivalvos y ostras que alcanzan hasta 1,50 metros de espesor; dichos estratos, normalmente culminan una secuencia de areniscas fosilíferas, dando paso a estratos de areniscas sumamente clásticas con escasez de fósiles.

Mora (1979) le asigna una edad del Mioceno Medio a Superior. Esta unidad sobreyace concordantemente a la Unidad Areniscas y Lutitas Fila Anguciana (Unidad Lagarto - Terraba) y en el área de estudio, subyace a los depósitos coluviales y aluvionales. Mora (1979), ubica a la Formación Curré subyaciendo de manera concordante a la Formación Paso Real.

Campos et al. (1984) menciona que consiste en una serie de areniscas tobáceas con intercalaciones de conglomerados, limonitas y ocasionalmente lutitas, que presentan en superficie fresca un color verde oscuro y parduzco en condiciones alteradas.

Originalmente Dengo (1962a) la designó como Miembro Curré de la Formación Terraba; sin embargo, Henningsen (1965) la correlaciona con la Formación Gatún de Panamá, indicando que las rocas pertenecientes a esta serie son estériles y sólo localmente presenta bancos que contienen abundantes restos de moluscos, además de la presencia de restos de madera y carbón vegetal en los estratos de areniscas tobáceas.

Mora (1979), también la ubica dentro de la Formación Gatún, asignándole una edad Mioceno Medio a Superior y a su vez describe dos subunidades:

- Subunidad de Conglomerados: Con materiales depositados en un ambiente de transición (facies deltáica y de playa), entre los que predominan conglomerados y areniscas fosilíferas. Los componentes son en su mayoría de origen volcanoclástico y de color verde grisáceo, con granos de hasta 0,5 cm cementados casi siempre por una matriz autógena y clorítica.

Además, menciona que esta subunidad puede considerarse como el piso de la Formación Curré y sobreyace concordantemente a la Unidad Lagarto. Su espesor varía entre 1000 y 1400 m aumentando hacia el sector oriental de la zona.

- Subunidad de Lutitas: Depositada en un ambiente parálico (estero o pantano), son de color negro y se intercalan con areniscas y conglomerados finos. Están por lo general muy cloritizados y se componen básicamente de productos subvolcánicos. Además, considera esta subunidad como el techo de la formación y está

sobreyacida por la Formación Paso Real. Su espesor varía entre 300 y 150 metros, mostrando una disminución hacia el oeste.

El mapa geológico (1905C16-MA-01) que se incluye en los anexos del presente documento muestra la distribución de las unidades geológicas indicas anteriormente.

3.2.2 *Unidades Inconsolidadas*

Tal como se indicó, las unidades inconsolidadas son las más abundantes en toda el área de estudio, donde predomina, sin lugar a dudas, las bechas depositadas producto del deslizamiento original. Si bien, podrían incluirse coluvios locales (depósitos de pie de ladera) o depósitos de avalancha en el cauce de la quebrada, todos están íntegramente relacionados entre sí, y su composición es similar, los diferencia el volumen (relativamente muy pequeño comparado con el megadeslizamiento) y en algún caso, su textura. Por lo tanto, se sugiere hablar principalmente de la brecha de deslizamiento, que es la que interesa en el presente análisis.

Ahora bien, en el cauce del río, localmente se observan depósitos colu-aluviales, cuyo espesor y volumen se incrementan hacia la desembocadura, corresponden con el material deslizado que es arrastrado a lo largo de la quebrada, que por una condición hidráulica, se deposita la partícula gruesa escalonadamente (gravas y bolones de roca) y se lava la partícula fina de arcilla, limos arenosa. Esta condición es temporal y varía de acuerdo a la velocidad del colapso de los taludes laterales de la quebrada y al caudal de la quebrada.

- Brechas de deslizamiento

Se ha elegido denominarla como brecha de deslizamiento, pues si bien se observan cambios locales de la granulometría y también de su coloración, predomina sobre todas las cosas una textura de brecha en todo el depósito. La brecha está constituido por una matriz limo-arenosa a arcilo limosa que contiene clastos de grava y bloques de roca cuyo tamaño varía entre 2 a 40 cm, aunque el tamaño promedio es de 6 cm, excepcionalmente pueden observarse bloques de hasta 2 m de diámetro.

El color de la brecha es un elemento de cambio constante, predominan el color gris azulado y café claro, pero también el gris verdoso, café oscuro y marrón. Los colores gris verdoso y gris azulado están relacionados o tienen cercanía con el remoldeado de la matriz de la roca original, la cual tiene una coloración de gris claro a gris verdoso. Los colores con tonalidad café podrían estar relacionados con las capas metoerizados que formaron parte del material deslizado. Los colores gris verdoso y gris azulado están relacionados más con las sectores activos del deslizamiento que con los inactivos. Por ende, estos colores son más frecuentes de la parte media/baja de la quebrada Paraíso.

El porcentaje de la matriz de granulometría fina (arcilla-limo-arena) con respecto grava y bloques de roca es igualmente variable, generalmente la matriz de granulometría fina predomina entre un 70 - 90%, con respecto a la partícula gruesa (35 - 15%). Ocasionalmente se pueden ver pequeños sectores de 60% matriz y 40% de bloques, al igual que sectores con un 100% de matriz.

Durante la preparación de la tesis de Bonilla (2006), se tomaron 3 muestras para su clasificación granulométrica, los resultados indican una predominancia de arcillas, limos y arenas con muy pocas gravas. Debido al área tan extensa del deslizamiento, 3 muestras resultan pocas y parecen no evaluar toda la partícula gruesa que se observa en los afloramientos. El Cuadro 3.1 desglosa los resultados indicados en Bonilla (2006).

El espesor de las brechas de deslizamiento no es conocido por métodos directos, pues no se han ejecutado perforaciones profundas ni tampoco se han desarrollado secciones de prospección sísmica. En algunos afloramientos en la quebrada Paraíso Sur cerca de la Escuela, donde se logra observar el sustrato rocoso, el espesor podría variar entre los 4 y 20 m. En el sector de deslizamiento más activo, el sustrato rocoso no se logra observar, y se encuentran taludes de hasta 30- 35 m, por lo que se ha utilizado un espesor promedio de 35 m, e incluso 40 m, valores que deben ser considerados como premisas del modelo. Es claro que el espesor es variable, aunque debería de aumentar en su parte baja.

Las fotografías de las Figuras 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16 y 3.17 muestran el detalle de la granulometría que constituye el depósito producto del deslizamiento. Cada fotografía corresponde de un sector específico a lo largo del área de estudio, como se puede notar el tamaño de partícula varía significativamente, aspecto que incide finalmente en las variables geomecánicas. Aspecto que será discutido más adelante.

Cuadro 3.1. Caracterización granulométrica y límites de Atterberg de 3 muestras que fueron procesadas en la tesis de Bonilla (2006).

Muestra Nº	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)
1-A	43,2	25,3	17,9	2,51	29,83	67,66
2-A	46,6	25,0	21,6	0	28,20	71,80
3-A	43,5	24,0	19,5	0	10,52	89,48



Figura 3.11 Depósito de brecha de deslizamiento en la margen derecha de la quebrada Paraíso Sur. Coordenadas 595807.09E - 978622.92N.



Figura 3.12 Depósito de brecha de deslizamiento en la margen derecha de la quebrada Paraíso Central. Coordenadas 596830.91E - 979276.89N.



Figura 3.13 Depósito de brecha de deslizamiento gris verdosa en la margen izquierda de la quebrada Paraíso Central. Coordenadas 596853.68E - 979333.8783N.



Figura 3.14 Ensayo con penetrómetro manual en depósito de brecha de deslizamiento gris verdosa en la margen derecha de la quebrada Paraíso Central. Coordenadas 596853.68E - 979333.8783N.



Figura 3.15 Brecha de deslizamiento gris azulada quebrada Paraíso - puente superior, cerca de la comunidad de Paraíso. Coordenadas 595807.09E - 978622.92N.



Figura 3.16 La matriz del deslizamiento es heterogénea, aunque predominan limos con arenas y algunas gravas y escasos bloques de roca, color gris verdosa (ensayo con penetrómetro manual). Cerca de deslizamiento torre celular. Coordenadas 595987.34E - 978734.90N



Figura 3.17 Ensayo de penetrómetro manual en material deslizado con granulometría limo arenoso y grava, resistencia de $1,5 \text{ kg/cm}^2$ (desembocadura quebrada Paraíso).
Coordenadas 598604.28E - 979144.19N.

- Depósito colu-aluvial

Este depósito resulta de un subproducto de acarreo y erosión del material deslizado. Se trata de un depósito dinámico que varía en dimensiones dependiendo de la actividad de los desplazamientos de la masa inestable y el caudal de las quebradas. Está constituido por gravas y bloques de roca de diversos tamaños acarreados por la quebrada. Generalmente la partícula de arcilla y limo son transportados en suspensión, la partícula tamaño arena precipita más fácilmente y dependiendo de la dinámica del flujo.

El tamaño de las partículas varían desde arena-grava hasta bloques de 60 cm, ocasionalmente se observan bloques de 1 m y excepcionalmente de 2 m (Figuras 3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22 y 3.23). Directamente no se ha logrado medir el espesor de este depósito, sin embargo, se estima entre los 2 y 8 m. Los bloques de roca están constituidos por areniscas, areniscas calcáreas, areniscas fosilíferas y calizas.

El depósito coluvial/aluvial es típico del sector activo del deslizamiento, donde el valle de la quebrada se hace ancho y no encajonado, por lo tanto, el espesor se incrementa hacia aguas abajo. En episodios de mucha lluvia estos materiales pueden proyectarse violentamente y formar conos de deyección en su desembocadura.



Figura 3.18 La quebrada Paraíso acarrea diariamente sedimentos con un rango granulométrico amplio, la partícula gruesa se acumula en el lecho, donde se observan areniscas y abundantes clastos de caliza fosilífera. Coordenadas 597915.65E - 978825.33N.



Figura 3.19 Como parte de los bloques arrastrados por la quebrada se observan cantos de caliza fosilífera, su proveniencia no ha sido definida. Coordenadas 597105.99E - 979315.67N.



Figura 3.20 Detalle de la quebrada Paraíso, sedimentos con un rango granulométrico amplio, la partícula gruesa se acumula en el lecho, donde se observan areniscas y abundantes clastos de caliza fosilífera. Coordenadas 597913.68E - 978813.08N.



Figura 3.21 Detalle de los bloques de roca acarreados por la quebrada, areniscas calizas y calizas fosilíferas. Coordenadas 597913.68E - 978813.08N.



Figura 3.22 Arenisca con abundantes fósiles, principalmente turritelas y bivalvos.
Coordenadas 597913.68E - 978813.08N.



Figura 3.23 En algunos sectores de la quebrada Paraíso se observan bloques arrastrados
con diámetros de hasta 2 m. Coordenadas 597912.80E - 978815.91N.

3.2.3 Aspectos estructurales

El área donde se localiza la comunidad de Paraíso pertenece a un ambiente geológico complejo, con diversas formaciones geológicas que son afectadas por un tectonismo regional, donde se destacan fallas inversas de varias decenas de kilómetros de extensión, tal es el caso de la falla San Luis y Chánguena, definidas por Mora (1979). Ahora bien, debido a las dimensiones tan limitadas del área de estudio y las coberturas de rellenos de material reciente, se dificulta determinar los patrones estructurales y fallas tectónicas que afectan el área, por lo tanto, hasta donde sea posible se establecerán las relaciones estructurales observadas con el apoyo de las referencias señaladas por Bonilla (2006), sobre este tema.

La estructura local y, que podría tener una influencia importante sobre la estabilidad de las unidades de roca (desfavorable), se refiere a la dirección del buzamiento, la cual se orienta hacia el NE (045°), su ángulo de inclinación oscila entre los 18° y 28° . Este ángulo de inclinación parece incrementarse hacia aguas abajo de la quebrada Paraíso.

La dirección y ángulo de buzamiento de las capas sedimentarias experimenta una rotación significativa hacia la margen Este del río Limón (fila Huacal), su orientación es hacia el Sur-Sureste y un ángulo de inclinación variable 12° a 47° . Este cambio podría estar influenciado por la falla Limón que sigue la traza del cauce del río del mismo nombre (Bonilla, 2006).

La falla Limón (Bonilla, 2006) es interpretada como una combinación de desplazamiento de rumbo e inversa, con una dirección preferencial N15E - S15W, presenta un salto de falla que provoca una variación en la dirección de la traza siguiendo un curso N30W - S30E.

Las otras fallas definidas por Bonilla son las siguientes (Figura 3.24):

- Falla F1, se localiza al norte del área de estudio, posee un rumbo aproximado SW - NE, que varía a E - W en la parte central de la misma. Presenta un movimiento lateral izquierdo, posiblemente con una componente inversa en el sector donde se une con la falla San Luis.
- Falla F2, de acuerdo con Bonilla (2006), es parte del patrón estructural típico de la fila Costeña, formado debido a los esfuerzos compresivos con dirección NE que predominan en la región. Es de tipo inverso, con una traza discontinua, muestra evidencias como valles fluviales lineales y sillars de falla. Posee un rumbo aproximado N45W - S45E.
- Falla F3 ha sido interpretada como una posible traza antigua de la falla Limón, abandonada cuando ésta migró a la ubicación actual. Se trata de una falla inversa.

- Falla normal F4 localizada al sur del deslizamiento Paraíso, con escarpe vertical.
- Falla F5 que se ubica al norte del deslizamiento, con escarpe vertical.

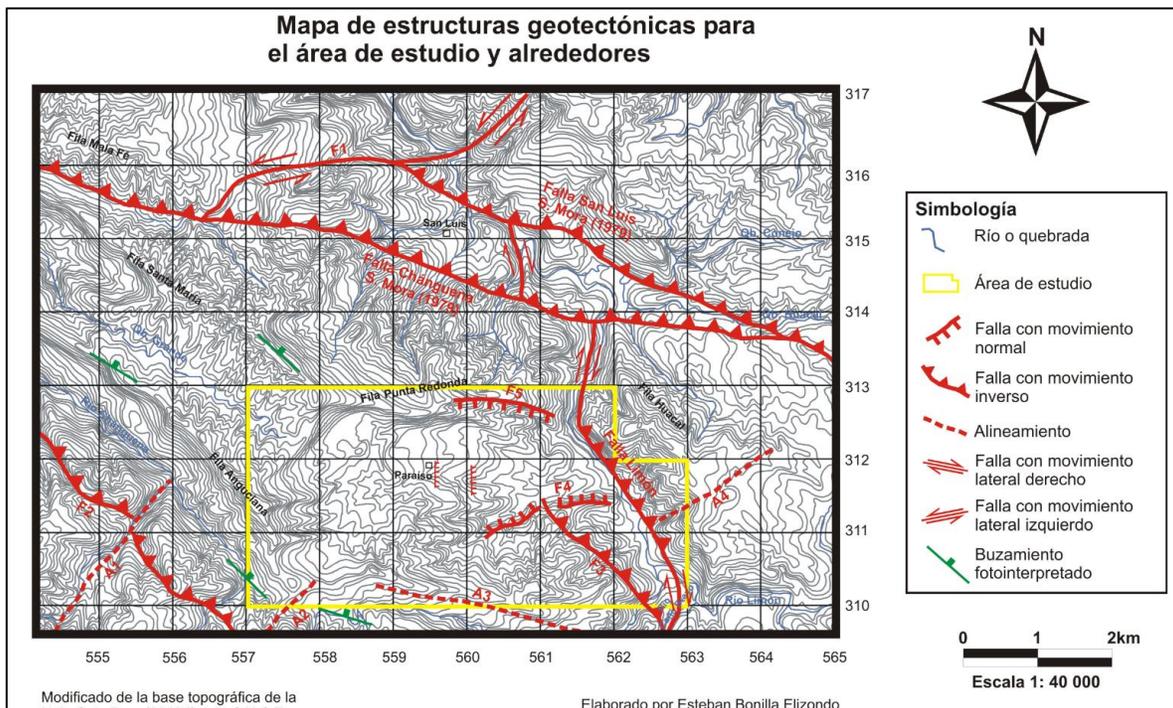


Figura 3.24 Mapa de estructuras geotectónicas para el área de estudio. Tomado de: Bonilla, 2006

Las fallas Limón, F3, F4 y F5 se encuentran dentro del área de estudio, sin embargo, las fallas F1, F2, San Luis y Changuena, se encuentran en los alrededores o periferia del área de interés. Las fallas F3, F4 y F5 tienen una longitud entre 1 y 2 km, su característica principal es su expresión geomorfológica, sin embargo, no se lograron encontrar evidencias concretas de ellas.

Bonilla (2006), indica la presencia de fallas normales con planos orientados hacia el deslizamiento, interpretando la presencia de una estructura tipo graben, la cual podría estar facilitando el movimiento del deslizamiento en el sector inferior.

3.3 CARACTERIZACIÓN DEL DESLIZAMIENTO DE PARAÍSO Y GEODINÁMICA

Lo que resulta claro del presente estudio sobre la estructura del deslizamiento es que este se encuentra fragmentada con sectores activos e inactivos, posee una geodinámica mixta y compleja. El área total de la estructura del deslizamiento abarca alrededor de las 492 Ha.

Se tienen varias coincidencias con el estudio de Bonilla (2006), los cuales en resumen son las siguientes:

1. El disparo original del deslizamiento estuvo dominado por estructuras geológicas, ya sea por estratos blandos, fallas, erosión diferencial o una combinación de ellas. El buzamiento regional de los estratos en este sector es favorable al deslizamiento, aunque deben de presentarse otras condiciones adicionales para que representa la única razón, dado que el ángulo de buzamiento es relativamente bajo de 18 a 25° y con una dirección principalmente al NE (azimuth de 045°).
2. El cuerpo del deslizamiento puede dividirse en al menos 3 partes, aunque no son las mismas áreas propuestas por Bonilla (2006).
3. Los límites del deslizamiento son aproximadamente los mismos, con ligeras variaciones.

De acuerdo con el análisis de fotografías aéreas, la estructura general del deslizamiento es muy antigua. Las fotografías más viejas que se lograron obtener del área corresponden al año 1960, revelan que ya el deslizamiento existía, la comunidad de Paraíso no se había establecido. Estas fotografías muestran que toda el área se encontraba con cobertura boscosa, no se observa zonas intervenidas por el hombre. La configuración general de la geometría del deslizamiento se puede delinear con facilidad, sin embargo, detalles de inestabilidad locales no son observadas, ya sea debido a están cubiertas por el área boscosa o que definitivamente no estaban presentes. Cabe indicar que los límites laterales (escarpes sur y norte) y la zona de anfiteatro se han mantenido hasta hoy, tal como se aprecia en las fotografías de 1960, pocos cambios se han dado, evidencia de que los límites de la estructura global del deslizamiento se mantienen estables, no así su interior (Figuras 3.25, 3.26, 3.27 y 3.28). El escarpe Norte presenta taludes conspicuos con pendientes fuertes, el escarpe sur es suave con pendientes bajas a medias y el anfiteatro es irregular con pendientes medias a altas. Esta geometría está relacionada posiblemente por las estructuras del macizo rocoso, por ejemplo, el escarpe sur está gobernado por el ángulo de buzamiento de los estratos.

También se lograron obtener fotografías aéreas de los años 1980, 1992 y 1997. Para esos periodos se aprecia la intervención del hombre, por ejemplo, para 1980 la mayoría de la

cobertura boscosa había sido removida, solamente pequeños núcleos se observan en la margen de las quebradas y taludes de pendiente muy fuerte (deforestación > 95%). El uso de la tierra se modificó radicalmente, pasando de un frondoso bosque a pastizales para el uso en ganadería y agricultura.

Desafortunadamente la escala de las fotografías no permite ver el detalle de los sectores activos del deslizamiento Paraíso. Tal como se mencionó, las fotografías de 1960 no muestran zonas internas activas, ya sea porque la cobertura boscosa las está cubriendo o tiene una relativa estabilidad por la condición del uso del suelo. Los otros juegos de fotografías muestran detalles generales, aunque es claro que la parte baja de la estructura deslizada muestra inestabilidades recientes. Debido a la escala de las fotografías no es sencillo determinar la magnitud y los cambios de estas inestabilidades con el tiempo, excepto cambios moderados en la geometría de la quebrada Paraíso.

Si bien se identifica actividad del deslizamiento en su parte baja y algunos sectores localmente, los límites globales del deslizamiento se mantienen, el área no se ha incrementado. La estructura principal tiene forma de “lengua invertida”, ancha en el sector del anfiteatro y angosta hacia su parte inferior (“se estrangula”). La dirección principal del movimiento es de Oeste (W) a Este (E), siendo el sector del E más activo. El deslizamiento es drenado por la quebrada Paraíso, la cual posee 3 afluentes principales, llamados como Paraíso Sur (o quebrada Aldo), Paraíso Central y Paraíso Norte. La quebrada Paraíso drena con dirección W a E, los afluentes son en principio paralelas entre sí, solamente se ramifican y cambian de dirección en el sector del anfiteatro. Algunas incisiones recientes de afluentes de la quebrada Paraíso se observan en el sector activo, se han desarrollado por el colapso local de grietas longitudinales. El ancho del cauce de la quebrada se ha incrementado en el sector activo, debido a la acumulación de sedimentos producto de la erosión acelerada que se observa con el avance de la zona activa del deslizamiento.

La diferencia principal de la comparación de fotografías indicadas son las siguientes:

1. El drenaje existente (quebrada Paraíso) para 1960 es poco desarrollado, entendible desde que la protección boscosa minimiza la erosión.
2. Para 1980 la actividad de la quebrada Paraíso es ligeramente mayor a lo que se observa en 1960, aunque mucho más inferior a la actual.
3. Durante estos periodos la quebrada Paraíso desemboca en el río Limón por el estribo derecho. Actualmente se ha desplazado hacia la margen izquierda.
4. Después de la deforestación casi total observada para 1980, en los siguientes periodos se presentan sectores pequeños locales con árboles, que obedecen a iniciativas individuales de cambios ligeros en el uso de la tierra (estos cambios son modestos).

5. En las fotografías de 1980 y 1992, no se percibe un ensanchamiento del cauce de las quebradas, ni depósito de sedimentos en el sector activo. Para 1997 hay un ligero incremento de sedimentos y ensanchamiento del cauce, aunque muy inferior al que se observa en la actualidad.
6. Las fotografías de 1997 muestran grietas longitudinales del sector activo, aunque en cantidad inferior a las que están presentes hoy en día.

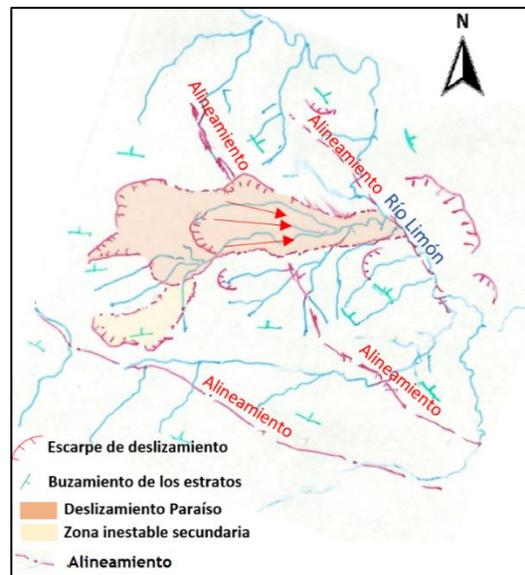


Figura 3.25 Esquema de interpretación fotogeológica - fotografías 1960.

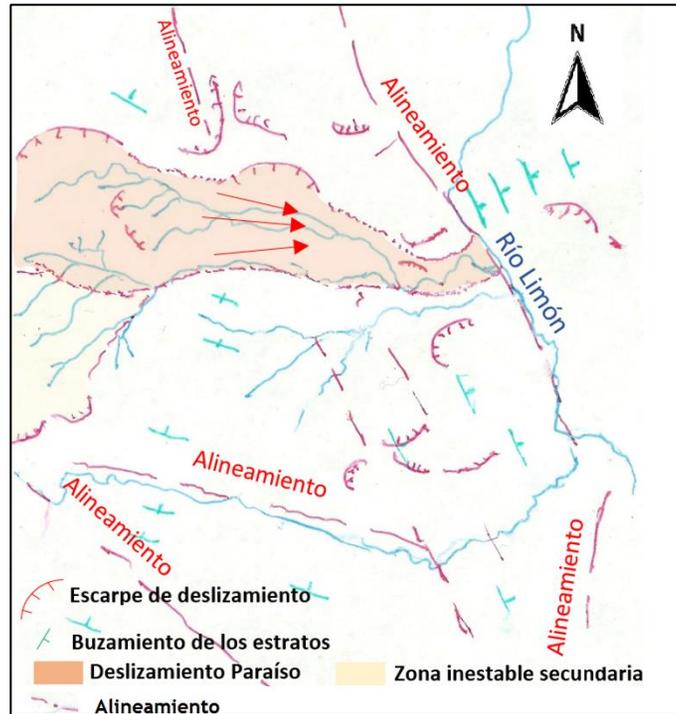


Figura 3.26 Esquema de interpretación fotogeológica - fotografías 1980.



Figura 3.27 Esquema de interpretación fotogeológica - fotografías 1992.

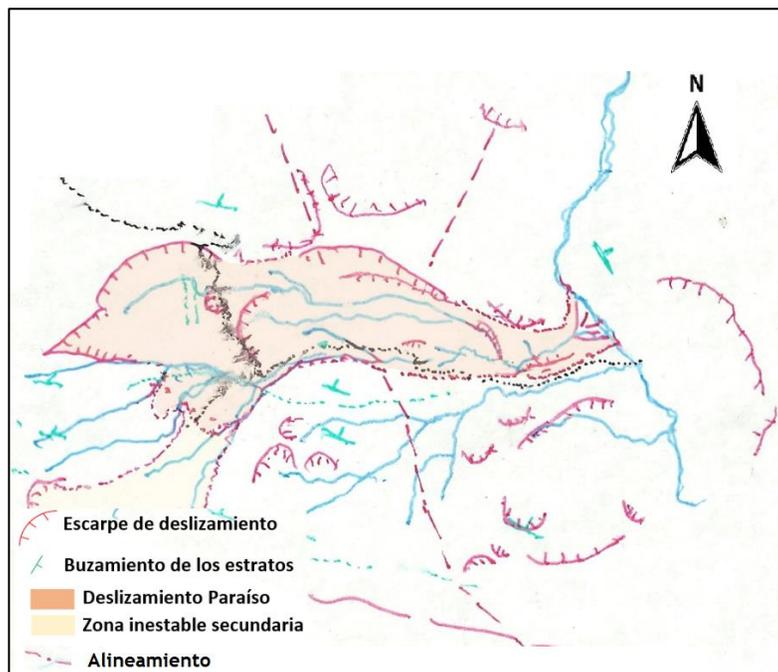


Figura 3.28 Interpretación fotogeológica - fotografías 1997.

La estructura principal del deslizamiento puede dividirse en 3 sectores:

1. Sector activo: se localiza entre las elevaciones 515 a 755 m.s.n.m.
2. Sector inactivo o latente inferior: se localiza entre las elevaciones 755 a 905 m.s.n.m.
3. Sector inactivo o latente superior: se localiza entre las elevaciones 905 a 1100 m.s.n.m. A este sector se incluye zona secundaria inestable que se proyecta hacia el suroeste (ver Figuras 3.25, 3.26, 3.27 y 3.28).

Adicionalmente dentro del sector inactivo se han detectado sectores menores que presentan inestabilidad actual, estas 2 zonas son las siguientes:

1. En las márgenes de la quebrada Paraíso y sus afluentes principales
2. Sector por donde se localiza la torre de transmisión celular.

Las fotografías de los años 1960 a 2018 se presentan en las Figuras 3.29 a 3.33, trazándose sobre ellas los sectores del deslizamiento actuales (2019) y los señalados por Bonilla (2006).

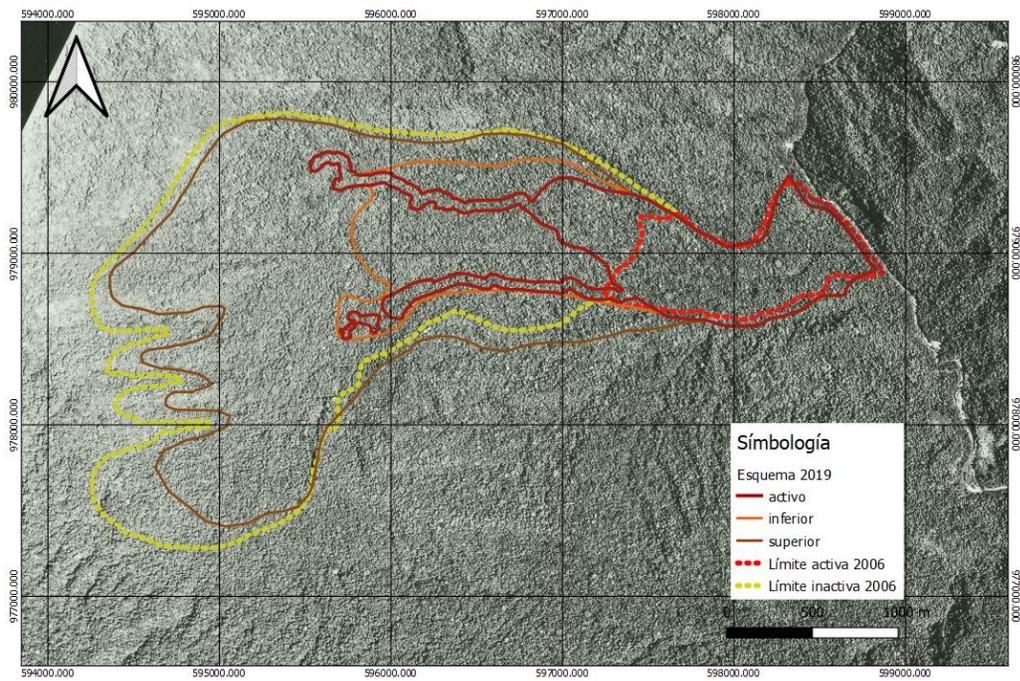


Figura 3.29 Ubicación del deslizamiento en la fotografía de 1960.
Adaptado de: IGN, 2019

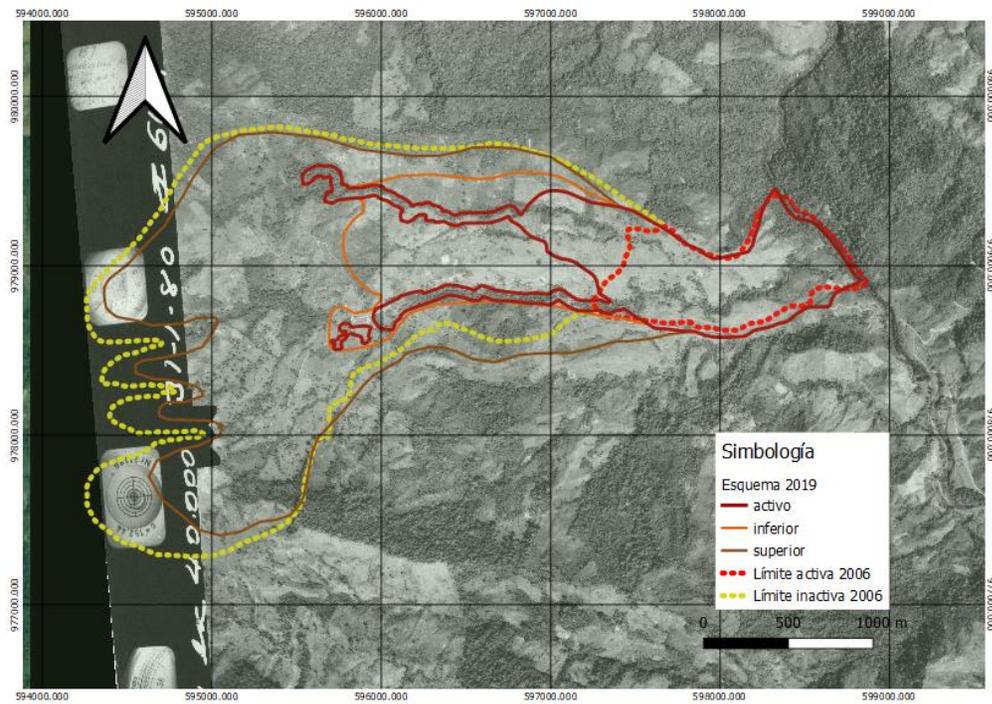


Figura 3.30 Ubicación del deslizamiento en la fotografía de 1980.
Adaptado de: IGN, 2019

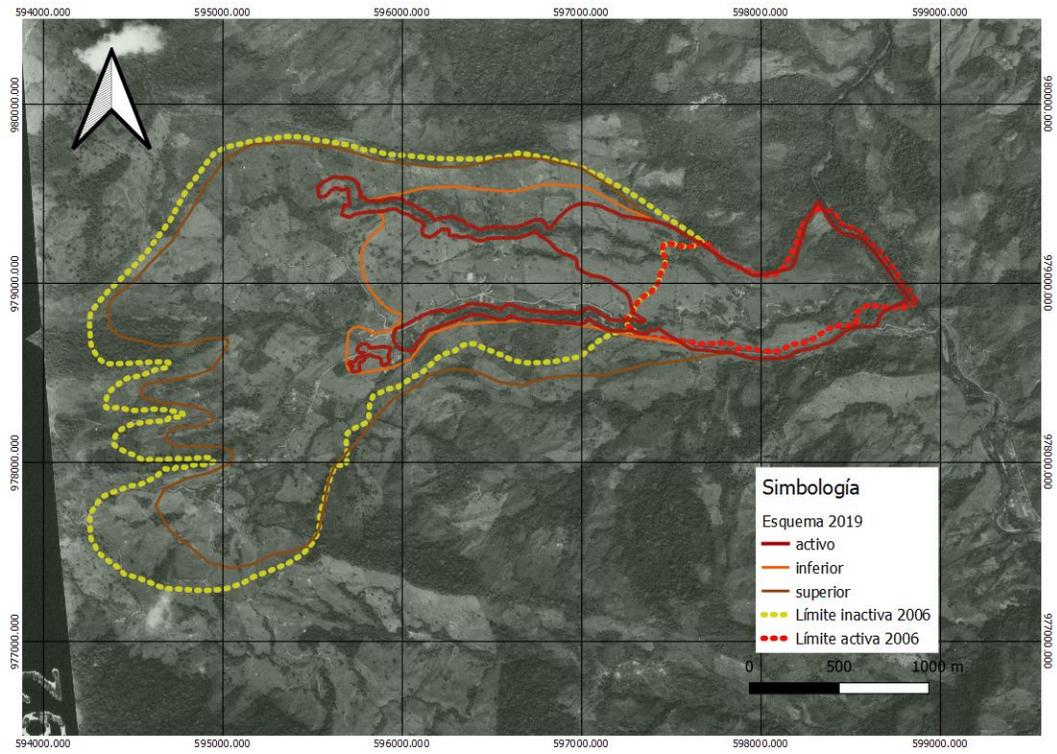


Figura 3.31 Ubicación del deslizamiento en la fotografía de 1992.
Adaptado de: IGN, 2019

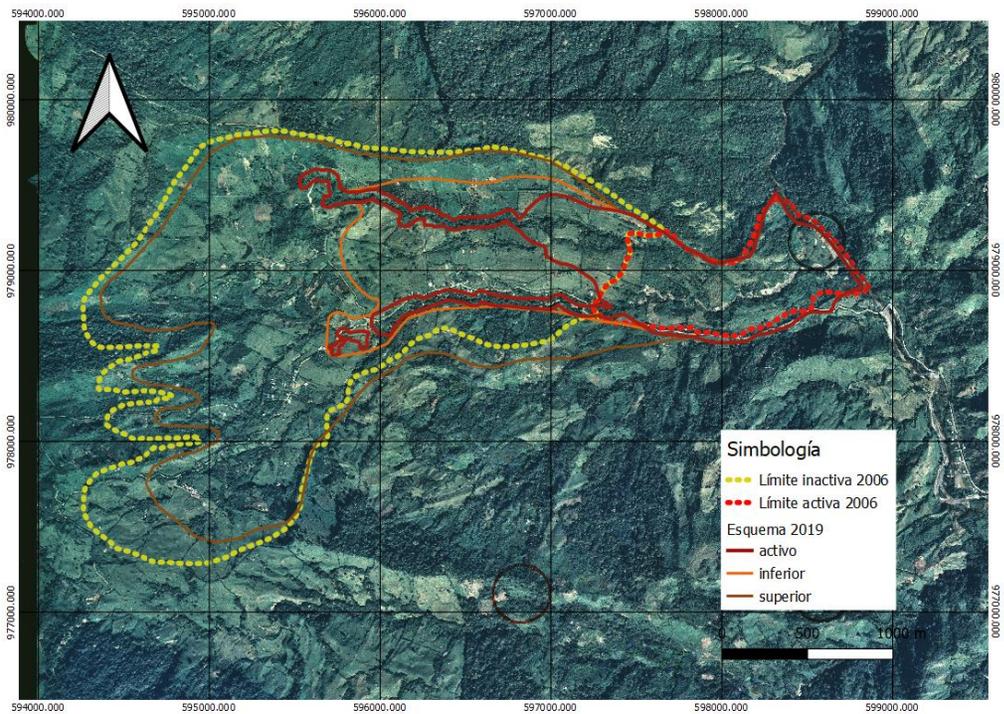


Figura 3.32 Ubicación del deslizamiento en la fotografía de 1997.
Adaptado de: IGN, 2019

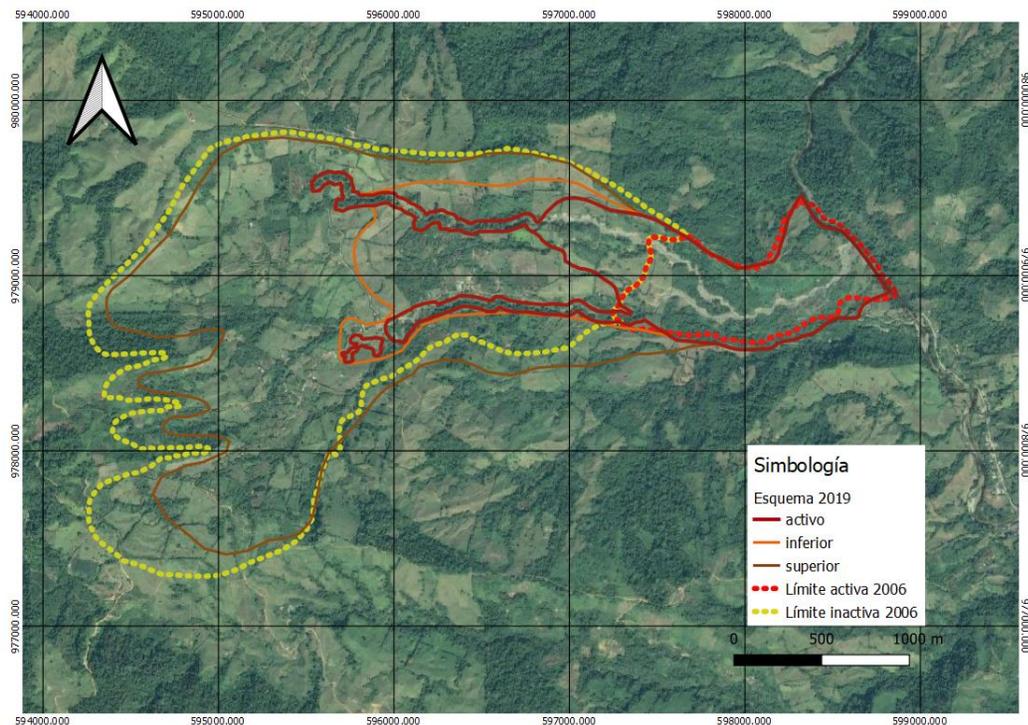


Figura 3.33 Ubicación del deslizamiento en la fotografía de 2018.
Adaptado de: Google Earth, 2018

En el mapa 1905C16-MA-01 se puede consultar el esquema del deslizamiento aquí descrito.

3.3.1 Sector activo

Corresponde con un área de 95 Ha (19.3% con respecto al total) localizada en la parte inferior (o baja) de la estructura del deslizamiento, la cual muestra una dinámica permanente de desplazamientos con diferentes mecanismos de falla. La quebrada Paraíso representa el agente principal de la inestabilidad, debido a la erosión y arrastre, con una consecuente pérdida de apoyo en la base, generándose colapsos locales y bloques de material a través de grietas longitudinales paralelas a la quebrada. La longitud de las grietas longitudinales es variable, sin embargo, es común encontrar grietas de 250 a 400 m. Además de los desplazamientos laterales (transversales al flujo), también se observan movimientos longitudinales probablemente a la inercia misma de la masa inestable y su baja resistencia al corte. En resumen, se indican los procesos o mecanismo de los movimientos:

- Erosión de la base y arrastre de materiales
- Colapso parcial de la ladera
- Generación de grietas longitudinales paralelas a la quebrada

- Colapso de bloques de terrenos a través de las grietas longitudinales
- Empuje longitudinal por la inercia de la masa y la baja resistencia al corte

El cartografiado del sector activo del deslizamiento Paraíso fue delimitado por Bonilla (2006). Actualmente se ha hecho un nuevo cartografiado del sector activo y con sorpresa hemos encontrado que el área activa ha crecido considerablemente. Bonilla (2006) establece un área activa de 68,8 Ha (14% del área total), actualmente el área activa es de 95 Ha (19% del área total). Las grietas y los desplazamientos visibles han avanzado hacia aguas arriba, en el 2006 el escarpe trasero activo se encontraba en la elevación 675 m.s.n.m, hoy se encuentra en la elevación 755 m.s.n.m. En 13 años de registro confiable indica que la parte activa se ha movido alrededor de 500 m, mostrando una tasa de avance de alrededor de los 3 m por mes.

Este incremento de la superficie activa es preocupante si corresponde a un proceso continuo en el tiempo, pues podría afectar la infraestructura que se encuentra en las partes altas. Se desconoce si la tasa de movimiento es constante o intermitente, pues no hay un mecanismo de control o auscultación. Tampoco se conoce si el principal mecanismo de falla se mantiene a todo lo largo de la estructura de deslizamiento o podría ser algo particular del sector, en todo caso resulta necesario establecer medidas de control y acciones que puedan mitigar la condición actual.

En el Anexo A.1 del presente documento se incluyen fotografías que muestran el detalle de la zona activa del deslizamiento de Paraíso.

3.3.2 *Sector latente o inactivo inferior*

Este sector ha sido denominado como inactivo o latente inferior, dado que, en primera instancia es parte de la estructura global del deslizamiento Paraíso, actualmente no muestra actividad visible, pero posee características de un depósito de baja consistencia con potencial a moverse. En segundo lugar, se distingue del sector activo por las estructuras de movimiento ya indicadas (Apartado 3.3.1) y, se separa del Sector Superior inactivo, por un cambio topográfico representado por un escarpe muy claro que evidencia un movimiento posterior al colapso inicial del deslizamiento Paraíso (Anexo 2, Fotografía A.2.1 y Fotografía A.2.2).

El análisis de las fotografías aéreas muestra el escarpe intermedio como una estructura cóncava de una longitud de 621 m, representa un cambio brusco del perfil topográfico entre los sectores denominados como inactivo inferior e inactivo superior. Se desconoce cuándo se originó, sin embargo, es claro que ya para 1960 existía. A excepción de esta estructura, no se observan movimientos del terreno reciente, solamente reptación de la capa superficial de suelo. Las pendientes de las laderas son de bajo ángulo (suave),

situación que favorece la estabilidad del terreno (Anexo2, Fotografía A.2.3 y Fotografía A.2.4). Inestabilidades locales son frecuentes al borde las quebradas, producto de un proceso de erosión de la base, la pérdida de soporte y una baja resistencia al corte de los materiales (Fotografía A.2.5).

El área del sector latente (o inactivo) inferior es de 103 Ha y representa un 21% del área total de la estructura del deslizamiento Paraíso. Esta zona es dedicada principalmente a la ganadería, y una parte de la comunidad de Paraíso se encuentra asentada aquí. Al momento de realizar el estudio, no se observan problemas de estabilidad recientes, excepto inestabilidades al borde de las quebradas, aspecto que será discutido en el apartado 3.3.4.

3.3.3 Sector latente o inactivo superior

Este sector corresponde con la parte superior del deslizamiento Paraíso, tiene un área de 293.8 Ha y representa el 59,7% del total de la estructura del deslizamiento. Se separa de la unidad latente inferior por un escarpe intermedio indicado en el apartado 3.3.2 y contiene el anfiteatro donde se produjo el despegue del material en el evento inicial. La topografía en este sector es suave de baja pendiente (Anexo 3, Fotografía A.3.1 y A.3.2) y con algunos cerros redondeados que sobre salen del perfil topográfico promedio (Fotografía A.3.3). En las zonas de baja pendiente se encuentran áreas planas donde eventualmente se forman pequeñas lagunas (Fotografía A.3.4). El cierre o límite del anfiteatro es irregular y a este sector se le incluye una zona de inestabilidad secundaria que se encuentra al SE de la estructura principal, la cual tiene las mismas características.

En la mayor parte del sector no se han observado problemas de estabilidad de laderas recientes, excepto caída de bloques y suelo en las laderas laterales y centrales del anfiteatro (Fotografía A.3.5). Otras inestabilidades locales, cerca de las quebradas son observadas, aspecto que se discute en el apartado 3.3.4 (Fotografía A.3.6 y A.3.7)

3.3.4 Zonas inestables locales

En los sectores denominados como inactivos se detectaron áreas inestables que deben ser considerados dentro de un plan de uso del suelo y establecer, hasta donde sea posible, medidas de protección. Los sectores pueden ser denominados como:

- Márgenes de las quebradas
- Varios sectores del camino de acceso
- Sector cercano a la torre de comunicación celular

En la Figura 3.34 se muestra la ubicación de dichos sitios.

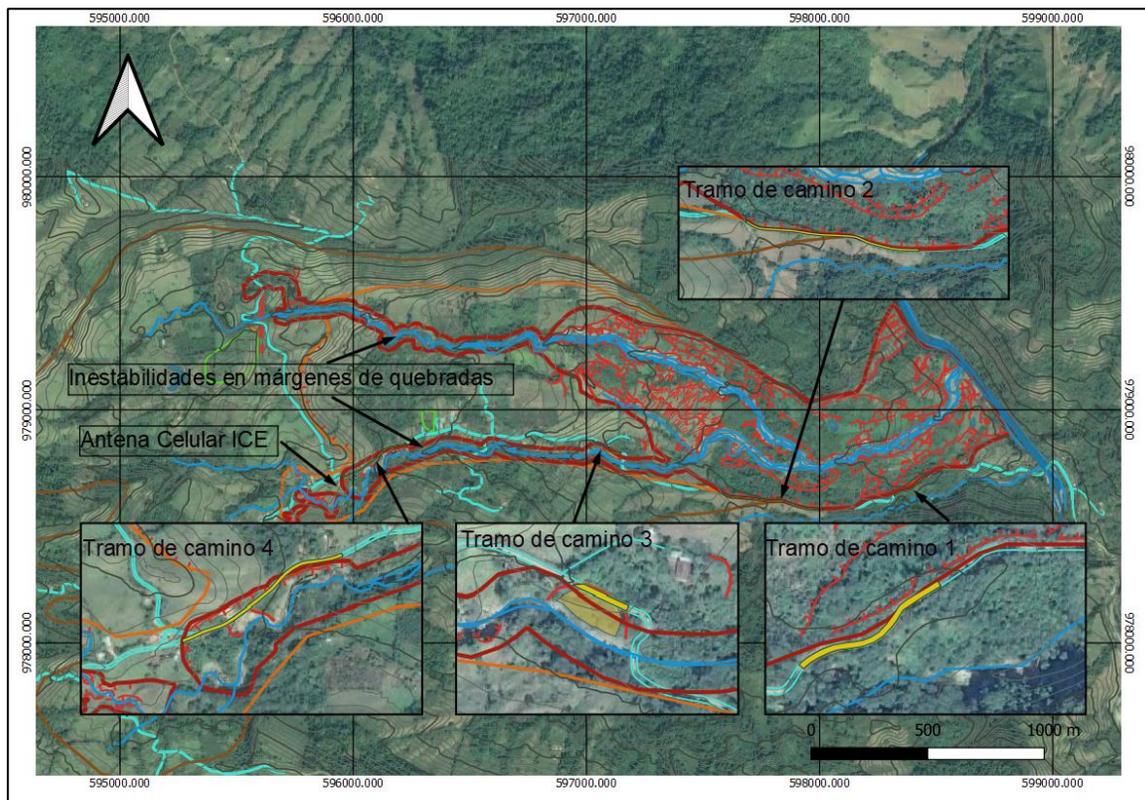


Figura 3.34 Ubicación de inestabilidades locales dentro del área del del deslizamiento

a. Márgenes de las quebradas

Tal como se indicó en el apartado 3.3.1, las quebradas representan un mecanismo permanente de erosión y arrastre constante de materiales, produciendo una pérdida de estabilidad de las márgenes. En la zona activa, este proceso desencadena movimientos de tierra de volúmenes mayores con la generación de grietas longitudinales. En los sectores inactivos los desprendimientos de terreno son locales, pero frecuentes, no se encontró evidencias de fallas progresivas, sin embargo, la condición existente es muy sensible a eventos extraordinarios de lluvias y otros agentes de disparo (Fotografía A.2.4, A.3.6 y A.3.7).

