

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGÍA

**ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN EL
DISTRITO DE TRES EQUIS: UNA BASE PARA LA GESTIÓN DEL
RIESGO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL,
TURRIALBA, COSTA RICA**

MEMORIA DE SEMINARIO DE GRADUACIÓN

Geólogas:

Dione Barahona Oviedo
Joanna Méndez Herrera
Linda Sjöbohm Castillo

San José, Costa Rica

Marzo, 2013

**Universidad de Costa Rica
Facultad de Ciencias
Escuela Centroamericana de Geología**

Análisis de la susceptibilidad a deslizamientos en el distrito de Tres Equis: una base para la gestión del riesgo y ordenamiento territorial, Turrialba, Costa Rica

Memoria sometida y aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Licenciatura en Geología y el Comité Evaluador de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado académico de Licenciatura en Geología.

Comité Evaluador

M.Sc. Giovanni Peraldo Huertas
Escuela Centroamericana de Geología
Director

M.Sc. Elena Badilla Coto
Escuela Centroamericana de Geología
Co-Directora

M.Sc. Rolando Mora Chinchilla
Escuela Centroamericana de Geología
Co-Director

M.Sc. Lidier Esquivel Valverde
Comisión Nacional de Prevención del
Riesgo y Atención de Emergencias
Lector

Dr. Javier Trejos Zelaya
Decano, de la Facultad de Ciencias

Postulantes

Geól. Dione Barahona Oviedo

Geól. Joanna C. Méndez Herrera

Geól. Linda Sjöbohm Castillo

DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Nosotras, Dione Barahona Oviedo, Joanna Méndez Herrera y Linda Sjöbohm Castillo, portadoras de las Cédulas de Identidad No. 109770372, 602860619 y 11143504, respectivamente, conocedoras de las sanciones legales con que la Ley Penal de la República de Costa Rica castiga el falso testimonio.

DECLARAMOS bajo la fe de juramento lo siguiente: que somos estudiantes de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica y como requisito de graduación debemos defender nuestra Tesis para optar por el grado académico de Licenciatura en Geología, la cual versa sobre el tema: ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN EL DISTRITO DE TRES EQUIS: UNA BASE PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL, TURRIALBA, COSTA RICA. Por lo que manifestamos que la misma ha sido elaborada siguiendo las disposiciones exigidas por la Universidad.

Además declaramos solemnemente que dicha Tesis es fruto de nuestro esfuerzo e investigación en su totalidad, que en ella no han participado personas ajenas a nuestro Director, Co-directores y Lector, instituciones ni organizaciones extrañas y que los documentos utilizados están respectivamente citados. ES TODO.

Firma en la ciudad de San José a las 13 horas del día 01 de marzo del 2013.

Geól. Dione Barahona Oviedo

Geól. Joanna Méndez Herrera

Geól. Linda Sjöbohm Castillo

DEDICATORIA

A nuestras familias

"... mis raíces ya se habrían secado si no estuviesen nutridas por el rico magma del pasado..." **Isabel Allende, "La suma de los días"**

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar un sincero agradecimiento a nuestro tribunal de tesis: M.Sc. Giovanni Peraldo, M.Sc. Rolando Mora, M.Sc. Elena Badilla y M.Sc. Lidier Esquivel, por el apoyo brindado durante todo el proceso de esta investigación; en especial agradecemos la delicada valor de revisión del documento y las provechosas discusiones entorno al análisis de los resultados.

Agradecemos a las comunidades del distrito de Tres Equis por su valiosa colaboración en esta investigación, nuestro agradecimiento a las Asociaciones de Desarrollo Integral de Tres Equis y de San Pablo, así como al personal de la ASADA. Nuestro profundo agradecimiento a Doña Vilma Pereira Badilla por hacernos sentir como en nuestra casa y las largas conversaciones sobre la vida, a Joel Campos Cerdas por la compañía al campo. Además agradecemos a las personas Victoria Fuentes Nájera, Gerardo Fallas, Maricela Mora Loaiza, Rodolfo Sojo, Rafael Montenegro, Mario Quirós Saborío, Felipe Morales Fletes, Lidieth Nájera Hernández, Carlos Oconotrillo Araya, Gabriel Ángel Zapata García, por su disposición y participación en las diferentes fases de la investigación. Gracias al personal docente de las escuelas y colegio del distrito por el permiso para la elaboración de los análisis geotécnicos y las entrevistas brindadas.