Dada la condición de amenaza a eventuales desprendimientos, se considera conveniente trazar una línea de retiro de al menos 30 m del eje de la quebrada (para cada margen), para proteger cualquier infraestructura que sea planeada construir.

b. Varios sectores del camino de acceso

El camino principal que llega de la comunidad de La Casona a Paraíso tiene varios tramos sensibles al deslizamiento que deben ser protegidos o en su defecto establecer protocolos

de uso durante eventos de lluvia extraordinarios. En la mayoría de los casos la inestabilidad está relacionados con la cercanía del camino ya sea a la quebrada Paraíso o se encuentra en el sector activo. Los tramos son los siguientes:

- Tramo de camino 1: entre coordenadas 598458.88E - 978724.53N y 598319.85E - 978655.36N.
- Tramo de camino 2: entre coordenadas 598015.85E - 978579.84N y 597623.22E - 978630.77N.
- Tramo de camino 3: entre coordenadas 597148.51E - 978813.09N y 597085.18N - 978843.03N.
- Tramo de camino 4: entre coordenadas 596223.10E - 978855.56N y 595947.78E - 978708.03N.

c. Sector cercano a la torre de comunicación celular.

Esta inestabilidad cubre un área relativamente importante y está afectando parte del camino de acceso (tramo 4 - apartado 3.3.4.b), amenazando la torre de comunicación celular del ICE (coordenadas 595987.34E - 978715.86N). La inestabilidad se produce por la acción de la quebrada Paraíso Sur, presencia del sustrato rocoso en la base con una disposición geométrica desfavorable y a la baja resistencia al corte del depósito de brecha de deslizamiento.

La falla del deslizamiento local se proyecta al otro lado del camino, poniendo en riesgo un talud inestable, tanto en la base como en el corte (Anexo 4, Fotografía A.4.1, Fotografía A.4.2 y Fotografía A.4.3) . Se debe de estimar si con la construcción de muros de retención tipo gaviones, se puede proteger el talud de la erosión de la quebrada y así mismo, estabilizar la ladera.

Cerca de esta zona, alrededor de 200 m aguas arriba de la quebrada se encuentra otra área que presenta inestabilidades locales (coordenadas 595837.89E - 978614.3817), si bien no pone en riesgo infraestructura, la misma debe ser considerada para establecer un control en cuanto al uso del suelo (Fotografía A.4.4 y Fotografía A.4.5).

3.3.5 *Resumen de situación actual (o análisis teórico)*

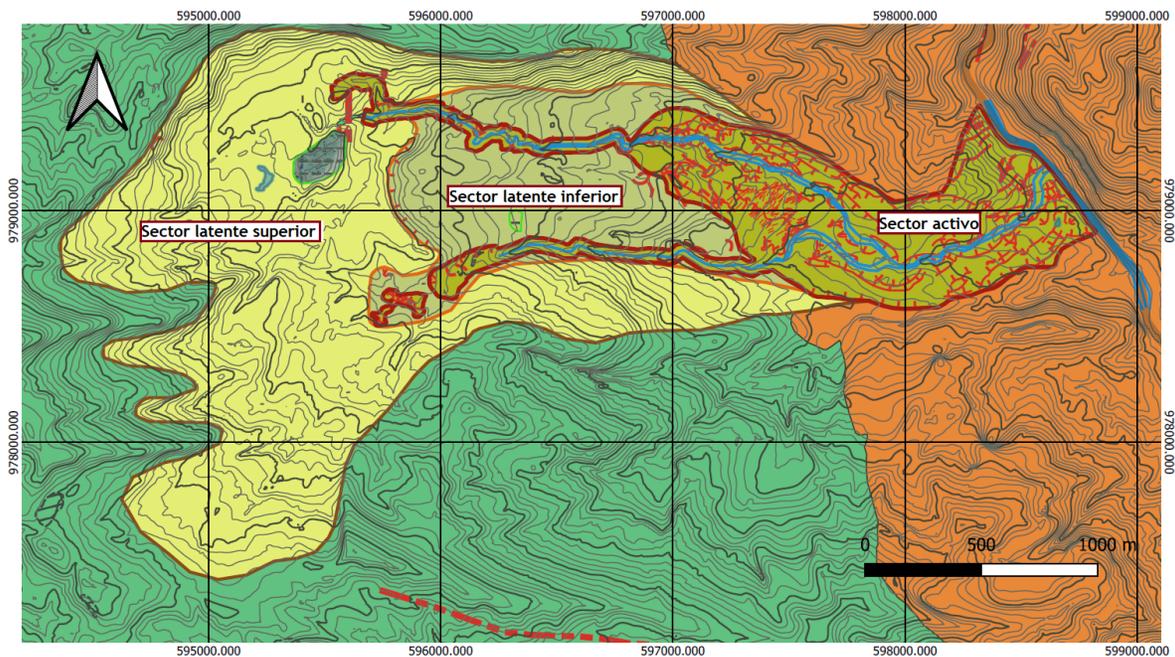
El deslizamiento Paraíso es una estructura geológica que se formó posiblemente a través de un evento violento, en un corto periodo, condicionado por la estratificación, fallas regionales-locales y la presencia de capas blandas. El evento no ha sido datado, sin embargo, se presume de ser muy antiguo.

Fotografías aéreas de 1960 del Instituto Geográfico Nacional (IGN) muestran la presencia de esta estructura, para esa época la zona no tenía intervención antrópica, toda estaba cubierta por bosque. Fotografías aéreas de 1982 muestra que ya algunos pobladores se habían instalado en la zona y se observa una deforestación casi total.

No hay registro documentado de la actividad del deslizamiento Paraíso antes de los efectos indirectos del Huracán Mitch de octubre de 1998. Debido a las lluvias extraordinarias del huracán Mitch, se registraron cuantiosos daños en la zona, situación que fue reportada por el Geól. Julio Madrigal de la CNE (enero, 1999).

El primer estudio técnico directo del deslizamiento Paraíso lo realiza el Geól. Esteban Bonilla (2006) como tema de tesis de licenciatura en Geología. En su trabajo describe las zonas activas del deslizamiento y sectores que no muestran actividad.

Geomorfológicamente la estructura principal del deslizamiento Paraíso puede dividirse en al menos tres zonas, una con actividad de movimientos recientes y las otras 2 sin actividad reciente. La zona activa presenta desplazamientos diarios, que afectan un área de alrededor de 95 hectáreas. La zona inactiva se ha dividido en 2, pues existe un escarpe posterior al deslizamiento inicial que indica una fragmentación por un movimiento parcial que afectó poco más de un tercio de la estructura original.



Sector	Área (Ha)	Generalidades
Activo	95	Erosión de la base y arrastre de materiales
		Colapsos parciales de ladera
		Generación de grietas longitudinales paralelas a quebradas
		Colapso de bloques en grietas longitudinales
		Empuje longitudinal por la inercia de la mas
		Baja resistencia al corte de los materiales
Latente inferior	103	No existen viviendas habitadas dentro de este sector
Latente superior	293.8	No muestra actividad reciente visible, salvo reptación de la capa superficial de suelo en algunas laderas
		Pendientes de bajo ángulo
		Presencia de inestabilidades locales en márgenes de las quebradas
		El centro de Paraíso se ubica en este sector
Activo	95	Contiene el anfiteatro donde se produjo el despegue del material en el evento inicial del deslizamiento
		Pendientes de bajo ángulo
		Cerros redondeados y presencia de pequeñas laguna anómalas
		Presencia de algunas inestabilidades locales

Figura 3.35 Tipificación de los sectores del deslizamiento

Dentro del área inactiva se han cartografiado zonas locales que presentan una inestabilidad reciente, la mayoría están relacionados con la actividad o influencia de las quebradas que afectan las laderas adyacentes.

El deslizamiento Paraíso es activo en su parte inferior (19,3% de su área total), no se han detectado movimientos globales recientes en su sección superior (80,7%). De acuerdo con la información presentada por Bonilla (2006), en 13 años el área activa se ha incrementado significativamente, alrededor de un 30% con respecto al área de base (año 2006). El anfiteatro se ha desplazado alrededor de 500 m hacia aguas arriba, estableciendo una tasa

de desplazamiento de 3 m por mes. De seguir este comportamiento, podría poner en riesgo sectores que se consideran seguros y donde se encuentra infraestructura de la comunidad.

El mecanismo de falla es una combinación de erosión del frente por río Limón, erosión y arrastre de la quebrada Paraíso e inercia de la masa misma del deslizamiento. La mayoría de las grietas y de mayor longitud son paralelas a la quebrada Paraíso (principal y afluentes), lo que apunta como mayor responsable la actividad hidráulica de la quebrada Paraíso.

El deslizamiento Paraíso es ancho en la parte superior y se estrangula (o se hace estrecho) hacia de desembocadura con el río Limón. Este estrangulamiento restringe a que el deslizamiento tenga un desplazamiento global y reduce la posibilidad de un evento catastrófico. Según el criterio de Cruden y Varnes (1978), el movimiento puede ser clasificado como de tipo complejo, dado que involucra una combinación de fenómenos que incluyen caída de materiales, deslizamientos y expansión lateral del terreno.

Con base en un retro-análisis detallado más adelante, (Apartado 3.5) se han estimado los parámetros geotécnicos de la brecha de deslizamiento, sin embargo, se requiere de estudios más detallados (laboratorio e *in situ*), para conocer con más precisión la dinámica del deslizamiento. Lo mismo aplica sobre el espesor del deslizamiento, el cual puede variar significativamente de un sector a otro, lo que puede motivar a un efecto de desplazamiento diferente al sugerido en los modelos que serán ejecutados más adelante. En todo caso, se ha asumido un plano de deslizamiento uniforme relativamente plano, dado que el desplazamiento original obedeció probablemente a la estructura de la roca local, donde los planos de estratificación jugaron un papel importante, dado su disposición desfavorable a la estabilidad.

Los aspectos más importantes sobre la vulnerabilidad de la comunidad con respecto al deslizamiento Paraíso está relacionada con los siguientes aspectos:

1. **Vías de acceso:** el camino principal en diferentes tramos se encuentra dentro o en el límite del deslizamiento, una parte importante dentro del sector considerado como activo. En periodos de fuertes lluvias el acceso puede sufrir interrupciones por colapsos locales. La comunidad podría quedar incomunicada.
2. **Actividades económicas:** dentro del área activa se encuentran cultivos de frutas, hortalizas y café, éstos están siendo afectadas directamente por el desplazamiento constante del terreno. Actividades ganaderas utilizan parte de estas tierras para alimento, por lo tanto, el ganado es vulnerable a desprendimientos súbitos de las laderas.
3. **Casas de habitación, graneros y/o corrales:** 2 propiedades con vivienda y facilidades de corrales se encuentran actualmente a 70 m del límite activo, de

mantenerse el avance de las grietas, podrían ser vulnerables por los desplazamientos del terreno en un corto plazo. Existen otras dos propiedades en las cercanías del puente del río Limón que también deben ser motivo de seguimiento. En la sección 3.7 se amplía este tema.

4. **Torre de telefonía celular propiedad del ICE:** se encuentra en el centro de la comunidad y fue construida al borde de un deslizamiento local activo. Actualmente no muestra daños, pero un desequilibrio de las condiciones del terreno podría provocar su afectación.

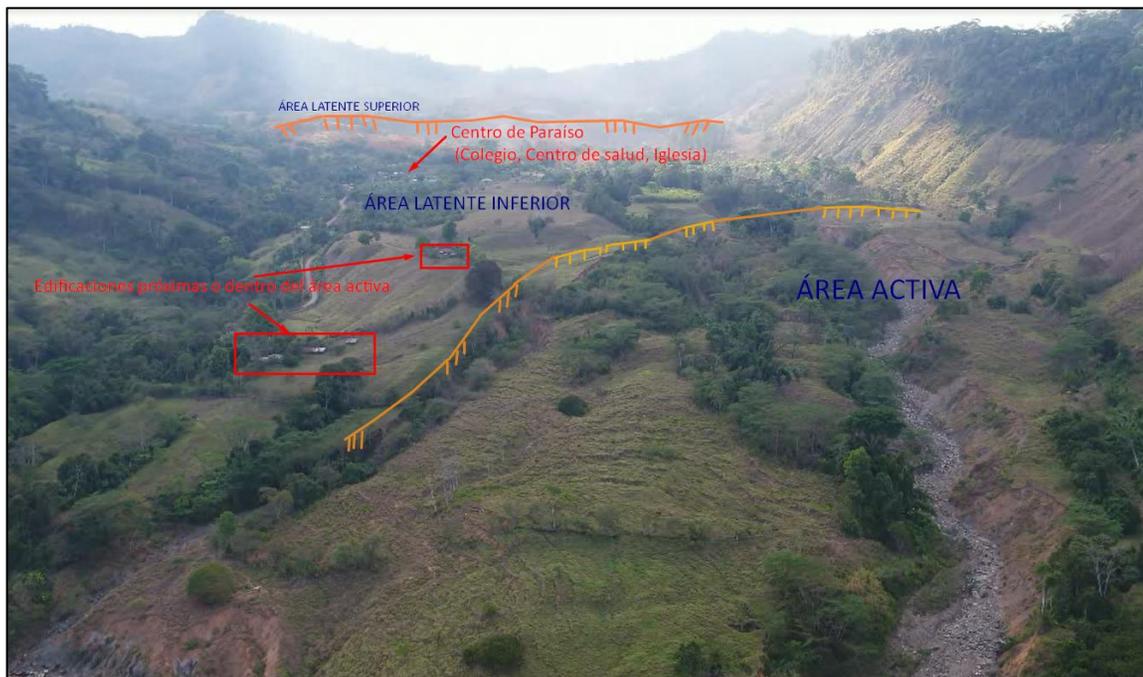


Figura 3.36 Vista área desde la zona activa del deslizamiento de Paraíso. Notar proximidad de viviendas y edificaciones misceláneas en las cercanías. Captura de imagen tomado de vuelo con dron de la CNE, Marzo, 2019.

3.4 SUSCEPTIBILIDAD A LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS

La susceptibilidad a deslizamientos es la condición que tiene un área a sufrir un deslizamiento como resultado de la interacción de los factores condicionantes y los factores detonantes (Chaverri, 2016).

La susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos se evaluó mediante el método de Mora-Vahrson (2002), utilizando una modificación propuesta por Camacho et al (2004), con el fin de contar con un insumo adicional en la sectorización para la propuesta de uso de suelo en el área de estudio.

Esta metodología permite determinar, para un área específica, la susceptibilidad a deslizamientos tomando en cuenta los siguientes factores:

- a. Pendiente (S_p)
- b. Litología (o geomorfología, en este caso) (S_l)
- c. Humedad del suelo (S_h)
- d. Sismicidad (D_s)
- e. Lluvias intensas (D_{ll})

Los factores *a*, *b* y *c* se denominan condicionantes y los factores *d* y *e* corresponden a los detonantes.

El nivel de susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos (*H*) se determina según la ecuación 3.1, siendo este el productora entre los factores condicionantes y los factores disparadores.

$$H = (S_l \times S_p \times S_h) \times (D_s + D_{ll}) \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Debido a las condiciones particulares que se presentan en esta zona, donde ya se tiene un movimiento de masa de grandes dimensiones, la aplicación del método se considera válido solamente para evaluar los posibles deslizamientos secundarios que se puedan presentar dentro del deslizamiento principal. Esta metodología fue desarrollada para deslizamientos superficiales, por lo que en este caso se debe tener presente dicha limitante.

Según los valores obtenidos de la combinación de factores condicionantes y disparadores, se puede asignar diferentes niveles de susceptibilidad en el área evaluada.

Este análisis constituye una actualización al realizado por Bonilla (2006), en cuanto a que se ha utilizado una base topográfica más reciente (Bonilla utilizó como base topográfica la hoja cartográfica 1:50000) y datos hidrológicos de un periodo de registro mayor. Además, se actualizó el área correspondiente a deslizamientos activos en el mapa geomorfológico.

Cuadro 3.2. Clasificación del nivel de susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos según el método de Mora-Vahrson

Clasificación	Potencial de deslizamiento	Característica
I	Muy baja	Sectores estables, no se requieren medidas correctivas. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc.
II	Baja	Sectores estables que requieren medidas correctivas menores, solamente en caso de obras de infraestructura de gran envergadura. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado.
III	Moderada	No se debe permitir la construcción de infraestructura si no se realizan estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio. Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, bioestabilización de terrenos, etc. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado. Recomendable para usos urbanos de baja densidad.
IV	Alta	Probabilidad de deslizamiento alta (< 50%) en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Para su utilización se deben realizar estudios de estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.
V	Muy alta	Probabilidad de deslizamiento muy alta (> 50%) en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Prohibido su uso con fines urbanos, se recomienda usarlos como áreas de protección.

Fuente: Mora et al, 2004

Se debe tener presente que uso de suelo recomendado según la susceptibilidad obtenida por la aplicación del método debe ser aplicado con cautela, pues es necesario ajustarlo a las observaciones producto del levantamiento geológico detallado realizado, teniendo siempre presente que en este caso ya existe un deslizamiento de gran magnitud en el área estudiada.

3.4.1 Descripción de los factores condicionantes

- Factor de susceptibilidad por pendientes (Sp):

Corresponde al efecto que tiene la inclinación del terreno como agente pasivo en la susceptibilidad a deslizamientos. Conforme aumenta la pendiente de un terreno, la probabilidad de que se presente un deslizamiento aumenta también.

El método original de Mora-Vahrson (1994), evalúa el factor de pendiente utilizando un parámetro que se conoce como relieve relativo (Rr), que se define como la máxima diferencia de elevación por kilómetro cuadrado, según se aprecia en la ecuación 3.2.

$$R_r = \frac{h_{max} - h_{min}}{Km^2} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

Rr= Relieve relativo

H_{máx}= Elevación máxima en una cuadrícula

H_{mín}= Elevación mínima en una cuadrícula

Diversos autores han asociado el relieve relativo a rangos de porcentaje de pendiente para asignar más fácilmente el factor de pendiente correspondiente. En este caso se están utilizando los propuestos por SNET (2004), que se presentan en el Cuadro 3.3 a continuación:

Cuadro 3.3. Valores de relieve relativo y factores de pendiente asociados

Relieve relativo (m/Km ²)	Pendiente (%)	Inclinación (°)	Calificativo	Factor pendiente Sp
0 – 75	00,0 – 07,5	00,00 - 04,29	Muy bajo	0
76 – 175	07,6 – 17,5	04,30 - 09,93	Bajo	1
176 – 300	17,6 – 30,0	09,94 - 16,70	Moderado	2
301 – 500	30,1 – 50,0	16,71 - 26,57	Medio	3
501 – 800	50,1 – 80,0	26,58 - 38,66	Alto	4
800 <	80,0 <	38,66 <	Muy Alto	5

Tomado de: SNET, 2004

El mapa de pendientes puede ser consultado en los anexos de este documento (Mapa 1905C16-MA-04)

- Factor de susceptibilidad geomorfológica (Sg)

Este factor se basa en la clasificación del sitio en unidades geomorfológicas. Este sustituye al criterio original del método de Mora-Vahrson, pues brinda un criterio más amplio para el establecimiento de una zonificación con base en la susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos (Bonilla, 2006).

Los valores que se asignan a cada unidad geomorfológica se presentan en el Cuadro 3.4:

Cuadro 3.4. Niveles de susceptibilidad geomorfológica, asignados a las diferentes geoformas del área de estudio

Unidad geomorfológica	Valor normal Sg	Valor Sg (laderas de buzamiento)	Clase
Colinas y laderas denudacionales de pendiente baja (D1)	1		Muy bajo
Colinas y laderas denudacionales de pendiente moderada (D2)	2		Bajo
Colinas y montañas denudacionales (D3)	4		Bajo
Piedemontes (D8)	2		Bajo
Escarpes denudacionales (D9)	4		Bajo
Áreas severamente afectadas por movimientos en masa (D11)	5		Muy alto
Escarpes de deslizamientos (D11a)	5		Muy alto
Deslizamientos activos (D11b)	5+10		Muy Alto
Deslizamientos inactivos (D11c)	4+5		Alto
Topografía escarpada en cordilleras y cuencas con drenajes controlados por rocas sedimentarias (S4)	3	4	Moderado-Alto
Lomos de cerdo (S7)		3	Moderado
Escarpes estructurales (S12)	4		Alto
Terrazas fluviales (F6)	2		Bajo

Fuente: Bonilla, 2006

- **Factor de susceptibilidad por humedad del terreno (S_h)**

Este factor permite cuantificar la influencia de la humedad acumulada en el suelo en la incidencia de deslizamientos de tierra.

Esta se determina a partir de los datos de precipitación media mensual válidos para el área de estudio. En el Cuadro 3.5 se muestra la clasificación propuesta por Mora y Vahrson (1994) para los valores de precipitación media mensual.

Cuadro 3.5. Clasificación de los valores de precipitación promedio mensual

Promedio mensual de precipitaciones (mm/mes)	Valor
<125	0
125-250	1
>250	2

A cada mes del año se le asigna un valor según el promedio de lluvia que corresponda, y se realiza la sumatoria anual, obteniéndose así valores entre 0 y 24 unidades.

Según el valor acumulado de índice de precipitación obtenido, se realiza la clasificación del factor S_h , según se detalla en el Cuadro 3.6:

Cuadro 3.6. Factor de susceptibilidad por humedad del suelo (S_h)

Valor acumulado del índice de precipitación	Clasificación	Factor S_h
0-4	Muy bajo	1
5-9	Bajo	2
10-14	Medio	3
15-19	Alto	4
20-24	Muy alto	5

Para efectos del presente análisis, se han utilizado los datos correspondientes a la estación Limoncito (98035) del Instituto Costarricense de Electricidad (2019), para el cual se tienen 26 años de registros (1993-2018). En el Cuadro 3.7 se muestran los datos de precipitación mensual para dicha estación y los valores asignados a cada mes. La sumatoria obtenida es de 18, la cual se asocia a un parámetro S_h igual a 4, o de susceptibilidad alta por humedad.

Cuadro 3.7. Determinación del factor S_h para el área de estudio

Mes	Precipitación promedio mensual (mm)	Clasificación
Enero	77.94	0
Febrero	68.03	0
Marzo	134.12	1
Abril	256.13	2
Mayo	476.74	2
Junio	457.02	2
Julio	376.77	2
Agosto	472.06	2
Septiembre	541.92	2
Octubre	631.74	2
Noviembre	476.55	2
Diciembre	188.53	1
Total		18
Factor S_h		4
Clasificación		Alto

Nota: Datos de la estación Limoncito

3.4.2 Descripción de los factores detonantes

- Factor de disparo por sismicidad (D_s)

Este factor se correlaciona con la Escala de Intensidades Mercalli Modificada (MM), según se observa en el Cuadro 3.8. El mismo permite cuantificar la influencia de la actividad sísmica en los deslizamientos.

Cuadro 3.8. Valores del parámetro de disparo por sismicidad

Intensidad Mercalli Modificada	Clase	Valor parámetro D_s
III	Leve	1
IV	Muy bajo	2
V	Bajo	3
VI	Moderado	4
VII	Medio	5
VIII	Elevado	6
IX	Fuerte	7
X	Bastante fuerte	8
XI	Muy fuerte	9
XII	Extremadamente fuerte	10

Tomado de: Mora et al, 1992

Según los registros del laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica para la Estación Acelerográfica de San Vito, los mayores registros de los últimos cuatro años indican aceleraciones (PGA) de hasta 71 cm/s^2 (Sismo del 17/08/2018), que podrían asociarse a intensidades en escala Mercalli entre V y VII.

Por otra parte, según Rojas y Barquero (2004) se reportaron intensidades de VII para el terremoto de Puerto Armuelles del 25/12/2003, el cual tuvo una magnitud (M_w) de 6.6.

De la misma manera, Morales (1987), reporta intensidades de VII para el área de estudio, durante el terremoto de Golfito del año 1983.

Siendo así, se considera razonable utilizar un parámetro de disparo por sismo un valor de 5 (medio).

**Cuadro 3.9. Aceleraciones máximas registradas
en la estación San Vito entre 2014 y 2019**

Aceleración cm/s ²	Fecha del evento
71.002000	fecha: 2018-08-17 17:22:22
60.931000	fecha: 2019-06-25 23:23:49
37.430000	fecha: 2017-04-02 17:54:33
34.386000	fecha: 2019-05-12 13:24:49
30.500000	fecha: 2016-01-31 05:38:35
29.084000	fecha: 2018-11-09 03:20:30
28.380000	fecha: 2018-10-21 19:28:42
20.034310	fecha: 2018-08-18 12:18:28
19.396000	fecha: 2018-03-31 21:32:03
15.205000	fecha: 2014-12-08 02:54:49
14.047000	fecha: 2014-12-08 02:54:49
13.405000	fecha: 2015-02-18 10:59:35
13.348000	fecha: 2018-09-13 19:36:00
12.536000	fecha: 2018-08-29 15:33:42
10.087690	fecha: 2016-02-13 15:21:00
10.058000	fecha: 2016-02-13 15:21:00
8.984700	fecha: 2016-02-13 15:21:00
8.877900	fecha: 2017-11-12 20:28:23
6.607845	fecha: 2015-07-10 05:46:07
5.912700	fecha: 2019-06-28 05:17:32

Fuente: LIS-UCR, 2019

- **Factor de disparo por lluvias (D_{ll})**

Este factor toma en cuenta la influencia de las lluvias que podrían generar deslizamientos. Se considera la lluvia máxima en 24 horas con un período de retorno de 100 años, aplicando la distribución de valores extremos Gumbel tipo I o la distribución LogPearson tipo III, a series de lluvias extremas con tiempos de registros con más de 10 años (Mora et al. 1992).

Se ha estimado una lluvia máxima en 24 horas igual a 249.12mm, por lo que el factor de disparo por lluvias correspondiente sería de 3 (Moderado), según se observa en el Cuadro 3.10.

Cuadro 3.10. Valores del parámetro de disparo por lluvias D_{ll}

Lluvia máxima (mm) en 24 horas, periodo de retorno de 100 años	Clase	Valor parámetro D_s
<100	Muy bajo	1
100-200	Bajo	2
200-300	Medio	3
300-400	Alto	4
>400	Muy alto	5

3.4.3 Resultados obtenidos

La aplicación del método Mora- Vahrson ha permitido generar un mapa del área de estudio donde se realiza una zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos. Según la escala de colores empleada, los sectores color verde se asocian zonas de baja o muy baja susceptibilidad a deslizamientos, los amarillos, a zonas de moderada susceptibilidad y los sectores color naranja y rojo oscuro a zonas de alta y muy alta susceptibilidad (respectivamente). En la Figura 3.37 se muestra el mapa generado con la zonificación. En los anexos del presente documento se incluye nuevamente el mapa en escala 1:10000.

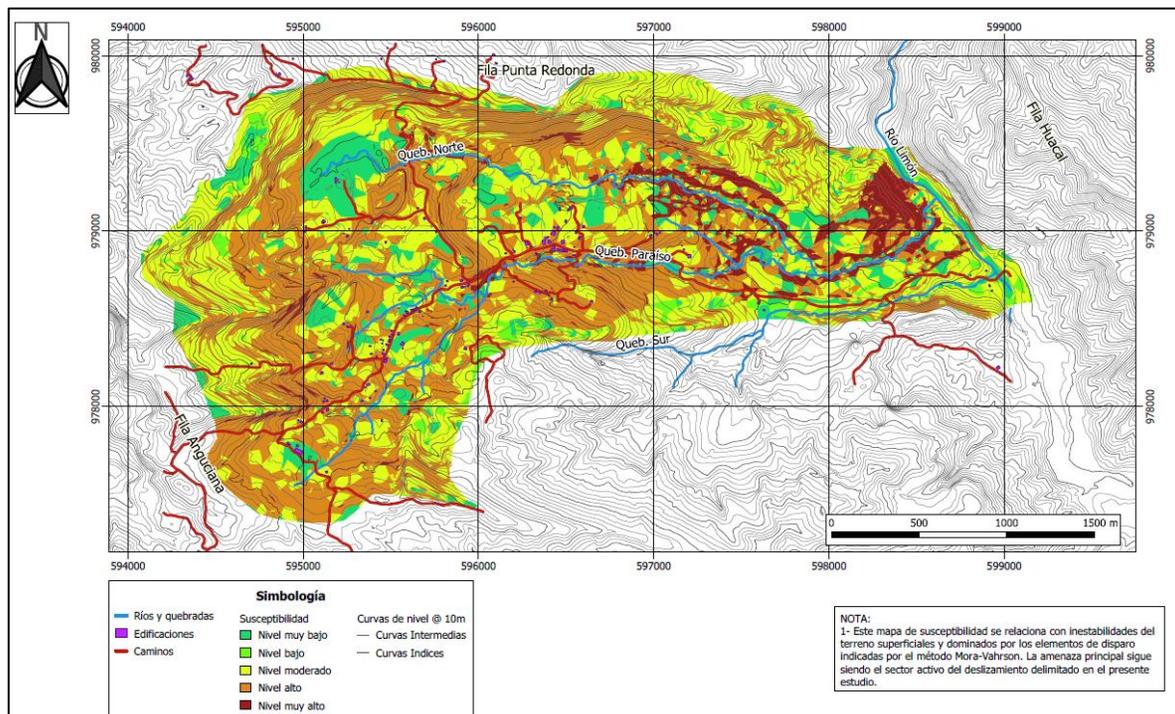


Figura 3.37 Mapa de susceptibilidad a deslizamientos del área de estudio. Ver mapa 1905C16-MA-05 en anexos

Se describe en el Cuadro 3.11 cada una de las zonas determinadas. En la Figura 3.38 se muestra la distribución porcentual de ellas, respecto al área total analizada. Resulta necesario recalcar que este análisis se relaciona con inestabilidades del terreno superficiales y dominadas por los elementos de disparo indicadas. La amenaza principal sigue siendo el sector activo del deslizamiento delimitado en el presente estudio.

Cuadro 3.11. Descripción de los resultados obtenidos de la aplicación del método Mora-Vahrson al área de estudio

Susceptibilidad a deslizamientos	Descripción
Nivel muy bajo	Estas zonas se presentan principalmente en el sector noroeste del área de estudio y en sectores aislados en el área definida entre la quebrada Norte y la quebrada Paraíso. Influye la baja pendiente en dichos sitios
Nivel bajo	Solo se presentan en algunos sectores aislados de la Fila Punta Redonda y en sectores puntuales de baja pendiente dentro del área de estudio
Nivel moderado	Estas zonas se distribuyen dentro toda el área de estudio (38% del área , pero predominan en el sector intermedio entre las quebradas Norte y Paraíso, así como en el cuadrante definido por las coordenadas 595000 E, 979000 N y 596000 E, 978000 N. Muchas de estas zonas podrían cambiar de categoría en el tiempo debido al progreso del área de deslizamiento activo.
Nivel alto	La mayor parte del área de estudio clasifica en esta categoría (42%). El escarpe norte y oeste, así como el escarpe intermedio (que define los sectores de deslizamiento latente inferior y superior) tienen un nivel alto de susceptibilidad. También, la mayor parte del emplazamiento actual del pueblo de Paraíso y del camino de acceso a la comunidad (paralelo a la quebrada Paraíso), entran en este nivel de susceptibilidad.
Nivel muy alto	Predominan en los cañones de las quebradas y en la parte baja de la cuenca de la quebrada Paraíso, siendo esto consistente con el área definida como zona activa del deslizamiento. Algunos sectores pequeños, de alta pendiente, cercanos al escarpe norte y oeste del deslizamiento también clasificaron en esta categoría.

Respecto al mapa de susceptibilidad generado por Bonilla (2006), existen diferencias importantes en el resultado obtenido. Se ha dado una disminución de las áreas de nivel bajo y muy bajo de susceptibilidad. Influyó significativamente en el cálculo, el uso de topografía más reciente y de mayor resolución que la utilizada por él. También, se dio un aumento en las áreas de nivel moderado, alto y muy alto de susceptibilidad. En este segundo aspecto ha tenido un peso importante el nuevo levantamiento geológico de las

zonas de deslizamientos activos, pues la definición de estas nuevas áreas afecta directamente el cálculo en la metodología empleada.

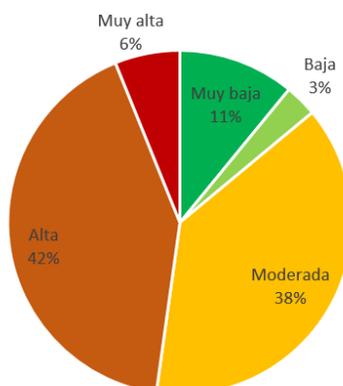


Figura 3.38 Distribución porcentual de la zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos

3.5 ESTADO ACTUAL DE ESTABILIDAD

3.5.1 Generalidades

Para evaluar el estado actual de estabilidad del deslizamiento de Paraíso de Chánguena, se ha procedido a estudiar tanto la posibilidad de que se presente una falla mayor (de varios cientos de metros de longitud) como de que se presente una sucesión de fallas de menor magnitud (que podrían llegar a ser de hasta orden decamétrico) en el área de estudio. El objetivo principal es determinar la extensión de la posible zona de afectación en caso de que este tipo de inestabilidades se presenten. Así, se tiene un criterio adicional en el establecimiento o flexibilización de la administración en el uso de suelo.

Los análisis efectuados para evaluar la estabilidad de los taludes se hicieron mediante el programa SLIDE 5.0 de la empresa Rocscience. El programa efectúa el análisis utilizando tanto métodos de equilibrio límite simplificados como rigurosos. Debido a las dimensiones de los perfiles estudiados, se ha preferido el análisis de superficies de falla no circulares, basadas en el espesor estimado del deslizamiento existente.

Para la utilización de este programa y la ejecución de los análisis de estabilidad, previamente se requiere definir el modelo geotécnico del sitio y trasladarlo a cada uno de los perfiles que se desea analizar. Esto involucró definir los parámetros físicos y mecánicos de los materiales detectados en sitio y, por otra parte, generar diferentes perfiles topográficos.

En este caso particular, la definición del modelo geotécnico se basó en los levantamientos geológicos de campo y en procedimientos indirectos para la estimación de los parámetros geomecánicos de los materiales presentes (incluyendo retroanálisis). Esto debido a que no se cuenta con datos directos obtenidos a partir de pruebas de laboratorio o ensayos de campo. Además, no se han realizado sondeos (superficiales y profundos) o ensayos geofísicos, que permitan tener una mayor certeza sobre el espesor real del deslizamiento.

Con respecto a las condiciones de frontera, estas se limitaron en función del área de interés. Los perfiles longitudinales se extendieron desde la parte alta de los cerros de la Fila Anguciana hasta la parte baja de la cuenca de la quebrada Paraíso, cerca de su desembocadura con el río Limón. Se analizaron tres perfiles de este tipo (A-B, C-D y G-H). Adicionalmente, se estudiaron dos perfiles de menor longitud (E-F e I-J). El perfil E-F cruza de manera transversal la quebrada Paraíso y la quebrada Norte, mientras que el perfil I-J cruza el camino principal de Paraíso, en una zona inestable cercana a la torre de telecomunicaciones del Instituto Costarricense de Electricidad, según se muestra en la Figura 3.39 .

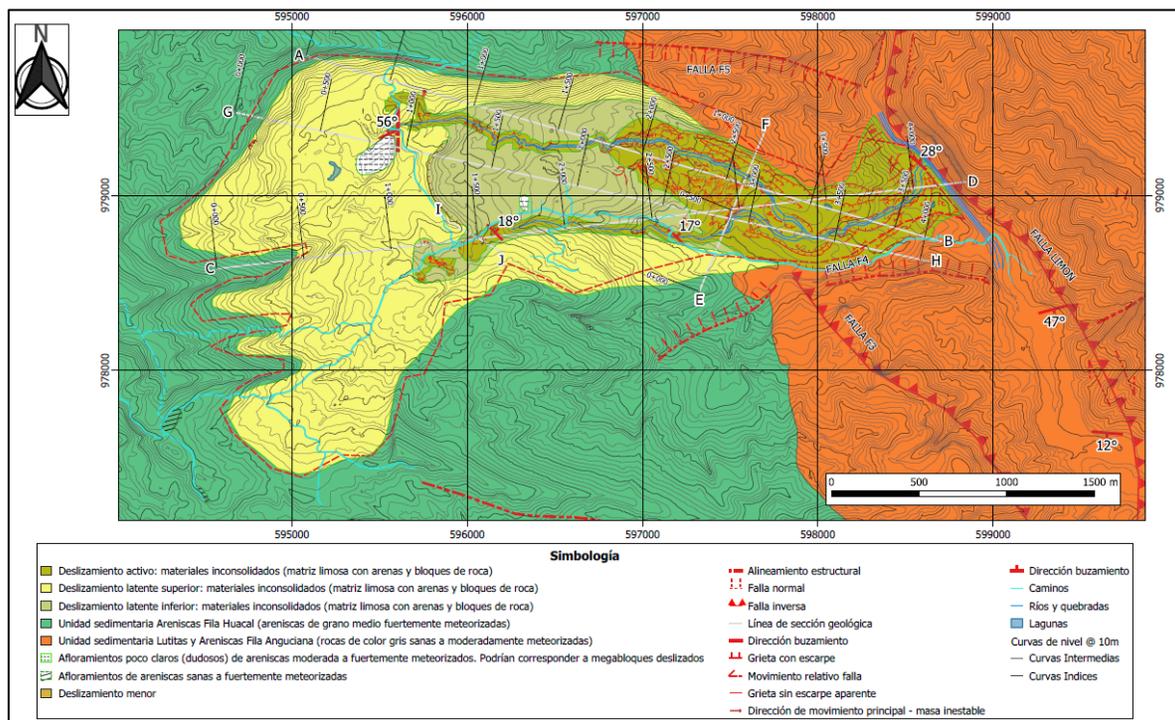


Figura 3.39 Ubicación en planta de los perfiles del terreno utilizados para los análisis de estabilidad de taludes.

Todos los parámetros y la estratigrafía se han definido a partir de los levantamientos geológicos realizados y que se mostraron en el capítulo 3 del presente documento.

En cuanto a las acciones externas que actúan sobre los perfiles analizados, solamente se ha considerado la introducción de cargas sísmicas bajo condiciones pseudo estáticas. Las estructuras existentes en el área de estudio en general son de bajo peso relativo a la dimensión del deslizamiento mayor, por lo que su modelado, a esta escala de estudio, resulta poco relevante. En caso de que se analicen deslizamientos locales para el estudio individual de estructuras en laderas críticas, sí deberán ser tomados en cuenta, pero se encuentran por fuera de los alcances de la presente consultoría.

3.5.2 Limitaciones

Se describen las principales limitaciones que debieron tenerse presentes al momento de realizar los análisis de estabilidad en el área de estudio:

- El espesor de la masa deslizada no se conoce con total certeza. Se ha estimado a partir de observaciones de campo en los principales cauces del área de estudio, pero requiere ser corroborada a partir de una campaña geotécnica detallada, que incluya la ejecución de sondeos profundos y perfiles geofísicos, donde se determine la profundidad del basamento y la posible superficie de falla. Se deberán aprovechar los sondeos para ser instrumentados con piezómetros o con inclinómetros.

- No se dispone de pruebas de campo o laboratorio que permitan una definición más precisa de parámetros geomecánicos de cada una de las unidades geotécnicas definidas en los modelos. La caracterización de los materiales se ha basado en los resultados obtenidos de los materiales más superficiales por parte de Bonilla (2006). En esta consultoría no se han ejecutado nuevos ensayos geotécnicos que permitan obtener parámetros de resistencia y deformabilidad de dichos materiales.

- Al no disponerse de sondeos profundos instrumentados con piezómetros, no se conoce la variación real del nivel freático en el área de estudio en las diferentes épocas del año. Se ha considerado que usualmente los suelos se van a mantener saturados en prácticamente todo su espesor a lo largo del año, debido al régimen de precipitaciones que se tiene en la zona (muy lluviosa). Arbitrariamente se ha establecido un descenso de 3m en la superficie freática durante la época seca.

3.5.3 Factores de seguridad mínimos admisibles

Para el análisis de estabilidad de los diferentes perfiles, se han seleccionado los factores de seguridad admisibles según los lineamientos establecidos en el Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica, que se muestran en el Cuadro 3.12. Se ha considerado un riesgo de pérdida de vida medio (debido a la baja densidad poblacional en el área de estudio) y un riesgo bajo de daños económicos y ambientales (al ser una zona rural con algunas obras de infraestructura puntuales).

Cuadro 3.12. Factores de seguridad para el diseño de taludes permanentes y análisis de laderas

Condición de análisis	Riesgo de daños económicos y ambientales	Riesgo de pérdida de vidas	Bajo	Medio	Alto
Estática	Bajo		1.20	1.30	1.40
	Medio		1.30	1.40	1.50
	Alto		1.40	1.50	1.50
Seudoestática: Coeficiente	Bajo		>1.00	>1.00	1.05
	Medio		>1.00	1.05	1.10
	Alto		1.05	1.10	1.10
el Artículo 2.5, Tabla 10	Bajo		1.10	1.15	1.20
	Medio		1.15	1.20	1.30
	Alto		1.20	1.30	1.40
Desembalse rápido: Taludes embalses en con posibilidad de un desembalse rápido	Bajo		1.10	1.15	1.20
	Medio		1.15	1.20	1.30
	Alto		1.20	1.30	1.40

Fuente: Tabla 3. Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica, 2015

3.5.4 Modelo geotécnico

Se han definido cuatro unidades geotécnicas para los diferentes perfiles analizados. Los parámetros geotécnicos de las unidades 2, 3 y 4 se definieron a partir de la aplicación del criterio de Hoek & Brown, mientras que para la unidad 1, fue necesario realizar un retroanálisis en un talud fallado conocido del área de estudio:

a. Materiales inconsolidados (UG-01):

Corresponde a materiales deslizados en una matriz limosa con presencia de bloques de roca. Los parámetros de resistencia de esta unidad se obtuvieron a partir del retroanálisis (“back analysis”) del deslizamiento ubicado en las cercanías de la torre de telecomunicaciones del ICE, y que para efectos de este trabajo se puede identificar como perfil I-J.

Este tipo de análisis es usado comúnmente en la ingeniería geotécnica para estimar la resistencia in situ del suelo. Esta resistencia se representa generalmente por los parámetros de resistencia al corte en tensiones efectivas de Mohr-Coulomb, cohesión c y ángulo de fricción interna ϕ . El retroanálisis de fallas de taludes es un método efectivo que incorpora importantes factores que muchas veces no son bien representados en ensayos de laboratorio, tales como la estructura del suelo, la no homogeneidad, influencia

de fisuras en la resistencia al corte y el efecto de los planos de debilidad dentro de la masa de suelo.

En este método se asume un factor de seguridad igual a la unidad y se considera la geometría original en el momento de la falla. Luego se estima la resistencia al corte del suelo que fue movilizada en la falla consistente con un modelo 2D realizado con un método seleccionado (Morgenstern-Price, Spencer, Janbu, Bishop, etc.) para un $FS=1$. Diferentes estudios han demostrado que usando un método que considere todas las condiciones de equilibrio ($\Sigma F=0$, $\Sigma M=0$, rigurosos) se obtiene un factor de seguridad que varía en $\pm 5\%$ (Tang, 1999).

En el caso del perfil I-J se disponía de la topografía original previa al deslizamiento, dado que corresponde al año 1998. El deslizamiento en este sitio se ha datado en el año 2017, a partir de la comparación de diferentes fotografías aéreas de los servicios Bing y Google Earth.

En la Figura 3.40 se muestra el resultado final del proceso de retroanálisis. Se ha establecido un valor de cohesión fijo ($c' = 20$ KPa) y se han realizado diferentes análisis de estabilidad modificando el ángulo de fricción del material hasta alcanzar una superficie de falla similar a la real, con factor de seguridad igual a uno. Este proceso ha permitido obtener un valor de ángulo de fricción igual a 20° (Rango $19^\circ - 21^\circ$).

La obtención de estos parámetros es relevante para los análisis de estabilidad en el resto de los perfiles, dado que estos valores se asocian al material inestable que se presenta en diferentes zonas del área de estudio.

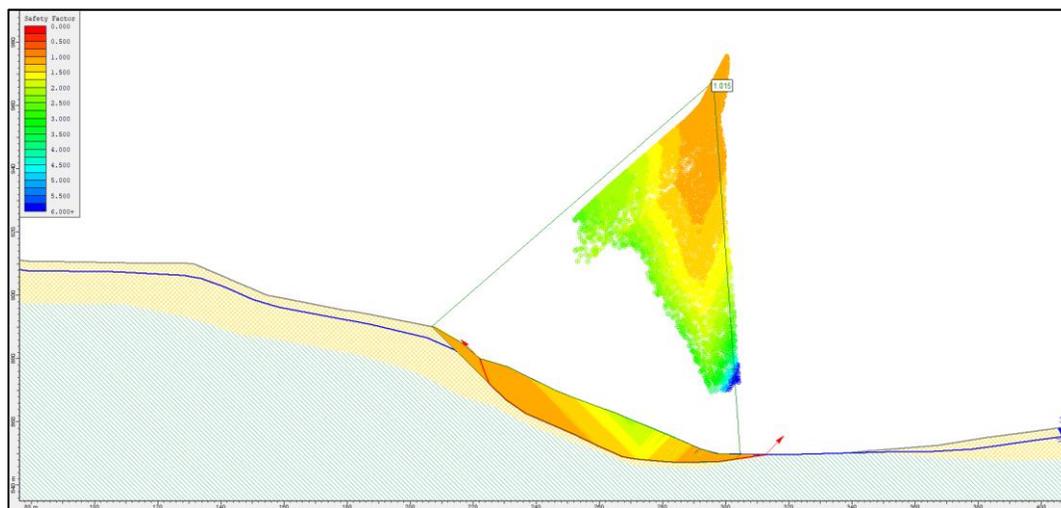


Figura 3.40 Superficie de falla retro- analizada en el perfil I-J.

- Areniscas (UG-02), Lutitas y arenisca (UG-03) y Zonas de falla (UG-04):

Para estas tres unidades se ha utilizado el criterio de Hoek & Brown (Hoek et al, 2002) para la estimación de sus parámetros de resistencia. Este criterio describe el fallo de la masa rocosa de la siguiente manera:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Donde:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} s^a$$

$$\sigma_t = -\frac{s\sigma_{ci}}{m_b}$$

m_b es un valor reducido de la constante del material m_i

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

s y a son constantes del macizo rocoso.

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \quad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

GSI: Índice Geológico de Resistencia

Este criterio toma en cuenta los factores que determinan la rotura de un medio rocoso a gran escala, como son la no linealidad con el nivel de tensiones, la influencia del tipo de roca y del estado del macizo, la relación entre la resistencia a la compresión y a la tracción, entre otros.

Para la aplicación de este, se requiere conocer la resistencia a la compresión simple de la roca (RCS), la constante de la roca intacta (m_i), el factor de reducción por método de excavación (D) y el valor del GSI. En la Figura 3.41 se muestra un gráfico que representa el criterio de falla de Hoek y Brown para diferentes niveles de esfuerzo.

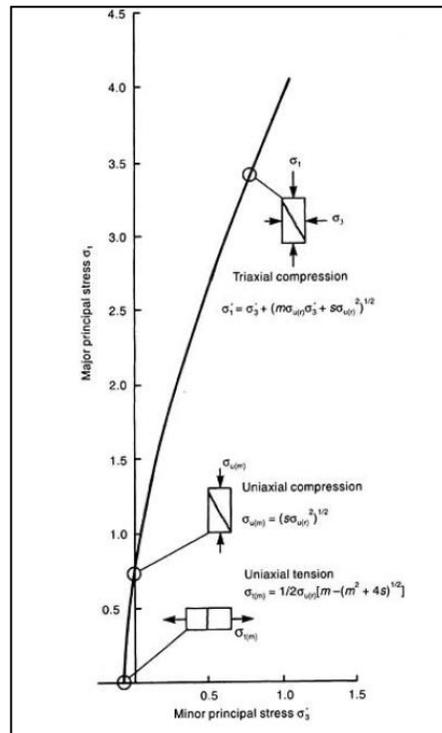


Figura 3.41 Criterio generalizado de ruptura de Hoek & Brown (2002)

Para efectos de este trabajo, se hizo uso del programa RocLab 1 de la casa Rocscience que permite generar mediante su salida los parámetros de resistencia del macizo rocoso a través de este método.

El GSI es un sistema de clasificación geomecánica que se concentra en la descripción de dos factores, la estructura de la roca y sus condiciones de superficie. Los valores de GSI para las unidades geotécnicas involucradas en este estudio, se obtuvieron del Cuadro 3.13, asociando la estructura que mejor se ajusta a cada uno de los macizos involucrados.

Cuadro 3.13 Índice geológico de resistencia (GSI) para macizos rocosos heterogéneos

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (V. Marinos, 2007, under publication)		SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (Predominantly bedding planes)	VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered or oxidised surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Very smooth, occasionally slickensided surfaces with compact coatings or fillings with angular fragments	VERY POOR Very smooth, slickensided or highly weathered surfaces with soft clay coating or fillings
STRUCTURE AND COMPOSITION							
	TYPE I. Undisturbed, with thick to medium thickness sandstone beds with sporadic thin films of siltstone. In shallow tunnels or slopes where confinement is poor the mode of the failure has a kinematic character controlled by the bedding planes and GSI is meaningless		TYPE II. Undisturbed massive siltstone (stratification planes are imperceptible) with sporadic thin interlayers of sandstones	80	I	II	
	TYPE III. Moderately disturbed sandstones with thin films of interlayers of siltstone		TYPE IV. Moderately disturbed rockmass with sandstone and siltstone similar amounts	60	III	IV	V
	TYPE V. Moderately disturbed siltstones with sandstone interlayers		TYPE VI. Moderately disturbed siltstones with sparse sandstone interlayers		50		
	TYPE VII. Strongly disturbed, folded rockmass that retains its structure, with sandstone and siltstone in similar extend		TYPE VIII. Strongly disturbed, folded rockmass, with siltstones and sandstone interlayers. The structure is retained and deformation - shearing is not strong	40		VII	VIII
	TYPE IX. Desintegrated rockmass that can be found in wide zones of faults or/and of high weathering. In this type mainly brittle material is present with some disturbed siltstones between rock pieces		TYPE X. Tectonically deformed intensively folded/ faulted siltstone or clay shale with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure		30		IX
	TYPE XI. Tectonically strongly sheared siltstone or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces. Ultimately the ground behavior is that of a soil			20			XI
				N/A	N/A		
							10

↑ MEANS INCREASE OF SANDSTONE BEDS > 50cm

→ Means deformation after tectonic disturbance

Fuente: Marinos, 2007

En el Cuadro 3.14 se resumen los parámetros de entrada y salida del criterio y en el Cuadro 3.15 se muestran los parámetros de resistencia finalmente adoptados para las cuatro unidades geotécnicas contempladas. Los valores de resistencia a la compresión simple, así como los módulos de deformación intactos de cada unidad fueron estimados a partir de valores típicos para este tipo de materiales, dado que no se cuenta con ensayos de laboratorio que permitan emplear valores reales de estos. Solamente, para el caso de los suelos deslizados, se cuenta con información básica de su caracterización, a partir de las pruebas realizadas por Bonilla en el año 2006.

Cuadro 3.14 Parámetros de entrada y salida de Hoek & Brown para las unidades geotécnicas estudiadas

Unidad geotécnica	Parámetros de entrada. Método de Hoek & Brown				Parámetros de salida			
	GSI	σ_i (MPa)	m_i	D	E_i (MPa)	m_b	s	a
UG-02 Areniscas (Fila Huacal)	30	15	17	0	4125	1.395	0.0004	0.522
UG-03 Lutitas y areniscas (Fila Anguciana)	20	10	6	0	2000	0.345	0.0001	0.544
UG-04 Zonas de falla	15	10	6	0	2000	0.288	0.0001	0.561

Cuadro 3.15 Modelo geotécnico. Deslizamiento Paraíso de Chánguena

Unidad	Peso unitario (KN/m ³)	Cohesión (KPa)	Φ (°)	E (MPa)
1 Materiales inconsolidados (deslizamiento)	16.25	20	19-21	30
2 Areniscas (Fila Huacal)	24.00	333	36	335
3 Lutitas y Areniscas (Fila Anguciana)	21.00	129	23	90
4 Zonas de falla	21.00	122	20	73

3.5.5 Análisis de estabilidad

Se realizaron análisis de estabilidad de taludes para conocer el posible comportamiento del deslizamiento bajo diferentes escenarios, tanto en condición estática como de sismo, realizando también variaciones en la elevación del nivel freático, con el fin de simular los cambios esperables en este durante las diferentes épocas del año. El objetivo principal es determinar para cada una de ellas la extensión de la posible zona de afectación en caso de que se sigan presentando deslizamientos menores o el caso hipotético de un colapso de gran magnitud.

Para los análisis en condición de sismo, se utilizaron los coeficientes pseudo estáticos propuestos en la sección 2.5 del Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica, para un periodo de retorno de 150 años (sismo con probabilidad de excedencia anual del 50% en 50 años).

La zonificación sísmica a la que pertenece el distrito de Chánguena es “Zona IV” y los suelos predominantes en el área de estudio se pueden considerar S3 o S4, por lo que el coeficiente pseudo estático horizontal que debe ser empleado es de 0.2. Se ha utilizado además, un coeficiente pseudo estático vertical igual a la tercera parte del horizontal. El área de estudio ha quedado enmarcada dentro de la zona de mayor sismicidad de Costa Rica, según el Código Sísmico de Costa Rica (2010).

De los análisis realizados se pueden señalar las siguientes observaciones:

a. **Época seca, sin sismo:**

En la Figura 3.42 se muestran los despliegues gráficos de los análisis realizados. Los perfiles han sido ordenados de norte a sur, por lo que es posible observar que los factores de seguridad más bajos se dan en el sector norte (perfil A-B) y los más altos en el sector sur (Perfil C-D).

Los factores de seguridad obtenidos en los perfiles C-D y G-H son mayores a 1.3, por lo que se tienen condiciones aceptables de estabilidad. Los deslizamientos más comunes que se pueden presentar en la época seca se pueden asociar a procesos erosivos en los cauces. Solamente en el perfil A-B, se detectaron superficies de falla con factor de seguridad menor a 1.3 pero mayores a 1.1. Esta situación era esperable dado que en el sector norte del deslizamiento es donde se tiene una mayor cantidad de procesos de inestabilidad activos. Dichosamente en esta zona no se tienen viviendas u otras estructuras de habitación permanente. En ninguno de los perfiles se esperaría una falla general de gran extensión, pues los factores de seguridad asociados se consideran altos (>3.0).

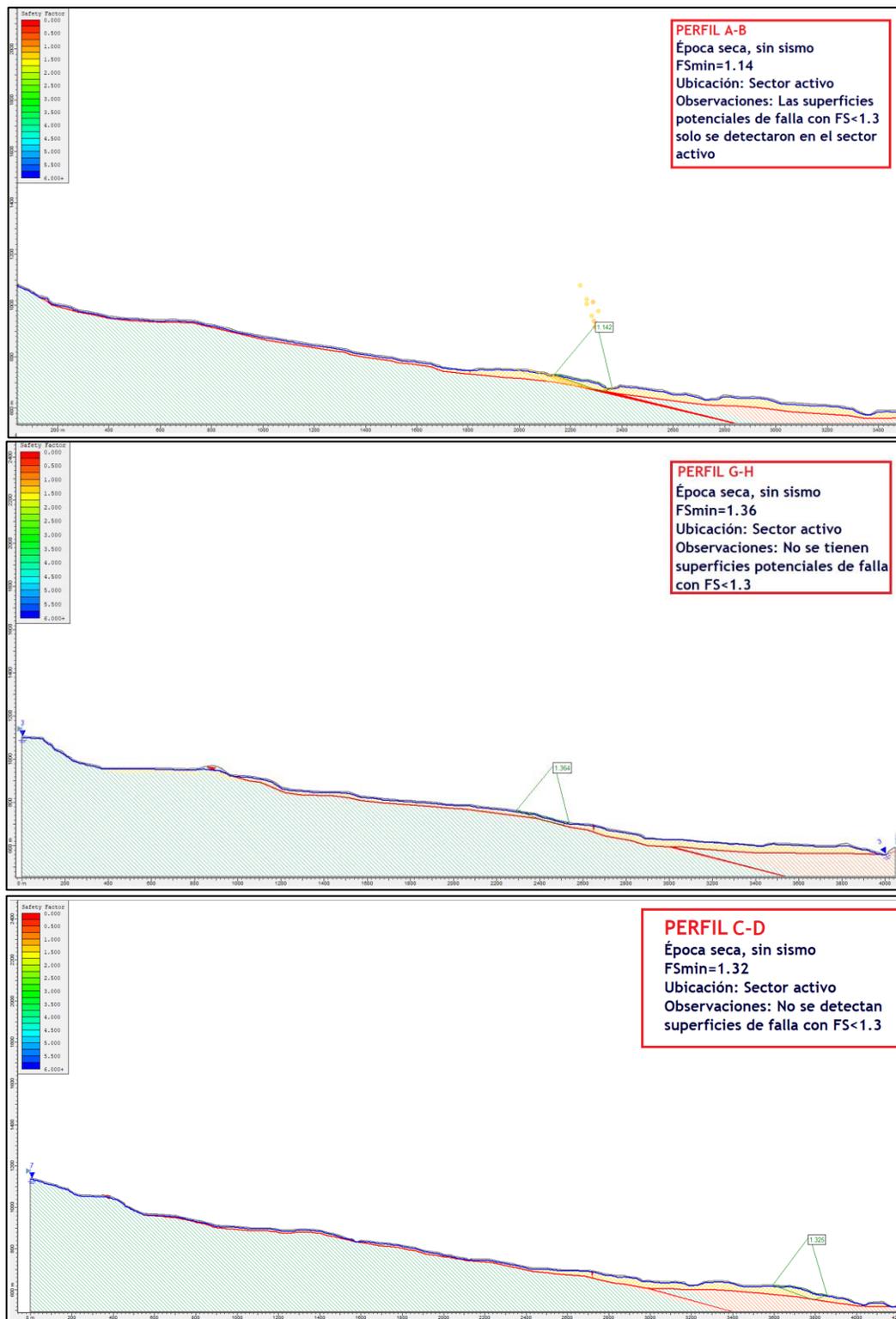


Figura 3.42 Análisis de estabilidad en los perfiles longitudinales en época seca, sin sismo

En el perfil transversal E-F, en época seca, los factores de seguridad también son mayores a 1.3. Los factores de seguridad más bajos se dan en la margen izquierda de la quebrada Norte.

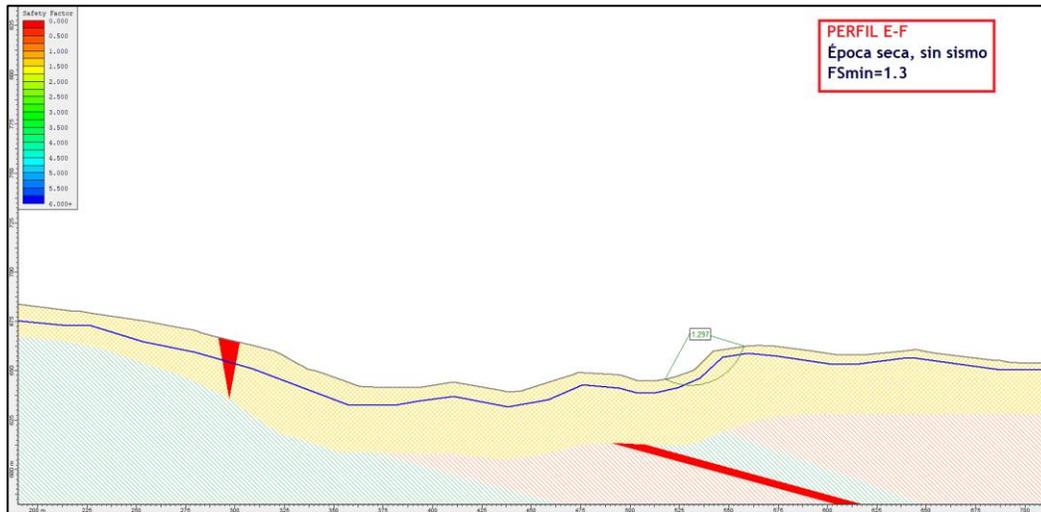


Figura 3.43 Análisis de estabilidad del perfil transversal E-F, en época seca, sin sismo

b. **Época lluviosa, sin sismo:**

En época lluviosa, elevando el nivel freático 3m respecto al estimado para la época seca, sin sismo, se pueden dar deslizamientos locales (superficies potenciales de falla con factor de seguridad menor a uno). La mayoría podrían ocurrir en la parte baja del deslizamiento (sector activo), según se aprecia en los perfiles longitudinales estudiados (Figura 3.44). Se han detectado, además, superficies con factores de seguridad menores a 1.3 en el sector de deslizamiento latente inferior, en las cercanías del camino que comunica Paraíso con Chánguena. Esta información que se desprende es importante al realizar las consideraciones en el planteamiento del Sistema de Alerta Temprana y en la definición de las vías de evacuación.

En el perfil transversal E-F, se observan superficies potenciales de falla con $FS < 1.3$ predominantemente en la margen izquierda del cauce de la Quebrada Norte, aunque también se pueden dar fuera de ella.

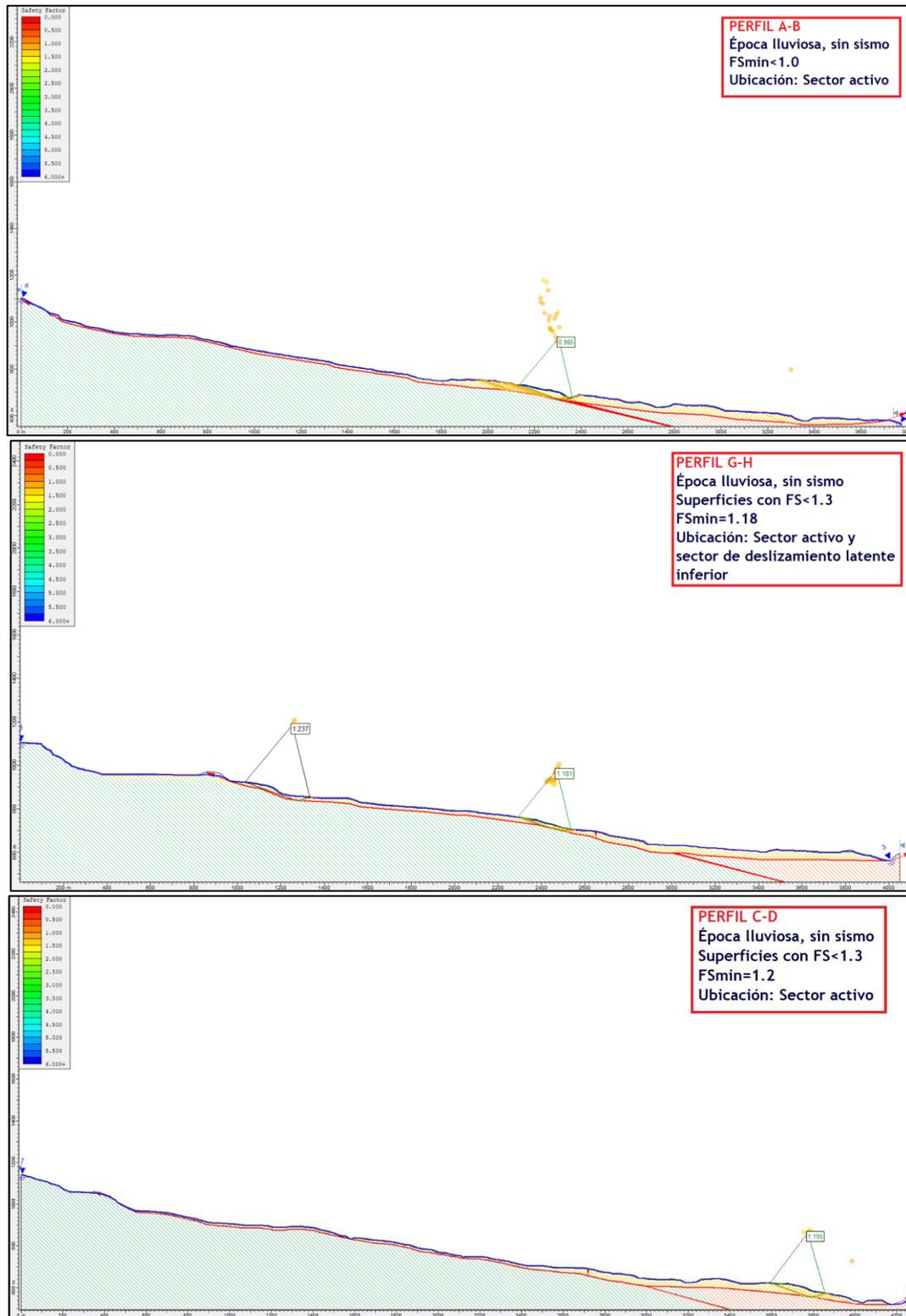


Figura 3.44 Análisis de estabilidad en los perfiles longitudinales en época lluviosa, sin sismo

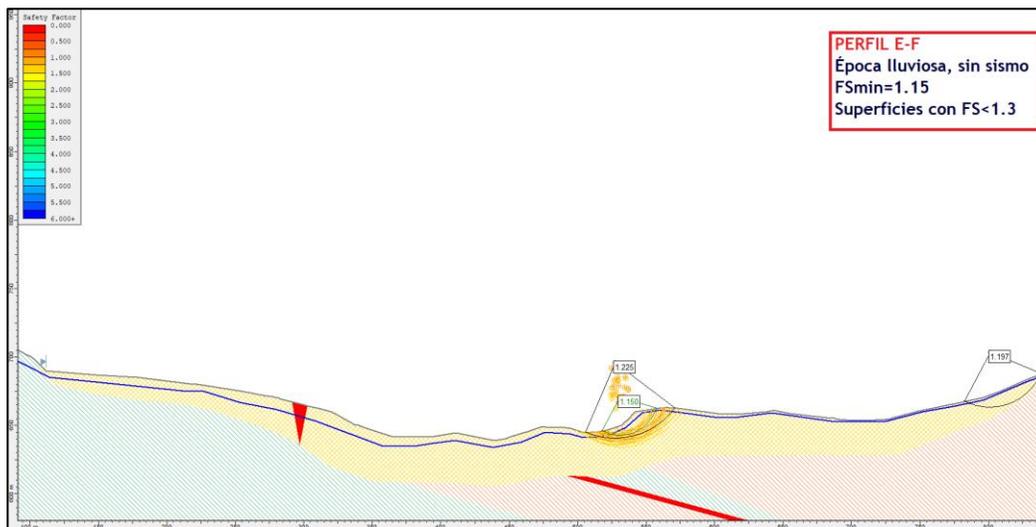


Figura 3.45 Análisis de estabilidad del perfil transversal E-F, en época lluviosa, sin sismo

c. Época seca, con sismo

Al tomar en cuenta los coeficientes pseudo estáticos en los análisis de estabilidad en época seca, se puede observar como en el sector norte del área de interés se podría presentar una cantidad significativa de deslizamientos de gran magnitud (superficies con factor de seguridad inferior a la unidad), tanto en el área activa como en el sector de deslizamiento latente. En el sector central y sur también se podrían dar deslizamientos de gran tamaño, aunque su distribución espacial y frecuencia debería ser menor que en ese primer caso (Perfil A-B). Queda claro que un evento sísmico de gran magnitud, independientemente de la época del año, podría generar consecuencias muy negativas en el sector activo del deslizamiento de Paraíso.

En el cañón de la quebrada Norte (perfil E-F), también se esperarían deslizamientos, especialmente en su margen izquierda.

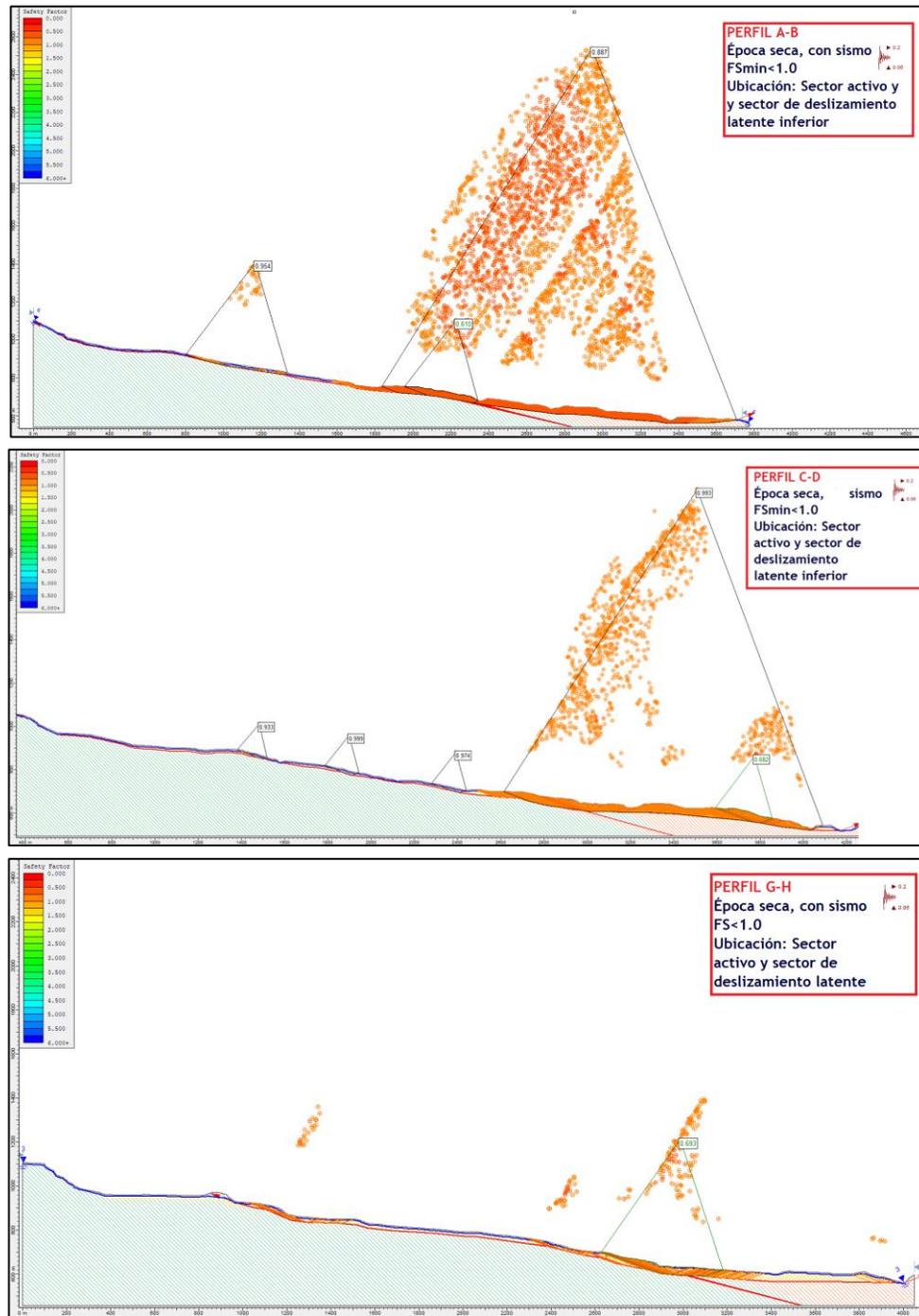


Figura 3.46 Análisis de estabilidad en los perfiles longitudinales en época seca, con sismo

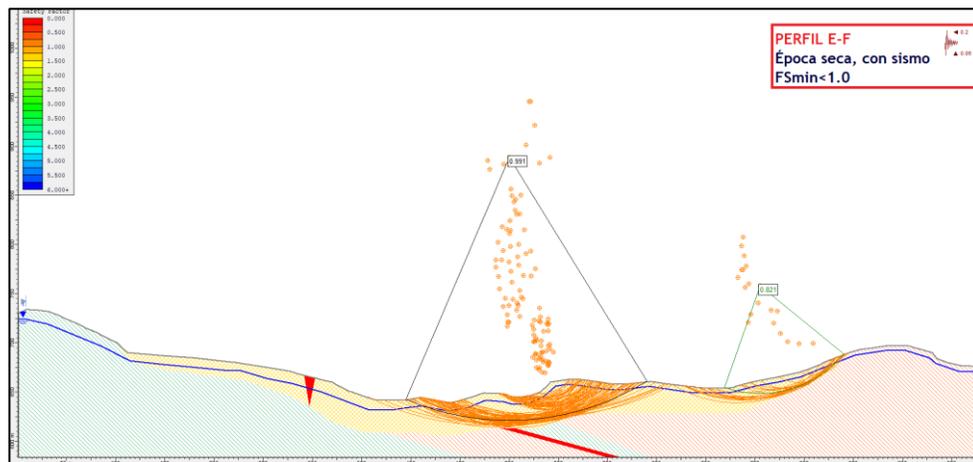


Figura 3.47 Análisis de estabilidad en el perfil transversal E-F en época seca, con sismo

d. **Época lluviosa, con sismo:**

Este corresponde al caso más crítico entre los analizados, pues en prácticamente todos los perfiles (longitudinales y transversales) se obtuvieron los factores de seguridad más bajos y las superficies de falla de mayores dimensiones. Se esperaría una cantidad considerable de movimientos de masa de diversos tamaños en el área activa y en menor cantidad en el sector del deslizamiento latente inferior. Si bien aumenta el número de superficies potenciales de falla respecto a las obtenidas en época seca, el cambio no se considera significativo. Se puede señalar entonces, que el principal factor disparador de deslizamientos en el área de estudio corresponde a eventos sísmicos magnitud considerable, y en menor medida, a las variaciones en el nivel freático local, producto de cambios estacionales. Las consecuencias de los eventos meteorológicos de lluvia fuerte no son directamente medibles mediante esta metodología, pero es de esperar que eventos similares al huracán Mitch de 1998 generen deslizamientos principalmente en las márgenes de las quebradas, debido al aumento de caudal en ellas y a los procesos erosivos acelerados asociados. Dichos deslizamientos pueden desencadenar otros movimientos de mayor magnitud.

Para verificar las conclusiones de esta sección, se realizó un análisis de sensibilidad, aumentando los parámetros de resistencia del material superficial. Se pudo observar que a pesar de que se mejoren significativamente estos ($c=20$ KPa, $\Phi=28^\circ$), es posible que se sigan presentando deslizamientos de grandes dimensiones en el sector activo durante eventos sísmicos.

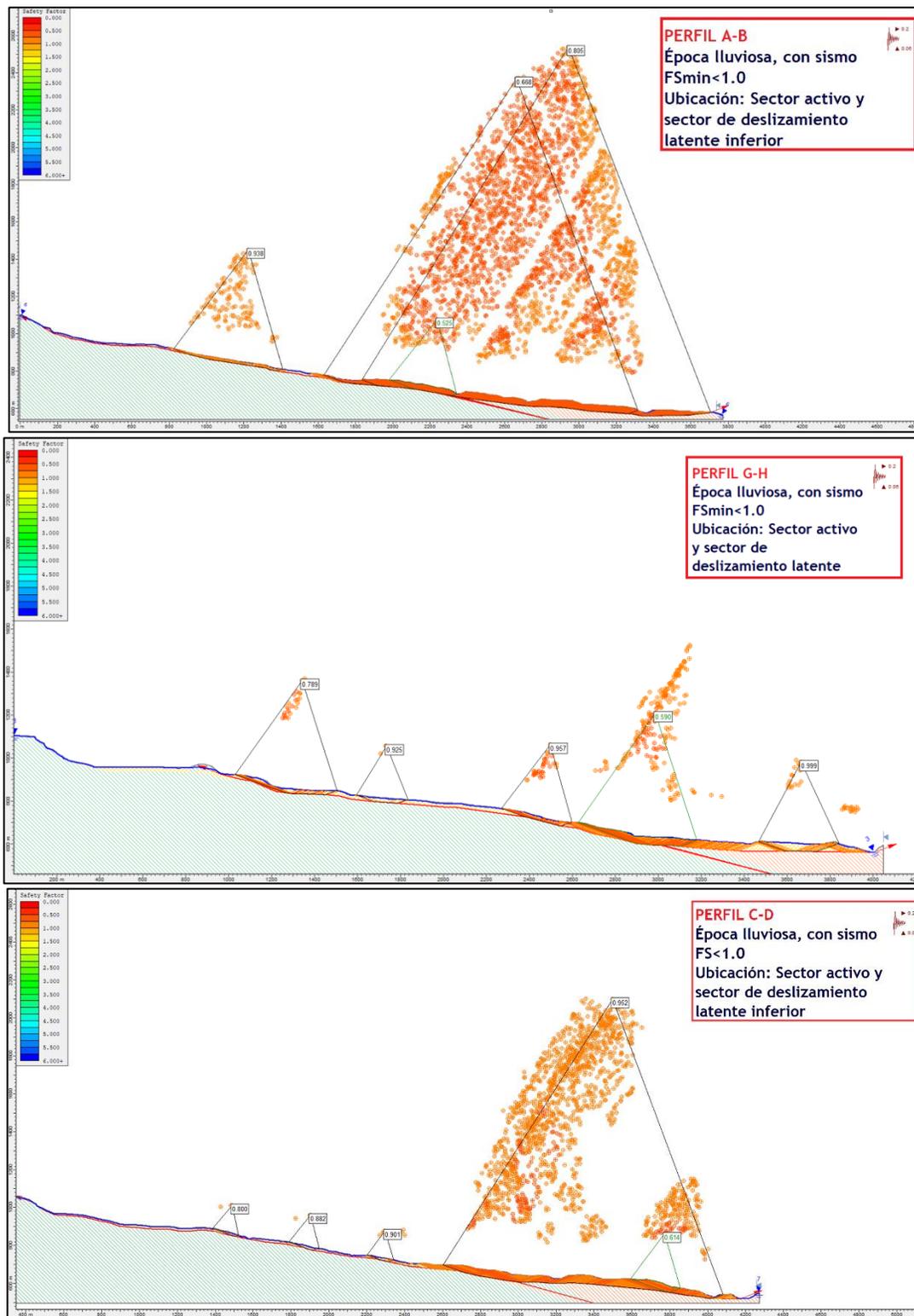


Figura 3.48 Análisis de estabilidad en los perfiles longitudinales en época lluviosa, con sismo

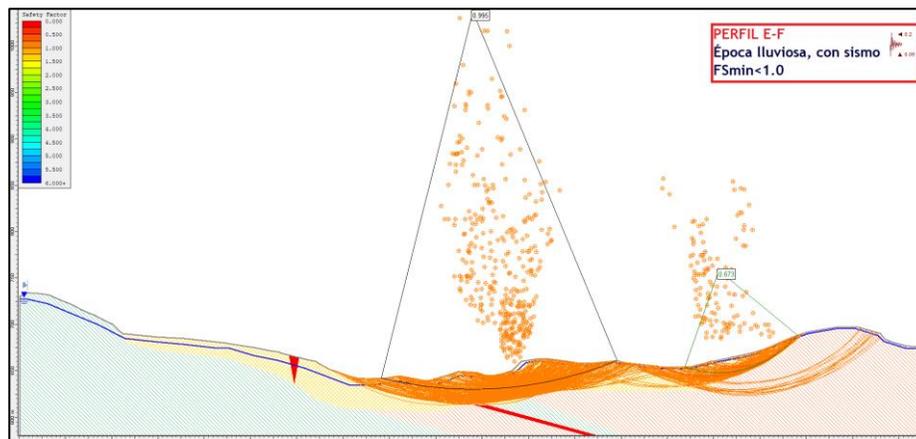


Figura 3.49 Análisis de estabilidad del perfil transversal E-F, en época lluviosa, con sismo

Se ha hecho un análisis de sensibilidad adicional reduciendo progresivamente los coeficientes pseudo estáticos utilizados, hasta encontrar el valor de coeficiente donde ya no se producirían superficies potenciales de falla con factor de seguridad menor a 1 (esto para el perfil G-H). Se ha determinado que sismos de intensidad moderada (Escala JMA de 4, asociada a aceleraciones sostenidas del orden de 0.054g) posiblemente no sean capaces de generar deslizamientos. Sin embargo, sismos entre moderados y fuertes, con aceleraciones sostenidas de 0.075g, ya empezarían a generar inestabilidades. Finalmente, sismos de Intensidad JMA superior a 5+ (Fuertes y muy fuertes) tienen una alta capacidad de generar deslizamientos generalizados en diferentes sectores de Paraíso. El sismo $Tr=150$ años (cuyos resultados se mostraron en las Figura 3.48 y Figura 3.49), tendría una intensidad 6- o superior, por lo que podría causar daños considerables en el área de estudio.

e. **Condición post-sismo ($Tr=150$ años)**

Para los perfiles C-D y G-H, que cruzan de manera cercana el centro del poblado de Paraíso (sector de deslizamiento latente inferior), se ha realizado un análisis adicional de estabilidad de taludes. En estos casos se ha considerado que las superficies con $FS < 1.0$ que se generan durante un sismo, efectivamente rompen. Posterior al análisis en condición de sismo, se realiza una nueva corrida del programa, pero modificando la topografía del perfil, eliminando de la geometría todos los posibles deslizamientos. Esto permite observar si de manera posterior a un sismo fuerte, se pueden generar otros deslizamientos que puedan extender el área de afectación.

Se ha determinado que una vez se den los mayores movimientos asociados al sismo, se alcanzaría en casi todo el perfil un estado marginal de estabilidad. Sin embargo, de

presentarse nuevos sismos, se podrían presentar otros deslizamientos, aunque de menores dimensiones a los que se esperarían en el sismo inicial mayor.

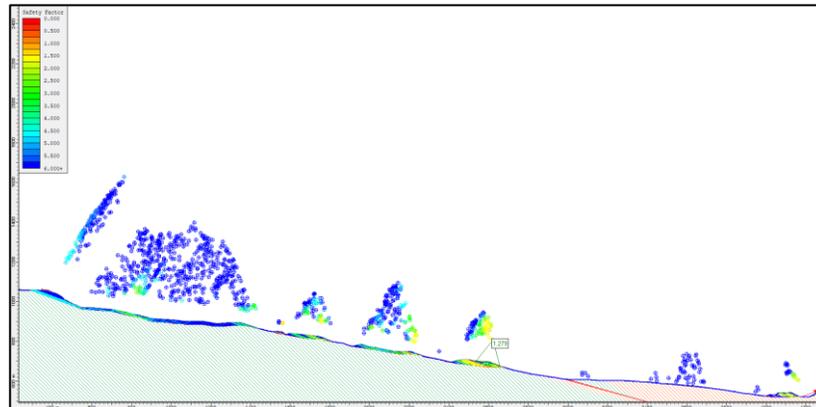


Figura 3.50 Condición post-sismo en el perfil C-D.

f. **Falla progresiva**

Se ha buscado de simular las consecuencias del avance de la corona del deslizamiento, eliminando progresivamente en los modelos, las superficies de falla con menor factor de seguridad, en condición estática. El proceso se ha detenido cuando se obtiene un $FS > 1.3$.

El perfil analizado de esta manera corresponde al C-D. En la Figura 3.51 se observa la distribución de factores de seguridad de todas las superficies potenciales de falla, bajo la condición original. En la Figura 3.52, se pueden observar los análisis posteriores, eliminando de la topografía las superficies con menor factor de seguridad. Es en la tercera iteración donde ya se obtienen factores de seguridad superiores a 1.3. Se detecta en esta última, que las superficies con menor factor de seguridad se mantienen dentro del área activa actual, por lo que mientras no haya factores disparadores externos como sismos o lluvias fuertes, el área no debería extenderse de manera inmediata o en un plazo muy corto.

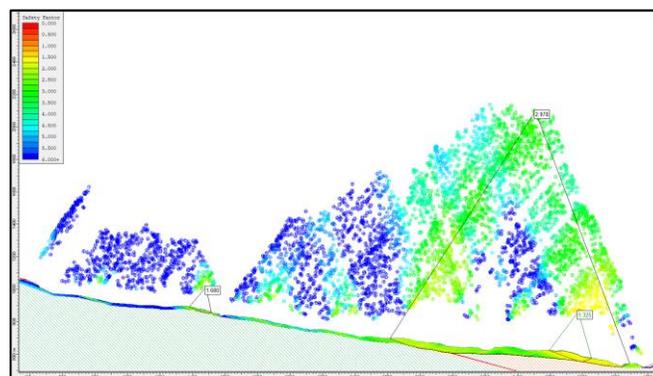


Figura 3.51 Superficies de falla potenciales en el perfil C-D bajo condición estática

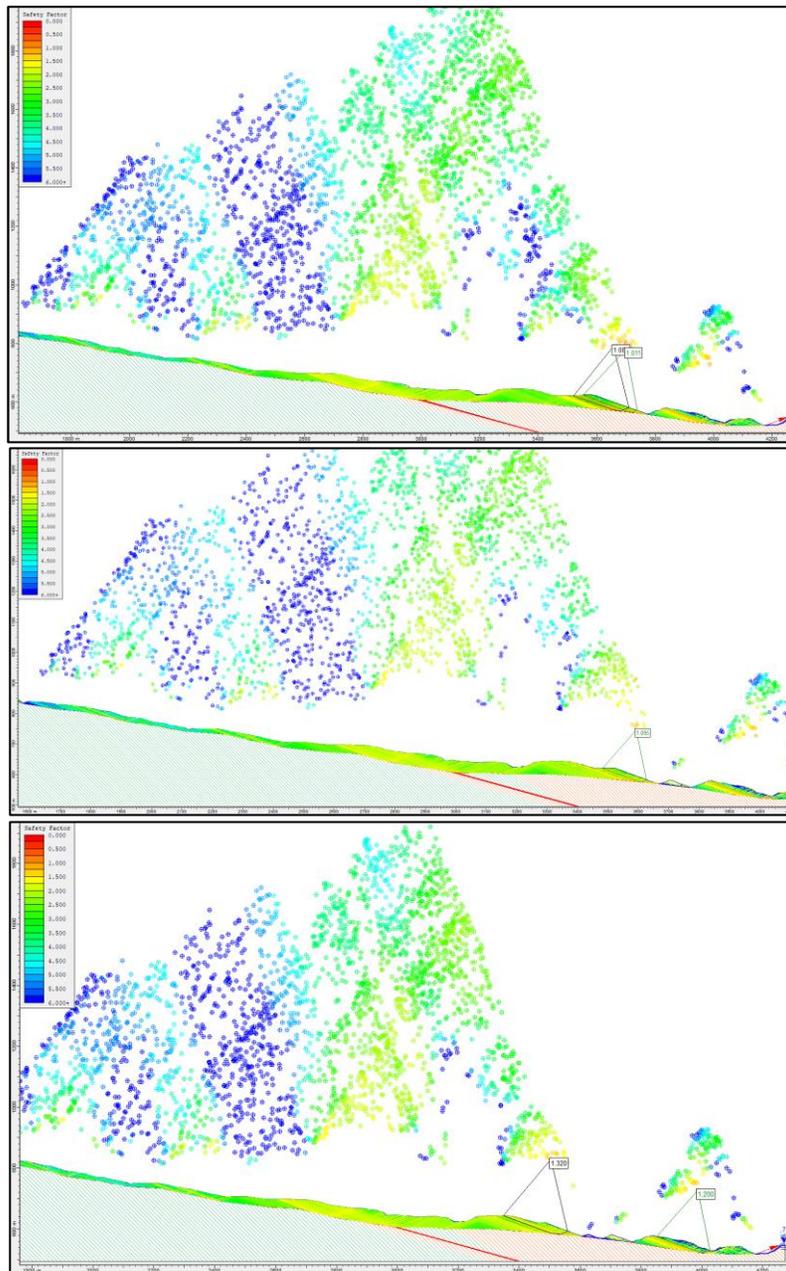


Figura 3.52. Análisis de falla progresiva en el perfil C-D

En el Cuadro 3.16 se resumen los factores de seguridad mínimos obtenidos de los análisis bajo las diferentes condiciones estudiadas. Importante notar que de presentarse el sismo para un TR=150 años, independientemente de la época del año (seca o lluviosa), es de esperar que se presenten fallas del terreno, cuyas dimensiones y ubicación podrían variar, según se ha descrito en párrafos anteriores.

Sin sismo, pero en época lluviosa, con la elevación del nivel freático, los factores de seguridad se vuelven marginales (cercanos a 1.0), por lo que es probable que, en eventos de lluvia fuerte, diferentes taludes pueden llegar a fallar.

De manera general, también se puede señalar, que las superficies potenciales de falla mayores (que se generen desde el centro de la comunidad hasta la parte baja, en las cercanías del río Limón), que podrían ser catastróficas para la comunidad (en términos de que un evento de este tipo no permitiría evacuar previamente a la población, al ser repentino), muestran factores de seguridad elevados (>3.0). Esto no implica que no se puedan dar deslizamientos que sean de tamaño considerable (longitud decamétrica), que pueden contribuir al progreso de la zona activa actual. Sin embargo, resulta poco probable que se dé este escenario, especialmente porque la geometría del deslizamiento, en su parte inferior, se estrecha. Esto en alguna medida le permite al deslizamiento contenerse.

Cuadro 3.16 Factores de seguridad mínimos bajo las diferentes condiciones analizadas

Condición	Factor de seguridad mínimo			
	Perfil			
	A-B	G-H	C-D	E-F
Época seca, sin sismo	1.14	1.36	1.32	1.3
Época lluviosa, sin sismo	0.99	1.18	1.2	1.15
Época seca, con sismo ¹	0.61	0.69	0.68	0.82
Época lluviosa, con sismo ¹	0.53	0.59	0.61	0.67

1. Sismo Tr=150 años

El resultado del análisis de sensibilidad realizado asociado a los coeficientes pseudo estáticos e intensidades para los cuales se producen deslizamientos se muestra en la Figura 3.53.

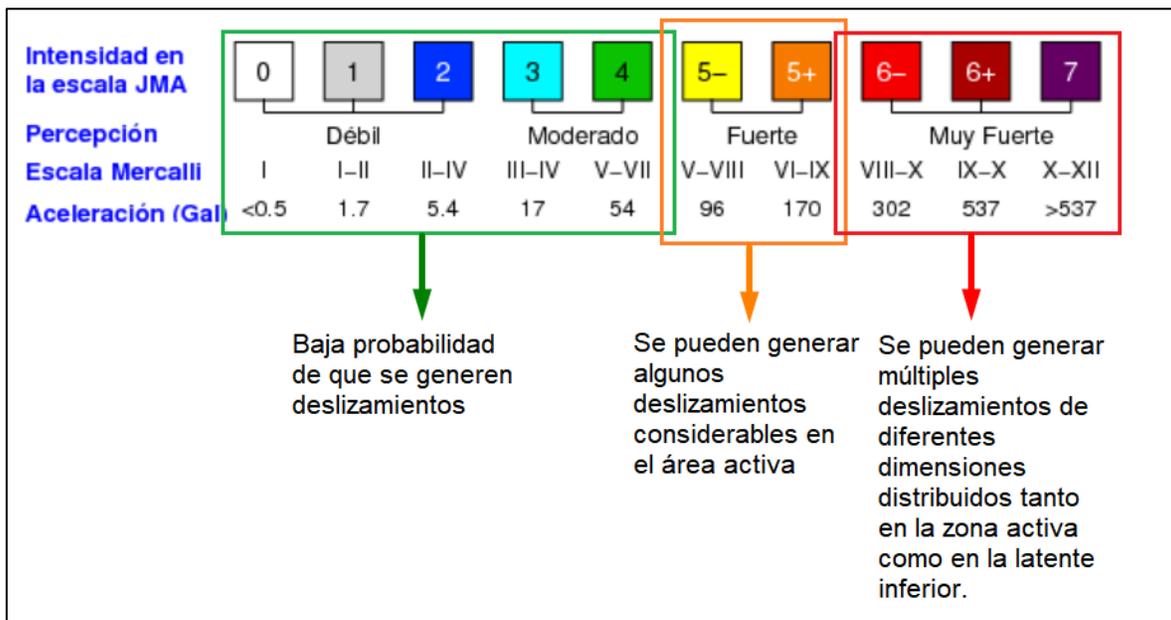


Figura 3.53. Escala de intensidades y aceleraciones sostenidas asociadas a la escala JMA (Agencia Meteorológica de Japón). Adaptado de: lis.ucr.ac.cr (2019)

3.6 NIVELES UMBRALES DE LLUVIA QUE GENERAN DESLIZAMIENTOS

Si bien, las variaciones del nivel freático entre época seca y época lluviosa puede que no sean de gran magnitud en esta zona (posiblemente la mayor parte del año los terrenos se mantienen saturados hasta niveles cercanos a la superficie) y que su influencia en la estabilidad global del deslizamiento de Paraíso no sea excesivamente determinante, es conocido que los eventos meteorológicos extremos (como tormentas y huracanes) han sido factores disparadores de la actividad del deslizamiento en el área de estudio.

Actualmente no se cuenta con registros de mediciones pluviométricas en sitio que se puedan asociar a dichos eventos y que permitan correlacionar, espacial y temporalmente, con deslizamientos identificados en el área inestable de Paraíso. Esto limita la posibilidad, en este momento, de generar un modelo específico para el sitio, para la definición de umbrales de disparo de deslizamientos (relaciones lluvia- deslizamiento).

Ante estas limitaciones, para el caso en análisis, se plantea entonces el uso de relaciones lluvia-deslizamiento, propuestas en la literatura. Ramos, Trujillo y Prada (2015), realizaron una vasta revisión de estudios para sintetizar el estado del arte de umbrales de lluvia que generan movimientos en masa en todo el mundo. Las relaciones más comunes lluvia-deslizamiento se procesan con el fin de analizar los datos en función de la clasificación climática de Köppen y el área para la cual fue generada.

En términos de tipos de umbrales que se reportan con mayor frecuencia en la literatura, son aquellos que consideran la relación intensidad-duración (ID) de la lluvia. Este tipo de umbral es ampliamente utilizado dado que genera una relación sencilla de análisis, que es usada comúnmente en hidrología para determinar intensidades de tormenta.

En segundo lugar, se encuentran aquellos que consideran la lluvia acumulada para varios días (E). La lluvia acumulada es un parámetro conveniente cuando los pluviómetros no tienen escala horario ni sub-horaria como para utilizar el parámetro intensidad-duración.

Los umbrales también pueden ser clasificados por extensión (área), para la cual fueron generados, en local, regional, subcontinental, continental y global. Para Sistemas de Alerta Temprana lo usual es utilizar los generados a nivel local. Estos últimos intrínsecamente toman en cuenta las condiciones geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de la zona de estudio.

De los tipos de umbrales descritos en el trabajo de Ramos, Trujillo y Prada (2015), el que se plantea utilizar inicialmente en Paraíso corresponde al presentado en la Figura 3.54, que relaciona la lluvia acumulada (E) antes de la ocurrencia del proceso de deslizamiento en un tiempo dado (abscisas). Una de las ventajas que tiene el uso de este parámetro es su fácil determinación al utilizar instrumentación pluviométrica convencional a nivel horario y superior (diario).

Durante los eventos de lluvia que se presenten en la zona se debe comparar en tiempo real la precipitación acumulada en el tiempo, respecto a la curva limitante. De sobre pasarse esta, se deberían activar los protocolos detallados en la sección 5.7 de este documento. En la Figura 3.55 se muestra la visualización de dos ejemplos de eventos de lluvia al ser comparados con la curva limitante. El registro 1 corresponde a un evento de lluvia que activaría protocolos de emergencia, dado que ha superado la curva umbral. Situación opuesta a la del registro 2, que, durante la duración completa del mismo, siempre se mantuvo por debajo del umbral.

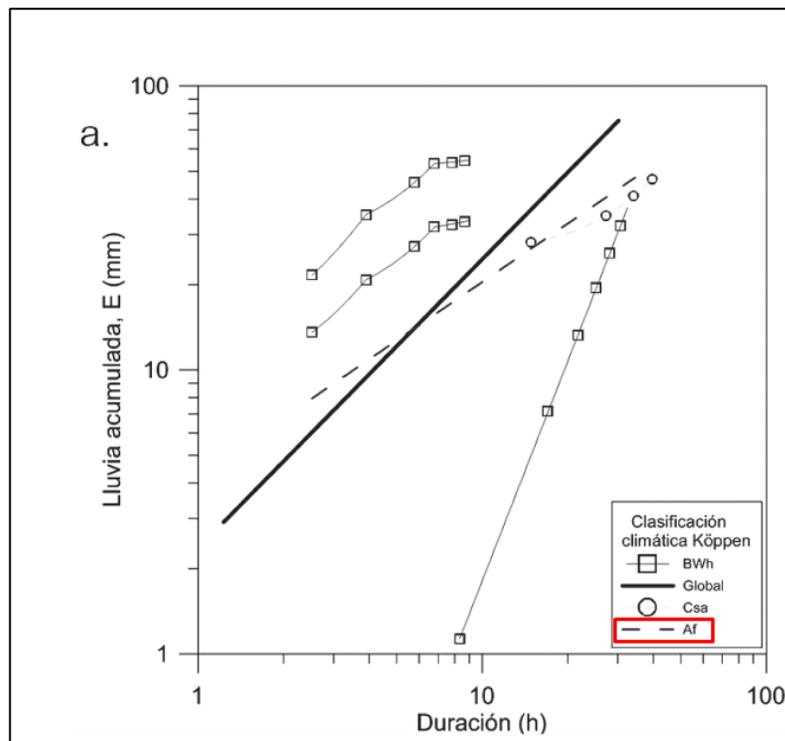


Figura 3.54. Relación Lluvia acumulada-duración (ED) en función de la clasificación climática de Köppen. Línea punteada se asocia a clima Tropical Húmedo.
Fuente: Ramos et al, 2015

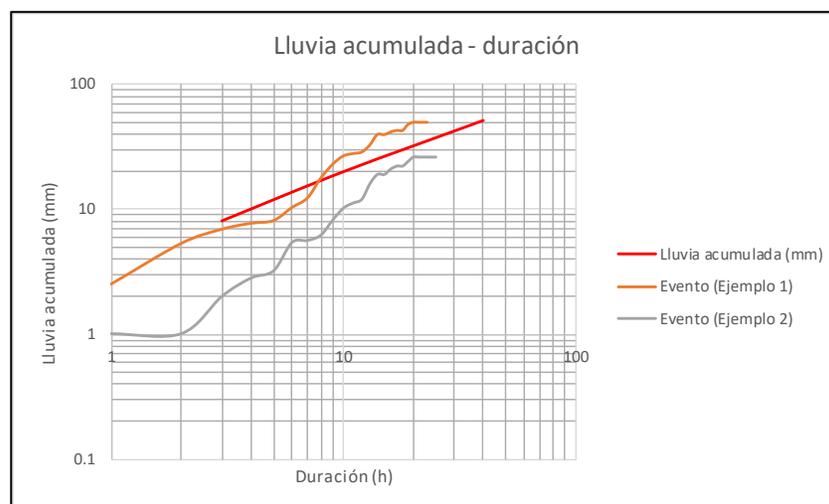


Figura 3.55. Curva umbral de Lluvia acumulada-duración y visualización de eventos (ejemplos)

Como parte de las medidas de intervención en el área de estudio, se debe contemplar la instalación de una estación meteorológica en la zona (o al menos un pluviómetro que permita mediciones en tiempo real de las precipitaciones), y llevar paralelamente un registro, espacial (localización del deslizamiento) y temporal (hora y fecha del evento),

de todos los movimientos del terreno que se presenten. De esta manera se va generando una base de datos que permitirá a futuro una definición más precisa de los umbrales de lluvia que generan movimientos en masa. Dependiendo de la calidad y cantidad de datos compilados se pueden generar modelos de regresión o relaciones estocásticas, donde a partir de variables de entrada se puede determinar una probabilidad de generación de deslizamientos dado uno o varios conjuntos de variables relacionadas con lluvia. Así, será posible dar una mayor confiabilidad al sistema de alerta temprana propuesto en este documento.