Gracias al personal de transportes de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. A nuestra amiga Katherine Blanco Pocasangre y al geólogo Julio Madrigal Mora por su colaboración en la Unidad de Investigación y Análisis del Riesgo.

Gracias a la Sección de Geotecnia: Luis Meneses, Javier Alvarado, Wagner Valverde y Luis Alonso González y al personal de la Escuela Centroamericana de Geología, por el apoyo en la recolección y procesado de las muestras geotécnicas.

Un agradecimiento a los colegas Juliet Betancourt, Lepolt Linkimer, Gerardo Soto, Sergio Hernández, Héctor Zúñiga, Lolita Campos por los consejos y observaciones brindadas. Agradecemos a Cristian Chinchilla Montes por la compañía a las giras al campo y su colaboración en la ejecución de las entrevistas de percepción.

Al personal del Área de Geociencias, Centro de Servicios de Recursos Geotérmicos del Instituto Costarricense de Electricidad, Campo Geotérmico Miravalles.

En general agradecemos a nuestros amigos por el apoyo y consejos brindados durante este proceso.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación del estudio.....	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general:	2
1.2.2 Objetivos específicos:	2
1.3 Aspectos generales sobre el distrito de Tres Equis	2
1.3.1 Población	2
1.3.2 Uso potencial del suelo y recursos naturales	3
1.3.3 Vialidad y transporte.....	5
1.3.4 Agua potable, alcantarillado y electricidad.....	5
1.3.5 Educación	5
1.3.6 Vivienda.....	5
1.4 Ubicación	6
1.5 Antecedentes de investigación.....	7
1.6 Metodología	8
1.6.1 Marco Geológico	8
1.6.2 Análisis geomorfológico y geodinámica externa.....	8
1.6.3 Susceptibilidad a la inestabilidad de laderas.....	9
1.6.4 Elementos vulnerables	9
II. MARCO GEOLÓGICO	1
2.1 Geología Regional	1
2.1.1 Formación Tuis	1
2.1.2 Formación Senosri	1
2.1.3 Formación Fila de Cal.....	2
2.1.4 Formación Punta Pelada	2
2.1.5 Formación Uscari.....	2
2.1.6 Formación Río Banano	2
2.1.7 Formación Suretka	2
2.1.8 Formación Doán	2
2.1.9 Formación Limón	3
2.1.10 Depósitos no litificados del Cuaternario.....	3
2.2 Geotectónica e Historia Geológica.....	5
2.3 Geología local	7
2.3.1 Formación Tuis	7
2.3.2. Formación Senosri	7
2.3.3 Formación Uscari.....	11
2.3.4 Formación Río Banano	13
2.3.5 Formación Suretka	14
2.3.6 Formación Doán	15
2.3.7. Depósitos Recientes.....	18
III. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO Y GEODINÁMICA EXTERNA	21

3.1 Consideraciones hidrológicas.....	21
3.2 Pendientes	28
3.3 Unidades geomorfológicas.....	31
3.3.1 Formas de origen denudacional (D).....	31
3.3.2 Formas de origen estructural-denudacional (S)	49
3.3.3 Formas de origen fluvial (F).....	56
3.4 Descripción de elementos de inestabilidad	59
3.4.1 Inventario de deslizamientos	59
3.4.2 Caracterización del deslizamiento denominado sub-bloque tres equis	79
➤ Primeras referencias científicas sobre el deslizamiento (sub- bloque Tres Equis).....	79
➤ Caracterización del deslizamiento.....	82
➤ Factores condicionantes y desencadenantes.....	86
IV. SUSCEPTIBILIDAD A LA INESTABILIDAD DE LADERAS.....	91
4.1 Caracterización geotécnica	91
4.1.1 Propiedades físicas de los suelos	93
4.1.2 Clasificación de suelos.....	96
4.1.3 Propiedades mecánicas de los suelos	102
4.1.4 Propiedades hidráulicas de los suelos	105
4.1.5 Ensayos penetrométricos dinámicos (DPL).....	106
4.1.6 Difractometría de rayos X para reconocimiento de minerales arcillosos.....	106
4.2 Determinación de susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos	108
4.2.1 Pendientes (S_p).....	110
4.2.2 Litología (S_L)	111
4.2.3 Humedad (S_H).....	112
4.2.4 Geomorfología (S_G)	113
4.2.5 Disparo por lluvia (D_{LI})	115
4.2.6 Disparo por sismicidad (D_S)	115
4.2.7 Susceptibilidad al deslizamiento del área de estudio	118
V. ELEMENTOS VULNERABLES EN EL POBLADO DE TRES EQUIS.....	121
5.1. Análisis estadístico para conocer la percepción social hacia el deslizamiento, por parte de las personas entrevistadas	121
5.2. Implementación del taller de percepción.....	139
5.2.1. Descripción de los mapas de percepción	140
5.3. Inventario de daños en infraestructura civil para el centro de Tres Equis.....	146
5.3.1 Daños reportados en viviendas	146
5.3.2 Descripción de daños observados en infraestructura vial	154
5.3.3 Descripción de daños observados en acueducto	156
5.3.4 Descripción de daños en espacios públicos	158
5.3.5 Otras obras civiles vulnerables a los deslizamientos	160
VI. CONCLUSIONES.....	162
VII. RECOMENDACIONES	168