3.7 MEDIDAS DE INTERVENCIÓN

A partir del análisis geológico y geotécnico realizado en el área de estudio, se plantean las siguientes medidas de intervención asociadas a la problemática estudiada, tanto a nivel local como nacional:

3.7.1 *Medidas de intervención local*

a. Definición e instalación de un sistema de monitoreo (auscultación) del deslizamiento de Paraíso:

Dado que actualmente no se cuenta con un sistema de monitoreo que permita determinar la tasa real de desplazamiento del deslizamiento ni el progreso de su zona activa, en el capítulo 5 de este documento se hace el planteamiento respectivo, como parte del sistema de alerta temprana que se pretende implementar en la comunidad de Paraíso.

Además del monitoreo general, se recomienda mantener una comunicación directa con los habitantes de las edificaciones más próximas al área activa del deslizamiento (Figura 3.56, Figura 3.57 y Figura 3.58). Dichas edificaciones deberán ser instrumentadas con sistemas básicos para la detección de inestabilidades como inclinómetros rudimentarios (niveles de burbuja en paredes y pisos) que puedan ser revisados diariamente por sus propietarios. De detectarse movimientos o daños en ellas, fisuras en el terreno, o cuando la línea activa se encuentre a menos de 70m de ellas, se deberá valorar la evacuación permanente de las mismas.

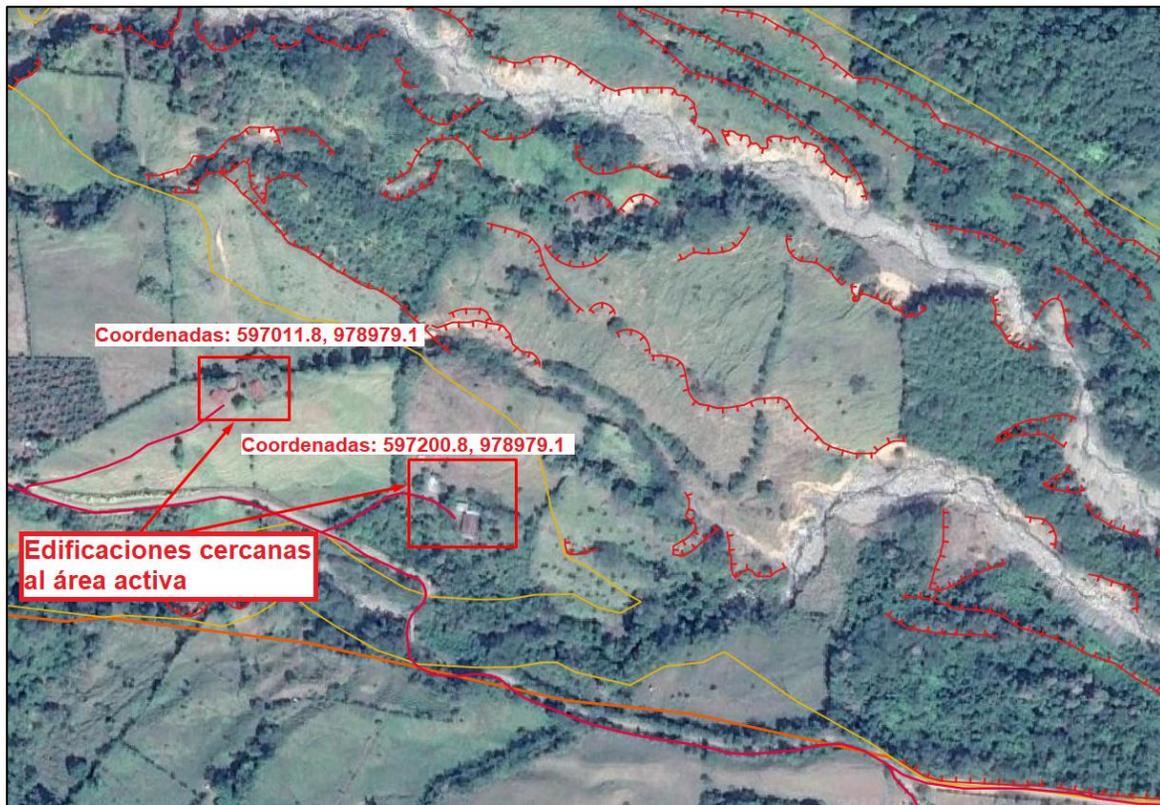


Figura 3.56. Edificaciones próximas al área activa del deslizamiento (línea amarilla)



Figura 3.57. Edificaciones cercanas al área inestable (viviendas y construcciones agrícolas). Capturas de imágenes aéreas de sobrevuelo de la CNE, Marzo, 2019



Figura 3.58. Viviendas próximas al área activa del deslizamiento (línea amarilla)

b. Mantenimiento rutinario o preventivo de caminos

Debido a que existen solamente dos caminos para ingresar a la comunidad de Paraíso (uno desde Chánguena de Buenos Aires y el otro desde la comunidad de la Casona, siendo este último la principal vía de acceso por la cercanía que brinda para llegar a San Vito de Coto Brus), se considera importante mantener los caminos en buenas condiciones de tránsito durante todo el año, por si se requiriera realizar en algún momento una evacuación de la población producto de una emergencia.

Este tipo de mantenimiento se debe realizar periódicamente y su ejecución es de un mínimo de dos veces cada año. Consiste en actividades de limpieza de cunetas y alcantarillas, corte de ramas, chapeo de monte, bacheo menor y extracción de pequeños derrumbes. Puede ser realizado con mano de obra no calificada de la misma comunidad.

c. Mantenimiento periódico o correctivo de caminos

Son obras destinadas a impedir el deterioro de las capas inferiores de la estructura de pavimento y se realiza en función del daño observado en los caminos. Cuando se hace mantenimiento periódico no se hace rutinario.

Se recomienda realizar una vez al año y comprende la reposición de capa base hasta un 25% del total del proyecto, conformación y reparación de obras de drenaje (cunetas). Esta actividad se debería realizar durante dos años continuos y al tercer año se debería realizar una rehabilitación. La municipalidad de Buenos Aires es la entidad que asume estas tareas actualmente.

d. Atención de tramos críticos y estabilización de deslizamientos menores en taludes del camino

Se puede valorar el diseño y construcción de sistemas para la estabilización de tramos críticos del camino susceptibles a deslizamientos (se sugiere el uso de muros de gaviones, en aquellos taludes inferiores a 12m). Cada caso debe ser estudiado individualmente, para que la solución se ajuste de manera adecuada a cada sitio. Los tramos críticos del camino fueron identificados en el apartado 3.3.4.

Se resalta la importancia de construcción de cunetas a nivel de caminos y bermas, y contracunetas en la parte alta de las laderas, para disponer de un manejo adecuado de las aguas de escorrentía superficial.

e. Mantenimiento de puentes y alcantarillas

Como parte de las vías de acceso y/o de evacuación de la comunidad, es necesario que todos los puentes y alcantarillas se encuentren en buenas condiciones físicas y estructurales.

En el Cuadro 3.17 se identifican las estructuras de este tipo más importantes que se encuentran en el camino de acceso a Paraíso.

Cuadro 3.17 Puentes principales en las vías de acceso a la comunidad de Paraíso de Chánguena

Estructura	Coordenadas		Longitud aproximada (m)	Fotografía
	Este	Norte		
Puente Río Limón	598987.1	978759.9	45	
Puente Quebrada Paraíso	597153.4	978766.6	10	
Alcantarilla de cuadro "Las gemelas"	595771.1	978660.9	5	

Es motivo de atención especial el puente sobre el río Limón, pues su pila central muestra problemas de socavación en su fundación y las vigas del vano de margen izquierda presentan indicios de corrosión. Ambas situaciones deben ser atendidas para no comprometer la seguridad estructural del puente.

Se requiere realizar una inspección detallada de la estructura según los lineamientos establecidos en el “Manual de Inspección de Puentes”, del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT, 2007), para determinar la condición real de deterioro y gestionar las reparaciones pertinentes a nivel municipal.



Figura 3.59. Estado actual del puente sobre el río Limón (Julio, 2019)

f. Estabilización del deslizamiento local contiguo a antena de telecomunicaciones del Instituto Costarricense de Electricidad

Se requiere reportar la condición de riesgo de esta infraestructura al Instituto Costarricense de Electricidad, para que se realicen los diseños respectivos de la estabilización del terreno donde esta se ubica y posteriormente ejecutar las medidas que ellos determinen. Si bien aún no existe afectación a la torre y sus obras aledañas, es necesario tomar medidas preventivas para evitar que en algún momento la antena pueda salir de servicio por este motivo.

Como parte del Sistema de Alerta Temprana, resulta imprescindible disponer de cobertura celular aceptable en el área de Paraíso, pues se requiere para el reporte oportuno de emergencias o eventos ligados al deslizamiento mayor. Esta es la única antena celular en la comunidad, por lo que se debe priorizar su atención.

g. Control de erosión de quebradas

Los propietarios de fincas aledañas a quebradas deberán procurar canalizar las aguas de escorrentía superficial a través de cunetas, preferiblemente revestidas, de tal manera que descarguen en las quebradas en zonas de baja pendiente.

h. Capacitación de los productores locales en buenas prácticas agrícolas y ganaderas

El área de Paraíso fue deforestada casi totalmente en un lapso de poco más de 50 años para dar paso al desarrollo de actividades agropecuarias, tales como cultivos

y ganadería. Lastimosamente, las malas prácticas de algunos productores, han contribuido a que se desarrollen o aceleren procesos erosivos en las márgenes de las quebradas que recorren Paraíso, siendo factores que influyen directamente en el aumento del área de afectación actual del deslizamiento (zona activa).

Ante esta situación, se propone la implementación de talleres comunitarios, donde participen productores locales y dueños de propiedades aledañas a los cauces de las quebradas, que promuevan buenas prácticas agrícolas y ganaderas. Dichos talleres pueden ser gestionados con entidades tales como:

- Ministerio de Agricultura y Ganadería
- Instituto Nacional de Aprendizaje
- Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA- Universidad de Costa Rica)

3.7.2 *Medidas de intervención nacional*

A nivel del Sistema Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, se requiere una revisión detallada de los hallazgos descritos en el presente documento, con el fin de priorizar la ejecución de las medidas de intervención locales presentadas, siguiendo el marco jurídico establecido en la Ley 8488 (Ley nacional de emergencias y prevención del riesgo).

Por otra parte, la tarea principal de la CNE recae en la vinculación con las diferentes instituciones involucradas y la comunidad, para la implementación del Sistema de Vigilancia y Alerta Temprana del Deslizamiento aquí propuesto.

4. CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y MEDIDAS DE INTERVENCIÓN.

4.1 USO ACTUAL DE LA TIERRA, CAPACIDAD DE USO Y CONFLICTOS DEL USO

4.1.1 *Introducción*

En este apartado se genera una propuesta de zonificación de uso del suelo de la comunidad de Paraíso de Chánguena, por motivo de la exposición al Deslizamiento Paraíso. Este se localiza en la Región de Planificación Brunca, específicamente en el distrito Chánguena (7), del cantón de Buenos Aires (3), de la provincia de Puntarenas (6).

Paraíso de Chánguena puede determinarse como una comunidad rural, de emplazamiento lineal sobre el principal camino de acceso y salida hacia la cabecera del distrito al que pertenece y hacia San Vito de Coto Brus.

El objeto del presente documento es presentar los razonamientos geológicos y de capacidad de uso de la tierra que sustentan la propuesta de zonificación que se detalla a continuación, indicando los tipos de construcciones futuras permitidas en la comunidad de Paraíso de Chánguena.

Se establece este documento como una propuesta, pues será la CNE en su condición de administradora del contrato que genera los estudios en los que se enmarca este planteamiento, quien definirá las recomendaciones técnicas en materia de riesgos y amenazas; para que a su vez estas sean valoradas en el futuro desarrollo del plan regulador cantonal para Buenos Aires de Puntarenas.

4.1.2 *Uso actual del suelo*

Mediante el uso de una fotografía aérea del servidor Bing, de la época seca del año 2016 de 0,3 m resolución y comprobadas con fotografía aérea Terra 2017 del IGNCR, resolución 0,3 m y Google Earth 2018, resolución 2 m; se procedió a la digilitación a escala 1:1.500 de las principales coberturas de la tierra en el área de estudio antes indicada.

Posteriormente, se realizó trabajo de campo de corroboración de la geometría y la categorización de las coberturas. Estas últimas fueron determinadas conforme al DE-23214-MAG-MIRENEM, Metodología Determinación Capacidad Uso Tierras Costa Rica, para obtener los conflictos de uso. El siguiente cuadro se muestra la categorización y área para cada uno de las coberturas:

Cuadro 4.1 Categorización, descripción y área de coberturas de uso de la tierra, Paraíso de Chánguena

Categoría	Descripción	Área (ha)	%
Bosque	Áreas con sucesión continua de árboles.	725,6	40,1
Charral	Áreas con sucesión continua de arbustos y pastos no aprovechables.	151,2	8,9
Cultivo	Áreas cubiertas con plantaciones de café, maíz, frijol, plátano y tubérculos.	42,8	2,4
Pasto	Áreas desprovistas de árboles y arbustos, con pastos para la ganadería.	841,9	46,5
Residencial Rural**	Áreas contiguas a techos de infraestructura, utilizados para la residencia y las operaciones agropecuarias.	18,9	1,0
Cauce ríos	Áreas por donde discurren los principales cauces de ríos y quebradas	19,0	1,0
Lagunas	Áreas cubiertas por cuerpos de agua sin flujo.	0,4	0,0
Total		1.800	100

*Elaboración propia (2019). **Aproximadamente un total de 89 unidades residenciales y 100 agropecuarias.

El despliegue de los datos de uso de la tierra puede observarse en el mapa de la Figura 4.1

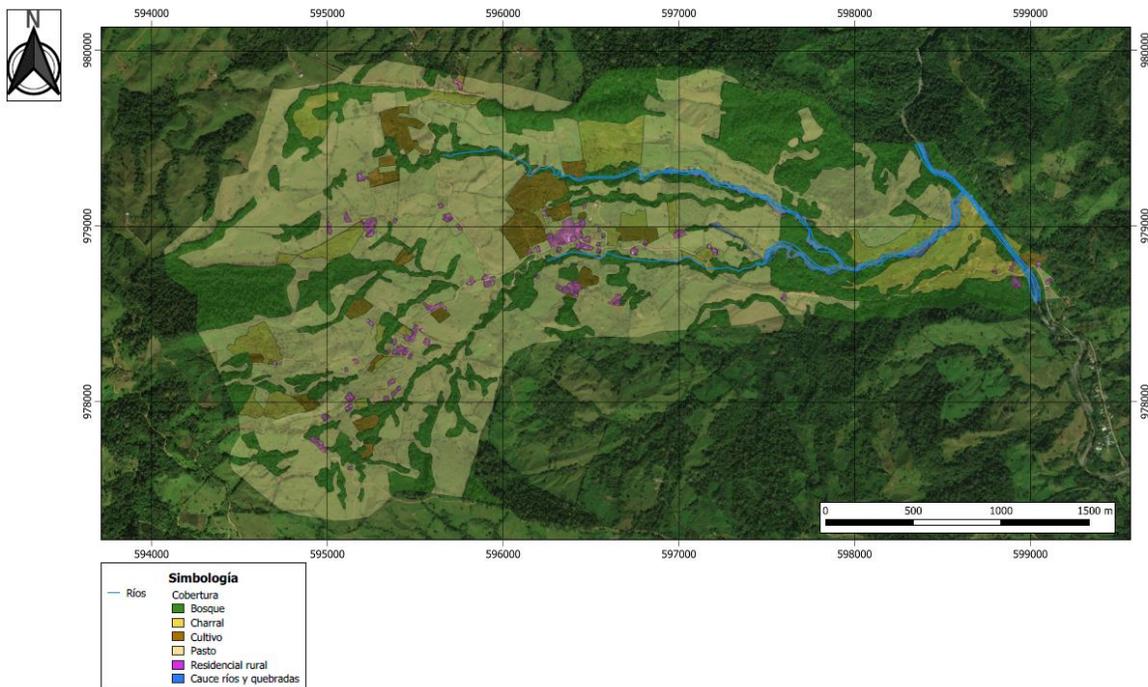


Figura 4.1 Uso de la tierra en el área del estudio. Deslizamiento Paraíso de Chánguena, Buenos Aires. Ver mapa en anexos 1905C16-MA-06

4.1.3 Capacidad de uso

Para determinar la capacidad de uso de la tierra se procede como se indica en el DE-23214-MAG-MIRENEM, Metodología Determinación Capacidad Uso Tierras Costa Rica.

Se utiliza el Cuadro 1 de dicho decreto, para que, por descarte, se eliminen las clases que no cumplen todos los parámetros incluidos en dicho cuadro, se procedió a analizar desde la Clase I a la Clase VIII.

La zona de estudio se localiza en la zona de vida Bosque Pluvial Premontano (bp-P), de forma tal que con base en la información cartográfica, los terrenos en Paraíso de Chánguena corresponderían a las clases IV al VIII. Posteriormente con la verificación de campo sobre variable de profundidad de suelo, se determinó que la misma no es mayor en ningún rango de pendiente a los 15-25 cm, con lo que el descarte arrojó que las tierras en el área de estudio corresponden a las Clases V y VII. A continuación, una transcripción de la descripción de las mismas, según el DE-23214-MAG-MIRENEM:

“Clase V

Las tierras de esta clase presentan severas limitaciones para el desarrollo de cultivos anuales, semi permanentes, permanentes o bosque, por lo cual su uso se restringe para pastoreo o manejo de bosque natural.

Las limitaciones que pueden ocurrir, solas o combinadas cuando la pendiente es inferior al 15% son: relieve moderadamente ondulado, erosión sufrida moderada, suelos poco profundos, las texturas del suelo y subsuelo pueden ser de finas a gruesas, fuertemente pedregosas, muy baja fertilidad, toxicidad fuerte, salinidad moderada, drenaje muy lento o excesivo, riesgo de inundación severo, zonas de vida seca y pluviales, con periodo seco fuerte o ausente, condición de neblina y viento fuerte.

También podrían presentarse las siguientes limitaciones cuando la pendiente oscila entre 15 y 30% relieve ondulado, erosión sufrida moderada, suelos poco profundos, texturas en el suelo moderadamente gruesas o finas y en el subsuelo de muy finas a gruesas, fuertemente pedregosos, muy baja fertilidad, toxicidad fuerte, salinidad moderada, drenaje muy lento o excesivo, riesgo de inundación severo, zonas de vida seca y muy húmedas excepto bosque muy húmedo tropical, con periodo seco fuerte o ausente, condición de neblina y viento fuerte.

Clase VII

Las tierras de esta clase tienen severas limitaciones por lo cual sólo se permite el manejo forestal en caso de cobertura boscosa; en aquellos casos en que el uso actual sea diferente al bosque, se procurará la restauración forestal por medio de la regeneración forestal por medio de la regeneración natural.

Las limitaciones que se pueden presentar solas o combinadas son: relieve escarpado, erosión sufrida severa, suelos poco profundos, texturas en el suelo y subsuelo de muy finas a gruesas, fuertemente pedregosas, muy baja fertilidad, toxicidad y salinidad fuertes, drenaje excesivo o nulo, riesgo de inundación muy severo, zonas de vida seca y pluviales excepto páramo, periodo seco fuerte o ausente, condición de neblina y viento fuerte...”

4.1.4 Conflictos del uso

Con base en la clasificación de la capacidad de uso y el uso de la tierra elaborado para este estudio se procedió a verificar la concordancia en el uso de la tierra y conforme los rangos de pendiente de los terrenos. Estos rangos de pendiente fueron obtenidos al reclasificar un la misma, obtenida modelo de elevación con topografía 1:10.000 del proyecto Terra 1997 del IGNCR, según las clases de pendiente que define el **DE-23214-MAG-MIRENEM** (Ver anexos); a saber (0-3%, 3,1-8%, 8,1-15%, 15,1-30%, 30,1-50%, 50,1-75% y mayor a 75,1%).

Las tierras con uso conforme corresponden a potreros y bosques en terrenos con pendiente inferior a 15% y bosques en terrenos en pendientes superiores a 16%, cualquier otra cobertura no indicada anteriormente como posible representa un conflicto de uso.

Según el descarte realizado de acuerdo con el Cuadro 1 del DE-23214-MAG-MIRENEM, Metodología Determinación Capacidad Uso Tierras Costa Rica y el cruce de variables cartografiadas en sistemas de información geográfica. Un total de 1.010 ha (56%) poseen uso conforme y 790 ha (44%), poseen conflicto de uso. En el mapa de la Figura 4.2 se pueden apreciar los conflictos de uso de la tierra en Paraíso de Chánguena.

No obstante, el DE-23214-MAG-MIRENEM señala que *“En las distintas clases de uso del suelo podrán realizarse las obras de infraestructura civil que posibilita el ordenamiento jurídico, con ajuste a los requisitos previstos para cada caso.”*

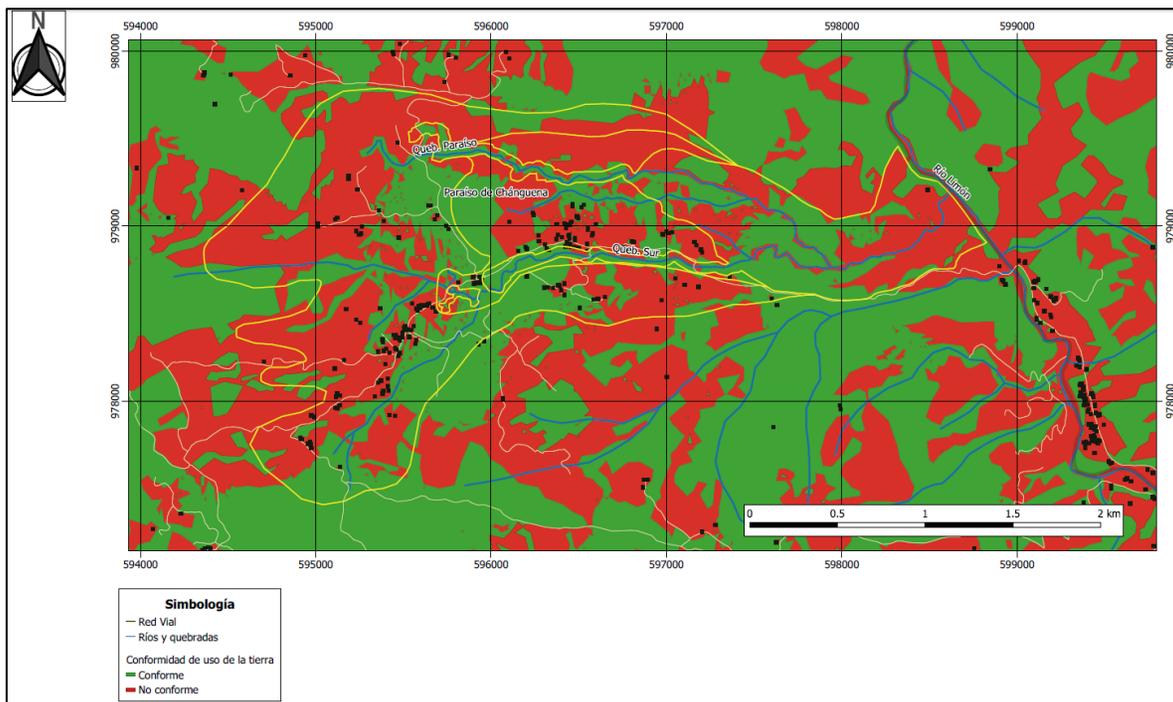


Figura 4.2 Conflictos de uso de la tierra en el área de estudio. Deslizamiento Paraíso de Chánguena, Buenos Aires. Ver mapa en anexos 1905C16-MA-07

4.1.5 Elementos geológicos que influyen en la propuesta de uso del suelo del área de estudio

Como se observó en el capítulo 3 de este informe, el estudio geológico-geotécnico generó la actualización del estado del Deslizamiento Paraíso. De tal forma, se determinaron tres sectores para el deslizamiento: el activo, el latente inferior y el latente superior.

Asimismo, se determinó para el área cubierta por la mencionada amenaza, una valoración de la susceptibilidad al deslizamiento, utilizando la metodología Mora-Vahrson, generándose diversas zonas desde muy baja hasta muy alta susceptibilidad.

Con esta información se procedió a realizar por parte de los profesionales en geología e ingeniería geotécnica participantes en el estudio, una delimitación y valoración de las posibilidades futuras para el desarrollo de infraestructura en la comunidad de Paraíso de Chánguena. El resultado se presenta a continuación, en la sección 4.1.6.

4.1.6 *Propuesta de zonificación de uso del suelo*

Para la propuesta de zonificación, por criterio de experto, los profesionales en geología e ingeniería geotécnica participantes en el estudio optaron por crear una zonificación compuesta por las siguientes delimitaciones del deslizamiento:

- a. El área activa del deslizamiento.
- b. El área latente inferior del deslizamiento.
- c. Las diferentes áreas de susceptibilidad al deslizamiento, no cubiertas por las áreas anteriormente indicadas (incluyendo el área latente superior del deslizamiento)

En los Anexos del presente documento se muestra el mapa con la zonificación supra citada en escala 1:5000.

Posteriormente, para determinar los usos permitidos, se combinaron los resultados obtenidos de analizar la capacidad de uso obtenida a partir del DE-23214-MAG-MIRENEM, Metodología Determinación Capacidad Uso Tierras Costa Rica y la clasificación de infraestructura contenida en el Código sísmico de Costa Rica 2010 (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (2010). Lo anterior por cuanto el mencionado decreto refiere que *“En las distintas clases de uso del suelo podrán realizarse las obras de infraestructura civil que posibilita el ordenamiento jurídico, con ajuste a los requisitos previstos para cada caso.”*

El Cuadro 4.2 se presentan los usos de suelo permitidos, mientras que el Cuadro 4.3 se utiliza de base la Tabla 4.1. del Código Sísmico de Costa Rica 2010, para desglosar la infraestructura permitida específicamente para la comunidad de Paraíso de Chánguena.

Cuadro 4.2. Usos de suelo permitidos según zona y susceptibilidad al deslizamiento, Paraíso de Chánguena, Buenos Aires, Puntarenas

Zona o Susceptibilidad al Deslizamiento	Usos e infraestructura permitida
Susceptibilidad Muy baja	Uso Forestal. Pastos en terrenos con pendiente inferior o igual a 15% Grupos de infraestructura* A, B,C, D, E
Susceptibilidad Baja	Uso Forestal. Pastos en terrenos con pendiente inferior o igual a 15% Grupos de infraestructura* C,D,E
Susceptibilidad Moderada	Uso Forestal. Pastos en terrenos con pendiente inferior o igual a 15% Grupos de infraestructura* D, E
Susceptibilidad Alta	Uso Forestal. Pastos en terrenos con pendiente inferior o igual a 15% Grupo de infraestructura * E
Muy alta (y zona activa de deslizamiento)	Uso Forestal. Pastos en terrenos con pendiente inferior o igual a 15%
Zona Activa	Uso Forestal. Pastos en terrenos con pendiente inferior o igual a 15%
Zona Latente Inferior	Uso Forestal. Pastos en terrenos con pendiente inferior o igual a 15% Grupos de infraestructura * E

*Ver Cuadro 4.3.

Cuadro 4.3. Clasificación de infraestructura para propuesta de uso de suelo, Paraíso de Chánguena, Buenos Aires Puntarenas. Basada en la Tabla 4.1 del CSCR-2010

Grupo	Infraestructura permitida
A Edificaciones e instalaciones esenciales.	<ul style="list-style-type: none"> - Hospitales e instalaciones que posean áreas de cirugía o atención de emergencias. Estaciones de policía y bomberos. - Garajes y refugios para vehículos o aeronaves utilizados para emergencias. Instalaciones y refugios en centros de preparación para emergencias. - Edificaciones y equipo en centros de telecomunicaciones y otras instalaciones requeridas para responder a una emergencia. - Generaciones de emergencia para instalaciones pertenecientes a este grupo. - Tanques de almacenamiento de agua que sean esenciales.
B Edificaciones e instalaciones riesgosas.	<ul style="list-style-type: none"> - Obras e instalaciones utilizadas para la producción, almacenamiento y trasiego de sustancias o químicos tóxicos o explosivos. - Obras que contienen o soportan sustancias tóxicas o explosivas.
C Edificaciones de ocupación especial.	<ul style="list-style-type: none"> - Edificaciones para actividades educativas. - Edificios para centros de salud con 50 o más pacientes residentes. - Edificaciones y otras instalaciones públicas no incluidas en el grupo A.
D Edificaciones de ocupación normal.	<ul style="list-style-type: none"> - Todas las obras de habitación, oficinas, comercio o industria y cualquier otra edificación no especificada en los grupos A,B,C o E.
E Edificaciones misceláneas.	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción agrícola y edificios de baja ocupación. - Galpones y naves de almacenamiento de materiales no tóxicos y de baja ocupación. Tapias y muros de colindancia. - Obras e instalaciones provisionales para la construcción.

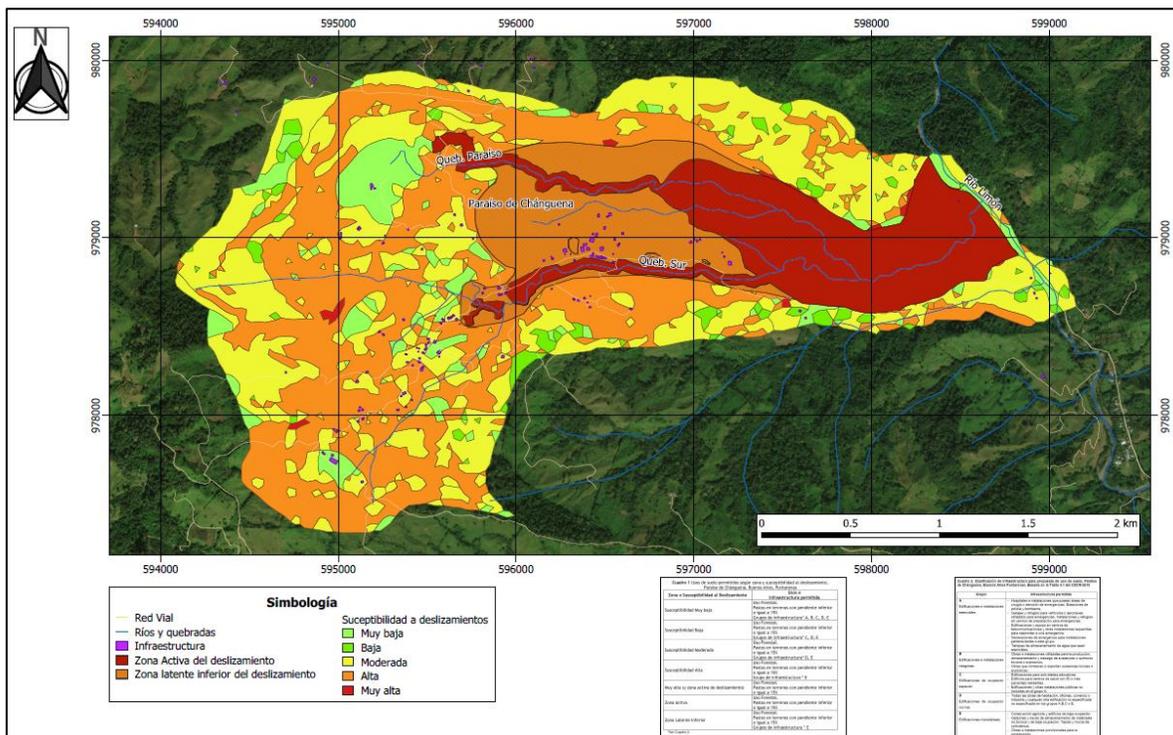


Figura 4.3 Mapa de zonificación propuesta para uso del suelo. Paraíso de Chánguena. Ver mapa en alta resolución en anexos 1605C16-MA-09. Los cuadros no legibles presentados en la imagen corresponden a los cuadros 4.2 y 4.3 mostrados arriba.

4.2 REGISTRO DE EVENTOS CRÍTICOS VINCULADOS AL DESLIZAMIENTO

Para el desarrollo de este apartado se utilizó información contenida en la investigación realizada por Bonilla (2006) y en la Base de Datos Desinventar (Corporación OSSO, 2019), la cual es una herramienta conceptual y metodológica para la construcción de bases de datos de pérdidas, daños o efectos ocasionados por emergencias o desastres. Finalmente se consultó personalmente mediante entrevistas a líderes comunales por los eventos críticos de interés.

Según Bonilla (2006), la parte activa del deslizamiento (sector noreste de la comunidad), tuvo una reactivación con la intensa precipitación de lluvias producida por la influencia del Huracán Mitch en 1998, situación también reportada por Madrigal (1999).

Anterior a 1998 los pobladores de Paraíso entrevistados para este estudio no recuerdan un evento crítico significativo, tal y como también lo indicó Bonilla (2006). Muy posiblemente, durante los huracanes Joan (1988) y César (1996), haya habido condiciones disparadoras similares a las generadas por el Huracán Mitch. No obstante, no se obtuvieron informes o registros directamente relacionados con las consecuencias de dichos fenómenos en el área

de estudio. Otros eventos meteorológicos importantes más recientes fueron: la tormenta Alma (2008), la tormenta Tomás (2010), el Huracán Otto (2016) y la tormenta Nate (2017). Tampoco para estos últimos se señalan afectaciones en el área de Paraíso.

Sin embargo, sí se reconoce que frente a la influencia de eventos meteorológicos que incrementan la precipitación, es común observar en la zona activa del deslizamiento, el avance de cárcavas y coronas de desprendimientos de suelo cercanas a los cauces de agua (Alexis Godínez y Stanley Fernández, comunicación personal, 5 de julio, 2019).

Lamentablemente la base de datos Desinventar no incluye registros para el distrito Chánguena, cantón Buenos Aires para el momento de la consulta.

4.3 CARACTERIZACIÓN SOCIAL DE PARAÍSO DE CHÁNGUENA

4.3.1 *Introducción*

El presente apartado genera una descripción básica de la comunidad de Paraíso de Chánguena, que se localiza en la Región de Planificación Brunca, específicamente en el distrito Chánguena (7), del cantón de Buenos Aires (3), de la provincia de Puntarenas (6). Paraíso de Chánguena puede determinarse como una comunidad rural, de emplazamiento lineal sobre el principal camino de acceso y salida hacia la cabecera del distrito al que pertenece y hacia San Vito de Coto Brus.

El objeto de esta sección es documentar las características de la mencionada comunidad, con miras a iniciar el desarrollo de un Sistema de Alerta Temprana, que a su vez toma en cuenta la actualización desarrollada en este estudio asociada a la condición de la amenaza de deslizamiento.

4.3.2 *Datos demográficos*

Los datos demográficos disponibles para el cantón de Chánguena y específicamente para la comunidad de Paraíso corresponden a los indicados en el Censo del 2011 (INEC, 2011). Para este tipo de descripción se suelen usar datos de los Análisis Situacionales de Salud (ASIS) que realizan las diversas Áreas de Salud, en este caso la de Buenos Aires; no obstante, el último ASIS de esta área es del 2012 (MINSAL, 2012) y la información socio-económica que se desglosa en dicho documento usa de referencia el Censo del 2011. Se consultó al Área de Salud de Buenos Aires por un documento más actualizado, sin embargo se indicó que no existe a la fecha. A continuación, se presentan los datos del INEC (2011).

En el 2011 un total de 2.631 personas fueron contabilizadas por el INEC en el distrito Chánguena, de un total de 45.244 personas en el cantón de Buenos Aires, un 5,8% de la población total de dicho cantón. Asimismo, 89 personas fueron censadas por el INEC

específicamente en Paraíso de Chánguena, para un 3,38% del total de la población del distrito Chánguena y un 0,2% de la población del cantón de Buenos Aires.

El INEC proyectó para el 30 de junio del 2019 un aumento de 7.540 personas para el cantón de Buenos Aires (es decir un aumento de 14,28%), mientras que para el distrito de Chánguena se proyectó un aumento de 275 personas (9,5%), (INEC, 2011). No se cuenta con proyecciones a nivel de barrio o comunidad para Paraíso.

De las 89 personas contabilizadas en Paraíso de Chánguena, 47 fueron de sexo masculino y 42 de sexo femenino. Un total de 18 personas se encontraron en el rango de 0 a 12 años, 9 de 13 a 18 años, 23 entre los 19 y 35 años, 29 personas entre los 36 y 62 años y 6 personas sobre los 63 años, en el 2011 la persona más longeva de Paraíso contaba con 77 años.

En cuanto a la escolaridad de las personas habitantes de Paraíso de Chánguena para el año 2011 se tiene que un 65% no asistía a realizar estudios, mientras que el 35% restante mayoritariamente se encontraba en kínder, escuela o colegio. Solo 3 personas se encontraron haciendo estudios para-universitarios o universitarios. De las personas que contaban en 2011 con la posibilidad de hacer estudios un 48,2% poseía primaria incompleta, 31,3% primaria completa, 6% secundaria incompleta, 1,2% secundaria completa, 4,8% cursaba un grado universitario académico y un 1,2% se encontraba cursando su sexto años en carrera universitaria; un 3,6% de la población no contó con ningún grado de escolaridad, mientras que 2 niños se encontraban en kínder en ese momento.

Sobre las 71 personas de más de 15 años se encontró un 42,3% de ocupación, 21,1% de las personas solo estudian, 32,4% de las personas se dedican a trabajos domésticos y un 4,2% se encontró inactivo. Sobre las 30 personas ocupadas, se encontró que un 50% corresponde a empleados del sector privado, un 20% trabaja por cuenta propia, un 13,3% son ayudantes de oficios que no reciben remuneración, un 10% son patronos con empleados fijos, un 3,3% son empleados públicos y un 3,3% son empleados en casas particulares.

Del total de 30 personas mayores de 15 años ocupadas, se segregaron por grupo ocupacional, teniéndose que un 53,3% corresponde a peones agrícolas, 33,3% a agricultores y trabajadores calificados, mientras que cada una de las categorías de educador, trabajador de servicios personales, operarios y conductores presentaron un 3,3%.

El Censo 2011 contabilizó 30 viviendas, de las cuales un 80% habitualmente se encuentran ocupadas y el 20% restante de las casas se encontró desocupadas. De las viviendas ocupadas un 66,7% consiste en casa propia y totalmente pagada, 20,8% es prestada por motivo de trabajo, 8,3% es alquilada y un 4,2% posee otra figura de cesión del bien.

De las viviendas ocupadas se contabilizó que el acceso de agua proviene en un 58,3% de ríos y quebradas, un 37,5% por acueducto manejado por la Asada de Paraíso y 4,2% adquiere el agua mediante pozo. Un 87,5% de las viviendas ocupadas cuentan con electricidad suplida por el Instituto Costarricense de Electricidad, 12,5% de las viviendas no contaban con este servicio. La principal fuente de cocción de alimentos en estas viviendas ocupadas es mediante leña y carbón con 45,8%, seguido por un 37,5% de los casos que cocina con electricidad y 16,7% mediante gas.

Los servicios sanitarios de estas viviendas utilizan tanques sépticos y letrina, con una distribución de 75% y 25%, respectivamente. En esta comunidad un 54,1% de las viviendas queman los desechos, mientras que 45,9% disponen de los desechos enterrándolos o en un hueco.

4.3.3 Infraestructura comunal

La principal obra de infraestructura de Paraíso es su red vial local, misma que suma un total aproximado 32,8 km lineales de camino de grava, con un ancho regular de 5 m, con 4 puentes de 1 vía y varios pasos de agua con alcantarillas de quebradas y cuerpos de agua menores. Para su atención y mantenimiento existe un Comité de Caminos (ver apartado 4.3.5).

La corroboración de campo para la elaboración del mapa de uso de la tierra permitió la verificación y registro de infraestructura comunal puntual. En el Cuadro 4.4 se detalla un listado de esta.

Cuadro 4.4 Infraestructura comunal de Paraíso de Chánguena

Nombre	Ubicación Coord. CRTM05	Estado infraestructura
Liceo de Paraíso	596.403-978.928	Aceptable
Escuela de Paraíso	596.426-978.979	Aceptable
Asada de Paraíso	595.421-978.276	Aceptable
Cementerio de Paraíso	595.758-978.984	Aceptable
Plaza de Deportes de Paraíso	596.381-979.002	Aceptable
Iglesia Católica	596.479-978.930	Aceptable
Iglesia Evangélica 1	596.483-978.877	Aceptable
Iglesia Evangélica 2	595.495-978.380	Aceptable

* Elaboración propia, Julio 2019

4.3.4 Servicios de emergencia disponibles desde Paraíso de Chánguena

Como se indicó en la comunidad no existe un Comité Local de Emergencias (se requiere definir), se cuenta con un radio y operador para reportes diarios a la CNE. La atención de Policía, Cruz Roja y Bomberos se realiza desde San Vito de Coto Brus, es posible realizar llamadas de emergencia mediante telefonía celular con redes 3 y 4 G, principalmente desde terrenos localizados a una altitud igual o superior a la que se encuentra una torre de telecomunicaciones (aproximadamente 900 msnm), muy cercana al centro de la localidad.



Figura 4.4 De izquierda a derecha y de arriba abajo: Escuela, Iglesia Católica, Casa de Salud, Cementerio, Asada y tanque quiebra gradiente del acueducto, en el sector de la Escuela.

4.3.5 Inventario de organizaciones en Paraíso de Chánguena

En Paraíso de Chánguena a la fecha se han contabilizado siete organizaciones comunales; cuatro formales o que poseen una condición jurídico-administrativa en el marco de la institucionalidad estatal, las cuales obtienen sus recursos mediante la gestión propia de las organizaciones en el marco legal en que se les permite. Asimismo, existen tres organizaciones conformadas de hecho, que funcionan a base del aporte de las personas de la comunidad que de alguna u otra forma participan; la movilidad y disponibilidad de los vecinos que conforman estos comités hace que su composición sea variable. Lo anterior así indicado por algunos de los principales actores clave de la comunidad. A continuación, el Cuadro 4.5, presenta las organizaciones vigentes y los principales líderes que las representan:

Cuadro 4.5 Organizaciones comunales vigentes de Paraíso de Chánguena.

Nombre de la organización*	Tipo	Persona representante
Asada de Paraíso	Formal	Hugo López
Junta de Educación Liceo de Paraíso	Formal	Marino López
Patronato Escolar	Formal	Robert López
Junta de Educación Escuela de Paraíso	Formal	Leila Rivera
Comité de Caminos	De hecho	Álvaro Mora
Comité de Salud	De hecho	Guillermo Marín
Comité de Deportes	De hecho	Marino López

Fuente: Elaboración propia, Julio, 2019

No existe un Comité Local de Emergencias, se intentó concretar uno en años anteriores (Alexis Godínez, comunicación personal, 5 de julio, 2019), el señor Stanley Fernández indico que en un pasado se creó a nivel comunal un Comité de Emergencias, sin embargo no fue efectivo su funcionamiento (comunicación personal, 5 de julio, 2019). Stanley Fernández mantiene un radio troncalizado con la CNE, que emite reportes de las condiciones climáticas y efemérides relacionadas a riesgos y amenazas tres veces al día. Dicho radio opera de forma intermitente por fallas técnicas y de acceso a las frecuencias

radiales que se utiliza (Stanley Fernández, comunicación personal, 5 de julio, 2019). Stanley Fernández consideró que la inexistencia de un Comité Local de Emergencias obedece a la falta de activismo por el trabajo comunal.

Existió en Paraíso, en la década de los noventa del siglo pasado, la Asociación de Productores Agrarios Unidos, en el marco de la cesión de algunas parcelas agropecuarias por parte del antiguo Instituto de Desarrollo Agrario; no obstante por los costos de operación administrativa se abandonó dicho esfuerzo, don Alexis Godínez (comunicación personal, 5 de julio, 2019), consideró que al contar con varias organizaciones que actualmente atienden el abastecimiento de agua potable, mantenimiento de camino, educación y salud, no se ha tenido la urgencia de contar con alguna asociación de desarrollo integral o asociación de desarrollo específica adscrita a la Dirección Nacional de Desarrollo de la Comunidad. No se cuenta con un salón comunal para la operación de los diferentes comités, se utiliza para tales efectos una sección destinada para reuniones en el Liceo de Paraíso, su utilización se hace mediante coordinación con la directora actual del centro educativo. Finalmente en la comunidad no existen grupos organizados en materia socio-ambiental, de mujeres o destinados a la atención de la persona adulta mayor.

4.3.6 *Principales actividades económicas*

La comunidad de Paraíso constituye un poblado o cacerío propio del distrito Chánguena, cantón de Buenos Aires. Se trata de una zona de vocación agropecuaria, donde a la vista desde su red vial es posible detectar una importante actividad ganadera de engorde, en razón del área cubierta por pastos, aunque también se observan tierras dedicadas al cultivo anual de café y a otros cultivos estacionales como plátano, frijol, maíz y tubérculos.

El VI Censo Nacional Agropecuario 2014 del INEC no permite determinar la cantidad de fincas y proceso productivo al que se encuentran sometidas, ya que el inventario se realiza por cantón, como unidad mínima geoespacial para el censo. Por dicha razón también fue difícil acceder a algún dato económico relativo a la producción agropecuaria de la comunidad.

No obstante, mediante el análisis de uso de la tierra se pudo conocer que de las 1.800 ha que constituyen el área de estudio para la presente consultoría, el 47% (842 ha) de las tierras se encuentran dedicadas al pasto, mientras que solo un 2% (43 ha) se encuentran destinadas a cultivos anuales y estacionales, con lo que se confirma que la actividad ganadera de engorde es la principal actividad económica de Paraíso. A pesar de que algunos de sus pobladores también poseen parcelas fuera de la comunidad (Álvaro Mora, comunicación personal, 5 julio, 2019).

En Paraíso de Chánguena existen dos expendios de abarrotes e insumos para el agro, así como la escuela y liceo de la comunidad, que emplean pocas personas a nivel de servicios.

4.4 IDENTIFICACIÓN Y SEÑALAMIENTO DE INFRAESTRUCTURA VULNERABLE ANTE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

La determinación de la infraestructura vulnerable se logró mediante la elaboración de un mapa resultado de la combinación de tres productos cartográficos; a saber, el Inventario de infraestructura, derivado de la digitalización de techos de las fotografías aéreas utilizadas para la elaboración del mapa de uso de la tierra (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Figura 4.1), la delimitación de las zonas activas y latentes del deslizamiento en el Mapa Geológico (Anexos) y el Mapa de Susceptibilidad al Deslizamiento (Anexos). De esta forma se pudo obtener la siguiente información (Cuadro 4.6), derivada del mapa mostrado en la Figura 4.5:

Cuadro 4.6 Infraestructura según zona y susceptibilidad al Deslizamiento Chánguena

Zona o Susceptibilidad	Infraestructura	Cantidad	Sub-Total
Zona Activa	Agropecuaria	1	1
Zona Latente Inferior	Agropecuaria	30	69
	Comercio	1	
	Educación	3	
	Iglesia	2	
	Deporte	1	
	Salón parroquial	1	
	Salud	1	
	Tanque agua	1	
	Telecomunicaciones	1	
	Residencial	29	
Susceptibilidad Alta	Agropecuaria	48	51
	Comercial	1	
	Residencial	2	
Susceptibilidad Moderada	Agropecuaria	13	58
	Comercial	1	
	Residencial	44	
Susceptibilidad Baja	Residencial	4	4
Susceptibilidad Muy Baja	Agropecuaria	8	18
	Residencial	10	
TOTAL			201

* Elaboración propia, Julio 2019.

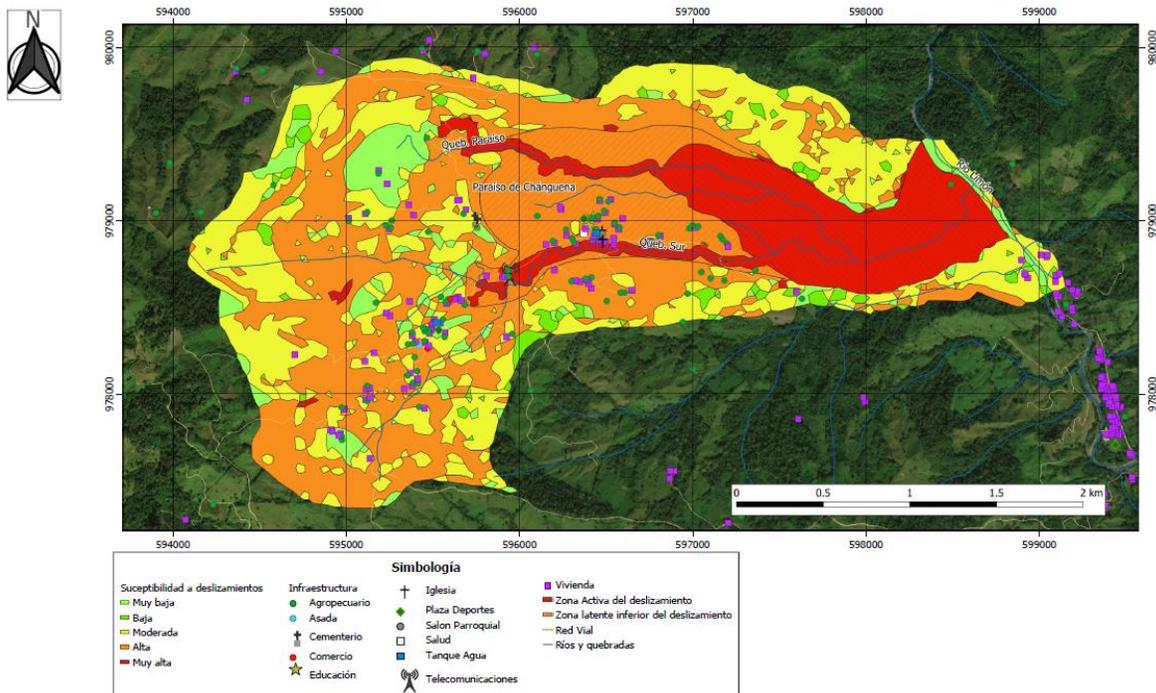


Figura 4.5 Mapa de Infraestructura Vulnerable, Paraíso de Chánguena. Ver mapa en anexos 1605C16-MA-08

Como se desprende del Cuadro 4.6, la Zona Activa se encuentra deshabitada, más no así la Zona Latente Inferior, donde se encuentra asentada la mayor cantidad de población residente en Paraíso, seguida de las áreas de susceptibilidad moderada. La menor concentración de infraestructura agropecuaria y residencial se encuentra en áreas de susceptibilidad al deslizamiento bajas y muy bajas. El camino de la comunidad discurre por las diferentes zonas y áreas susceptibles al deslizamiento.

4.5 ANÁLISIS DE LA PERCEPCIÓN COMUNAL DEL RIESGO AL DESLIZAMIENTO

Para este tema, se procedió a contactar a algunas personas líderes de la comunidad de Paraíso, con una pequeña entrevista que permitió presentar el estudio en mención y a su vez conocer el grado de conocimiento de la amenaza y las implicaciones para las familias y finalmente para la comunidad.

De esta manera se conversó entre los días 5 y 6 de julio del 2019 con Stanley Fernández de la Asada de Paraíso, Leila Rivera de la Junta de Educación Escuela de Paraíso, Álvaro Mora del Comité de Caminos y Alexis Godínez líder comunal. En todos los casos (salvo para don Stanley Fernández), se reconoció la gravedad de la amenaza, aunque la localizan en el sector aguas arriba de la confluencia del Quebrada Paraíso y el río Limón, distante según su criterio del área actualmente poblada de Paraíso. Para don Stanley Fernández el

deslizamiento posee un avance significativo y en todos los casos reconocen que altas precipitaciones potencian los movimientos en masa.

Con ellos y otros líderes se procedió a planificar un taller comunal, que permitiera documentar con más personas de la comunidad la percepción a la amenaza, después de que el equipo de Carbón Ingeniería S.A. presentó los resultados de las investigaciones geológicas y geotécnicas hasta la fecha realizadas por esta consultoría. A continuación, los detalles y resultados de dicho taller.

4.5.1 Taller comunal, Paraíso de Chánguena, Buenos Aires. 26 de julio, 2019

a. Presentación

Este documento permite hacer una síntesis de objetivos, participantes y procedimientos utilizados para el desarrollo de un taller comunal en Paraíso de Chánguena de Buenos Aires, con motivo de satisfacer la vinculación de la población de dicha localidad en el marco de los términos de referencia del cartel de contratación directa “Estudio Estabilidad de Laderas Deslizamiento Paraíso”, Chánguena de Buenos Aires, de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE).

b. Fecha y localización del evento

Viernes 26 de julio del 2019, 3 pm. Liceo Rural de Paraíso de Chánguena, Buenos Aires.

c. Participantes

Se contó con la participación de 32 personas de la comunidad de Paraíso de Chánguena, entre ellas presentes alrededor de 9 líderes comunales y la M.Sc. Yorleny Borbón, directora del Liceo Rural de Paraíso de Chánguena (ver lista de Asistencia en Anexo 1).

Por parte de la CNE se tuvo la participación del Geól. Julio Madrigal y por parte de Carbón Ingeniería se contó con la participación del Ing. Adrián Ulloa Leitón, M.Eng. como coordinador del equipo, el Ing. Geólogo Francisco Cervantes, M.Sc. y el Geóg. Mario Hernández Villalobos, M.Sc.

d. Objetivos

- Brindar información y resultados preliminares del estudio que se realiza sobre el Deslizamiento Chánguena.
- Obtener la percepción del riesgo de la amenaza que representa la convivencia en la zona del Deslizamiento Chánguena.

- Brindar información sobre las características y requerimientos para el diseño de un sistema de alerta temprana para la comunidad de Paraíso de Chánguena.
- Determinar posibles integrantes para conformar un comité local que participe en el desarrollo y atención permanente del sistema de alerta temprana que se determine para el Deslizamiento Paraíso.

e. Procedimiento y principales resultados

- I. Recepción: Control de ingreso, firma de lista de asistencia. Se levantó la lista de asistencia, misma que es visible en el Anexo 1.
- II. Presentación de la actividad: Mario Hernández realizó una breve presentación de los objetivos y agenda de la actividad a la concurrencia.
- III. Presentación de las actividades contempladas en el estudio: Adrián Ulloa presentó las características del estudio que se realiza sobre el Deslizamiento Paraíso para la CNE.
- IV. Presentación de los resultados del estudio geológico y geotécnico: Francisco Cervantes y Adrián Ulloa, presentaron los resultados preliminares obtenidos de la caracterización geológica y geotécnica de la comunidad de Paraíso por la presencia del Deslizamiento Chánguena (ver copia de la presentación en los Anexos).
- V. Presentación: ¿Qué es un sistema de alerta temprana, para qué sirve? Mario Hernández. Para esto se utilizó la información contenida en la Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SAT) en América Central. 2012. Proyecto Regional DIPECHO VII. UNESCO. CEPREDENAC. Las filminas producidas para la inducción de este tema se encuentran visibles en copia de la presentación en los Anexos.
- VI. Presentación de video de sobre vuelo de drone sobre la zona activa del Deslizamiento Paraíso realizado por el Geól. Julio Madrigal de la CNE. Con este video, fue apreciable reconocer las zonas activas y latentes del deslizamiento, principalmente asociadas al cauce de la quebrada Paraíso.

Durante la presentación del video el Geól. Julio Madrigal de la CNE y el Geól. Francisco Cervantes de Carbón Ingeniería S.A. fueron señalando ejemplos de fenómeno, tanto en sus zonas activas como latentes, mostrando su relación con la infraestructura residencial, comunal y el camino de la localidad.
Con esta actividad los participantes de la comunidad tuvieron la oportunidad de reconocer sectores de Paraíso, así como fincas o parcelas de vecinos específicos que han venido teniendo afectación por el avance de cárcavas y escarpes.
- VII. Taller: Mapeo de la comunidad de zonas e infraestructura vulnerable. Responsable: Mario Hernández.

Con la ayuda de la proyección de una fotografía aérea, que contenía sobre puesta la información geológica del deslizamiento y los principales ríos y quebradas de la comunidad, se procedió a calcar por parte de personas de la comunidad de dichos elementos, para posteriormente, uno a uno los representantes de las diferentes familias, con la ayuda del personal de Carbón Ingeniería S.A. ubicaban sus viviendas, propiedades y la infraestructura comunal, con respecto a las zonas activas y latentes del deslizamiento Chánguena (ver fotografías de Figura 4.6 y Figura 4.7).

Finalmente, mediante plenaria, los vecinos de la comunidad de Paraíso reconocieron los siguientes elementos, que se constituyen como percepción del riesgo por la amenaza del Deslizamiento Paraíso:

- Existe una exposición de la comunidad de Paraíso a la amenaza del Deslizamiento Chánguena, por el avance hacia el oeste de su zona activa y la presencia de infraestructura residencial, agropecuaria y comunal, así como la afectación del camino y puentes sobre la quebrada Sur y río Limón (denominado por los vecinos como Limoncito).
- Se considera que se debe revisar por parte de la CNE y la Municipalidad de Buenos Aires, por obras civiles que permitan desacelerar el avance de la zona activa. Asimismo, se reconoció procesos de reforestación de zonas con pastos en fuerte pendiente como mecanismo a largo plazo para el control de la erosión y saturación de agua del suelo; reconocen la necesidad de capacitación en estas buenas prácticas agropecuarias.
- Se estima importante la organización comunal en un Comité Local de Emergencias, que responda a un sistema de alerta temprana; sin embargo se considera que la comunidad debe recibir capacitación para operar adecuadamente.



Figura 4.6 De izquierda a derecha y de arriba abajo: Control de asistencia mediante registro voluntario, Exposición del Geól. Francisco Cervantes de Carbón Ingeniería S.A., Exposición del Ing. Adrián Ulloa de Carbón Ingeniería S.A., Mapeo comunitario para obtención de percepción del riesgo de la comunidad de Paraíso.

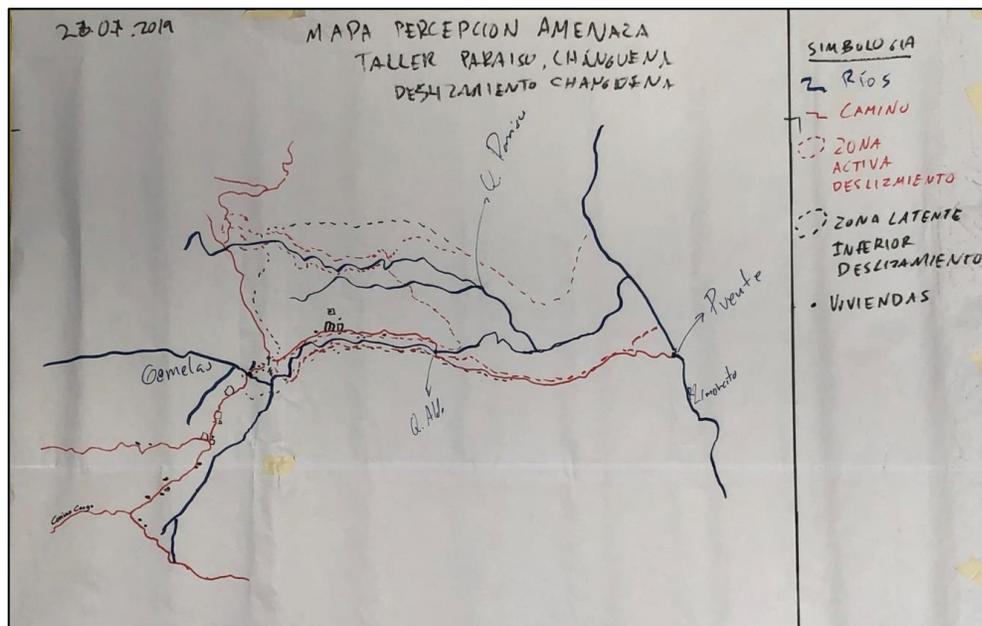


Figura 4.7 Producto cartográfico desarrollado por la comunidad de Paraíso, sobre percepción de la amenaza, con las viviendas, propiedades y la infraestructura comunal vulnerable por el Deslizamiento Chánguena.

- VIII. Consulta a la concurrencia por líderes que podrían conformar un comité para el sistema de alerta temprana, levantamiento de lista de voluntarios. En el Cuadro 4.7 se muestra la información de las personas interesadas en conformar el Comité Local de Emergencias que sustentaría, mediante un proceso de capacitación, el aporte comunal al Sistema de Alerta Temprana.

Cuadro 4.7 Personas de la comunidad interesadas en conformar un futuro Comité Local de Emergencias, Paraíso de Chánguena

Nombre	Identificación	Teléfono
Ennia Villalobos Rodríguez	2-498-890	8625-0755
Álvaro Mora Fernández	1-571-107	8642-0179
Yeison Hidalgo Flores	1-979-852	Sin dato
Guillermo Marín Garita	1-823-649	8594-6796
Yamileth Rivera	6-261-754	8531-4237
Alexis Godínez Mendes	6-181-375	8649-8012
Marino López Fallas	1-787-805	8770-0444
Stanley Fernández Segura	1-549-578	8950-4946
Uriel Bello Godínez	6-436-368	8943-2929
María Iris Godínez	6-167-883	8756-7449
Yorleny Borbón Campos	6-209-739	8466-8292
Leila Rivera Mora	1-680-687	8323-9319

* Elaboración propia, Julio 2019. Información personal de uso exclusivo de la CNE.

- I. Fin de la actividad.

4.6 ASPECTOS POSITIVOS Y NEGATIVOS IDENTIFICADOS

4.6.1 *Degradación ambiental*

Como se describió anteriormente, la comunidad de Paraíso de Chánguena es un poblado rural cuyas actividades económicas se sustentan en la ganadería de engorde, seguida del cultivo de café y otros cultivos estacionales, de forma tal que los principales aspectos ambientales que derivan de la degradación de los paisajes suceden por tales actividades. Asimismo, se tiene aquellos aspectos derivados del mantenimiento de las familias en sus hogares, generándose desechos sólidos y líquidos ordinarios, que no poseen un adecuado tratamiento.

Los aspectos positivos observados en este eje a partir de las entrevistas y el taller comunal es que existe en Paraíso de Chánguena, la cohesión social necesaria para la constitución de alguna organización que lidere la mejora ambiental, ya sea a nivel de actividades económicas, como a nivel familiar.

Se observó durante el taller la reflexión de sus participantes sobre la degradación de los suelos mediante la eliminación de coberturas boscosas y como esto ha potenciado el avance en las zonas activas del deslizamiento. Se conoció que algunos vecinos ya cuentan con iniciativas particulares de reforestación de sus parcelas, con lo que una organización social que facilite el acceso a información y recursos para mejores prácticas de conservación de suelos, manejo de residuos sólidos y líquidos, entre otros; podría conducir a la mejora de la degradación ambiental en Paraíso, la que podría catalogarse como importante, por la extensión de área en pastos para la ganadería de engorde.

4.6.2 *Gestión del riesgo*

En Paraíso de Chánguena se tiene plena conciencia de la amenaza que representa la cercanía a las zonas activas y latentes del deslizamiento estudiado. Lo anterior ha permitido la asimilación de la necesidad de la organización comunal, aunque sea de manera informal para la atención de eventos que han afectado el desenvolvimiento comunal, como la inhabilitación del camino hacia San Vito en un pasado por el desprendimiento de una gran roca que debió ser fracturada para la facilitación del flujo personal y vehicular por el mismo.

Según información suministrada por pobladores, en determinado momento se generó la acreditación municipal de un Comité Local de Emergencias, mismo que dejó de funcionar debido a que varios de sus integrantes optaron por dejar de vivir en Paraíso de Chánguena. Sin embargo, según desprende de las observaciones y conclusiones del taller con la comunidad, existe nuevamente un alto interés de sus vecinos por formar parte de un nuevo

comité. Se debe tener presente que el señor Stanley Fernández indicó que mantiene un radio troncalizado con la CNE, donde realiza según la disponibilidad de frecuencia radial, hasta 3 reportes al día con efemérides climatológicas.

4.6.3 *Trámites de construcción- Plan Regulador*

Con respecto a este tema se debe indicar que en la comunidad de Paraíso de Chánguena, se maneja el temor de que futuras construcciones residenciales y comerciales se les deniegue los respectivos permisos de construcción por ocasión a la cercanía al deslizamiento bajo estudio. Lo anterior por cuanto en el pasado se denegaron algunos permisos por parte de la municipalidad, a pesar de que dicho ayuntamiento no posea un Plan Regulador que cubra la zona estudiada por esta consultoría.

En este sentido, los resultados del estudio en curso, una vez revisados y validados por la CNE podrían ser de uso de la Municipalidad de Buenos Aires para las zonificaciones que correspondan en nuevas propuestas de planificación territorial para dicho cantón.

Lo anterior es importante por cuanto los vecinos de Paraíso de Chánguena son conscientes de la amenaza que tienen en su comunidad y el establecimiento de restricciones o posibilidades de uso de la tierra, basadas sobre información actualizada y precisa, mejorarían la relación entre administrados y municipio.

4.6.4 *Salud- Educación*

Si bien no se pudo acceder a información más precisa y reciente producida por el Área de Salud de Buenos Aires sobre los principales determinantes de la salud en Paraíso de Chánguena, no se conoció de algún aspecto particular fuera de lo común en esta comunidad, mucho menos que exista algún factor determinante de padecimientos derivado del mecanismo de deslizamiento.

Por su parte, en el tema de educación se pudo conocer que la niñez y población joven atienden sus procesos educativos en la comunidad, para lo cual la misma posee la organización social requerida para el mantenimiento y adecuada operación tanto de la escuela como del liceo rural de la comunidad.

Aquella población superior a los 45 años, por razones históricas ha quedado rezagada con los aspectos académicos; no obstante, se pudo constatar en el taller comunal de la existencia de pocas personas sin la capacidad de lecto-escritura.

La población joven realiza una menor participación en las cuestiones comunales que la población adulta y adulta mayor. Se percibió un interés de parte de la directora del liceo de la comunidad (M.Sc. Yorleny Borbón), por los resultados del estudio en curso, por cuanto el Ministerio de Educación Pública lleva adelante una iniciativa de ampliación del Liceo Rural de Paraíso de Chánguena en las cercanías del actual emplazamiento del centro educativo y además porque se pretende formar a los estudiantes del liceo con la información más reciente y oficial que se posea sobre el deslizamiento bajo estudio y su eventual sistema de alerta temprana.

4.7 ESCENARIOS DE INTERVENCIÓN DEL ESTADO Y MUNICIPIO

Aunque existan posibles escenarios de intervención del estado y el municipio por la existencia de la amenaza del Deslizamiento Paraíso, se reconocen dos como sus principales escenarios:

Escenario 1: Consiste en la apropiación de los resultados de este estudio por parte de la CNE y que los mismos sean trasladados a la Municipalidad de Buenos Aires para futuras planificaciones territoriales, donde el crecimiento de la infraestructura comunal y comercial sea posible pero contenida a las áreas menos activas del deslizamiento y se genere a su vez procesos de mejoramiento en las prácticas de conservación suelos en terrenos superiores a 15% de pendiente medida en campo y la inversión en obras civiles que permitan la desaceleración del avance de la sección activa del deslizamiento.

Escenario 2: Consiste en una postura conservadora por parte de la CNE y el Municipalidad de Buenos Aires que genere el reasentamiento de las familias y parcelas de la comunidad de Paraíso de Chánguena en otros sectores, lo que representa un proceso lento que requiere de la inversión estatal en estudios de nuevas propiedades para uso de estas familias, con su respectivo proceso psico-social que demanda, por efecto de desarraigo social de un lugar con más de 40 años de asentamiento agrario.

A manera de recomendación, desde una perspectiva meramente social, se considera valorar el Escenario 1 como prioridad de intervención estatal ante el Escenario 2., siempre y cuando exista la reducción del riesgo mediante actividades antrópicas que reviertan la velocidad del avance de la zona activa del deslizamiento. Lo anterior ya que los procesos de reasentamiento individual (familia) o grupal (familias o toda la comunidad), representan intervenciones onerosas, no necesariamente exitosas desde un punto de vista social, por las afecciones psico-sociales que genera el desarraigo en algunos casos, principalmente cuando las comunidades principalmente se conforman por personas adultas y adultas mayores, como es el caso en Paraíso de Chánguena.

4.8 OPCIONES PARA LA TRANSFERENCIA DEL RIESGO

Como se pudo apreciar en el apartado 4.3.6, las principales actividades económicas o que representan inversión privada, son aquellas referidas a la producción agraria, fundamentalmente la ganadería de engorde y cultivos anuales y estacionales en mucho menor medida.

De esta manera, las posibilidades de transferencia del riesgo de pérdidas derivadas de efectos directos sobre terrenos e indirectos sobre la infraestructura agropecuaria y el camino de acceso y salida de Paraíso por efecto del Deslizamiento Paraíso se reducen a la adopción de pólizas de aseguradoras nacionales sobre producción agropecuaria.

Según se investigó en el Instituto Nacional de Seguros (INS), para el año 2019 (INS, 2019), las opciones de aseguramiento agrícola y pecuario por los que podrían optar los vecinos de Paraíso son los siguientes:

- **Seguro Agrícola:** Se ofrece distintas opciones de protección ante riesgos relacionados con fenómenos naturales así como plagas y enfermedades incontrollables según el esquema de aseguramiento que mejor se adapte las necesidades (Seguro de Inversión con Ajuste a Rendimiento, Seguro por Planta Muerta y Seguro de Daño Físico Directo). El Seguro Agrícola cubre una amplia gama de cultivos como los siguientes: Arroz, Banano, Café, Palma Aceitera, Frijol, Piña, Caña de Azúcar, Forestales, Raíces y Tubérculos, Hortalizas, Ornamentales, Frutales. Según el tipo de cultivo con el que se trabaje se puede aplicar el esquema de seguro ya establecido por el Instituto.
- **Seguro Pecuario:** Cubre ganado bovino, equino, bufalino y porcino en caso de enfermedad, por accidente, muerte durante el parto. Adicionalmente se puede optar por cubrir muerte durante el transporte y destace ilegal. Para determinar el valor asegurado, primero se determina el tipo de ganado, que puede ser de carne o de leche.

4.9 PROPUESTA PARA INCORPORAR LA INFORMACIÓN GENERADA AL PLAN REGULADOR

Actualmente la Municipalidad de Buenos Aires posee un plan regulador urbano, que no incluye zonificaciones específicas para sus sectores rurales, que son la mayoría del territorio.

Esta municipalidad debe desarrollar un Plan Regulador con información actualizada, mismo que debe incluir la variable ambiental, debidamente avalado por la Secretaría Técnica Nacional Ambiental, conforme el Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (Manual EIA-Parte III), (Decreto Ejecutivo 32967-MINAE), que indica cómo introducir la variable ambiental en dichas herramientas de planificación.

Específicamente, la información geológica producida en este estudio, una vez avalada por la CNE, podría incluirse por parte de la Municipalidad de Buenos Aires en el desarrollo del Índice de Fragilidad por Geoptitud y con base en los resultados de este y los índices explicitados en el anterior decreto, generar las zonificaciones que resulten apropiadas, revisando además los planteamientos de uso de la tierra determinados en este informe.

Además, podrá incluirse la información social y participativa desglosada en este informe, para las planeaciones de los procesos de participación pública requeridos en un futuro desarrollo de Plan Regulador para Buenos Aires.

4.10 PROPUESTA DE UNA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN SOCIAL A CINCO AÑOS PLAZO

En razón a la intervención social requerida para el adecuado tratamiento de la gestión del riesgo por cercanía a la amenaza que representa el Deslizamiento Paraíso para la comunidad de Paraíso, se plantea el siguiente plan de acción:

Cuadro 4.8 Plan de acción, Propuesta de Intervención Social, 5 años plazo.

Año	Objetivo	Actividad	Responsable
1	Analizar, ajustar y oficializar la información producida por la consultoría sobre el Deslizamiento Chánguena.	Formalizar la información oficial y actualizada sobre el Deslizamiento Chánguena.	CNE
2	Formalizar el Comité Local de Emergencias.	Verificar la disponibilidad de los vecinos voluntarios Juramentar el Comité Local de Emergencias.	CNE y Municipalidad de Buenos Aires
2	Facilitar el acceso a formación de los vecinos de Paraíso en mejores prácticas agropecuarias para la reducción de huella ecológica y procesos erosivos.	Coordinación capacitaciones con Instituto Nacional de Aprendizaje, Ministerio de Agricultura y Ganadería y Ministerio de Ambiente y Energía.	Municipalidad de Buenos Aires
2	Generar capacidades locales para la implementación del Sistema de Alerta Temprana.	Ejecutar plan de capacitación al Comité Local de Emergencias y a la comunidad de Paraíso.	CNE
2 y 3	Aplicar controles de desarrollo de infraestructura y cambios de uso de la tierra en Paraíso de Chánguena.	Aprobar y tramitar ante el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo el Plan Regulador Cantonal con la Variable Ambiental Aprobada y con una adecuada aplicación del Proceso de Participación Ciudadana.	Municipalidad de Buenos Aires
3 y 4	Ejecutar Sistema de Alerta Temprana.	Instalar y poner en marcha sistema de monitoreo Poner en marcha la participación del Comité Local de Emergencias en el Sistema de Alerta Temprana.	CNE y Comité Local de Emergencias
5	Evaluar el Sistema de Alerta Temprana y proponer ajustes para su mejor desempeño.	Ejecutar Evaluación.	CNE y Comité Local de Emergencias

* Elaboración propia, Julio 2019.

4.11 INVOLUCRAMIENTO DE LA MUNICIPALIDAD DE BUENOS AIRES

Como parte del ejercicio de involucramiento con la Municipalidad de Buenos Aires, misma que posee la jurisdicción territorial de la comunidad de Paraíso, en el distrito Chánguena, se procedió al inicio del estudio a establecer el vínculo con dicha institución. Para lo cual se remitió el oficio 1905C16-S-01-CAR el 24 de junio del 2019, solicitando un espacio a la Alcaldía para consultar el área o departamento de dicha municipalidad con la que se podría tratar técnicamente los resultados, conclusiones y recomendaciones del estudio que refiere este informe, para efectuar una presentación de las características y plan de

trabajo convenido entre Carbón Ingeniería S.A. y la CNE, así como de los profesionales a cargo de este estudio.

Transcurrido el tiempo para obtener una respuesta formal de la Alcaldía, se procedió a contactar por la vía telefónica al M.Sc. José Rojas Méndez, alcalde de Buenos Aires, mismo que ofreció un espacio en sesión del Concejo Municipal para el día 23 de septiembre, 2019. Dicho espacio fue formalizado por la mencionada alcaldía mediante el oficio con fecha del 3 de setiembre, 2019.

En sesión del Concejo Municipal de Buenos Aires del día 23 de septiembre del 2019, se realizó la presentación con los resultados del estudio. La presentación realizada, los oficios antes mencionados, los registros y conclusiones del evento se presentan en el Anexo A.7.

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE VIGILANCIA Y ALERTA TEMPRANA DEL DESLIZAMIENTO

5.1 GENERALIDADES

Los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) se definen como sistemas que permiten recopilar y administrar información acerca de un posible desastre (en este caso un deslizamiento de grandes dimensiones), comunicar la información de manera oportuna y eficiente a los interesados para facilitar la toma de decisiones (por ejemplo, por parte de la CNE o el Estado) y alertar a la población en el momento adecuado para salvaguardar sus vidas. El esquema básico de un SAT se muestra en la Figura 5.1

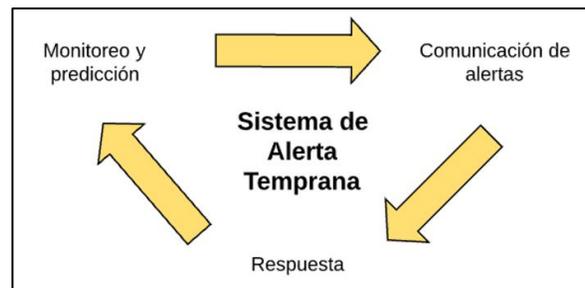


Figura 5.1. Esquema básico de un Sistema de Alerta Temprana

En esta sección se presenta el planteamiento del Sistema de Vigilancia y Alerta Temprana de deslizamiento (SATD) para la comunidad de Paraíso de Chánguena, donde se incluyen aspectos generales asociados a la instrumentación a implementar en el área afectada, a nivel de monitoreo hidrometeorológico y de desplazamientos del terreno, así como los aspectos asociados a los procedimientos operativos del sistema (alertas y protocolos).

Como premisas para el diseño de este sistema de alerta temprana, se contempló lo siguiente:

- La instrumentación para el monitoreo deberá ser lo más simple posible (cumpliendo con los objetivos asociados a un SAT) y deberá permitir el involucramiento de miembros de la comunidad en la toma de lecturas y en la comunicación de la información compilada.
- Existen dos mecanismos principales disparadores de inestabilidad en el deslizamiento de Paraíso de Chánguena: lluvias (intensas y/o prolongadas) y sismos fuertes.

- El esquema de alertas está en función de la posibilidad de que se presenten eventos meteorológicos que puedan superar los umbrales establecidos de lluvia en el área de Paraíso.
- Para eventos sísmicos no se podrá establecer un Sistema de Alerta Temprana como tal, pero sí la activación de un sistema de respuesta, que toma en consideración las aceleraciones sostenidas e intensidades estimadas para la zona, por parte del Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica, producidas por el movimiento telúrico. Esto a partir de datos compilados por estaciones acelerográficas próximas al área de interés.
- Se incluye instrumentación para monitoreo de desplazamientos del terreno para determinar oportunamente cambios en la velocidad de progreso del deslizamiento (particularmente del límite de su zona activa). Se utiliza la clasificación de Cruden y Varnes (1996) para clasificar el movimiento.
- La disposición de evacuar a la población de la comunidad considera un nivel razonable de seguridad y se basa en los umbrales de seguridad establecidos mediante las mediciones de las variables consideradas.
- La estructura local de emergencias debe recibir la información oportunamente para tomar las medidas de protección necesarias. Deben existir mecanismos a nivel comunitario que permitan a la población recibir instrucciones antes y durante la emergencia, con el fin de salvaguardar vidas.

5.2 DISEÑO DEL MONITOREO HIDRO METEOROLÓGICO

Para establecer un sistema de alerta que dependa de criterios lluvia/ deslizamiento, la ocurrencia de deslizamientos tiene que ser correlacionada con la duración/intensidad de lluvias. Por lo tanto, es importante recopilar todos los registros de lluvia que se encuentran disponibles dentro del área de interés cada vez que haya una tormenta que active deslizamientos. También es de ayuda contar con reportes de testigos en lo que se refiere al tiempo de ocurrencia de los deslizamientos, para que la lluvia horaria pueda ser comparada con las ocurrencias. Toma una cierta cantidad de eventos para construir una relación estadística válida entre lluvia e inicio de deslizamientos (Cordero, 2012).

Actualmente dicha correlación no se tiene, por lo que se empleará una relación generalizada presentada por Ramos (2015) para zonas tropicales de la dependencia de lluvia acumulada (E) antes de la ocurrencia del proceso de deslizamiento en un tiempo dado, la cual se describió en la sección 3.6 de este documento.

Utilizando esta relación, durante los eventos de lluvia que se presenten en la zona se debe comparar en tiempo real la precipitación acumulada en el tiempo, respecto a la curva

limitante. Ante la posibilidad de que se presente registros por arriba de la curva limitante, se activarían los protocolos del SAT. Existe entonces una relación de proporcionalidad directa entre el tiempo de duración de la lluvia antecedente y la cantidad de lluvia para que se genere deslizamiento (Figura 5.2).

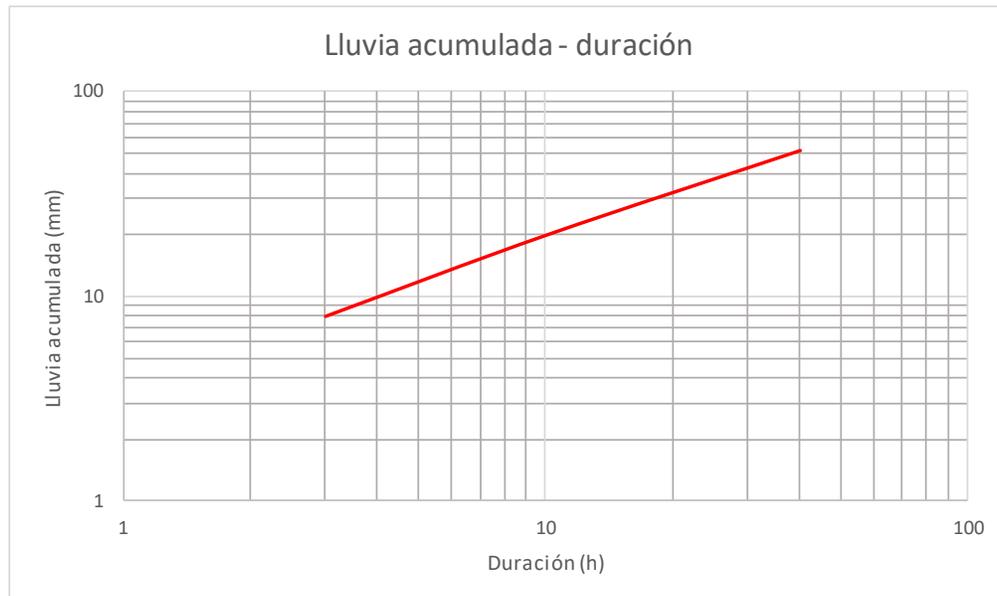


Figura 5.2. Umbral de posibles deslizamientos. Lluvia acumulada-duración (ED) límite. Valores de lluvia por arriba de la línea roja se considera que podrían generar deslizamientos en la zona
Fuente: Ramos et al, 2015

Se propone la instalación de dos pluviómetros electrónicos en el área de Paraíso, por temas de redundancia (en caso de que uno de los dos deje de funcionar durante una emergencia). Las ubicaciones serían las que se muestran en el Cuadro 5.1. El pluviómetro 01 se instalaría en la entrada a la Escuela de Paraíso, mientras que el 02 en el terreno del Sr. Alexis Godínez. Los datos medidos por los dos pluviómetros se compararían con la curva umbral de la Figura 5.2. La instalación, mantenimiento y monitoreo de los datos asociados a estos instrumentos deberán ser realizados por las instancias correspondientes del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), en coordinación con la CNE y la Comisión Municipal de Emergencias (CME).

Cuadro 5.1 Ubicación propuesta para instalación de pluviómetros

Pluviómetro	X	Y
PI-01	596430.19	978963.98
PI-02	595595.56	978549.70

Los pluviómetros deberán ser de tipo “Cubeta basculante con sifón”, electrónicos, con una resolución de por lo menos 0.2 mm y adecuados para mediciones de precipitación de alta intensidad, con un rango de medición de 0 a por lo menos 700 mm/h.

Los pluviómetros, deberán contar con un armario de fibra de vidrio, batería de 12Ah y panel solar de 10 W. Dentro del armario se instalaría un datalogger con modem celular 3G y 4G, igual o similar al CR300-CELL215 de Campbell Scientific. De esta manera, su funcionamiento no dependería del suministro eléctrico público y la transmisión de datos solamente requiere de la cobertura celular que actualmente se tiene en la zona.

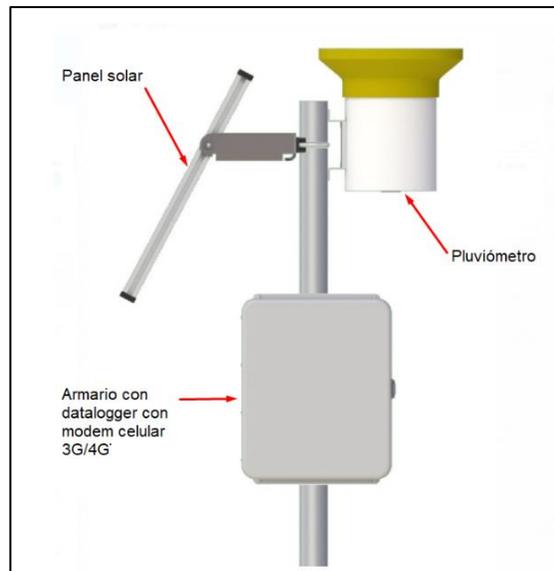


Figura 5.3. Esquema de montaje propuesto para pluviómetros. Fuente: Campbell Scientific, 2019

5.3 PROPUESTA DE MEDICIÓN DE DESPLAZAMIENTOS DEL TERRENO

5.3.1 Técnicas de monitoreo

El monitoreo de deslizamientos se basa en el principio de determinar los cambios de distancias, alturas, ángulos o las coordenadas relativas de puntos de control (monumentos) distribuidos en la zona de estudio (Abidin et al, 2004). Existen diversas técnicas que permiten obtener información relacionada al movimiento de un deslizamiento, sin embargo, no todas son aplicables a movimientos de grandes dimensiones, tal como ocurre en este caso. Las opciones valoradas se muestran en el Cuadro 5.2.

Cuadro 5.2 Métodos y técnicas de medición para deslizamientos

Método/Técnica	Resultados	Rango Típico	Precisión Típica
Cinta de precisión	Cambio de distancia	< 30 m	0,5 mm/30 m
Extensómetro de cable fijo	Cambio de distancia	< 10-80 m	0,3 mm/30 m
Varilla para la apertura de grietas	Cambio de distancia	< 5 m	0,5 mm
Desplazamiento desde el inicio	Diferencia de coordenadas (2D)	< 100 m	0,5-3 mm
Triangulación	Diferencia de coordenadas (2D)	< 300-1000 m	5-10 mm
Oblicuo/polígono	Diferencia de coordenadas (2D)	Variable, usualmente < 100 m	5-10 mm
Nivelación	Cambio de altura	Variable, usualmente < 100 m	2-5 mm km ⁻¹
Precisión de nivelación	Cambio de altura	Variable, usualmente < 50 m	0,2-1,0 mm km ⁻¹
EDM (Medición electrónica de distancia)	Cambio de distancia	Variable, usualmente 1-14 km	1-5 mm + 1-5 ppm
Fotogrametría terrestre	Diferencia de coordenadas (3D)	Idealmente < 100 m	20 mm desde 100 m
Fotogrametría aérea	Diferencia de coordenadas (3D)	H volado < 500 m	10 cm
Clinómetro	Cambio de ángulo	± 10°	± 0,01-0,1°
Teodolito de precisión	Cambio de ángulo	Variable	± 10°
Monitoreo con GPS	Diferencia de coordenadas (3D)	Variable	2-5 mm + 1-2 ppm

Fuente: Zárate, 2011

Para el deslizamiento de Paraíso de Chánguena se propone la utilización de las siguientes técnicas de monitoreo de desplazamientos del terreno:

a. Monitoreo GPS:

Teniendo como premisa la implementación de sistemas cuyo funcionamiento sea sencillo y que la comunidad pueda tener una participación activa en su control, se plantea la construcción de una red de monitoreo topográfico utilizando GPS.

El GPS (Global Positioning System) es un sistema de posicionamiento global, radionavegación y medida de tiempo con el uso de satélites, puesto en funcionamiento por los Estados Unidos en los años ochenta y utilizado, desde los años noventa para todo tipo de posicionamiento topográfico y en Geodesia, donde se incluye el control de movimientos del terreno en laderas inestables (Gili, 2003).

Para la obtención de datos precisos es necesario utilizar un procedimiento denominado **DGPS** (Differential GPS), que incluye el uso simultáneo de dos o más receptores basados en código. En este sistema, un receptor ocupa un punto denominado estación base, del

cual se conocen las coordenadas precisas y el otro receptor o receptores que ocupan las estaciones de interés y cuyas coordenadas se desconocen.

El principio para establecer movimientos de ladera utilizando el procedimiento DGPS se basa en obtener una variación matemática de las coordenadas de un punto (estación) dentro de un rango de tiempo. La posición relativa se la obtiene mediante la diferencia entre la última y la primera medición.

La configuración de la red de monitoreo se muestra en la Figura 5.4. Las estaciones de monitoreo GPS se distribuyeron específicamente en el área del deslizamiento latente inferior. No se incluyeron en el área activa, dado que es una zona que presenta cambios casi a diario y en un periodo muy corto de tiempo posiblemente los puntos de control se perderían. Tampoco se incluyeron en la zona latente superior, pues es un área donde no se esperan cambios considerables asociados al movimiento en el corto plazo.

El área latente inferior toma importancia en ser monitoreada, dado que es el sitio donde se concentra la mayor parte de obras de infraestructura de Paraíso y porque es donde se puede determinar directamente el avance de la zona activa.

Se plantea ubicar las estaciones de monitoreo en varias líneas definidas a aproximadamente 50m, 125m, 225m y 325m respecto al límite actual de la zona activa (Julio, 2019). Las alertas asociadas a desplazamientos del terreno estarían en función del promedio de la tasa de movimiento que se registre en el conjunto (velocidad del deslizamiento según clasificación de Cruden y Varnes (1996), Cuadro 5.3). Sin embargo, a futuro, en función del comportamiento de los desplazamientos que se registren, se pueden agrupar los puntos con respuesta similar entre sí. Se debe reportar y registrar, con el paso del tiempo, cuáles puntos se van perdiendo, producto del progreso de la zona activa.

En la escogencia de los sitios para los puntos de control, se procuró en la mayoría de los casos, que estuvieran en sitios con poca o nula vegetación, para así facilitar la recepción satelital de los sistemas GPS así como su acceso.

La estación base (o de referencia), se ubicaría en la zona del deslizamiento latente superior, específicamente frente a la propiedad de don Alexis Godínez Méndez. El punto se ha escogido pues se ubica en la parte alta del pueblo, en un sitio donde no se esperarían movimientos del terreno en el corto o mediano plazo.

Cuadro 5.3 Velocidad de los movimientos (Adaptado de Cruden y Varnes, 1996)

Clase	Descripción	Velocidad (mm/s.f.)	Desplazamiento	Poder Destructor
7	Extremadamente rápida	5×10^3	5 m/seg.	Catástrofe de violencia mayor; edificios destruidos por el impacto o el material desplazado, muchas muertes, escape improbable.
6	Muy rápida	5×10^1	3 m/min	Alguna pérdida de vidas; velocidad demasiado alta para permitir a todas las personas escapar.
5	Rápida	5×10^{-1}	1.8 m/hora	Escape posible; estructuras, propiedades y equipos destruidos.
4	Moderada	5×10^{-3}	13 m/mes	Algunas estructuras temporales y poco sensitivas pueden mantenerse temporalmente.
3	Lenta	5×10^{-5}	1.6 m/año	Construcciones remediales se pueden realizar durante el movimiento. Algunas estructuras insensitivas pueden mantenerse con mantenimiento frecuente.
2	Muy lenta	5×10^{-7}	16 mm/año	Algunas estructuras permanentes no son dañadas por el movimiento.
1	Extremadamente lenta			Movimientos imperceptibles sin instrumentos; posible construcción pero teniendo ciertas precauciones.

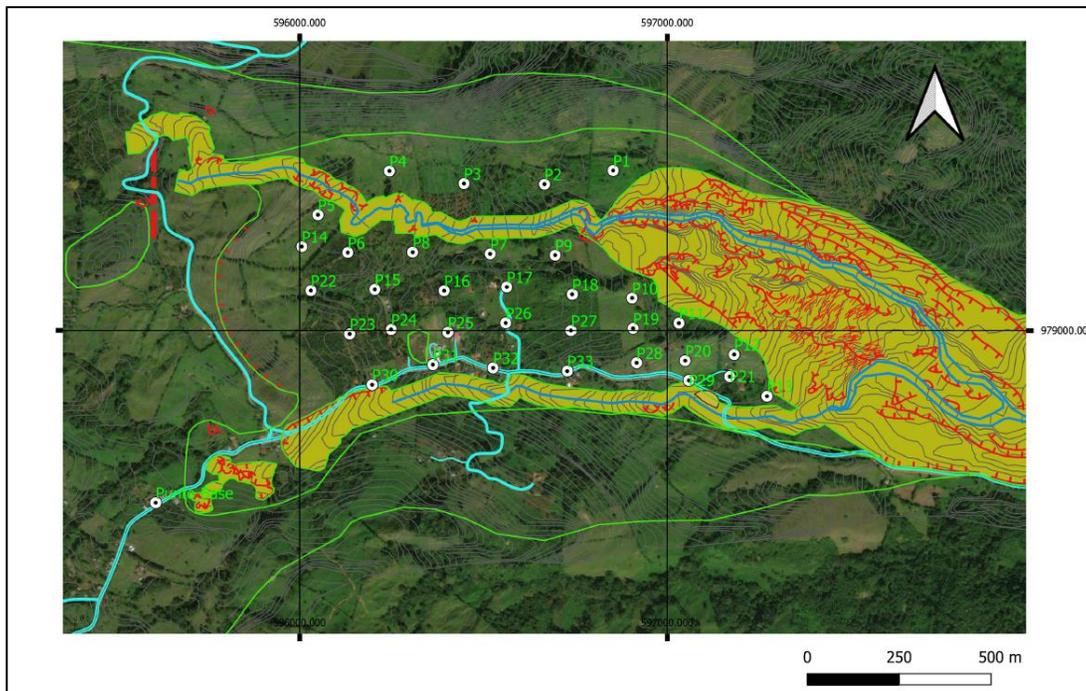


Figura 5.4 Red de puntos de monitoreo GPS para el área de deslizamiento latente inferior

Las coordenadas asociadas a los puntos de control, se muestran en el Cuadro 5.4.

Cuadro 5.4 Coordenadas propuestas para puntos de monitoreo GPS
(Coordenadas CRTM05)

GPS	X	Y	GPS	X	Y
P1	596852.753	979434.639	P17	596563.943	979118.11
P2	596666.77	979397.382	P18	596742.177	979098.141
P3	596447.406	979399.171	P19	596906.939	979005.791
P4	596244.137	979433.148	P20	597048.571	978918.119
P5	596049.51	979314.227	P21	597169.877	978874.902
P6	596130.878	979211.698	P22	596030.286	979108.424
P7	596518.64	979208.121	P23	596135.945	978990.396
P8	596307.621	979212.592	P24	596248.905	979002.616
P9	596695.681	979204.545	P25	596403.593	978994.867
P10	596904.282	979088.162	P26	596561.047	979020.44
P11	597031.583	979020.052	P27	596738.60	978999.636
P12	597181.799	978934.81	P28	596916.437	978912.295
P13	597271.214	978821.551	P29	597058.522	978864.315
P14	596005.697	979227.792	P30	596197.342	978852.473
P15	596204.496	979111.553	P31	596362.722	978906.985
P16	596393.459	979107.977	P32	596526.696	978898.183
			Punto Base	595610.12	978531.904

Tanto la estación base como las estaciones de monitoreo requieren de un trabajo de construcción sencillo, correspondiente a un mojón de concreto de 1.25m de profundidad y 20 cm de diámetro. Se debe dejar embebida en su centro una varilla de acero corrugado No5 con una pequeña perforación en su centro de 3mm de diámetro que permita la colocación de la punta del bastón del receptor GPS (ver Figura 5.5).



Figura 5.5 Mojones de concreto a construir para colocación de la punta del bastón del receptor GPS

Para este monitoreo se plantea en primera instancia la compra de una estación móvil con una precisión de posicionamiento GNSS diferencial horizontal de 0.25m (+1ppm RMS) y vertical de 0.5m (+1ppm). Se deberá brindar capacitación a mínimo dos personas de la comunidad, de tal manera que ellos se encarguen de la compilación de los datos mediante el equipo suministrado. La medición de los puntos deberá realizarse con una frecuencia mensual. De detectarse un aumento en la velocidad de los desplazamientos, dicha frecuencia deberá también aumentarse (lecturas quincenales, semanales o diarias).

De considerarse muy onerosa esta opción, se podría valorar el uso de un GPS de mano con kit topográfico igual o similar al modelo Garmin GPSMAP 64S Topográfico, con Antena y Montura (ver Figura 5.6). Sin embargo, debido a que su precisión es más limitada (+-1.0m), se requerirían campañas semestrales de verificación realizadas por un profesional en topografía con equipos como los descritos en el párrafo anterior.



Figura 5.6 Equipo GPS Garmin GPSMAP 64S con kit topográfico

b. Fotogrametría aérea y/o LIDAR:

El objetivo de la aplicación de técnicas de fotogrametría digital a los análisis y estudios de movimientos de ladera, es mejorar la calidad de los datos y cartografías; tanto a nivel de inventario (espacial y temporal) como de factores determinantes y desencadenantes. La aplicación del LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) se centra en la obtención de modelos digitales del terreno de gran precisión, que prestan

apoyo a la elaboración del inventario de movimientos, a su utilización como factor determinante y, en última instancia, permite obtener datos sobre la actividad de los movimientos, mediante el contraste entre modelos digitales del terreno correspondientes a vuelos seriados en el tiempo (diferentes vuelos temporales sobre la misma zona) (Fernández, 2011).

Estas metodologías se plantean para contar con nuevos insumos para estudios futuros sobre el deslizamiento de Paraíso de Chánguena, con el fin de optimizar los modelos de susceptibilidad y riesgo presentados en este trabajo. Se puede programar una campaña fotogramétrica o LIDAR de forma anual

c. Levantamiento geológico de la línea activa del deslizamiento.

Adicional al control instrumental, se propone realizar levantamientos geológicos semestrales de la línea activa del deslizamiento, para la determinación de la tasa de avance de dicha línea y realizar comparaciones respecto a las mapeadas por Bonilla (2006), Cervantes (2019) o la CNE. El trazado de la línea se puede realizar con equipo GPS convencional de mano (Precisión GPS $\pm 3m$).

No se ha considerado el uso de extensómetros de cable (o cuerda) en el área del deslizamiento, debido a que la mayoría de los terrenos donde se han detectado escarpes actualmente siguen siendo utilizados para ganadería. El paso de animales (como vacas o caballos) podría dañar de manera frecuente estos sistemas, que además tendrían aplicaciones muy puntuales en un área tan grande. Los extensómetros de cuerda permiten medir los desplazamientos del terreno en superficie y controlar la apertura y cierre de grietas en suelos, macizos rocosos y estructuras. Constan de un sensor de desplazamiento uniaxial capaz de recoger datos de variación de la longitud entre dos pernos o varillas ancladas en el terreno o en estructuras y unidos por un cordel de acero (Figura 5.7).

Estos sí se podrían utilizar eventualmente cuando se detecten fisuras o escarpes próximos a estructuras tales como viviendas u obras de infraestructura de la comunidad.

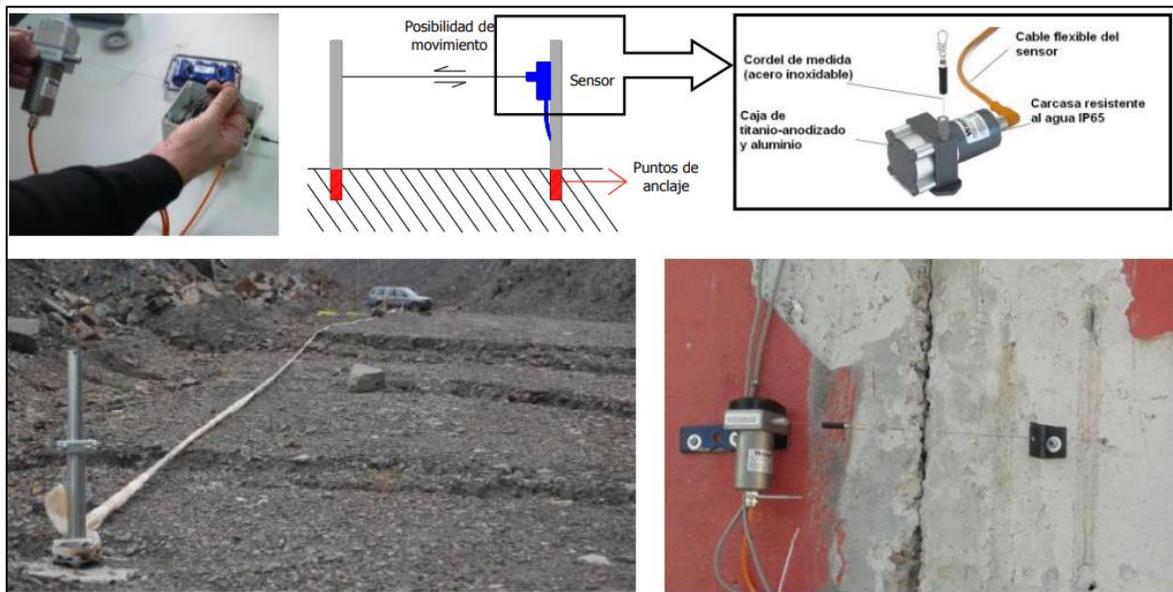


Figura 5.7 Extensómetros de cable Fuente: Oliva, 2015

Tampoco se ha planteado la utilización de inclinómetros de varilla o tipo TDR (Time Domain Reflectometry) pues se requieren perforaciones profundas para su instalación. Es necesario que las perforaciones donde se coloquen estos instrumentos sobrepasen la superficie de falla del deslizamiento. Su uso podría ser provechoso a futuro si se desea investigar a un nivel mayor de detalle el modelo de falla del deslizamiento.

5.3.2 Esquema de monitoreo de desplazamientos

En la Figura 5.8 se muestra el esquema D1, que describe la participación de los pobladores en el monitoreo de desplazamientos del terreno y en el traslado de la información compilada, a otras instancias nacionales para su análisis y toma de decisiones:

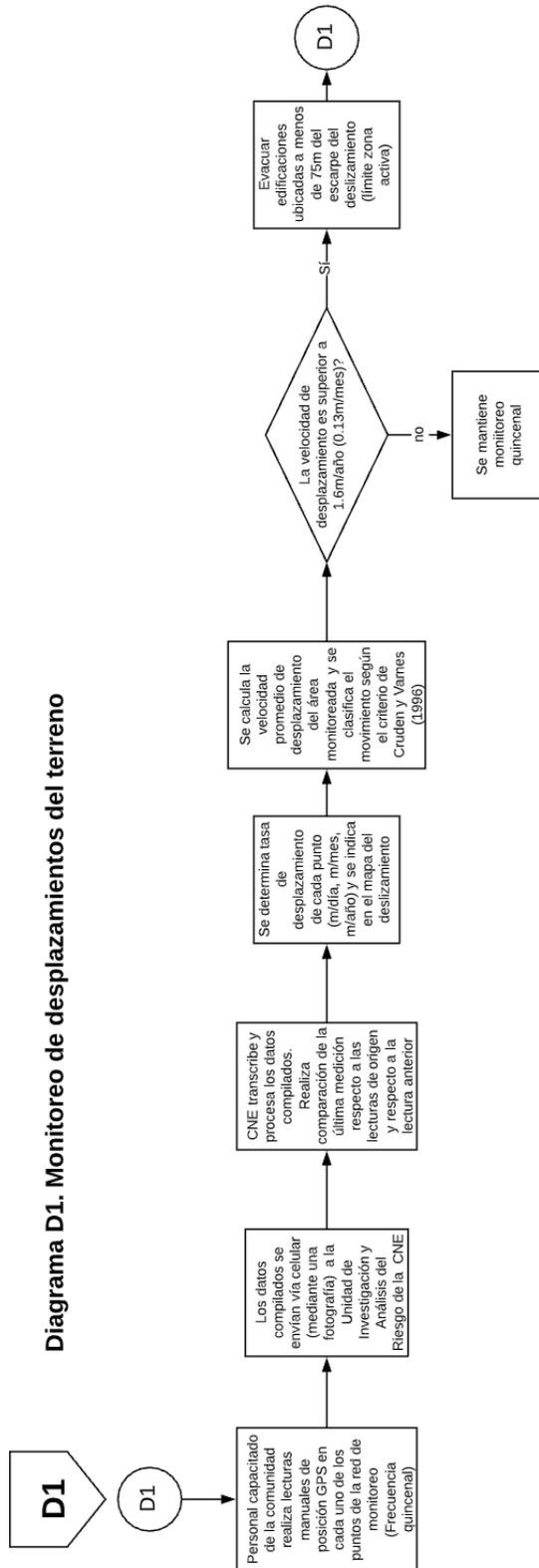


Figura 5.8 Diagrama de flujo D1. Monitoreo de desplazamientos del deslizamiento de Paraíso de Chánguena

5.4 PROPUESTA DE MEDICIÓN DE DESPLAZAMIENTOS EN ESTRUCTURAS

En caso de que el avance del deslizamiento empiece a generar daños en edificaciones o en obras de infraestructura de la comunidad (camino, puentes, edificios públicos, etc), se propone la instalación de los siguientes equipos. Se han identificado dos propiedades en las cercanías de la zona activa del deslizamiento, señaladas en la sección 3.7.1 de este documento, donde se podrían instalar estos sistemas o versiones simplificadas de los mismos:

a. Extensómetros de grietas

La utilización de estos extensómetros permite controlar el comportamiento (apertura, cierre y deslizamiento) entre los extremos de las grietas existentes en las paredes de las edificaciones. Cada unidad extensométrica puede albergar en su interior dos o tres sensores que miden el desplazamiento lineal en la dirección del propio sensor con una precisión de $\pm 0,01$ mm. En la Figura 5.9 puede observarse un extensómetro de dos sensores (biaxial) y otro de un sensor (axial).

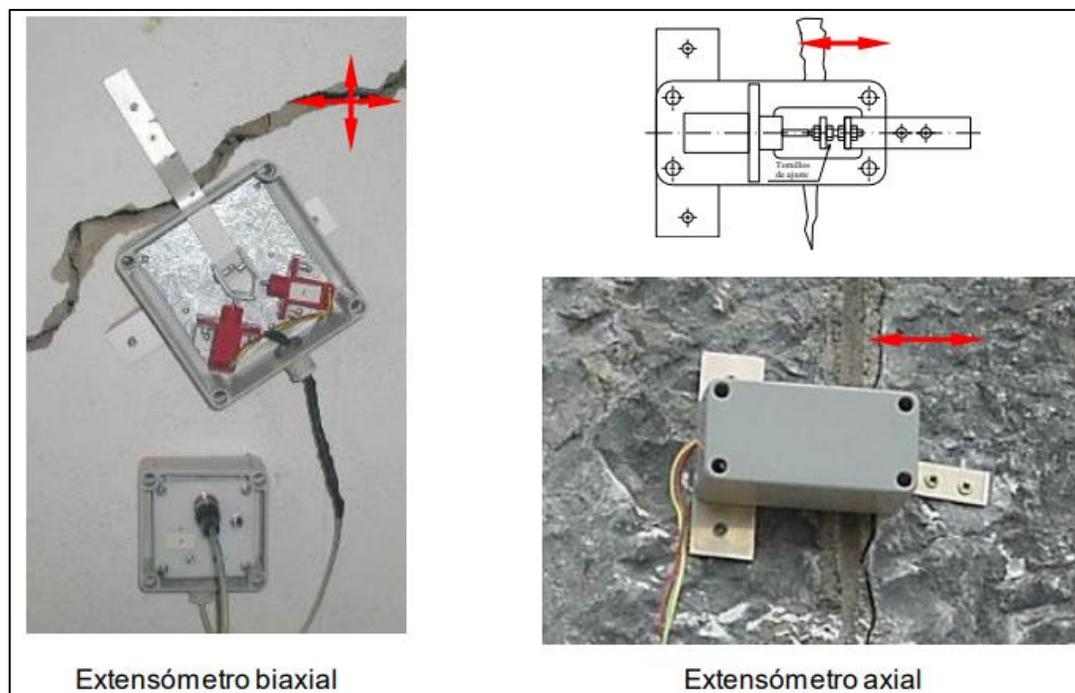


Figura 5.9 Extensómetros de grietas. Fuente: Oliva, 2015

La versión simplificada de estos sistemas correspondería a fisurómetros de pared, cuyas lecturas se pueden realizar de forma manual. En dicho caso, los controles deberían ser llevados a cabo por los dueños de las propiedades.

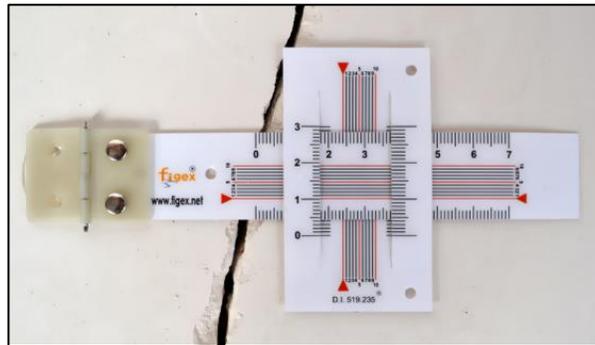


Figura 5.10 Fisurómetro de pared de dos direcciones, de 0.1mm de resolución. Fuente: figex.net

b. Inclínómetros de pared

Estos instrumentos se utilizan para detectar la inclinación de los elementos donde se instalan según dos canales, uno paralelo y otro perpendicular a la misma. Permiten monitorear la pérdida de verticalidad en elementos estructurales producto de movimientos del terreno. Se pueden utilizar también en viviendas, niveles de burbuja con el mismo objetivo, como equipo alternativo.

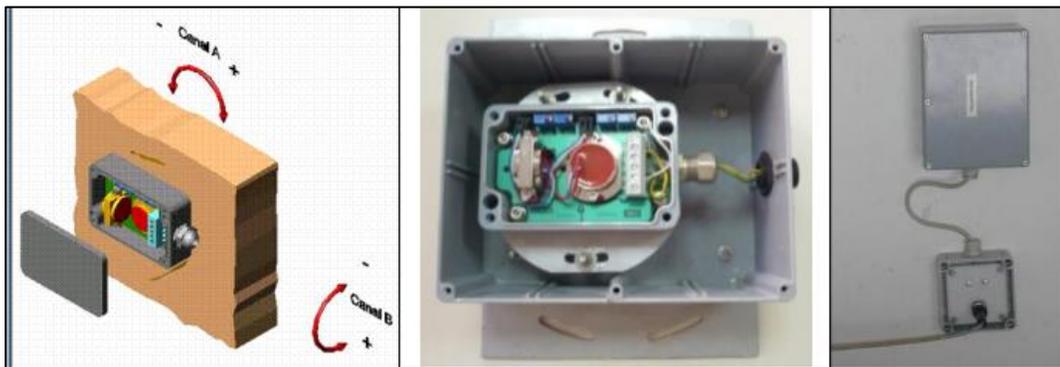


Figura 5.11 Inclínómetros de pared. Fuente: Oliva, 2015

5.5 PROPUESTA DE MEDICIÓN DE NIVELES DE AGUA EN EL CAUCE

No se ha considerado la implementación de sistemas de medición de niveles de agua en las quebradas que recorren el deslizamiento, pues la información que se obtendría no sería determinante en la toma de decisiones dentro del Sistema de Alerta Temprana propuesto. Es el efecto acumulado del paso del agua el que genera problemas de erosión en las márgenes, que se traducen posteriormente en el progreso de la zona activa del deslizamiento. Además, en la parte baja de la cuenca de estas quebradas (en su descarga

al río Limón), no existe un riesgo directo asociado a inundación de viviendas de la comunidad de Paraíso, ya que son zonas deshabitadas.

Además, por el tipo de cauces, la instalación de los equipos sería altamente susceptible a dañarse, y de hacerse, su costo de mantenimiento sería elevado.

5.6 ALERTAS Y PROTOCOLOS PARA POSIBLES DESLIZAMIENTOS PROVOCADOS POR LLUVIAS

Los procedimientos presentados en esta sección toman como base los desarrollados para el Proyecto Piloto sobre Sistema de Alerta Temprana (SAT) para Amenazas Hidrometeorológicas en Costa Rica (Oreamuno y Quirós, 2013). Se han realizado las adaptaciones correspondientes al tipo de amenaza (deslizamientos causados por lluvias) y a las condiciones particulares del área estudiada. Esto podría facilitar la implementación del Sistema de Alerta Temprana en la comunidad y en las diferentes instituciones involucradas.

5.6.1 Definición de tipos de alertas

- **Alerta verde:** Es conocida como la fase informativa. Indica que se debe estar atento al comportamiento y evolución del evento monitoreado, así como de las alertas que se continuarán emitiendo. En esta alerta todos los miembros del Comité Comunal de Emergencias (CCE), coordinadores de subcomités, población en riesgo e instituciones y medios de comunicación colectiva son advertidos de que existen o se presentarán condiciones hidrometeorológicas desfavorables que podrían tener la capacidad de activar movimientos del terreno en el área de Paraíso.
- **Alerta amarilla:** Corresponde a un aumento en la alerta donde los diferentes equipos e instituciones involucradas inician preparativos para ejecutar las acciones dirigidas a enfrentar el impacto del evento y sus consecuencias. Es conocida como la fase de preparación. Según la definición de la CNE, esta se establece “*Cuando el evento mantiene una tendencia ascendente de desarrollo y se considera inminente su impacto o se presentan situaciones moderadas de emergencia asociadas o no a la presencia del evento*”.

En la alerta amarilla se ejecutan las siguientes acciones:

- Se informa y se activa a todos los miembros del Comité Comunal de Emergencias,
- Se verifican los suministros existentes
- Se revisan protocolos de emergencia de los organismos de primera respuesta.
- Se hace un listado de los medios de transporte para evacuación disponibles.

- Se moviliza personal a la zona según lo amerite la situación.
- Se habilitan albergues temporales.
- **Alerta roja:** Esta alerta indica la inminente materialización del evento. Según indica la CNE, esta se establece “*Cuando un fenómeno se manifiesta y genera impacto en el país o en un área significativamente grande de una o varias regiones*”. En este caso sería directamente en la comunidad de Paraíso de Chánguena.
 - En la alerta roja se ejecutan las siguientes acciones:
 - Se procede con evacuación masiva de personas en zonas de riesgo a zonas seguras.
 - Se movilizan recursos para la atención del evento.
 - Inicia recuento de daños y análisis de información.

5.6.2 *Advertencias, avisos e informes meteorológicos*

Se utilizan las definiciones presentadas por Oreamuno y Quirós (2013), como parte de los insumos requeridos en la toma de decisiones en cada uno de los procedimientos propuestos:

- **Advertencia:** Se emite cuando el riesgo de un evento meteorológico peligroso se ha incrementado de manera significativa, pero la ubicación o el momento de su ocurrencia es todavía incierto. Su objetivo es proporcionar información con suficiente tiempo de antelación para quienes necesitan activar sus planes de acción.
- **Aviso:** Se emite cuando un evento meteorológico o hidrológico peligroso se está produciendo. Un aviso se utiliza para condiciones que representan una amenaza para la vida o la propiedad.
- **Informe meteorológico:** Se emite para informar sobre los efectos reales de fenómenos hidrometeorológicos en el área de Paraíso.

5.7 PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS DEL SAT (DIAGRAMAS DE FLUJO)

En esta sección se esquematizan los procedimientos operativos siguientes:

1. Comunicación de eventos (Diagrama P1, Figura 5.12)
2. Acciones de Alerta en la Comisión Nacional de Emergencias (Diagrama P2, Figura 5.13)
3. Acciones de Alerta Locales (CCE, CME) (Diagrama P3, Figura 5.14)

Estos procedimientos cumplen con los siguientes objetivos del Sistema de Alerta Temprana:

1. Seguimiento a eventos potencialmente desastrosos.
2. Emisión de alertas, verde, amarilla y roja.
3. Elevación o disminución de nivel de alerta.
4. Comunicación a nivel nacional y local.
5. Revisión y actualización de los eventos.

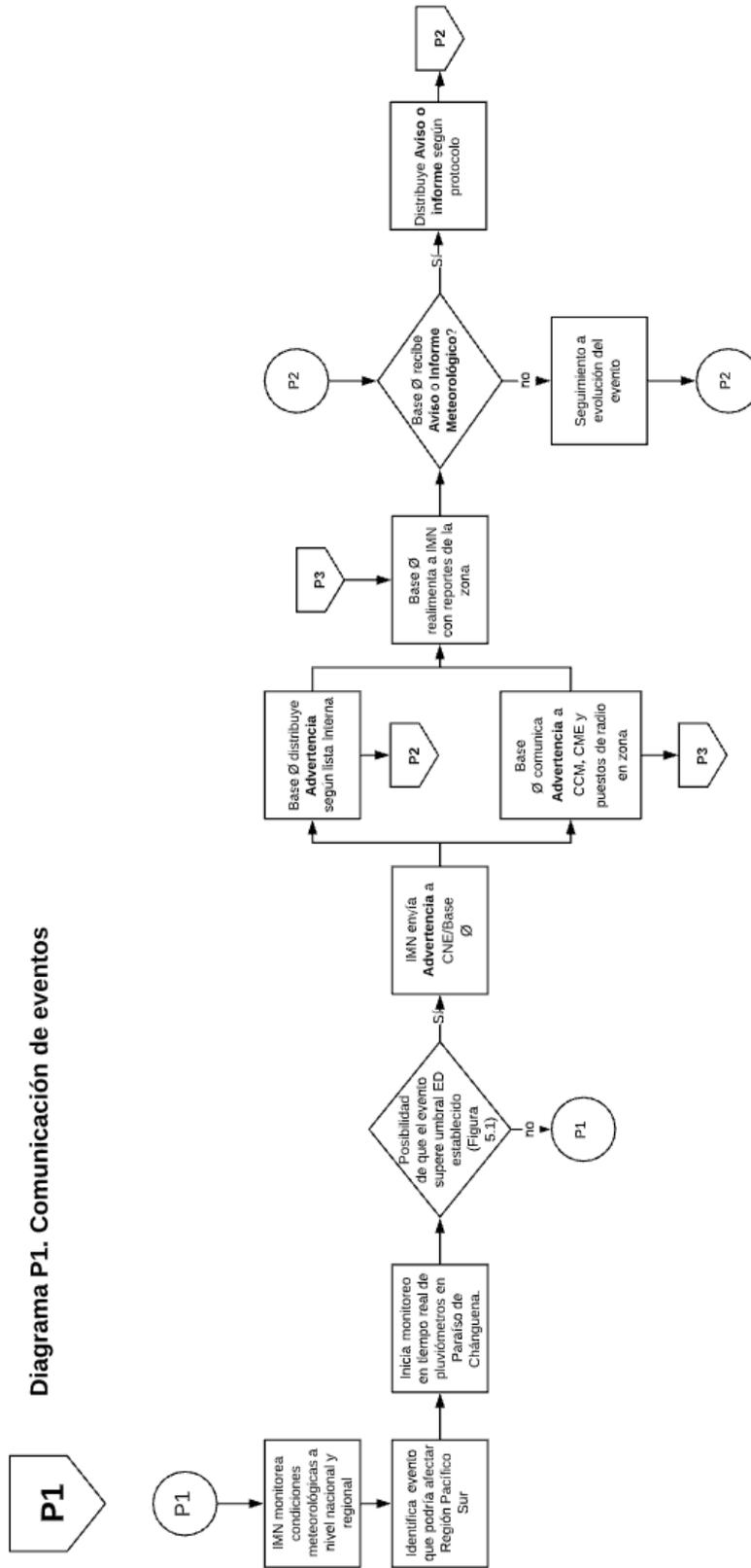


Figura 5.12 Diagrama de flujo P1. Comunicación de eventos

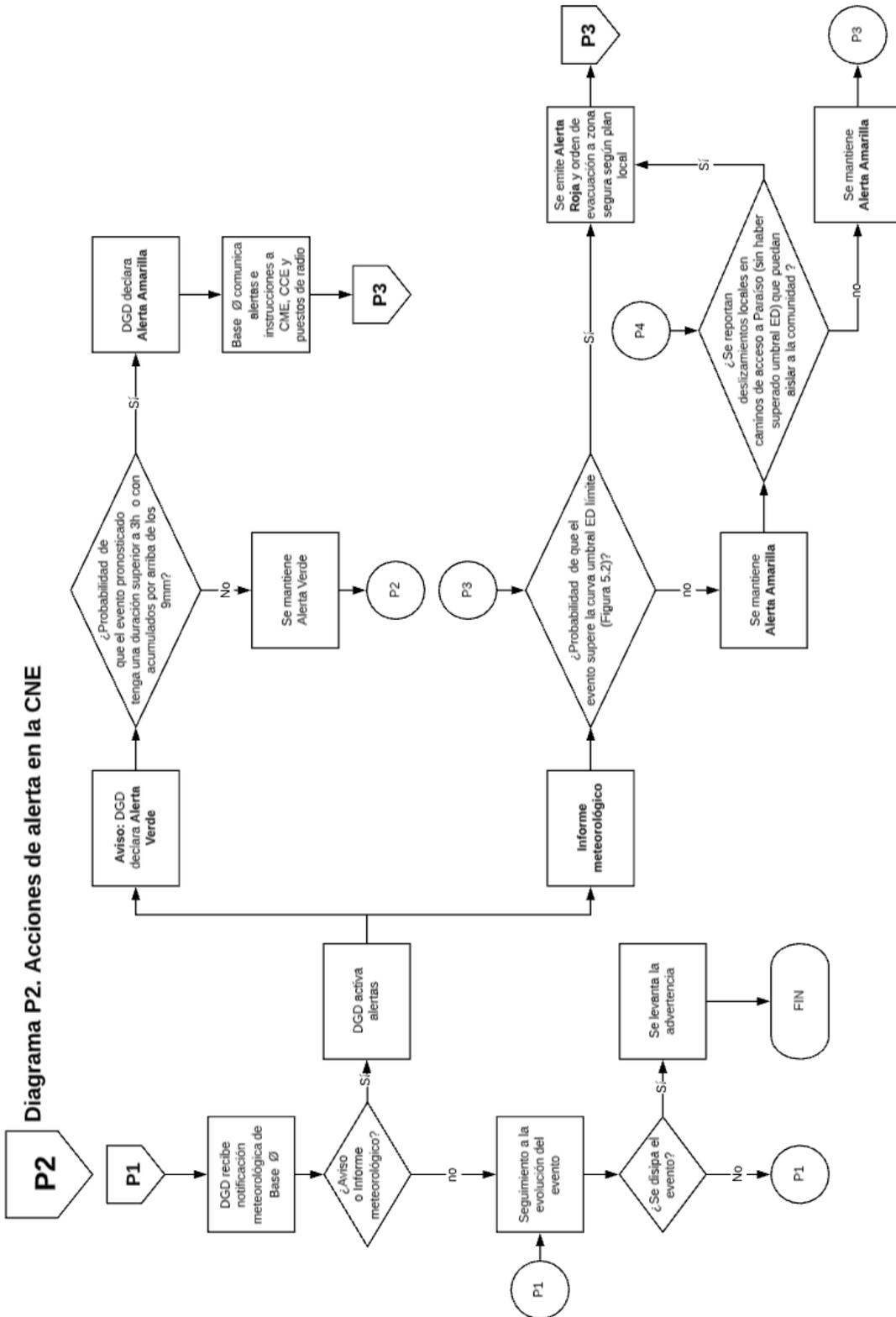


Figura 5.13 Diagrama de flujo P2. Acciones de alerta en la CNE

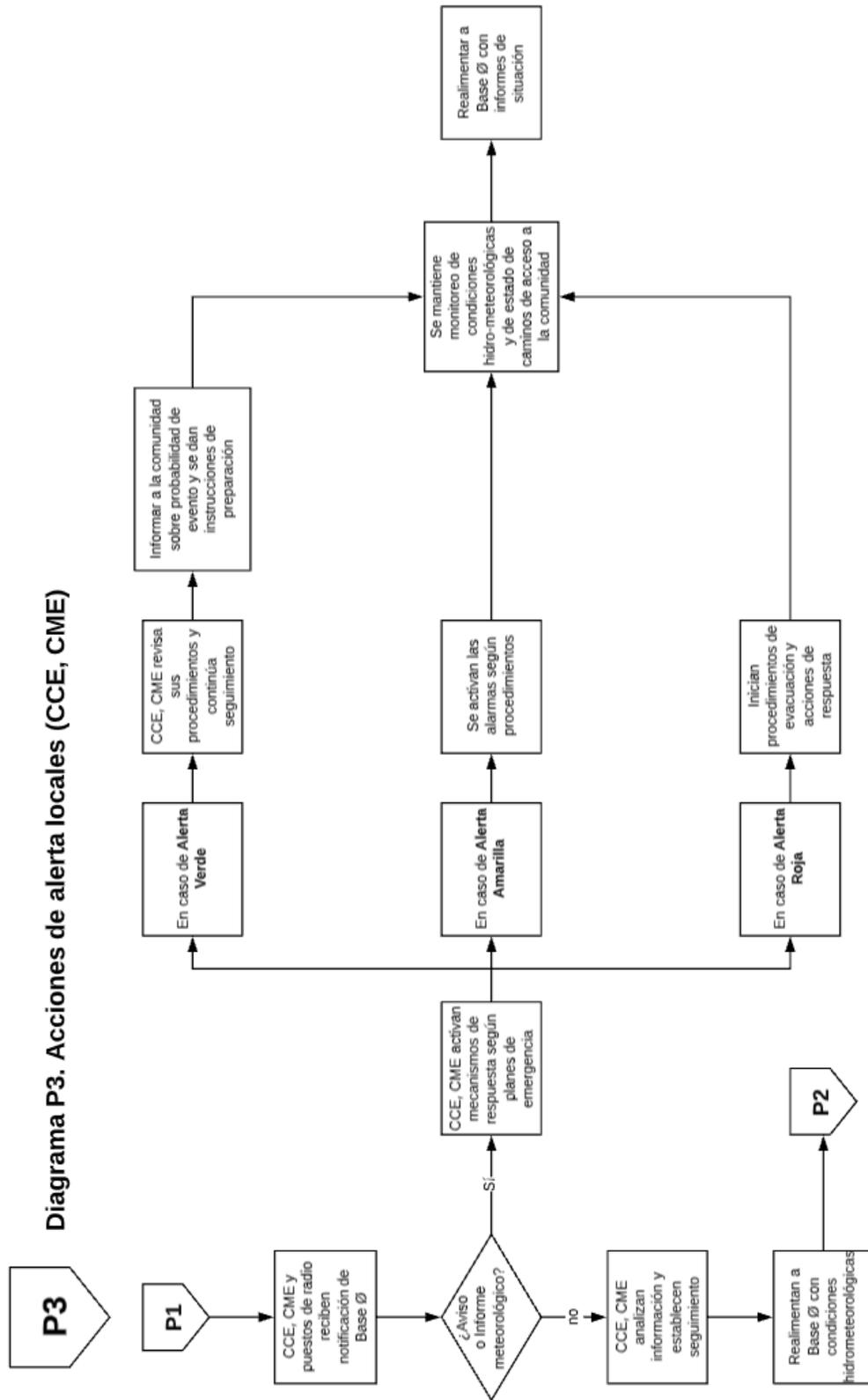


Figura 5.14 Diagrama de flujo P3. Acciones de alerta locales (CCE, CME)

5.8 PROTOCOLO DE OPERACIÓN RUTINARIA DEL SISTEMA

a. Funcionamiento diario:

- El monitoreo de los pluviómetros instalados será realizado de manera remota por parte del Instituto Meteorológico Nacional.
- El control de desplazamientos del terreno será realizado por miembros de la comunidad, designados por el Comité Comunal de Emergencias, utilizando el equipo GPS suministrado.

b. Mantenimiento del equipo de monitoreo

- Pluviómetros

Miembros de la comunidad designados por el Comité Comunal de Emergencias semanalmente inspeccionarán las condiciones físicas de los dos pluviómetros que se instalarán en Paraíso. Deberán verificar que los equipos no se encuentren golpeados o vandalizados. Además, se revisará que los armarios con datalogger no muestran indicios de ingreso de agua a los mismos. De detectarse alguna anomalía, los encargados de la inspección deberán reportar la situación al Comité Comunal de Emergencias, para que se coordine con el IMN las labores de mantenimiento o sustitución de los equipos correspondientes.

- Equipos GPS y mojones

Miembros de la comunidad, designados para las labores de monitoreo GPS de los puntos de control, deberán reportar oportunamente cualquier daño o pérdida de los equipos de medición utilizados, al Comité Comunal de Emergencias. Estos a su vez, deberán trasladar el reporte al Comité Municipal, para que se gestione la reparación o sustitución de los equipos, de tal manera que las mediciones no se dejen de realizar por un periodo mayor a un mes.

c. Mantenimiento de equipo de radio-comunicación y telecomunicaciones

El Instituto Costarricense de Electricidad debe velar por el buen funcionamiento y estado de su infraestructura instalada en la comunidad de Paraíso (torre de telecomunicaciones), de tal manera que durante todos los días del año haya una cobertura celular adecuada para las comunicaciones durante una emergencia en la zona.

El mantenimiento de los equipos de radio que reportan información relacionada con el deslizamiento a Base Ø, deberá ser llevado a cabo por las instancias correspondientes de la CNE.

5.9 SISTEMA DE ALERTAS ANTE SISMOS

Ante eventos sísmicos se plantea el esquema de alertas mostrado en la Figura 5.15 según la intensidad y aceleraciones estimadas en la zona, utilizando la Escala de Intensidad Sísmica de la Agencia Meteorológica de Japón (JMA).

La información asociada a la intensidad de los sismos se obtendría a partir del sistema MAS-LIS del Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica, disponible en su página Web <http://www.mas.lis.ucr.ac.cr/>

El MAS-LIS es un sistema del LIS que brinda información de la intensidad sísmica cada 5 segundos. Este permite conocer de manera casi inmediata las zonas donde el movimiento sísmico ha sido más importante. El sistema puede localizar el epicentro del evento y aproximar el tiempo de arribo de las ondas sísmicas a diferentes lugares.

La escala de intensidad sísmica desarrollada por la Agencia Meteorológica de Japón (JMA) describe el grado de agitación en un punto de la superficie terrestre. Se calcula a partir de las tres componentes de un registro de aceleración y de la duración de la sacudida. La escala varía de 0 a 7, donde 0 es un movimiento imperceptible y 7 corresponde a un terremoto destructivo. Los valores de 5 se subdividen en 5- (5 débil) y 5+ (5 fuerte) y los valores de 6 en 6- (6 débil) y 6+ (6 fuerte).

El criterio de definición de las alertas se basa en los análisis de estabilidad de taludes realizados para el deslizamiento de Paraíso, donde se varió progresivamente el coeficiente pseudo estático utilizado (que a la vez se correlaciona con las aceleraciones asociadas a la clasificación de intensidades empleada). Estos análisis permitieron determinar las aceleraciones que pueden generar más o menos inestabilidades del terreno, siendo la condición más crítica detecta cuando se presentan sismos con intensidades JMA superiores a 5+.

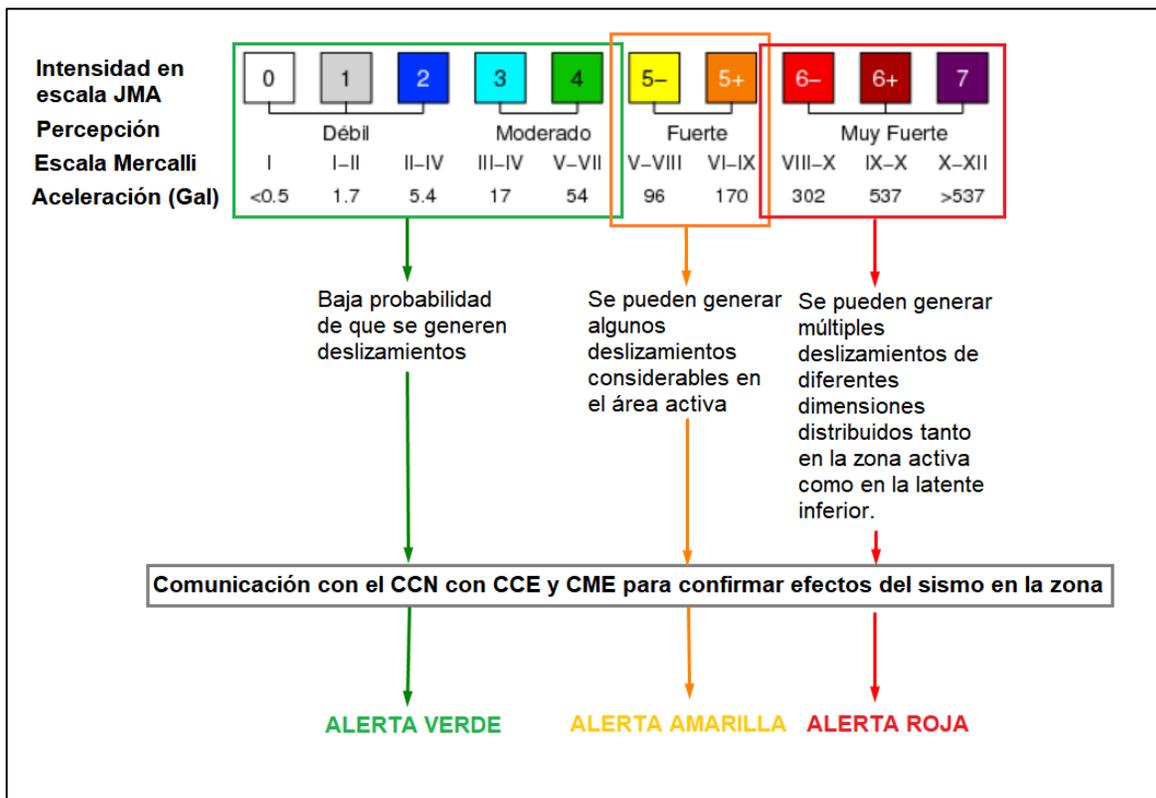


Figura 5.15 Definición del tipo de alerta en función de la intensidad del evento sísmico en el área de Paraíso.

Para efectos de consultas específicas de información asociada a sismos, las estaciones acelerográficas de la red del LIS, más cercanas al área de Paraíso de Chánguena son las siguientes:

- PSVT: San Vito, Coto Brus, Puntarenas
- PPTG: Potrero Cerrado, Buenos Aires, Puntarenas
- PFAL: Piedras Blancas, Osa, Puntarenas
- PCNL: Ciudad Neily, Corredores, Puntarenas
- PGOL: Golfito, Puntarenas

5.10 DIFUSIÓN DE LA ALERTA A LA POBLACIÓN

Al momento que la alerta (verde, amarilla o roja) esté debidamente definida, emitida y comprobada por parte de la CNE, se procede a notificarla a la población. Esta debe ser clara y oportuna. Se podrá difundir utilizando sirenas, alto parlantes y mensajes de texto vía celular, de tal manera que se pueda informar rápidamente de la situación a la comunidad. Se deberán instalar sirenas en las instalaciones de las siguientes estructuras:

1. Liceo de Paraíso
2. Escuela de Paraíso
3. Iglesias
4. Antena de telecomunicaciones del ICE
5. Viviendas de los miembros del Comité Comunal (Local) de Emergencias (una vez que se defina).
6. Puente sobre el río Limón

5.11 RUTAS DE EVACUACIÓN Y SITIOS PARA ALBERGUES TEMPORALES

Debido a la configuración y dinámica de movimiento del deslizamiento de Paraíso de Chánguena, cualquier evacuación de la población que se encuentre al momento de una emergencia, en los sectores Activo y Latente Inferior, deberá llevarse a cabo en **dirección Este**. En primera instancia deberá habilitarse un punto de reunión en una zona segura, cuya susceptibilidad a deslizamientos sea entre muy baja y moderada, dentro del sector Latente Superior, según el mapa de susceptibilidad mostrado en la sección 3.4 del presente documento.

La alta vulnerabilidad del camino que comunica Paraíso con Limoncito genera condiciones que podrían poner en riesgo a la población durante una emergencia, particularmente en los tramos de camino 1 y 2 (detallados en la sección 3.3.4). Además, ya sea durante los eventos meteorológicos o sismos fuertes, la mayor cantidad de deslizamientos que posiblemente se generen se concentrarán en la zona activa. De allí que no se pueda considerar este sector como vía para evacuar a la población.

A partir del sitio seguro habilitado en la zona latente superior, posteriormente se esperaría poder llevar a la población fuera de Paraíso a través del camino que comunica Paraíso con Chánguena de Buenos Aires. De cualquier manera, de forma posterior a los eventos, se debe realizar una evaluación de las condiciones de los caminos para verificar que es seguro realizar cualquier traslado de población a través de ellos.

5.12 PROPUESTA DE CAPACITACIÓN Y PREPARACIÓN A LA POBLACIÓN SOBRE EL DISEÑO DEL SISTEMA DE VIGILANCIA Y ALERTA TEMPRANA

En razón al plan de capacitación y preparación a la población de la comunidad de Paraíso de Chánguena sobre el diseño del sistema de vigilancia y alerta temprana la intervención social requerida para el adecuado tratamiento de la gestión del riesgo por cercanía a la amenaza que representa el Deslizamiento Chánguena para dicha localidad, se plantea el siguiente plan de acción, se debe considerar el orden dado a las tareas para la correcta aplicación de la propuesta:

Cuadro 5.5 Plan de capacitación y preparación a la población sobre el diseño del sistema de vigilancia y alerta temprana.

Núm.	Objetivo	Actividades	Responsable
1	Realizar un diagnóstico sobre las necesidades de capacitación del grupo que conformará el Comité Local de Emergencias.	Convocar taller comunal con interesados para: Verificar conocimiento de la amenaza. Verificar dominio del entorno comunal. Determinar el grado de manejo de comunicación y emisión de mensajes. Conocer la existencia o no de protocolos de respuesta ante alertas. Ubicar el nivel de conocimiento con respecto a procesos organizativos y de funcionamiento de un Comité Local de Emergencias y su relación con la CNE y Municipalidad de Buenos Aires.	CNE
2	Planificar la ejecución de capacitaciones específicas derivadas del diagnóstico.	Coordinar las acciones necesarias para la ejecución de las capacitaciones referidas en el diagnóstico.	CNE
3	Ejecutar capacitaciones específicas derivadas del diagnóstico.	Desarrollar la capacitación del Comité Local de Emergencias en las siguientes temáticas: Conocimiento del Deslizamiento Paraíso. Conocimiento de las características geográficas de la comunidad de Paraíso de Chánguena. Conocimiento sobre el sistema de vigilancia y monitoreo de la amenaza. Comunicación asertiva y emisión de mensajes para gestión e de emergencias. Taller para la creación protocolos de respuesta ante alertas. Aspectos organizativos y de funcionamiento de un Comité Local de Emergencias y su relación con la CNE y Municipalidad de Buenos Aires.	CNE
4	Transferir a la comunidad la información recibida por parte de Comité Local de Emergencias.	Ejecutar una seguida de reuniones comunales, con una periodicidad bianual, que permita al Comité Local de Emergencias transferir a la comunidad la información recibida de la CNE. Planificar en conjunto con la CNE la ejecución de un simulacro anual de aplicación de protocolos sobre alertas relativas al Deslizamiento Chánguena.	Comité Local de Emergencias y CNE

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

1. Efectivamente la comunidad de Paraíso, Chánguena, Buenos Aires de Puntarenas se encuentra asentada dentro de una estructura antigua de deslizamiento.
2. El área principal de la estructura del deslizamiento abarca una extensión de 492 hectáreas. Está definida por una condición geomorfológica del terreno, cuyos límites se encuentran relativamente bien definidos. El escarpe Norte es el más claro y muestra pendientes del terreno altas, el escarpe Sur muestra pendientes bajas a medias y podría estar controlado en parte por el ángulo de buzamiento de los estratos rocosos. El anfiteatro es irregular y en algunos sectores difuso, posee pendientes del terreno medias a altas.
3. El deslizamiento tiene una geometría similar a una lengüeta invertida, siendo la parte más ancha el sector del anfiteatro y la más angosta en su sector inferior, cerca de la confluencia con el río Limón. El ancho varía entre 1800 y 460 m, y una longitud máxima de 4350 m. Se encuentra entre las elevaciones 1100 y 515 m.s.n.m.
4. El análisis de fotografías aéreas en diferentes periodos indica que el tamaño de la estructura del deslizamiento Paraíso no ha variado, mostrando que los límites del deslizamiento se encuentran en apariencia estable (parte externa). Se ha determinado que algunos sectores a lo interno del deslizamiento, se encuentran activos.
5. De acuerdo a la actividad del deslizamiento, la estructura principal puede dividirse en 3 sectores:
 - Sector activo: se localiza entre las elevaciones 515 a 755 m.s.n.m.
 - Sector inactivo o latente inferior: se localiza entre las elevaciones 755 a 905 m.s.n.m.
 - Sector inactivo o latente superior: se localiza entre las elevaciones 905 a 1100 m.s.n.m. A este sector se incluye zona secundaria inestable que se proyecta hacia el suroeste.
6. Adicionalmente dentro del sector inactivo se han detectado sectores menores que presentan inestabilidad actual, estas 2 zonas son las siguientes:
 - En las márgenes de la quebrada Paraíso y sus afluentes principales
 - Sector por donde se localiza la torre de transmisión celular
7. El sector activo corresponde con un área de 95 Ha (19,3% con respecto al total) localizada en la parte inferior (o baja) de la estructura del deslizamiento, la cual

muestra una dinámica permanente de desplazamientos con diferentes mecanismos de falla. Los procesos o mecanismo de los desplazamientos están relacionados con:

- Erosión de la base y arrastre de materiales
 - Colapso parcial de la ladera
 - Generación de grietas longitudinales paralelas a la quebrada
 - Colapso de bloques de terrenos a través de las grietas longitudinales
 - Empuje longitudinal por la inercia de la masa y la baja resistencia al corte
8. El área del sector activo se ha incrementado con el tiempo, creciendo o avanzando hacia aguas arriba. De acuerdo con el cartografiado de Bonilla (2006) con respecto al cartografiado del 2019, el área del sector activo se ha incrementado en 26,2 hectáreas (27.6%). Las grietas y los desplazamientos visibles han avanzado hacia aguas arriba, en el 2006 el escarpe trasero activo se encontraba en la elevación 675 m.s.n.m, hoy se encuentra en la elevación 755 m.s.n.m. En 13 años de registro confiable indica que la parte activa se ha movido alrededor de 500 m, mostrando una tasa de avance de alrededor de los 3 m por mes, si el desplazamiento es constante. Es posible que en periodos lluviosos o de eventos extraordinarios el avance sea mayor, comparado con la época de estiaje.
 9. Este incremento de la superficie activa es preocupante si corresponde a un proceso continuo en el tiempo, pues podría afectar la infraestructura que se encuentra en las partes altas. Se desconoce si la tasa de movimiento es constante o intermitente, pues no hay un mecanismo de control o auscultación. Tampoco se conoce si el principal mecanismo de falla se mantiene a todo lo largo de la estructura de deslizamiento o podría ser algo particular del sector, en todo caso resulta necesario establecer medidas de control y acciones que puedan mitigar la condición actual.
 10. El sector inactivo o latente inferior no muestra actualmente actividad visible, pero posee características de un depósito de baja consistencia con potencial a moverse. Este sector se separa del Sector superior inactivo, por un cambio topográfico representado por un escarpe muy claro que evidencia un movimiento posterior al colapso inicial del deslizamiento Paraíso y con el sector activo por los movimientos recientes que muestra este.
 11. El sector inactivo superior corresponde con la parte alta del deslizamiento Paraíso, tiene un área de 293.8 Ha y representa el 59,7% del total de la estructura del deslizamiento. Se separa de la unidad latente inferior por un escarpe y contiene el anfiteatro donde se produjo el despegue del material en el evento inicial. No muestra movimientos del terreno recientes, se podría considerar un sector estable.

12. El camino principal que llega de la comunidad de La Casona a Paraíso tiene varios tramos sensibles al deslizamiento que deben ser protegidos o en su defecto establecer protocolos de uso durante eventos de lluvia extraordinarios. En la mayoría de los casos la inestabilidad está relacionados con la cercanía del camino ya sea a la quebrada Paraíso o se encuentra en el sector activo. Los tramos son los siguientes:
- Tramo de camino 1: entre coordenadas 598458.88E - 978724.53N y 598319.85E - 978655.36N.
 - Tramo de camino 2: entre coordenadas 598015.85E - 978579.84N y 597623.22E - 978630.77N.
 - Tramo de camino 3: entre coordenadas 597148.51E - 978813.09N y 597085.18N - 978843.03N.
 - Tramo de camino 4: entre coordenadas 596223.10E - 978855.56N y 595947.78E - 978708.03N.
13. El sector cercano a la torre de telefonía celular muestra problemas de estabilidad. Esta inestabilidad cubre un área relativamente importante y está afectando parte del camino de acceso (tramo 4), amenazando la torre de comunicación celular del ICE (coordenadas 595987.34E - 978715.86N). La inestabilidad se produce por la acción del río, presencia del sustrato rocoso en la base con una disposición geométrica desfavorable y a la baja resistencia al corte del depósito de brecha de deslizamiento.
14. Los aspectos más importantes sobre la vulnerabilidad de la comunidad con respecto al deslizamiento Paraíso está relacionada con los siguientes aspectos:
- Vías de acceso: el camino principal en diferentes tramos se encuentra dentro o en el límite del deslizamiento, una parte importante dentro del sector considerado como activo. En periodos de fuertes lluvias el acceso puede sufrir interrupciones por colapsos locales. La comunidad podría quedar incomunicada.
 - Actividades económicas: dentro del área activa se encuentran cultivos de frutas, hortalizas y café, éstas están siendo afectadas directamente por el desplazamiento constante del terreno. Actividades ganaderas utilizan parte de estas tierras para alimento, por lo tanto, el ganado es vulnerable a desprendimientos súbitos de las laderas.
 - Casas de habitación, graneros y/o corrales: 2 propiedades con vivienda y facilidades de corrales se encuentran actualmente a 70 m del límite activo, de mantenerse el avance de las grietas, podrían ser vulnerables por los desplazamientos del terreno en un corto plazo.
 - Torre de telefonía celular propiedad del ICE: se encuentra en el centro de la comunidad y fue construida al borde de un deslizamiento local activo. Actualmente

no muestra daños, pero un desequilibrio de las condiciones del terreno podría provocar su afectación.

15. Se ha realizado una serie de análisis de estabilidad de laderas bajo diferentes condiciones con el objetivo de determinar la extensión de la posible zona de afectación de los deslizamientos dentro del área de estudio y los factores de seguridad asociados.
16. Los modelos geotécnicos generados tienen varias limitantes que se deben tener presentes al momento de interpretar los resultados de los análisis de estabilidad realizados:
 - El espesor de la masa deslizada no se conoce con total certeza. Se ha estimado a partir de observaciones de campo en los principales cauces del área de estudio, pero requiere ser corroborada a partir de una campaña geotécnica detallada, que incluya la ejecución de sondeos profundos y perfiles geofísicos, donde se determine la profundidad del basamento y la posible superficie de falla.
 - No se dispone de pruebas de campo o laboratorio que permitan una definición más precisa de parámetros geomecánicos de cada una de las unidades geotécnicas definidas en los modelos. La caracterización de los materiales se ha basado en los resultados obtenidos de los materiales más superficiales por parte de Bonilla (2006).
 - Al no disponerse de sondeos profundos instrumentados con piezómetros, no se conoce la variación real del nivel freático en el área de estudio en las diferentes épocas del año.
17. Los parámetros geotécnicos de los materiales inconsolidados (UG-01) que constituyen el cuerpo principal del deslizamiento han sido obtenidos a partir de superficies de falla retro analizadas en inestabilidades locales. Esto ayuda a mitigar en cierta medida la ausencia de pruebas específicas de laboratorio y ensayos geotécnicos in situ para caracterizar geomecánicamente dichos materiales.
18. La condición más crítica analizada en el estudio de estabilidad corresponde a la de época lluviosa y sismo ($T_r=150$ años). En prácticamente todos los perfiles (longitudinales y transversales) se obtuvieron los factores de seguridad más bajos y las superficies de falla de mayores dimensiones. Se esperaría una cantidad considerable de movimientos de masa de diversos tamaños en el área activa y en menor cantidad en el sector del deslizamiento latente inferior.
19. De manera general, también se puede señalar, que las superficies potenciales de falla mayores (que se generen desde el centro de la comunidad hasta la parte baja, en las cercanías del río Limón), que podrían ser catastróficas para la comunidad (en términos de que un evento de este tipo no permitiría evacuar previamente a la población, al ser repentino), muestran factores de seguridad elevados (>3.0). Esto no implica que no se puedan dar deslizamientos que sean de tamaño considerable

(longitud decamétrica), que pueden contribuir al progreso de la zona activa actual. Sin embargo, resulta poco probable que se dé este escenario, especialmente porque la geometría del deslizamiento, en su parte inferior, se estrecha. Esto en alguna medida le permite al deslizamiento contenerse.

20. Se ha determinado que sismos de intensidad moderada (Escala JMA de 4, asociada a aceleraciones sostenidas del orden de 0.054g) posiblemente no sean capaces de generar deslizamientos. Sin embargo, sismos entre moderados y fuertes, con aceleraciones sostenidas de 0.075g, ya empezarían a generar inestabilidades. Finalmente, sismos de Intensidad JMA superior a 5+ (Fuertes y muy fuertes) tienen una alta capacidad de generar deslizamientos generalizados en diferentes sectores de Paraíso.

6.2 CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y ASPECTOS SOCIO AMBIENTALES

1. A manera de síntesis se puede indicar que Paraíso de Chánguena se puede considerar una comunidad rural-lineal, que posee terrenos de relieves plano ondulados y escarpados, ubicados entre la Fila Punta Redonda (al norte) y la Fila Anguciana (al oeste y sur), los cuales muestran un patrón de drenaje constituido por quebradas de tercer y cuarto orden, que discurren en dirección predominante oeste-este, hacia el río Limón. Estas tierras han sido desprovistas de su cobertura boscosa, a partir de las políticas de colonización y avanzada de la frontera agrícola con más intensidad a partir de la segunda mitad del siglo veinte. Actualmente el paisaje geográfico posee una predominancia antrópica, determinada por las actividades ganaderas y agrícolas.
2. La capacidad de uso, determinada por el DE-23214-MAG-MIRENEM clasifica estas tierras en las Clases V y VII, con lo que se recomienda el uso en manejo natural del bosque o pastos en pendientes inferiores o iguales al 15%. Un total de 1.010 ha (56%) poseen uso conforme y 790 ha (44%), poseen conflicto de uso. No obstante, el decreto manifiesta que *“En las distintas clases de uso del suelo podrán realizarse las obras de infraestructura civil que posibilita el ordenamiento jurídico, con ajuste a los requisitos previstos para cada caso.”*
3. La población de Paraíso de Chánguena en general se constituye por personas adultas y adultas mayores, con menor presencia de niñez. La dedicación de su población a actividades agropecuarias por cuenta propia o para terceros es la principal actividad económica. Organizativamente Paraíso posee varios comités de hecho, existiendo formalmente solo aquellos vinculados a la administración del acueducto rural y las juntas de escuela y colegio.
4. Al actualizarse la información geológica relacionada al deslizamiento Chánguena se demostró la vulnerabilidad de la comunidad, al encontrarse principalmente asentada en la zona latente inferior del deslizamiento, que colinda con la zona activa de la amenaza. Los pobladores de Paraíso de Chánguena son conscientes de esta cercanía y

se encuentran interesados en organizarse junto a la CNE para el seguimiento a un Sistema de Alerta Temprana, lo cual es un aspecto positivo para la gestión del riesgo.

5. La información de esta consultoría es atinente para el traslado a la Municipalidad de Buenos Aires, para que en conjunto a la CNE puedan contar en el corto plazo (5 años), con herramientas de planificación territorial cantonal y participación comunal para el convivio de la población de Paraíso con la amenaza.

6.3 SISTEMA DE VIGILANCIA Y ALERTA TEMPRANA

1. Se ha presentado en este documento el planteamiento del Sistema de Vigilancia y Alerta Temprana de deslizamiento (SATD) para la comunidad de Paraíso de Chánguena. Se han incluido aspectos generales asociados a la instrumentación a implementar en el área afectada, a nivel de monitoreo hidrometeorológico y de desplazamientos del terreno, así como los aspectos asociados a los procedimientos operativos del sistema (alertas y protocolos).
2. La instrumentación planteada para el monitoreo hidrometeorológico y de desplazamientos del terreno se considera simple. Su implementación y operación y mantenimiento requiere de coordinación interinstitucional (IMN, CNE, ICE, Municipalidad) y la participación de miembros comprometidos dentro de la comunidad.
3. El esquema de alertas del SAT está en función de la posibilidad de que se presenten eventos meteorológicos que puedan superar los umbrales establecidos de lluvia en el área de Paraíso, que podrían ser capaces de producir deslizamientos.
4. La curva umbral propuesta para el SAT requiere ser revisada a futuro a partir del registro de eventos meteorológicos y desplazamientos del terreno que se realice. En este tipo de sistemas que dependen de criterios lluvia/ deslizamiento, la ocurrencia de deslizamientos tiene que ser correlacionada con la duración/intensidad de lluvias. Por lo tanto, es importante recopilar todos los registros de lluvia que se encuentran disponibles dentro del área de interés cada vez que haya una tormenta que active deslizamientos. También se debe recopilar información asociada al tiempo de ocurrencia de los deslizamientos, para que la lluvia horaria pueda ser comparada con las ocurrencias. Cuando se tenga una cierta cantidad de eventos será posible construir una relación estadística válida entre lluvia e inicio de deslizamientos. Actualmente dicha correlación no se tiene, por lo que se empleará una relación generalizada presentada por Ramos (2015) para zonas tropicales de la dependencia de lluvia acumulada (E) antes de la ocurrencia del proceso de deslizamiento en un tiempo dado.
5. Para eventos sísmicos no se podrá establecer un Sistema de Alerta Temprana como tal, pero sí la activación de un sistema de alertas. Este consistiría en un esquema

basado en la intensidad y aceleraciones estimadas en la zona, utilizando la Escala de Intensidad Sísmica de la Agencia Meteorológica de Japón (JMA). La información asociada a la intensidad de los sismos se obtendría a partir del sistema MAS-LIS del Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOS, L., MONTALTO, F. & SOLANO, C., 1984: Formación Curré.- En: SPRECHMANN, P. (ed.) Manual de Geología de Costa Rica. Volumen 1: Estratigrafía: 195-198.
- COLEGIO FEDERADO DE INGENIEROS Y DE ARQUITECTOS DE COSTA RICA 2010. CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 2010 (CSCR-2010). Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- COMISIÓN NACIONAL DE PREVENCIÓN DE RIESGOS Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS (CNE)
- 2019. Cartel de contratación directa “Estudio Estabilidad de Laderas Deslizamiento Chánguena, Paraíso, Buenos Aires”. Manuscrito Departamento de Proveduría. Pavas, Costa Rica.
- CORPORACIÓN OSSO. 2019. Desinventar. Base de datos de pérdidas, daños o efectos ocasionados por emergencias o desastres. Disponible en <https://www.desinventar.org/es/>, consultado el 15 agosto, 2019.
- BONILLA, Esteban. 2006. Estudio diagnóstico de amenazas asociadas a la dinámica externa en la parte media de la cuenca del río Limón, cantón de Buenos Aires, Puntarenas. Tesis de licenciatura, Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.
- DENGO, G., 1962a: Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica.- 111 págs. Inst. Geogr. Nacional, San José.
- HENNINGSEN, D., 1965: La fila Costeña del Pacífico de Costa Rica y su posición dentro del sistema montañoso centroamericano meridional.- 90 págs. Giessen.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL DE COSTA RICA (IGNCR). 1980. Hoja Coto Brus, 3542 I. Escala: 1:50.000. Segunda edición. IGNCR, San José.
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA y CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA (IICA y CIA)
- 2017. Mapa digital de suelos de Costa Rica 2016. Shapefile, Escala 1:200.000. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (INEC)
- 2011. Censo 2011. Datos recuperados de <http://www.inec.go.cr/censos/censos-2011>.
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGUROS (INS) 2019. Seguro agrícola. Disponible en <http://portal.ins-cr.com/portal.ins-cr.com/Empresas/SegurosCo/SegAgricola/>, consultado el 15 de agosto, 2019

- MADRIGAL, Julio 1999. Informe DPM-INF-013-99; Deslizamiento de Paraíso reactivado por influencia del Huracán Micht (22 de octubre al 2 de noviembre). Manuscrito de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. Pavas, Costa Rica.
- MINISTERIO DE SALUD DE COSTA RICA (MINSA). 2012. Análisis de Situación de Salud, Análisis Cuantitativo del cantón de Buenos Aires. Manuscrito Área Rectora de Salud de Buenos Aires, Buenos Aires, Puntarenas.
- MORA, S., 1979: Estudio geológico de una parte de la región sureste del valle del General, Provincia de Puntarenas, Costa Rica.- 185 págs. Vol I, II, III, Univ. de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- MORA, R., VAHRSON, W. & MORA, S., 1992: Mapa de amenaza de deslizamientos, Valle Central, Costa Rica.- Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC)
- OLIVA, ALDO. 2015. Instrumentación y control de taludes y ladera. Universidad Internacional de Las Californias, México.
- OREAMUNO, R; QUIRÓS,G. 2013. Proyecto piloto sobre Sistemas de Alerta Temprana (SAT) para amenazas hidrometeorológicas en Costa Rica. San José, Costa Rica.
- RAMOS et al. 2015. Niveles umbrales de lluvia que generan deslizamientos: Una revisión crítica. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia
- TOSI, Joseph. 1969. Mapa Ecológico: según la clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge. Escala: 1: 750.000. Centro Científico Tropical, San José.
- UNESCO. 2012. Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SATD) en América Central. San José, Costa Rica.
- VARNES, D. J. & CRUDEN, D.M., 1996: Landslides Types and Processes.-En: TURNER, K. & SCHUSTER, R., (Eds).- Landslides Investigation and Mitigation.- Special Report 247, Transportation Research Board. National Research Council. National Academy Press. Washington, D.C.
- ZÁRATE, BELIZARIO. 2011. Monitoreo de movimientos de ladera en el sector de San Pedro de Vilcabamba mediante procedimientos GPS. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador.

8. GLOSARIO

Base Ø: Control central de la red de telecomunicaciones de la CNE

CCE: Comité Comunal de Emergencias (por definir)

CME: Comisión Municipal de Emergencias de Buenos Aires de Puntarenas

CNE: Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias

DGR: Dirección General de Gestión del Riesgo, CNE

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad

IMN: Instituto Meteorológico Nacional

JMA: Agencia Meteorológica de Japón (por sus siglas en inglés)

LIS-UCR: Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica

PGA: Aceleración Pico del Terreno (por sus siglas en inglés)

Puntos de vigilancia (radios): Puntos de monitoreo en campo que reportan a Base Ø información relacionada con la prevención y las emergencias

SAT: Sistema de Alerta Temprana

9. ANEXOS

- A.1 Fotografías sector activo del deslizamiento de Paraíso, Chánguena**
- A.2 Fotografías sector latente inferior del deslizamiento de Paraíso, Chánguena**
- A.3 Fotografías sector latente superior del deslizamiento de Paraíso, Chánguena**
- A.4 Fotografías deslizamientos locales**
- A.5 Lista de Asistencia Taller Comunal en Paraíso, 26 julio, 2019.**
- A.6 Presentación, Taller Comunal en Paraíso, 26 julio, 2019.**
- A.7 Informe de presentación de resultados Alcaldía y Concejo, Municipalidad de Buenos Aires, 23 septiembre, 2019.**
- A.8 Mapas**

A.1 Fotografías sector activo del deslizamiento de Paraíso, Chánguena



Fotografía A.1.1 Abundantes grietas longitudinales o paralelas a la quebrada Paraíso Sur producto de superficies activas y erosión del río - deslizamiento activo, sector central.
Coordenadas 597764.75E - 978835.74N.



Fotografía A.1.2 Grieta que representa el límite superior del deslizamiento activo.
Coordenadas X=597087.98E - 979083.60N.



Fotografía A.1.3 Continuación de la grieta que representa el límite superior del deslizamiento activo. Coordenadas 597001.50E - 979157.51N.



Fotografía A.1.4 Abundantes grietas producto de superficies activas - deslizamiento activo, límite superior - Norte. Coordenadas 597039.87E - 979353.64N.



Fotografía A.1.4 Deslizamiento activo, límite superior - Norte, las quebradas y ríos producen un proceso de erosión del pie que desarrollan desprendimientos continuos de las márgenes. Coordenadas 597039.87E - 979353.64N.



Fotografía A.1.5 Deslizamiento activo, límite superior - Norte, las quebradas y ríos producen un proceso de erosión del pie que desarrollan desprendimientos continuos de las márgenes. Coordenadas 597039.87E - 979353.64N.



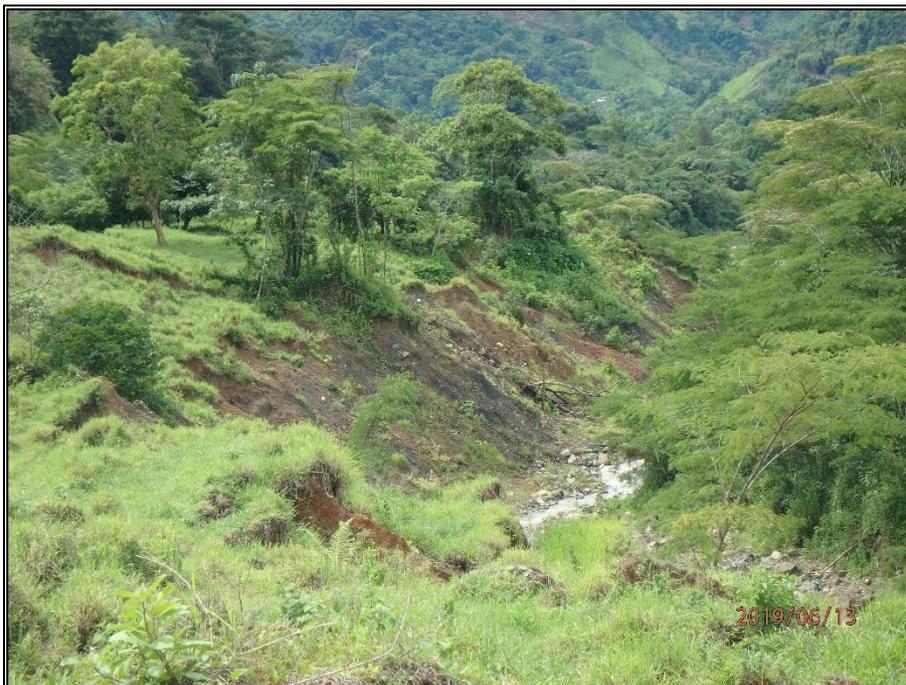
Fotografía A.1.5 Deslizamiento activo, quebrada Paraíso Central, laderas con movimiento permanente. Coordenadas 596853.38E - 979303.47N.



Fotografía A.1.6 Deslizamiento activo, está compuesto por material heterogéneo, se observan brechas inconsolidadas color gris verdoso y café claro. Coordenadas 596853.38E - 979303.47N.



Fotografía A.1.7 La erosión constante de la quebrada representa un motor para el desprendimiento permanente de material de deslizamiento. Coordenadas 596956.8279E - 979313.95N.



Fotografía A.1.8 Quebrada Paraíso Central - laderas activas, desplazamientos permanentes. Coordenadas 597376.30E - 979208.24N.



Fotografía A.1.9 Grietas longitudinales se observan a una distancia hasta a 100 m del cauce principal Quebrada Paraíso Central - laderas activas, desplazamientos permanentes. Coordenadas 597295.37E - 979342.67N.



Fotografía A.1.10 Grietas transversales siguiendo valles secundarios - laderas activas. Coordenadas 597604.62E - 979157.39N.



Fotografía A.1.11 Escarpes y grietas longitudinales a lo largo del cauce principal Quebrada Paraíso Central - laderas activas, desplazamientos permanentes. Coordenadas 597749.03E - 979081.58N.



Fotografía A.1.12 La quebrada Paraíso acarrea diariamente sedimentos con un rango granulométrico amplio, la partícula gruesa se acumula en el lecho, donde se observan areniscas y abundantes clastos de caliza fosilífera. Coordenadas 597833.49E - 978900.29N.



Fotografía A.1.13 Laderas inestables de la quebrada Paraíso, flujo de lodos con exceso de humedad. Coordenadas 597916.17E - 978831.69N.



Fotografía A.1.14 Laderas inestables de la quebrada Paraíso, flujo de lodos con exceso de humedad. 597930.78E - 978809.15N.



Fotografía A.1.15 Laderas inestables de la quebrada Paraíso, por tramos continuos de movimiento permanente. Coordenadas 597900.35E - 978844.58N.



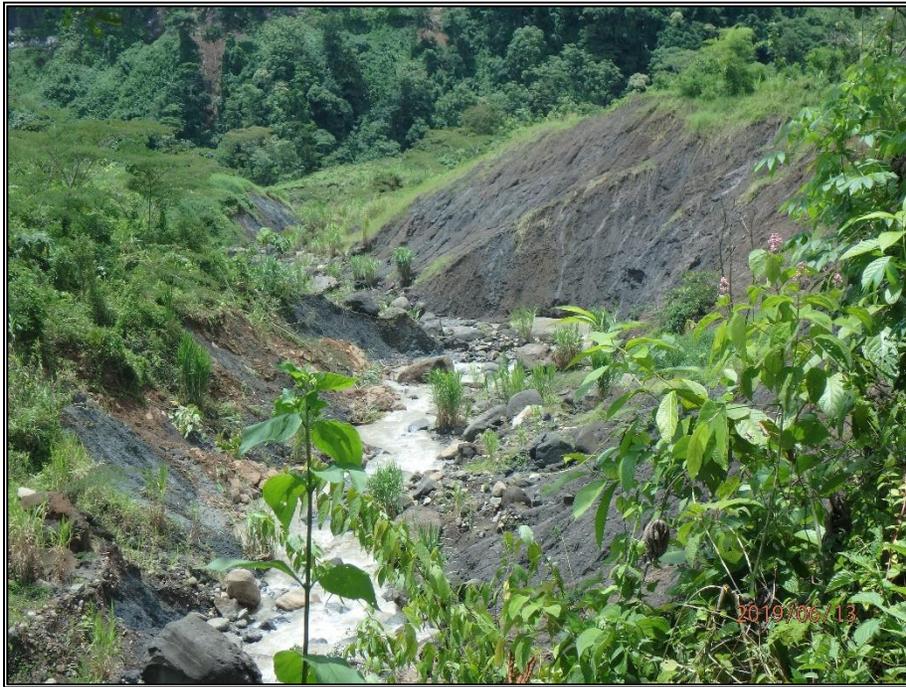
Fotografía A.1.16 Laderas inestables de la quebrada Paraíso, material brechoso con una matriz limo arenosa. Coordenadas 597954.90E - 978799.89N.



Fotografía A.1.17 Ladera inestable de la quebrada Paraíso, abundante contenido de limos y arcillas. Coordenadas 597954.90E - 978799.89N.



Fotografía A.1.18 Laderas inestables de la quebrada Paraíso, con espesores de 30 - 35 m de altura. Coordenadas 598046.55E - 978793.04N.



Fotografía A.1.19 La inestabilidad de las laderas de la quebrada Paraíso, se incrementa hacia su desembocadura. Coordenadas 598468.89E - 978938.46N.



Fotografía A.1.20 Presencia de lagunas aislados dentro del área del deslizamiento activo - margen derecha de la quebrada Paraíso. Coordenadas 598657.64E - 978944.15N.



Fotografía A.1.21 Presencia de lagunas aisladas dentro del área del deslizamiento activo - margen derecha de la quebrada Paraíso (vista panorámica). Coordenadas 598657.64E - 978944.15N.



Fotografía A.1.22 Hacia la desembocadura de la quebrada Paraíso las laderas inestables presentan una rotación y un levantamiento de la superficie hacia aguas arriba. Coordenadas 598546.58E - 979189.61N.

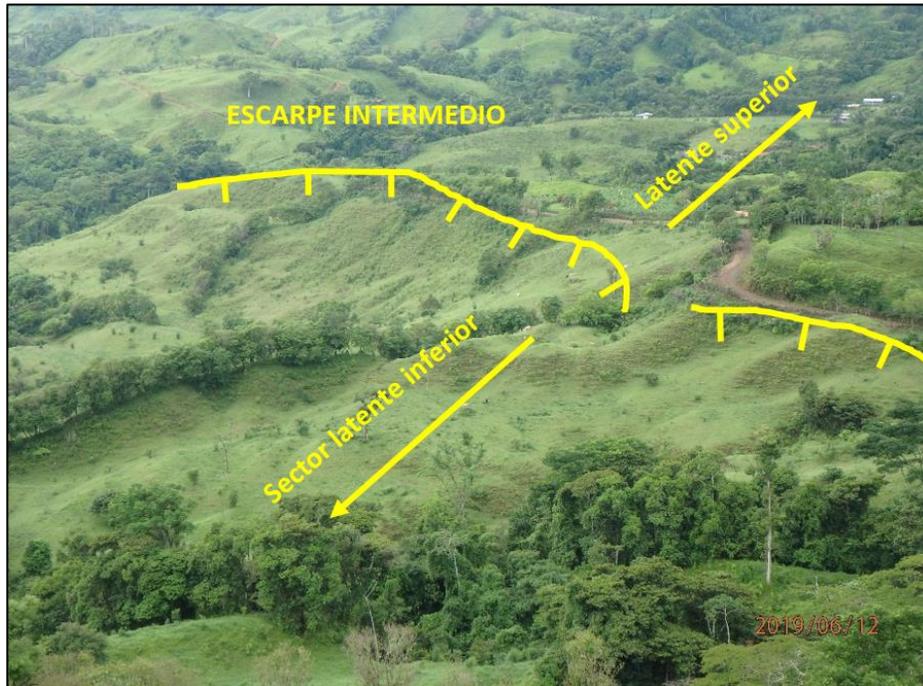
CNE

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias
Estudio de Estabilidad Laderas Deslizamiento Paraíso, Chánguena

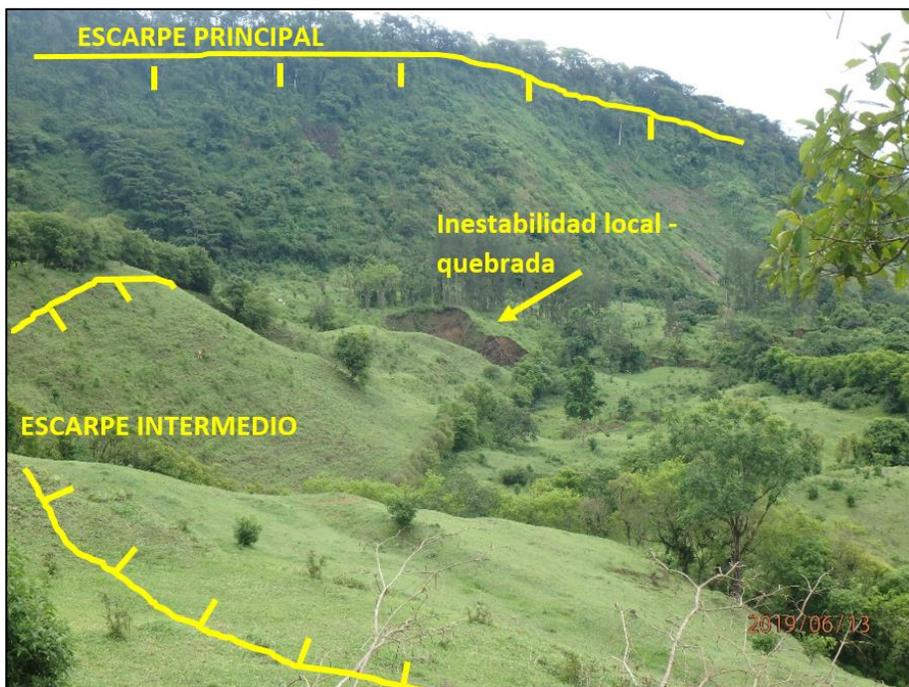


Fotografía A.1.23 Panorámica de la desembocadura de la quebrada Paraíso, las laderas inestables presentan una rotación y un levantamiento de la superficie hacia aguas arriba. Coordenadas 598546.58E - 979189.61N. Posiblemente corresponde con un plano de deslizamiento circular profundo.

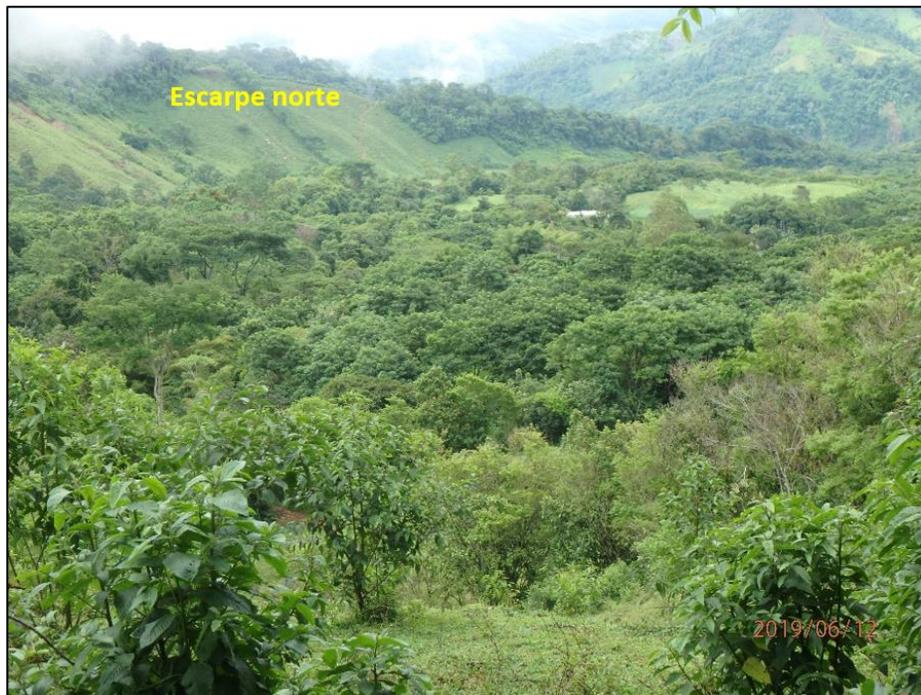
A.2 Fotografías sector latente inferior del deslizamiento de Paraíso, Chánguena



Fotografía A.2.1 Escarpe que divide lo que se ha denominado deslizamiento latente superior con el inferior. Coordenadas 595796.29E - 979037.67N (parte central).



Fotografía A.2.2 Al fondo se observa el escarpe Norte del deslizamiento Paraíso y en el centro escarpe intermedio entre los sectores latente superior y latente inferior. Coordenadas 595796.29E - 979037.67N.



Fotografía A.2.3 Al fondo se observa el escarpe Norte del deslizamiento Paraíso y en el centro formas del terreno típico del deslizamiento latente inferior. Coordenadas 596387.24E - 979513.92N.



Fotografía A.2.4 Formas del terreno típicas del sector denominado como deslizamiento Paraíso latente inferior. Se muestra estable. Coordenadas 596153.57E - 979183.56N.



Fotografía A.2.5 Sector inactivo inferior - inestabilidad local muy frecuente - al borde las quebradas. Coordenadas 595754.89E - 979596.94N.

A.3 Fotografías sector latente superior del deslizamiento de Paraíso, Chánguena



Fotografía A.3.1 Formas del terreno típicas del sector denominado como deslizamiento Paraíso latente superior. Vista desde escarpe Este (Fila Anguciana). Coordenadas 595485.93E -978117.46N.



Fotografía A.3.2 Formas del típicas del terreno en la parte superior de la zona deslizada, denominada como deslizamiento latente superior. Coordenadas 595533.15E - 978245.81N.



Fotografía A.3.3 Formas del típicas del terreno en la parte superior de la zona deslizada, denominada como deslizamiento latente superior (o inactivo). En el fondo se observa escarpe Oeste del deslizamiento Paraíso. Coordenadas 595067.53N - 979007.56E.



Fotografía A.3.4 Laguna anómala, típica de terrenos deslizados localizada en el sector norte, zona del deslizamiento latente. Coordenadas 595251.35E - 979097.39N.



Fotografía A.3.5 Escarpe del deslizamiento en el sector NW-N, localmente se observan inestabilidades superficiales. Coordenadas 595115.47E - 979618.74N.



Fotografía A.3.6 Inestabilidad local en el sector NE de la zona de estudio - deslizamiento Paraíso. Producida por explotación de tajo. Coordenadas 595577.74E - 979352.84N.

CNE

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias
Estudio de Estabilidad Laderas Deslizamiento Paraíso, Chánguena



Fotografía A.3.7 Inestabilidad local en el sector NE de la zona de estudio - deslizamiento Paraíso - sector latente superior. Coordenadas 595754.89E - 979596.94N.

A.4. Fotografías de deslizamientos locales



Fotografía A.4.1 Deslizamiento local que afecta el camino de Paraíso en el sector cercano a la torre de telefonía celular del ICE. Coordenadas 595987.34E - 978715.86N



Fotografía A.4.2 Deslizamiento local que afecta el camino de Paraíso en el sector cercano a la torre de telefonía celular del ICE. Material es limo arenoso con bloques de roca. Coordenadas 595987.34E - 978715.86N.



Fotografía A.4.3 Deslizamiento local que afecta el camino de Paraíso en el sector cercano a la torre de telefonía celular del ICE. El camino con frecuencia se ve afectado por el desplazamiento del terreno. Coordenadas 595987.34E - 978715.86N.



Fotografía A.4.4 Sector inestable cerca quebrada Paraíso Sur, cerca de la comunidad de Paraíso. Coordenadas 595807.09E - 978622.92N.

CNE

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias
Estudio de Estabilidad Laderas Deslizamiento Paraíso, Chánguena



Fotografía A.4.5 Sector inestable cerca quebrada Paraíso Sur, cerca de la comunidad de Paraíso. Coordenadas 595775.61N - 978631.90N.

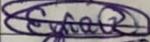
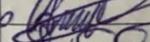
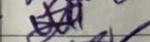
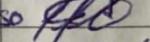
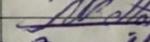
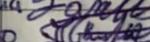
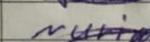
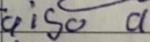
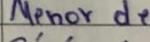
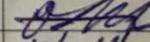
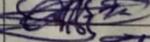
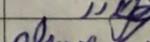
A.5 Lista de Asistencia Taller Comunal en Paraíso, 26 julio, 2019.

carbon 
INGENIERÍA

LISTA DE ASISTENCIA

Taller Comunal, Liceo Rural de Paraíso de Chánguena, Buenos Aires
26 julio, 2019, 3 pm

"Estudio Estabilidad de Laderas Deslizamiento Chánguena, Paraíso, Buenos Aires"
Carbon Ingeniería S.A. para la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias

Nombre	Núm. Identificación	Comunidad - Organización	Firma
Alexis Romero Arzuán	1799310	Paraíso	Alexis
Enia Villalobos Rodríguez	2498890	Paraíso	
Alvaro Mora Fernández	1-571-107	comite de comuna	
Yelson Hidalgo Flores	1-979-852	ASADIA	
Lidreth Vargas Tapia	1-10970185	Consejo Paraiso	
Herlyn López Cuevas	6 02830256	Dir: Esc. Paraíso	
Marcelly López Fallos	603250834	Casa Salud Paraiso	
Guillermo Marin Guata	1-823649	Casa Salud Paraiso	
Janiel Jorge Bellas Méndez	518942	Paraíso	
Zamir Q. G.	6261754	Paraíso Iglesia	
Stefano Ruffo	6-226571	Asada Paraiso	
Muriel Hernández Ch.	6258123	Paraiso	
Adolfo Mora Jimenez	6215085	Paraiso	adolfo
Merary Mora Hernandez	1-78877-0999	Paraiso	Menor de edad Merary
Siria Mora Hernandez	119750591	Paraiso	Siria Menor de edad
Muriel Villalobos	1100169	Paraiso	Muriel Villalobos
Enrique V. Chav.	9092278	Paraiso	
Alexander Chav. Vega	6249080	Paraiso	Alexander V. Chav.
Alexis Godínez Méndez	6181375	Paraiso	
Marina López Fallos	1-488-805	Paraiso	
Olivero Mantuán	6191054	Paraiso	Olivero Mantuán
Diego R. M.	6-191-121	Paraiso	DRM
Rodvin Rodríguez	6-212-786	Paraiso	R A M
Stano Fernández Segura	1549578	Paraiso	Stano
Uriel Bella Godínez	604360368	Paraiso	Felipe B.G
Maria de los Angeles L.R	604550797	Paraiso	Angela

A.6 Presentación, Taller Comunal en Paraíso, 26 julio, 2019.



Taller comunal: Estudio Estabilidad de Laderas Deslizamiento de Paraíso, Chánguena, Buenos Aires

Taller Comunal Liceo Rural de Paraíso
26 de Julio, 2019

Equipo de trabajo:
• Ing. Geólogo Francisco Cervantes, M.Sc.
• Geog. Mario Hernández Villalobos, M.Sc.
• Ing. Adrián Ulloa Leitón, M.Eng.

www.carbon.com - info@carbon.com

AGENDA

1. Presentación de la actividad
2. Presentación de las tareas del estudio
3. Presentación de resultados preliminares del estudio geológico y geotécnico.
4. Taller: Mapeo de la comunidad de zonas e infraestructura vulnerable
5. ¿Qué es un sistema de alerta temprana, para qué sirve?

OBJETIVOS DEL TALLER COMUNAL

1. Brindar información y resultados preliminares del estudio que se realiza sobre el Deslizamiento Paraíso.
2. Conocer la percepción del riesgo de amenaza y antiguos eventos de afectación del Deslizamiento Paraíso.
3. Brindar información Sistemas de Alerta Temprana ante el Deslizamiento de Paraíso y organización comunal para dicho sistema.

TAREAS DEL ESTUDIO

1. Caracterizar la amenaza por deslizamientos e inestabilidad de laderas.
2. Caracterizar la vulnerabilidad y medidas de intervención.
3. Diseño del sistema de vigilancia y alerta temprana del deslizamiento
4. Participar a la municipalidad en el estudio

ÁREA DE TRABAJO



Área de Inestabilidad/Deslizamiento
Punto de Interés

RESULTADOS PRELIMINARES

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

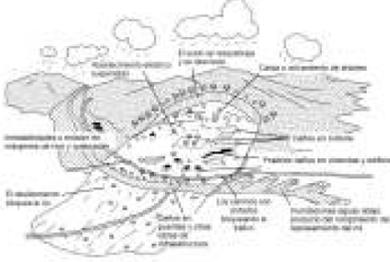
¿Qué es un deslizamiento?

- Los deslizamientos consisten en "movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud" (Cruden, 1991).
- En este término se incluyen tanto los procesos de erosión como los procesos denudacionales (de "remoción de masa").
- Los movimientos ocurren generalmente a lo largo de superficies de falla, caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos.
- Algunos segmentos del talud o ladera, pueden moverse hacia abajo y otros hacia arriba.
- Los fenómenos de inestabilidad incluyen generalmente, una combinación de procesos erosionales y denudacionales interrelacionados o mezclados

 7

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

¿Cuáles pueden ser las consecuencias de un deslizamiento?



 8

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

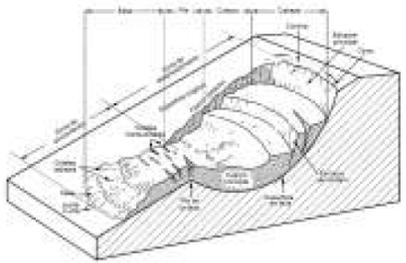
¿Cuáles pueden ser las consecuencias de un deslizamiento?

- Pérdida de vidas humanas
- Daño o destrucción total de viviendas, edificaciones, caminos, acueductos, líneas de transmisión eléctrica, etc.
- Pérdida de la productividad agrícola, forestal e industrial por daños a la tierra.
- Reducción del valor de la propiedad en zonas de alto riesgo.
- Inundaciones (en caso de represamiento de un río y posterior rompimiento)

 9

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

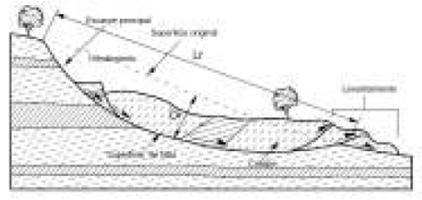
Partes de un deslizamiento



Tomado de: Suarez, 2018
 10

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

Partes de un deslizamiento



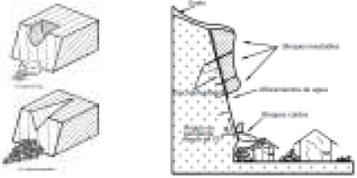
Tomado de: Suarez, 2018
 11

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

Clasificación de los movimientos

- Se utiliza el sistema propuesto por Varnes (1978):

1. Caídos



 12

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

Cuadro 2. Velocidad de los movimientos (Adaptado de Cruden & Varnes, 1996)

Fase	Alimentación	Desplazamiento	Reposicionamiento	Período Recurrencia
1	Intermittente	10-100	1-10 años	10-100 años
2	Intermittente	10-100	1-10 años	10-100 años
3	Intermittente	10-100	1-10 años	10-100 años
4	Intermittente	10-100	1-10 años	10-100 años
5	Intermittente	10-100	1-10 años	10-100 años
6	Intermittente	10-100	1-10 años	10-100 años
7	Intermittente	10-100	1-10 años	10-100 años
8	Intermittente	10-100	1-10 años	10-100 años
9	Intermittente	10-100	1-10 años	10-100 años
10	Intermittente	10-100	1-10 años	10-100 años

CARBON Ingeniería S.A. 19

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

Velocidad de los movimientos (Adaptado de Cruden & Varnes, 1996)

CARBON Ingeniería S.A. 20

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

Deslizamiento de Paraíso, Chánguena

Antecedentes

- DPM-INF-013-99 – Desplazamiento de Paraíso Reactivado por Influencia del Huracán Mitch (22/10/1999) – Informe Interno CNE
- Estudio Diagnóstico de Amenazas Asociadas a la Geodinámica Externa en la Parte Media de la Cuenca del río Limón, Cantón de Buenos Aires, Puntarenas. Tesis de grado de licenciatura, Esteban Bonilla
- Fotografías aéreas históricas 1960, 1980, 1992, 1992 y 2017

CARBON Ingeniería S.A. 21

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

Deslizamiento de Paraíso, Chánguena

Metodología de estudio

- Revisión de la información disponible (tesis del Geól. Esteban Bonilla)
- Análisis de imágenes satelitales (Google Earth, Bing) y fotografías aéreas.
- Levantamiento geológico de campo: revisión de afloramientos de roca disponibles, cartografiado de grietas, escarpes y superficies de deslizamiento.
- Procesamiento de la información, elaboración de mapas.
- Desarrollo de secciones geológicas para el modelamiento geotécnico.
- Estimación de parámetros geotécnicos aplicando la técnica de *back-analysis*.
- Cálculo de posibles escenarios de mecanismo de falla y sus respectivos factores de seguridad.
- Establecimiento de secciones críticas y factores de disparo.
- Análisis de los resultados para incorporar soluciones temporales o definitivas para mitigar los desplazamientos críticos.
- Establecimiento de sectores o zonas críticas del deslizamiento Paraíso
- Elaboración de informe con recomendaciones.

CARBON Ingeniería S.A. 22

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

Deslizamiento de Paraíso, Chánguena

Generalidades

- El disparo original del deslizamiento estuvo dominado por estructuras geológicas, ya sea por estratos blandos, fallas, erosión diferencial o una combinación de ellas.
- El buzamiento regional de los estratos en este sector es favorable al deslizamiento, aunque deben presentarse otras condiciones adicionales para que represente la única razón, dado que el ángulo de buzamiento es relativamente bajo (de 18 a 25°) y con una dirección principalmente al NE (azimuth de 045°).

CARBON Ingeniería S.A. 23

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

Deslizamiento de Paraíso, Chánguena

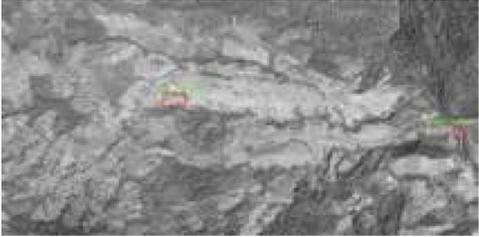
- 1960

CARBON Ingeniería S.A. 24

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

Deslizamiento de Paraíso, Chánguena

- 1980



carbon  25

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

Deslizamiento de Paraíso, Chánguena

- 1997



carbon  26

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

Deslizamiento de Paraíso, Chánguena

- 2017



carbon  27

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

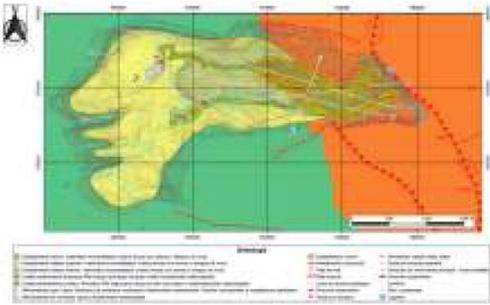
Deslizamiento de Paraíso, Chánguena

Generalidades

- La estructura principal del deslizamiento puede dividirse en 3 sectores:
 1. **Sector activo:** se localiza entre las elevaciones 515 a 755 m.s.n.m.
 2. **Sector inactivo o latente inferior:** se localiza entre las elevaciones 755 a 905 m.s.n.m.
 3. **Sector inactivo o latente superior:** se localiza entre las elevaciones 905 a 1100 m.s.n.m.
- Adicionalmente dentro del sector inactivo se han detectado sectores menores que presentan inestabilidad actual, estas 2 zonas son las siguientes:
 - a. En las márgenes de la quebrada Paraíso y sus afluentes principales
 - b. Sector por donde se localiza la torre de transmisión celular

carbon  28

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO



Mapa geológico preliminar del área de estudio.

carbon  29

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO



- **Fotografía 01:** Abundantes grietas producto de superficies activas – deslizamiento activo, sector central. Coordenadas 597764.75E - 978835.74N.

carbon  30





CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO



Fotografía 24 Inestabilidad local en el sector NE de la zona de estudio – deslizamiento Paraíso – sector latente superior. Coordenadas 595754.89E - 979596.94N.

carbon 43

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO



Fotografía 14 Escarpe que divide lo que se ha denominado como deslizamiento latente superior con el inferior. Coordenadas 595796.29E - 979037.67N (parte central).

carbon 44

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO



Fotografía 15 Al fondo se observa el escarpe Norte del deslizamiento Paraíso y en el centro escarpe intermedio entre los sectores latente superior y latente inferior.

carbon 45

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

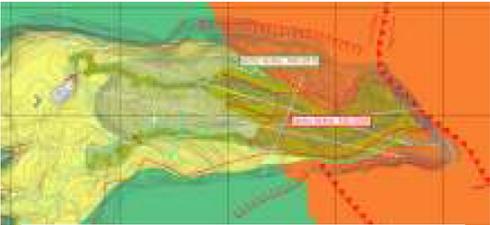


Fotografía 16 Al fondo se observa el escarpe Norte del deslizamiento Paraíso y en el centro escarpe intermedio entre los sectores latente superior y latente inferior.

carbon 46

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

- Avance del deslizamiento 2006-2019



■ Deslizamiento activo: materiales inconsolidados (matriz limosa con arenas y bloques de roca)
 ■ Deslizamiento latente superior: materiales inconsolidados (matriz limosa con arenas y bloques de roca)
 ■ Deslizamiento latente inferior: materiales inconsolidados (matriz limosa con arenas y bloques de roca)

carbon 47

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA ANTE DESLIZAMIENTOS

Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SAT) en América Central. 2012. Proyecto Regional DIPECHO VII. UNESCO. CEPREDENAC.

Esquema Operativo del SAT



Villagrán (2003) escribe "la alerta temprana es un proceso que involucra la generación de información sobre un probable evento que puede causar un desastre, la cual es transmitida a instituciones de protección civil, a las autoridades y a la población que se puede ver afectada por dichos eventos para que se inicien las actividades de preparación y respuesta."

Villagrán, 2003 en UNESCO, CEPREDENAC, 2012

carbon 48

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA ANTE DESLIZAMIENTOS



Amenaza → **Comunidad**
Comunidad → **Organización**
Organización → **Estudios y Monitoreo**
Estudios y Monitoreo → **Vigilancia**
Vigilancia → **Alertas**
Alertas → **Respuesta**
Evento → **Alertas**
Alertas → **Respuesta**

carbon 49

carbon ingeniería

CONSULTORÍA EN INGENIERÍA

Final
¡Gracias por su Atención!

www.carboner.com - info@carboner.com

carbon 50

A.6 Informe de presentación de resultados Alcaldía y Concejo, Municipalidad de Buenos Aires, 23 septiembre, 2019.

Como se indicó en el apartado referente a la vinculación con la Municipalidad de Buenos Aires de Puntarenas, se remitió el oficio 1905C16-S-01-CAR el 24 de junio del 2019 (ver Figura A.3.1), solicitando un espacio a la Alcaldía para consultar el área o departamento de dicha municipalidad con la que se podría tratar técnicamente los resultados, conclusiones y recomendaciones del estudio que refiere este informe, para efectuar una presentación de las características y plan de trabajo convenido entre Carbón Ingeniería S.A. y la CNE, así como de los profesionales a cargo de este estudio.

Transcurrido el tiempo para obtener una respuesta formal de la Alcaldía, se procedió a contactar por la vía telefónica al M.Sc. José Rojas Méndez, alcalde de Buenos Aires, mismo que ofreció un espacio en sesión del Concejo Municipal para el día 23 de septiembre, 2019. Dicho espacio fue formalizado por la mencionada alcaldía mediante el oficio con fecha del 3 de setiembre, 2019 (ver Figura A3.2).

En sesión del Concejo Municipal de Buenos Aires a las 9 horas del día 23 de septiembre del 2019, se realizó la presentación con los resultados del estudio (ver Figuras 3 al 5) , misma que fue realizada por los ingenieros Oscar Jiménez y Adrián Ulloa, así como el geógrafo Mario Hernández. La misma se dispone al final de este anexo.

Las principales conclusiones obtenidas de las interacciones de regidores, presidente del concejo y alcalde de dicho municipio se resumen a continuación:

- Se consideró que la presentación de resultados permitió conocer de primera mano información valiosa y pertinente del estudio sobre el Deslizamiento de Chánguena, útil para la futura toma de decisiones del municipio en aspectos como cesión de permisos de construcción y nuevas opciones de ruta para el camino de la comunidad de Paraíso de Chánguena.
- Se reconoció de parte de la Alcaldía la resistencia que poseen algunos de los pobladores de Chánguena, ante posibles restricciones de uso de la tierra.
- Se consultó si procesos de reforestación en la comunidad detendrían el deslizamiento, a lo que se contestó que no. Las reforestaciones posiblemente solo vendrían a desacelerar procesos erosivos de las laderas.
- Se clarificó con la ayuda de la cartografía la distribución de zonas en infraestructura vulnerable por la amenaza, así como la ubicación de zonas activas y latentes. Asimismo se consultó y brindó respuesta sobre la tasa de avance del deslizamiento obtenida de los estudios realizados en esta consultoría.

- Se consultó si se ha decidido descartar la zona para uso residencial y proceder a reubicar la comunidad, a lo que se indicó que sí fue un escenario observado durante el estudio, que no resuelve la exposición a la amenaza de los pobladores en el corto plazo, por cuanto procesos de reubicación de familias o comunidades requieren estudios sobre nuevos terrenos a utilizar por las familias, con un fuerte acompañamiento psico-social para que la reubicación sea efectiva en el largo plazo.
- Se consultó si los pobladores de Paraíso de Chánguena han reconocido otras tormentas (como Nate), como disparadores hidrometeorológicos del deslizamiento, a lo que se contestó que no, solo se reconoce los efectos del huracán Mitch de 1998 como disparador de la amenaza.
- La alcaldía interesó en el esquema de distribución espacial de la grilla de monumentos para el control horizontal del deslizamiento Chánguena

La presentación por parte de los representantes de Carbón Ingeniería S.A. concluyó a las 11 horas, dejándose copia digital en formato “.pdf” de la presentación, con una marca de agua con la indicación que los datos de la misma se encuentran en revisión por parte de la CNE. Se indicó por parte de la secretaria del Concejo Municipal que el acta de la sesión ordinaria en la que se realizó la presentación indicada estará refrendada y disponible al público el día lunes 30 de septiembre del 2019 después del mediodía.

CNE

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias
Estudio de Estabilidad Laderas Deslizamiento Paraíso, Chánguena



1905C16-S-01-CAR Nota Municipalidad Buenos Aires

24 de junio del 2019

Señor
M. Sc. José Rojas Méndez
Alcalde, Municipalidad de Buenos Aires de Puntarenas
Vía correo electrónico:
Sra. Magaly Mora, Secretaria Alcaldía: mmora@munibuenosaires.go.cr

Asunto: Estudio de Deslizamiento Paraíso de Chánguena

Estimado señor:

Reciba un cordial saludo de Carbón Ingeniería S.A., empresa designada por la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias de Costa Rica (CNE), mediante proceso de contratación administrativa para llevar a cabo el "Estudio Estabilidad de Laderas Deslizamiento Chánguena, Paraíso, Buenos Aires", mismo que se desarrollará atendiendo los términos de referencia que esa Comisión estableció previamente para dicho concurso.

Las actividades que nuestra representada debe realizar consisten en la caracterización de la amenaza por deslizamientos y procesos de inestabilidad de laderas, la caracterización de la vulnerabilidad y medidas de intervención y el diseño del sistema de vigilancia y alerta temprana del deslizamiento. Los trabajos requeridos para el desarrollo de estas asignaciones se realizarán entre el 24 de junio y el 24 de septiembre del año en curso.

Asimismo, ha sido requerido por la CNE, la vinculación de la Municipalidad de Buenos Aires en este proceso, razón por la cual me permito dirigirme esta nota a efecto de iniciar el contacto con su municipio y a su vez proceder a consultarle lo siguiente:

1. Área o departamento de dicha municipalidad con la que se podría tratar técnicamente los resultados, conclusiones y recomendaciones del estudio, en este caso se agradece si es posible la facilitación del nombre, cargo que ocupa, teléfono y correo electrónico del funcionario responsable de dicho departamento.
2. Un espacio en su agenda y del área o departamento designado por el municipio para efectuar una presentación de las características y plan de trabajo convenido entre mi representada y la CNE, así como de los profesionales a cargo de este estudio.

Asimismo, aprovecho para indicarle que como representante legal de la empresa Carbón Ingeniería S.A. me encuentro a las órdenes de la Alcaldía y el Concejo Municipal de la Buenos Aires, ante cualquier duda o requerimiento de información atinente al estudio en mención.

Oficentro Alquimia, 100 metros al Sur de la Liga de la Caña. La Uruca, San José, Costa Rica.
+ 506-2290-4070 - info@carboncr.com - www.carboncr.com



Finalmente, indico como medio de notificaciones el correo electrónico:

ojimenez@carboncr.com, cel. 8840-9340

Atentamente,

Oscar
Jiménez R.

Firmado digitalmente por Oscar Jiménez R.
Apellido de reconocimiento: Oscar Jiménez R., C=Costa Rica,
N=Oscar Jiménez R., o=Carbon Ingeniería,
ou=Centro,
email=oscarjimenez@carboncr.com,
cn=Oscar Jiménez R., 2019.06.24 14:05:18 -0500

Ing. Oscar Jiménez, M.Sc.
Carbón Ingeniería S.A.

CC:
Concejo de la Municip. de Buenos Aires de Puntarenas: lbadiaga@munibuenosaires.go.cr
Ing. Lidier Esquivel Valverde, Unidad de Investigación y Análisis del Riesgo, CNE.
lesquivel@cne.go.cr
Secretaría Alcaldía Municipal: alcaldia@munibuenosaires.go.cr

Oficentro Alquimia, 100 metros al Sur de la Liga de la Caña. La Uruca, San José, Costa Rica.
+ 506-2290-4070 - info@carboncr.com - www.carboncr.com

Figura A.6.1. Copia de oficio 1905C16-S-01-CAR del 24/06/2019

CNE

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias
Estudio de Estabilidad Laderas Deslizamiento Paraíso, Chánguena

MUNICIPALIDAD DE BUENOS AIRES



Buenos Aires de Puntarenas
Telefax: 2730-12-19
Secretaría del Concejo
lbadilla@munibuenosaires.go.cr

03 de setiembre, 2019

Ingeniero
Oscar Jiménez
Carbón Ingeniería S.A.
ojimenez@carboncr.com

Estimado señor:

Transcribo acuerdo de la Corporación Municipal de Buenos Aires, de Sesión Ordinaria 173-2019, celebrada el día 02 de setiembre del año en curso, que en letra dice:

- Correo electrónico referente a oficio 1905C16-S-01-CAR del Ingeniero Oscar Jiménez, M.Sc. Carbón Ingeniería S.A.-Carbón Ingeniería S.A., fechado 28 de agosto 2019.

Asunto: presentación de resultados a la Alcaldía y al Concejo Municipal de Buenos Aires sobre el Estudio de Deslizamiento Paraíso de Chánguena, consultoría que Carbón Ingeniería S.A. realiza para la Comisión de Emergencias.

SE ACUERDA: Comunicar que el Concejo le atenderá el lunes 23 o el 30 de setiembre a las 9 am. **Acuerdo unánime y definitivamente aprobado.**

Atentamente.

LILLIANA
RAMONA
BADILLA
MARIN (FIRMA)

Firmado digitalmente
por LILLIANA RAMONA
BADILLA MARIN
FIRMA
Fecha: 2019.09.03
04:43:10-05'

Lilliana Badilla Marín
SECRETARIA

c: Señor Alcalde-Jose Rojas Méndez
archivo

Figura A.6.2. Copia de oficio 1905C16-S-01-CAR del 24/06/2019

CNE

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias
Estudio de Estabilidad Laderas Deslizamiento Paraíso, Chánguena



Figuras A.3.3. Fotografías de la Presentación al Concejo y Alcaldía Municipal de Buenos Aires del 23 de septiembre 2019.

A.7 Diapositivas de la presentación de resultados a Alcaldía y Consejo. Municipalidad de Buenos Aires, 23 de septiembre de 2019



**Estudio de Estabilidad de Laderas.
Deslizamiento de Paraíso, Chánguena,
Buenos Aires**

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y
Atención de Emergencias
23 de Setiembre, 2019

Equipo de trabajo:

- Ing. Adrián Ulloa Latorre, M.Eng.
- Ing. Rodrigo Francisco Lavaredo, M.Sc.
- Ing. Mario Hernández Villalobos, M.Sc.
- Ing. Oscar Álvarez, M.Sc.
- Ing. Mario José Chacón

www.carboni.com.ec | info@carboni.com

AGENDA

1. Descripción del estudio
2. Caracterización de la amenaza por deslizamientos
3. Caracterización de la vulnerabilidad y medidas de intervención
4. Sistema de vigilancia y alerta temprana del deslizamiento
5. Conclusiones y recomendaciones

DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

La IAR-CNE ha realizado la contratación de este estudio con los siguientes objetivos:

- Disponer de insumos para la implementación de restricciones en el uso de la tierra en el área de influencia del Deslizamiento de Paraíso de Chánguena, en Buenos Aires de Puntarenas.
- Caracterizar geológicamente el deslizamiento y los procesos geodinámicos involucrados en el mismo
- Determinar la vulnerabilidad de las poblaciones afectadas y establecer posibles medidas de intervención
- Definir un sistema de vigilancia y alerta temprana, con el fin de mitigar los riesgos asociados a su existencia.

ÁREA DE ESTUDIO

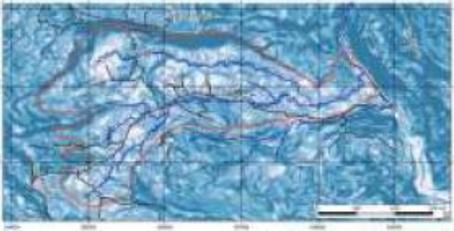
CARACTERÍSTICAS GENERALES

- **Localidades cercanas:** Chánguena de Buenos Aires (Noroeste, 18 Km), La Casona de Coto Brus (territorio indígena, al sureste, 7 km) y centro urbano de San Vito (27 km).
- **Ubicación:** Cuenca media-alta del río Limón, entre las elevaciones 580 y 1220 msnm.
- Comunidad rural, de emplazamiento lineal sobre el camino principal de acceso y salida.
- Terrenos de relieves plano ondulados y escarpados, ubicados entre la Fila Punta Redonda (al norte) y la Fila Anguciana (al oeste y sur)
- Patrón de drenaje constituido por quebradas de tercer y cuarto orden, que discurren en dirección predominante oeste-este, hacia el río Limón.
- Tierras desprovistas de su cobertura boscosa (mayoritariamente).
- Paisaje geográfico con predominancia antrópica, determinada por las actividades ganaderas y agrícolas.

ÁREA DE ESTUDIO



Área de estudio	
Localidad	Paraíso
Distrito	Chánguena (7)
Cantón	Buenos Aires (3)
Provincia	Puntarenas (6)



ESTUDIO CONSULTORIAL DE RIESGOS DESLIZAMIENTOS CHANGUENA

Área de estudio

Mario Latorre



CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

Metodología

1. Revisión de la información disponible (tesis del Geól. Esteban Bonilla)
2. Análisis de imágenes satelitales y fotografías aéreas históricas.
3. Levantamiento geológico de campo: revisión de afloramientos de roca disponibles, cartografiado de grietas, escarpes y superficies de deslizamiento.
4. Procesamiento de la información, elaboración de mapas.
5. Desarrollo de secciones geológicas para el modelamiento geotécnico.
6. Estimación de parámetros geotécnicos aplicando la técnica de back-analysis.
7. Cálculo de posibles escenarios de mecanismo de falla y sus respectivos factores de seguridad.
8. Establecimiento de secciones críticas y factores de disparo.
9. Análisis de los resultados para incorporar soluciones temporales o definitivas para mitigar los desplazamientos críticos.
10. Establecimiento de sectores o zonas críticas del deslizamiento Paraíso
11. Elaboración de informe con recomendaciones.

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

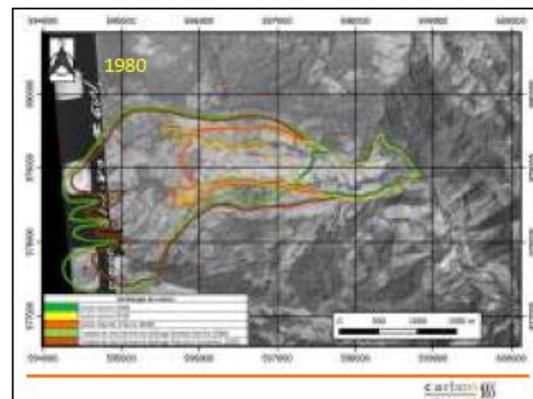
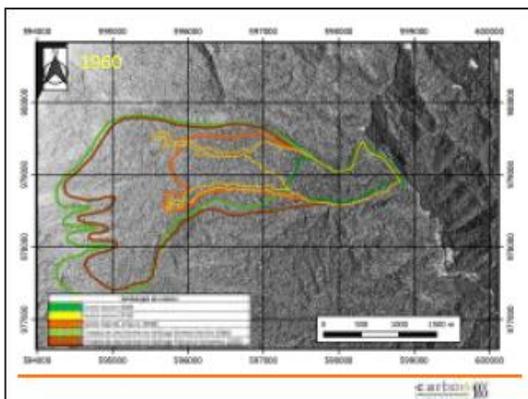
Caracterización del deslizamiento de Paraíso y geodinámica

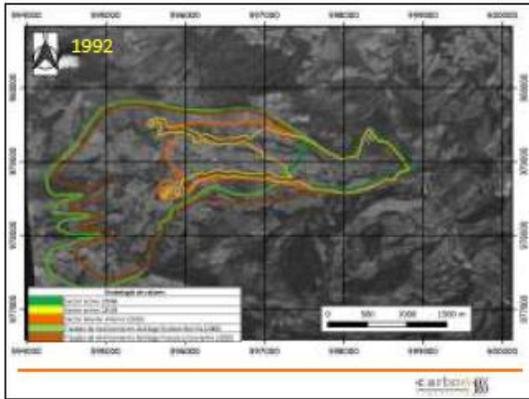
- La estructura del deslizamiento se encuentra fragmentada en sectores activos e inactivos, posee una geodinámica mixta y compleja.
- El área total de la estructura del deslizamiento abarca alrededor de las 492 Ha.
- Se tienen varias coincidencias con el estudio de Bonilla (2006):
 - El disparo original del deslizamiento estuvo dominado por estructuras geológicas, ya sea por estratos blandos, fallas, erosión diferencial o una combinación de ellas. El buzamiento regional de los estratos en este sector es favorable al deslizamiento, aunque deben de presentarse otras condiciones adicionales para que represente la única razón, dado que el ángulo de buzamiento es relativamente bajo de 18 a 23° y con una dirección principalmente al NE (azimuth de 045°).
 - El cuerpo del deslizamiento puede dividirse en el menos 3 partes, aunque no con las mismas áreas propuestas por Bonilla (2006).
 - Los límites del deslizamiento son aproximadamente los mismos, con ligeras variaciones.

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

Análisis de fotografías aéreas (1960, 1980, 1992, 1997, 2018)

1. El drenaje existente (quebrada Paraíso) para 1960 es poco desarrollado, entendiéndose desde que la protección boscosa minimiza la erosión.
2. Para 1980 la actividad de la quebrada Paraíso es ligeramente mayor a lo que se observa en 1960, aunque mucho más inferior a la actual.
3. Durante estos periodos la quebrada Paraíso desemboca en el río Limón por el estribo derecho. Actualmente se ha desplazado hacia la margen izquierda.
4. Después de la deforestación casi total observada para 1980, en los siguientes periodos se presentan sectores pequeños locales con árboles, que obedecen a iniciativas individuales de cambios ligeros en el uso de la tierra (estos cambios son modestos).
5. En las fotografías de 1980 y 1992, no se percibe un ensanchamiento del cauce de las quebradas, ni depósito de sedimentos en el sector activo. Para 1997 hay un ligero incremento de sedimentos y ensanchamiento del cauce, aunque muy inferior al que se observa en la actualidad.
6. Las fotografías de 1997 muestran grietas longitudinales del sector activo, aunque en cantidad inferior a las que están presentes hoy en día.





CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

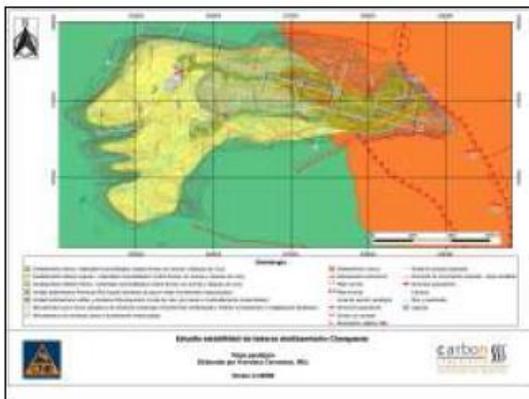
Caracterización del deslizamiento de Paraíso y Geodinámica
 La estructura principal del deslizamiento puede dividirse en 3 sectores:

1. Sector activo: se localiza entre las elevaciones 515 a 755 m.s.n.m.
2. Sector inactivo o latente inferior: se localiza entre las elevaciones 755 a 905 m.s.n.m.
3. Sector inactivo o latente superior: se localiza entre las elevaciones 905 a 1100 m.s.n.m.

A este sector se incluye zona secundaria inestable que se proyecta hacia el suroeste

Adicionalmente dentro del sector inactivo se han detectado sectores menores que presentan inestabilidad actual, estas 2 zonas son las siguientes:

- En las márgenes de la quebrada Paraíso y sus afluentes principales.
- Sector por donde se localiza la torre de transmisión celular del ICE.



CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

1. Sector Activo
Área: 95 Ha (19.3% del área total)
Ubicación: Parte inferior (baja) del deslizamiento
Agente principal de inestabilidad: Quebrada Paraíso (erosión y arrastre)

Procesos o mecanismo de los movimientos:

- Erosión de la base y arrastre de materiales
- Colapso parcial de la ladera
- Generación de grietas longitudinales paralelas a la quebrada (250 m-400m de longitud)
- Colapso de rebanadas de terrenos a través de las grietas longitudinales
- Empuje longitudinal por la inercia de la masa y la baja resistencia al corte

Otros aspectos relevantes:

- Entre 2006 y 2019 esta área ha crecido considerablemente (68.8 Ha vs 95 Ha)
- Las grietas y los desplazamientos visibles han avanzado hacia aguas arriba.
- En el 2006 el escarpe trasero activo se encontraba en la elevación 675 m.s.n.m, hoy se encuentra en la elevación 755 m.s.n.m. En 13 años la parte activa se ha movido alrededor de 500 m. (Tasa de avance R 3 m /mes.

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

1. Sector Activo



Fuente: CNE, 2019



CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

1. Sector Activo



Abundantes grietas paralelas a la quebrada Paraíso Sur producto de superficies activas y erosión del río – deslizamiento activo, sector central. Coordenadas 987764.75E - 978835.74N



CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

1. Sector Activo



Grieta que representa el límite superior del deslizamiento activo. Coordenadas X=997087.98E - 979063.60N.



CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

1. Sector Activo



Abundantes grietas producto de superficies activas – deslizamiento activo, límite superior - Norte. Coordenadas 997039.87E - 979353.64N.



CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

1. Sector Activo



Deslizamiento activo, límite superior – Norte, las quebradas y ríos producen un proceso de erosión del pie que desarrollan desprendimientos continuos de las márgenes. Coordenadas 997039.87E - 979353.64N.



CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

1. Sector Activo



Deslizamiento activo, quebrada Paraíso Central, laderas con movimiento permanente. Está compuesto por material heterogéneo, se observan brechas incoherencias color gris verdoso y café claro. Coordenadas 986553.88E - 979303.47N.



CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

1. Sector Activo



Grietas longitudinales se observan a una distancia hasta a 100 m del cauce principal Quebrada Paraíso Central – laderas activas, desplazamientos permanentes.
 Coordenadas 397295.37E - 979342.67N.

CARBON Ingenieros S.A.

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

1. Sector Activo



La quebrada Paraíso acarrea diariamente sedimentos con un rango granulométrico amplio, la partícula gruesa se acumula en el lecho, donde se observan areniscas y abundantes clastos de caliza fosilífera.
 Coordenadas 397833.49E - 978900.29N.

CARBON Ingenieros S.A.

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

1. Sector Activo



Hacia la desembocadura de la quebrada Paraíso las laderas inestables presentan una rotación y un levantamiento de la superficie hacia aguas arriba. Coordenadas 398346.58E - 979189.61N.

CARBON Ingenieros S.A.

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

2. Sector latente o inactivo inferior

Área: 103 Ha (21% del área total del deslizamiento Paraíso)
 Ubicación: Parte intermedia del deslizamiento

Aspectos relevantes:

- Actualmente no muestra actividad visible (solamente reptación de la capa superficial de suelo e inestabilidades locales al borde de las quebradas), pero posee características de un depósito de baja consistencia con potencial a moverse.
- Se distingue del sector activo por las estructuras de movimiento ya indicadas y se separa del Sector Superior inactivo, por un cambio topográfico representado por un escarpe muy claro que evidencia un movimiento posterior al colapso inicial del deslizamiento Paraíso
- El escarpe intermedio es una estructura cóncava de una longitud de 621 m
- Las pendientes de las laderas son de bajo ángulo (suave)

CARBON Ingenieros S.A.

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

2. Sector latente o inactivo inferior



Escarpe que divide lo que se ha denominado deslizamiento latente superior con el inferior. Coordenadas 395796.29E - 979037.67N (parte central).

CARBON Ingenieros S.A.

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

2. Sector latente o inactivo inferior

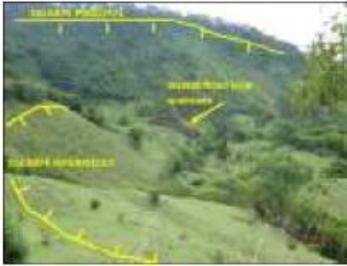


Formas del terreno típicas del sector denominado como deslizamiento Paraíso latente inferior. Se muestra estable. Coordenadas 396133.37E - 979183.56N.

CARBON Ingenieros S.A.

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

2. Sector latente o inactivo inferior



Al fondo se observa el escarpe Norte del deslizamiento Paraíso y en el centro escarpe intermedio entre los sectores latente superior y latente inferior.
 Coordenadas 595796.29E - 979037.67N.

CARBON Ingenieros S.A.

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

3. Sector latente o inactivo superior

Área: 293.8 Ha (59.7% del área total del deslizamiento Paraíso)
 Ubicación: Parte superior del deslizamiento

Aspectos relevantes:

- Se separa de la unidad latente inferior por un escarpe intermedio y contiene el anfiteatro donde se produjo el despegue del material en el evento inicial.
- La topografía en este sector es suave de baja pendiente y con algunos cerros redondeados que sobre salen del perfil topográfico promedio
- En las zonas de baja pendiente se encuentran áreas planas que generan lagunas.
- El cierre o límite del anfiteatro es irregular y a este sector se le incluye una zona de inestabilidad secundaria que se encuentra al SE de la estructura principal, la cual tiene las mismas características.
- En la mayor parte del sector no se han observado problemas de estabilidad de laderas recientes, excepto caída de bloques y suelo en las laderas laterales y centrales del anfiteatro

CARBON Ingenieros S.A.

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

3. Sector latente o inactivo superior



Formas del típicas del terreno en la parte superior de la zona deslizada, denominada como deslizamiento latente superior.
 Coordenadas 595333.13E - 978245.81N.

CARBON Ingenieros S.A.

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

3. Sector latente o inactivo superior



Laguna anómala, típica de terrenos deslizados localizada en el sector norte, zona del deslizamiento latente.
 Coordenadas 595251.35E - 979097.39N.

CARBON Ingenieros S.A.

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

Zonas inestables locales dentro del sector inactivo

En los sectores denominados como inactivos se detectaron áreas inestables que deben ser considerados dentro de un plan de uso del suelo y establecer medidas de protección:

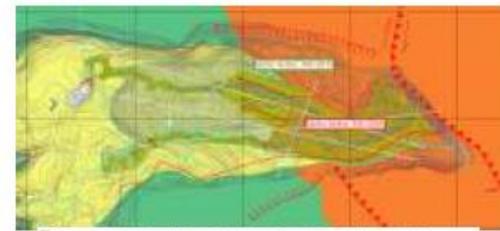
- Márgenes de las quebradas
- Varios sectores del camino de acceso
- Sector cercano a la torre de comunicación celular del ICE



CARBON Ingenieros S.A.

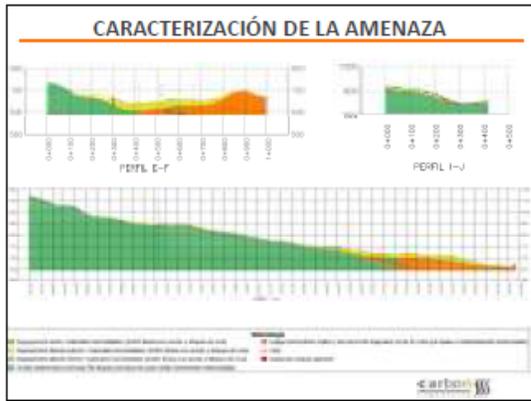
CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

• Avance del deslizamiento 2006-2019



■ Deslizamiento activo: materiales inestabilizados (matriz limosa con arenas y bloques de roca)
■ Deslizamiento latente superior: materiales inestabilizados (matriz limosa con arenas y bloques de roca)
■ Deslizamiento latente inferior: materiales inestabilizados (matriz limosa con arenas y bloques de roca)

CARBON Ingenieros S.A.



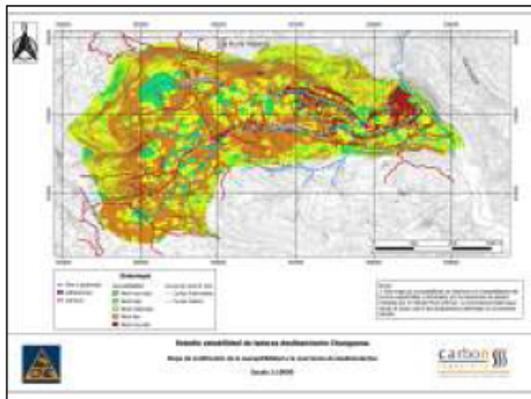
CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

Susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos

- La susceptibilidad a deslizamientos es la condición que tiene un área a sufrir un deslizamiento como resultado de la interacción de los factores condicionantes y los factores detonantes (Chaverri, 2016).
- La susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos se evaluó mediante el método de More-Vehron (2002)
- Esta metodología permite determinar, para un área específica, la susceptibilidad a deslizamientos tomando en cuenta los siguientes factores:
 - Pendiente (S_1)
 - Litología (o geomorfología, en este caso) (S_2)
 - Humedad del suelo (S_3)
 - Sismicidad (D_1)
 - Lluvias intensas (D_2)

$$H = (S_1 \times S_2 \times S_3) \times (D_1 + D_2)$$

Distribución porcentual de la zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos



CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

Estado actual de estabilidad: Análisis de estabilidad de laderas

Limitaciones

- El espesor de la masa deslizada no se conoce con total certeza.
- No se dispone de pruebas de campo o laboratorio que permitan una definición más precisa de parámetros geomecánicos de cada una de las unidades geotécnicas definidas en los modelos.
- Al no disponerse de sondeos profundos instrumentados con piezómetros, no se conoce la variación real del nivel freático en el área de estudio en las diferentes épocas del año.

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

Estado actual de estabilidad: Análisis de estabilidad de laderas

Modelo geotécnico

UG-01: Materiales inconsolidados } Parámetros obtenidos a partir de retroanálisis
 UG-02: Areniscas (Fila Huscal) }
 UG-03: Lutitas y areniscas } Parámetros obtenidos a partir del criterio de Hoek y Brown
 UG-04: Zonas de falla }

Modelo geotécnico. Deslizamiento Paraíso de Chánguena

Unidad	Peso unitario (KN/m ³)	Cohesión (KPa)	ϕ (°)	E (MPa)
1. Materiales inconsolidados (deslizamiento)	16.25	20	19-21	30
2. Areniscas (Fila Huscal)	24.00	333	36	335
3. Lutitas y Areniscas (Fila Arguciana)	21.00	129	23	92
4. Zonas de falla	21.00	122	20	73

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

Estado actual de estabilidad: Análisis de estabilidad de laderas

Análisis de estabilidad

- Se realizaron análisis de estabilidad de taludes para conocer el posible comportamiento del deslizamiento bajo diferentes escenarios, tanto en condición estática como de sismo, realizando también variaciones en la elevación del nivel freático, con el fin de simular los cambios esperables en este durante las diferentes épocas del año.
- El objetivo principal es determinar para cada una de ellas la extensión de la posible zona de afectación en caso de que se sigan presentando deslizamientos menores o el caso hipotético de un colapso de gran magnitud.
- El área de estudio ha quedado enmarcada dentro de la zona de mayor sismicidad de Costa Rica, según el Código Sísmico de Costa Rica (2010).
- Se han analizado además las aceleraciones promedio mínimas que pueden generar deslizamientos, variando progresivamente el coeficiente pseudostático utilizado en los análisis.

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

Estado actual de estabilidad: Análisis de estabilidad de laderas
Análisis de estabilidad

Condiciones analizadas

- Época seca sin sismo
- Época seca con sismo
- Época lluviosa sin sismo
- Época lluviosa con sismo
- Condición post-sismo
- (T=150 años)
- Falla progresiva

Factores de seguridad mínimos bajo las diferentes condiciones analizadas

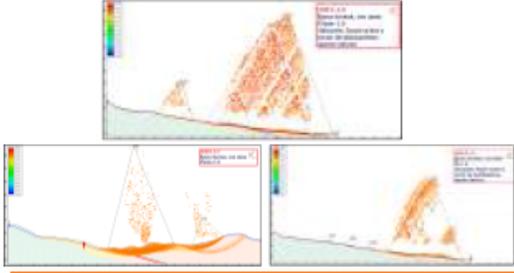
Condición	Factor de seguridad mínimo Perfil				
	A-B	D-H	C-D	E-F	
Época seca, sin sismo	1.74	1.35	1.32	1.31	
Época lluviosa, sin sismo	0.99	1.39	1.17	1.33	
Época seca, con sismo ¹	0.81	0.87	0.68	0.82	
Época lluviosa, con sismo ¹	0.53	0.59	0.61	0.67	

1. Sismo T=150 años



CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

Estado actual de estabilidad
Análisis de estabilidad: Época lluviosa con sismo




CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

Medidas de intervención local

- Definición e instalación de un sistema de monitoreo (auscultación) del deslizamiento de Paraíso y de las viviendas más próximas al área activa
- Mantenimiento rutinario o preventivo de caminos
- Mantenimiento periódico o correctivo de caminos
- Atención de tramos críticos y estabilización de deslizamientos menores en taludes del camino
- Mantenimiento de puentes y alcantarillas
- Estabilización del deslizamiento local contiguo a antena de telecomunicaciones del Instituto Costarricense de Electricidad
- Control de erosión de quebradas
- Capacitación de los productores locales en buenas prácticas agrícolas y ganaderas



CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

Medidas de intervención nacional

- A nivel del Sistema Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, se requiere una revisión detallada de los hallazgos descritos en el este estudio, con el fin de priorizar la ejecución de las medidas de intervención locales presentadas.
- Por otra parte, la tarea principal de la CNE recae en la vinculación con las diferentes instituciones involucradas y la comunidad, para la implementación del Sistema de Vigilancia y Alerta Temprana del Deslizamiento aquí propuesto.



CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

- Uso actual del suelo
- Capacidad de uso
- Conflictos de uso
- Principales datos demográficos y sociales
- Organización comunal
- Infraestructura vulnerable
- Aspectos positivos y negativos
- Escenarios de intervención del estado
- Estrategia de intervención social 5 años plazo
- Propuesta de uso del suelo



CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Uso actual del suelo



Categoría	%
Árbol	40.1
Charal	0.0
Césped	0.0
Gras	49.0
Resistencia Rural	1.0
Carretera	1.0
Laguna	0.0





CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Organización comunal

- 7 organizaciones, 4 formales y 3 de hecho.
- Las formales obtienen sus recursos conforme les corresponde, las informales lo hacen con el aporte de los integrantes y la comunidad, cuando se requiere.
- Movilidad y disponibilidad de los vecinos afectan la conformación de estos comités.

Nombre de la organización	Tipo	Persona representante
Asociación de Padres de Estudiantes	Normal	Isabel Perdomo
Asociación de Padres de Estudiantes	Normal	Marta López
Asociación de Padres de Estudiantes	Normal	Roberto López
Asociación de Padres de Estudiantes	Normal	Lidia López
Comité de Cereales	De hecho	Alvaro López
Comité de Salud	De hecho	Isabel Perdomo
Comité de Deportes	De hecho	Marta López

Aerial view of the community area.



CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Infraestructura vulnerable

Zona o susceptibilidad	Infraestructura	Items	Sub-Total
Zona de alta susceptibilidad	Agricultura	1	1
	Comercio	1	1
	Educación	1	1
	Salud	1	1
Zona de alta susceptibilidad	Comercio	1	1
	Salud	1	1
	Tanque de agua	1	1
	Telecomunicaciones	1	1
	Transportación	1	1
Susceptibilidad alta	Comercio	1	1
	Transportación	1	1
Susceptibilidad moderada	Comercio	1	1
	Transportación	1	1
Susceptibilidad baja	Comercio	1	1
	Transportación	1	1
Susceptibilidad muy baja	Agricultura	1	1
	Transportación	1	1
TOTAL			14

- ### CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD
- #### Infraestructura vulnerable
- Vías de acceso: el camino principal en diferentes tramos se encuentra dentro o en el límite del deslizamiento, una parte importante dentro del sector considerado como activo. En periodos de fuertes lluvias el acceso puede sufrir interrupciones por colapsos locales. La comunidad podría quedar incomunicada.
 - Casas de habitación, graneros y/o corrales: 2 propiedades con vivienda y facilidades de corrales se encuentran actualmente a 70 m del límite activo, de mantenerse el avance de las grietas, podrían ser vulnerables por los desplazamientos del terreno en un corto plazo. Existen otras dos propiedades en las cercanías del puente del río Limón que también deben ser motivo de seguimiento.
 - Torre de telefonía celular propiedad del ICE: se encuentra en el centro de la comunidad y fue construida al borde de un deslizamiento local activo. Actualmente no muestra daños, pero un desequilibrio de las condiciones del terreno podría provocar su afectación.

CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Infraestructura vulnerable



Viviendas cercanas al área activa del deslizamiento
(Líneas rojas indican escarpes o grietas en el terreno)



CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Infraestructura vulnerable



Viviendas cercanas al área activa del deslizamiento



CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Infraestructura vulnerable

Cuadro. Puentes principales en las vías de acceso a la comunidad de Paraíso de Chánguena

Ubicación	Coordenadas		Estado	Imagen
	WGS84 UTM	UTM		
Puerto Belizana	168807.0	1767300.0	SB	
Puerto Sanabria - Paraíso	169100.0	1765000.0	SB	
Acceso al puente "La granja"	168800.0	1766000.0	S	



CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Percepción comunal del riesgo

- Entrevistas líderes comunales (4 y 5 julio) Taller comunal 26 de julio, 2019.
- Mapeo de la comunidad de zonas e infraestructura vulnerable.
- Existe una exposición de la comunidad de Paraíso a la amenaza del Deslizamiento Chánguena, por el avance de su zona activa y la presencia de infraestructura, así como la afectación del camino y puentes sobre la quebrada Sur y río Limón.
- Consideran que debe estudiarse la posibilidad de construir obras civiles que permitan desacelerar el avance de la zona activa.
- Se reconoció importante reforestar pastos para el control de la erosión, reconocen la necesidad de capacitación en estas buenas prácticas agropecuarias.
- Estiman importante la organización comunal en un Comité Local de Emergencias, para un sistema de alerta temprana; la comunidad considera que deben recibir capacitación.



CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Percepción comunal del riesgo




CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Aspectos positivos y negativos

- Degradación ambiental:**
 - (-) Afectación negativa al paisaje por ganadería y mal manejo de desechos familiares.
 - (+) Interés por reforestación y organización comunal para la mejora ambiental.
- Gestión del riesgo**
 - (-) Se ha aprendido a vivir con la amenaza, en algunos casos se subestima el riesgo.
 - (+) Interés por organización de Comité Local de Emergencias.
- Trámites de construcción-Plan Regulador**
 - (-) Desconfianza en el municipio por restricciones a permisos de construcción.
 - (+) Reconocen que los estudios sobre la amenaza permiten entender mejor la misma y tomar mejores decisiones.
- Salud-educación**
 - (-) Nula información secundaria en salud, solo población joven posee escolaridad, pero participa menos en asuntos comunales.
 - (+) La población adulta y adulta mayor es la más activa en asuntos comunales, a pesar de que en su mayoría poseen solo lecto-escritura.



CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Escenarios de intervención del estado

- Escenario 1.** Resultados de este estudio sean trasladados a la Municipalidad de Buenos Aires para futuras planificaciones territoriales.
 Crecimiento de la infraestructura comunal y comercial sea posible pero contenida a las áreas menos activas del deslizamiento y se genere mejoramiento de prácticas de conservación suelos en terrenos e inversión en obras civiles que permitan la desaceleración del avance de la sección activa del deslizamiento.
- Escenario 2.** Política de reubicación de las familias y parcelas de la comunidad de Paraíso de Chánguena en otros sectores.
 Proceso lento, con inversión estatal en estudios de nuevas propiedades para uso de estas familias, con su respectivo proceso psico-social que demanda el reasentamiento familiar o comunal, por efecto de desarraigo social de un lugar con más de 40 años de asentamiento agrario.

CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Estrategia de intervención social a 5 años plazo

Año	Acciones	Responsables	Responsable
1	Analizar, ajustar y actualizar la información sobre el Deslizamiento Chánguena.	Normalizar la información oficial y actualizada sobre el Deslizamiento Chánguena.	CNE
2	Formalizar el Comité Local de Emergencias.	Verificar la disponibilidad de vecinos. Juramentar el Comité Local de Emergencias.	CNE y Municipalidad de Buenos Aires
2	Formación de los vecinos de Paraíso en mejores prácticas agropecuarias, para reducción de huella ecológica y procesos erosivos.	Coordinación capacitaciones con INIA, MAF y MNRSA	Municipalidad de Buenos Aires
2	Generar capacidades locales para la implementación del Sistema de Alerta Temprana.	Ejecutar plan de capacitación al Comité Local de Emergencias y a la comunidad de Paraíso.	CNE
2 y 3	Aplicar controles de desarrollo de infraestructura y cambios de uso de la tierra en Paraíso de Chánguena.	Ajustar y emitir ante el INEPU el Plan Regulador con la Variable Ambiental Aprobada y una adecuada Participación Ciudadana.	Municipalidad de Buenos Aires
2 y 4	Ejecutar Sistema de Alerta Temprana.	Instalar y poner en marcha sistema de monitoreo Poner en marcha participación del Comité Local de Emergencias en el Sistema de Alerta Temprana.	CNE y Comité Local de Emergencias
3	Evaluar el Sistema de Alerta Temprana y proponer ajustes para su mejor desempeño.	Ejecutar instalación.	CNE y Comité Local de Emergencias

CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Plan de Capacitación

Objetivo	Actividades	Responsable
Realizar un diagnóstico sobre las necesidades de capacitación del personal conformes Comité Local de Emergencias.	Consejar sobre acciones con información para: Verificar consistencia de la información. Verificar consistencia interna comunal. Desarrollar el plan de manejo de comunicación y emisión de mensajes. Conocer la realidad local de protocolos de respuesta ante alertas. Obtener el nivel de conocimiento con respecto a procesos organizativos y de funcionamiento de un Comité Local de Emergencias y su relación con la CNE y Municipalidad de Buenos Aires.	CNE
Fortificar la ejecución de capacitaciones específicas de técnicas de diagnóstico.	Coordinar los acciones necesarias para la ejecución de las capacitaciones técnicas y diagnósticas.	CNE
Realizar capacitaciones específicas de técnicas de diagnóstico.	Desarrollar la capacitación del Comité Local de Emergencias en las siguientes áreas: Coordinación del Deslizamiento Chánguena. Coordinación de las características geográficas de la comunidad de Paraíso de Chánguena. Conocimiento sobre el sistema de vigilancia y monitoreo de la zona. Comunicación escrita y emisión de mensajes para gestión de emergencias. Taller para la emisión protocolos de respuesta ante alertas. Acciones organizativas y de funcionamiento del Comité Local de Emergencias y su relación con la CNE y Municipalidad de Buenos Aires.	CNE
Transferir a la comunidad la información recibida por parte de Comisión de Emergencias.	Desarrollar una agenda de reuniones comunitarias, con una periodicidad bi-mensual, que permita al Comité Local de Emergencias transferir a la comunidad la información recibida de la CNE. Fortificar en conjunto con la CNE la ejecución de un simulacro anual de Emergencias y gestión de procedimientos de acciones relativas al Deslizamiento Chánguena.	Comité Local de Emergencias

CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Estrategia de intervención a 5 años plazo

Año	Acciones	Responsables	Responsable
1	Analizar, ajustar y actualizar la información sobre el Deslizamiento Chánguena.	Normalizar la información oficial y actualizada sobre el Deslizamiento Chánguena.	CNE
2	Formalizar el Comité Local de Emergencias.	Verificar la disponibilidad de vecinos. Juramentar el Comité Local de Emergencias.	CNE y Municipalidad de Buenos Aires
2	Formación de los vecinos de Paraíso en mejores prácticas agropecuarias, para reducción de huella ecológica y procesos erosivos.	Coordinación capacitaciones con INIA, MAF y MNRSA	Municipalidad de Buenos Aires
2	Generar capacidades locales para la implementación del Sistema de Alerta Temprana.	Ejecutar plan de capacitación al Comité Local de Emergencias y a la comunidad de Paraíso.	CNE
2 y 3	Aplicar controles de desarrollo de infraestructura y cambios de uso de la tierra en Paraíso de Chánguena.	Ajustar y emitir ante el INEPU el Plan Regulador con la Variable Ambiental Aprobada y una adecuada Participación Ciudadana.	Municipalidad de Buenos Aires
2 y 4	Ejecutar Sistema de Alerta Temprana.	Instalar y poner en marcha sistema de monitoreo Poner en marcha participación del Comité Local de Emergencias en el Sistema de Alerta Temprana.	CNE y Comité Local de Emergencias
3	Evaluar el Sistema de Alerta Temprana y proponer ajustes para su mejor desempeño.	Ejecutar instalación.	CNE y Comité Local de Emergencias

CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Propuesta de uso de la tierra



SISTEMA DE VIGILANCIA Y ALERTA TEMPRANA

Sistema de alertas ante sismo

- Ante eventos sísmicos se plantea el esquema de alertas mostrado según la intensidad y aceleraciones estimadas en la zona, utilizando la Escala de Intensidad Sísmica de la Agencia Meteorológica de Japón (JMA).
- La información asociada a la intensidad de los sismos se obtendría a partir del sistema MAS-US del Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica, disponible en su página Web <http://www.mas.us.ucr.ac.cr/>.
- El criterio de definición de las alertas se basa en los análisis de estabilidad de taludes realizados para el deslizamiento de Paraíso, donde se varió progresivamente el coeficiente pseudo estático utilizado (que a la vez se correlaciona con las aceleraciones asociadas a la clasificación de intensidades empleada).

SISTEMA DE VIGILANCIA Y ALERTA TEMPRANA

Sistema de alertas ante sismos

Intensidad en escala JMA	Percepción	Alto	Mediano	Bajo	Muy Bajo
4	1	2	3	4	5
Intensidad (a)	0.4	0.2	0.1	0.05	0.02
Aceleración (a)	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005

Definición del tipo de alerta en función de la intensidad del evento sísmico en el área de Paraíso.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Caracterización de la amenaza

- Efectivamente la comunidad de Paraíso, Chánguena, Buenos Aires de Puntarenas se encuentra asentada dentro de una estructura antigua de deslizamiento.
- El área principal de la estructura del deslizamiento abarca una extensión de 492 Ha.
- El anfiteatro es irregular y en algunos sectores difuso, posee pendientes del terreno medias a altas.
- El deslizamiento tiene una geometría similar a una lengüeta invertida, siendo la parte más ancha el sector del anfiteatro y la más angosta en su sector inferior, cerca de la confluencia con el río Limón. El ancho varía entre 1800 y 460 m, y una longitud máxima de 4350 m. Se encuentra entre las elevaciones 1100 y 515 m.s.n.m.
- El análisis de fotografías aéreas en diferentes periodos indica que el tamaño de la estructura del deslizamiento Paraíso no ha variado, mostrando que los límites del deslizamiento se encuentran en apariencia estable (parte externa). Se ha determinado que algunos sectores a lo interno del deslizamiento, se encuentran activos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Caracterización de la amenaza

- De acuerdo a la actividad del deslizamiento, la estructura principal puede dividirse en 3 sectores: (1)Activo, (2)Latente inferior y (3)Latente superior.
- Adicionalmente dentro del sector inactivo se han detectado sectores menores que presentan inestabilidad actual, estas 2 zonas son las siguientes:
 - En los márgenes de la quebrada Paraíso y sus afluentes principales
 - Sector por donde se localiza la torre de transmisión celular del ICE
- El sector activo corresponde con un área de 95 Ha (19,3% con respecto al total) localizada en la parte inferior (o baja) de la estructura del deslizamiento, la cual muestra una dinámica permanente de desplazamientos con diferentes mecanismos de falla.
- El área del sector activo se ha incrementado con el tiempo, creciendo o avanzando hacia aguas arriba. De acuerdo con el cartografiado de Bonilla (2006) con respecto al cartografiado del 2019, el área del sector activo se ha incrementado en 26,2 hectáreas (27,6%). En 13 años de registro confiable indica que la parte activa se ha movido alrededor de 500 m, mostrando una tasa de avance de alrededor de los 3 m por mes, si el desplazamiento es constante. Es posible que en periodos lluviosos o de eventos extraordinarios el avance sea mayor, comparado con la época de estiaje.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Caracterización de la amenaza

- Este incremento de la superficie activa es preocupante si corresponde a un proceso continuo en el tiempo, pues podría afectar la infraestructura que se encuentra en las partes altas.
- Se desconoce si la tasa de movimiento es constante o intermitente, pues no hay un mecanismo de control o auscultación.
- Tampoco se conoce si el principal mecanismo de falla se mantiene a todo lo largo de la estructura de deslizamiento o podría ser algo particular del sector, en todo caso resulta necesario establecer medidas de control y acciones que puedan mitigar la condición actual.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Caracterización de la amenaza

- Los aspectos más importantes sobre la vulnerabilidad de la comunidad con respecto al deslizamiento Paraíso está relacionada con los siguientes aspectos:
 1. **Vías de acceso:** el camino principal en diferentes tramos se encuentra dentro o en el límite del deslizamiento, una parte importante dentro del sector considerado como activo. En periodos de fuertes lluvias el acceso puede sufrir interrupciones por colapsos locales. La comunidad podría quedar incomunicada.
 2. **Actividades económicas:** dentro del área activa se encuentran cultivos de frutas, hortalizas y café, están siendo afectadas directamente por el desplazamiento constante del terreno. Actividades ganaderas utilizan parte de estas tierras para alimento, por lo tanto, el ganado es vulnerable a desprendimientos súbitos de las laderas.
 3. **Casas de habitación, graneros y/o corrales:** 2 propiedades con vivienda y facilidades de corrales se encuentran actualmente a 70 m del límite activo, de mantenerse el avance de las grietas, podrían ser vulnerables por los desplazamientos del terreno en un corto plazo.
 4. **Torre de teléfono celular propiedad del ICE:** se encuentra en el centro de la comunidad y fue construida al borde de un deslizamiento local activo. Actualmente no muestra daños, pero un desequilibrio de las condiciones del terreno podría provocar su afectación.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Caracterización de la amenaza

- Se ha realizado una serie de análisis de estabilidad de laderas bajo diferentes condiciones con el objetivo de determinar la extensión de la posible zona de afectación de los deslizamientos dentro del área de estudio y los factores de seguridad asociados.
- La condición más crítica analizada en el estudio de estabilidad corresponde a la de época lluviosa y sísmo (T=150 años). En prácticamente todos los perfiles (longitudinales y transversales) se obtuvieron los factores de seguridad más bajos y las superficies de falla de mayores dimensiones. Se esperaría una cantidad considerable de movimientos de masa de diversos tamaños en el área activa y en menor cantidad en el sector del deslizamiento latente inferior.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

2. Caracterización de la vulnerabilidad y aspectos socio ambientales

- Paraíso de Chánguena, una comunidad rural-línea, de relieves plano ondulados y escarpados, desprovista de su cobertura boscosa, paisaje geográfico posee una predominancia antrópica, determinada por las actividades ganaderas y agrícolas.
- DE-23214-MAG-MIRENEM clasifica estas tierras en las Clases V y VII, con lo que se recomienda el uso en manejo natural del bosque o pastos en pendientes inferiores o iguales al 15%.
- La población se constituye por personas adultas y adultas mayores, dedicada a actividades agropecuarias por cuenta propia o para terceros.
- Organizativamente Paraíso posee varios comités de hecho, formalmente se tiene ASADA y las juntas de escuela y colegio.
- Pobladores de Paraíso de Chánguena son conscientes de la cercanía a la amenaza por deslizamiento y muestran interés para el seguimiento a un Sistema de Alerta Temprana.
- La información generada es útil para que la Municipalidad de Buenos Aires y la CNE puedan en contar en el corto plazo con herramientas de planificación territorial cantonal.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3. Sistema de vigilancia y alerta temprana

- En el Sistema de Vigilancia y Alerta Temprana de deslizamiento (SATD) planteado para la comunidad de Chánguena se han incluido aspectos generales asociados a la instrumentación a implementar en el área afectada, a nivel de monitoreo hidrometeorológico y de desplazamientos del terreno, así como los aspectos asociados a los procedimientos operativos del sistema (alertas y protocolos).
- La instrumentación planteada para el monitoreo hidrometeorológico y de desplazamientos del terreno se considera simple. Su implementación y operación y mantenimiento requiere de coordinación interinstitucional (IMN, CNE, ICE, Municipalidad) y la participación de miembros comprometidos dentro de la comunidad (CCE).
- El esquema de alertas del SAT está en función de la posibilidad de que se presenten eventos meteorológicos que puedan superar los umbrales establecidos de lluvia en el área de Paraíso, que podrían ser capaces de producir deslizamientos.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3. Sistema de vigilancia y alerta temprana

- La curva umbral propuesta para el SAT requiere ser revisada a futuro a partir del registro de eventos meteorológicos y desplazamientos del terreno que se realice. En este tipo de sistemas que dependen de criterios lluvia/ deslizamiento, la ocurrencia de deslizamientos tiene que ser correlacionada con la duración/intensidad de lluvias. Por lo tanto, es importante recopilar todos los registros de lluvia e información asociada al tiempo de ocurrencia de los deslizamientos, para que la lluvia horaria pueda ser comparada con las ocurrencias. Cuando se tenga una cierta cantidad de eventos será posible construir una relación estadística válida entre lluvia e inicio de deslizamientos.
- Para eventos sísmicos no se podrá establecer un Sistema de Alerta Temprana como tal, pero sí la activación de un sistema de alertas. Este consistiría en un esquema basado en la intensidad y aceleraciones estimadas en la zona, utilizando la Escala de Intensidad Sísmica de la Agencia Meteorológica de Japón (JMA). La información asociada a la intensidad de los sismos se obtendría a partir del sistema MAS-US del Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica.



A8. Mapas

-  1905C16-MA-02-REV0 Mapa Esquema Deslizamiento
-  1905C16-MA-01-REV0 Mapa Geológico
-  1905C16-MA-03-REV0 Perfiles de Mapa Geológico
-  1905C16-MA-04-REV0 Mapa de Pendientes
-  1905C16-MA-05-REV0 Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos
-  1905C16-MA-06-REV0 Mapa Uso Actual Suelo
-  1905C16-MA-07-REV0 Mapa conflictos de uso del suelo
-  1905C16-MA-08-REV0 Mapa de infraestructura vulnerable
-  1905C16-MA-09-REV0 Mapa de Propuesta de Uso de Suelo