VIII. REFERENCIAS.....	173
ANEXO A	181
ANEXO B	184
ANEXO C	185
ANEXO D	186
ANEXO E	187
ANEXO F.....	194
ANEXO G.....	195
ANEXO H.....	203
ANEXO I	205
ANEXO J.....	208

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Representación de la cobertura boscosa para el distrito de Tres Equis.	4
Figura 1.2: Mapa de ubicación del distrito de Tres Equis, Turrialba.....	6
Figura 1.3 Síntesis de metodología propuesta para el análisis del medio físico en el distrito de Tres Equis y elementos de vulnerabilidad	9
Figura 2.1. Columna cronoestratigráfica regional.....	4
Figura 2.2. Ubicación geotectónica.....	6
Figura 2.3. Mapa geológico compilado y modificado.....	9
Figura 2.4 A: Intercalaciones de lutitas y areniscas calcáreas de la Fm. Senosri,	10
Figura 2.5. Alternancia de areniscas y lutitas calcáreas de la Fm. Senosri con estratos dislocados (tipo slump).....	11
Figura 2.6. Areniscas finas y lutitas de la Formación Uscari, margen derecha del río Calvario.	12
Figura 2.7. Formación Uscari aflorando en un afluente de la quebrada Camacho.	13
Figura 2.8. Trazas fósiles en lutitas de la fm. Uscari, margen derecha del río Reventazón.....	13
Figura 2.9 A: Detalle macroscópico con espículas de erizo y clastos líticos de la Fm. Río Banano.	14
Figura 2.10. Conglomerado perteneciente a la Fm. Suretka.....	15
Figura 2.11. Afloramiento de la Fm. Doán.	16
Figura 2.12. Formación Doán, quebrada Cacao.	16
Figura 2.13. Afloramiento de la Fm. Doán en el sector de Alto June.....	17
Figura 2.14. Bloques residuales de la Fm. Doán.	17
Figura 2.15 A: Detalle macroscópico de flujo piroclástico de la Fm. Doán cercanías del cerro Alto June.	18
B: Detalle microscópico a nícoles paralelos (izq.) y nícoles cruzados (der.).....	18
Figura 2.16. Aluvi3n, río Reventazón.....	19
Figura 2.17. Aluvi3n, río Pacuare.....	19
Figura 2.18. Aluvi3n, río Calvario.	20
Figura 3.1 Mapa con la distribución de microcuencas y drenajes respectivos en el distrito de Tres Equis y alrededores... 27	27
Figura 3.2. Modelo digital del terreno (DEM) para el distrito de Tres Equis, Turrialba	29
Figura 3.3. Mapa de pendientes para el distrito de Tres Equis, Turrialba	30
Figura 3.4 Mapa geomorfol3gico para el distrito de Tres Equis, Turrialba.....	32
Figura 3.5. Cerros elongados - paralelos, perpendiculares a la pendiente longitudinal de la subunidad geomorfol3gica. ...	33
Figura 3.6. Relieve ondulado, cercanías de cerro Alto June.....	34
Figura 3.7. Loma elongada con rumbo NE-SW (Alto June).	34
Figura 3.8. Loma elongada con rumbo N40E, cercanías del centro de Tres Equis.	35
Figura 3.9. Lomas elongadas y zona deprimida con estancamiento de aguas.	35
Figura 3.10. Zonas deprimidas con estancamiento de agua,	36
Figura 3.11. Ladera de pendiente fuerte en loma elongada (Alto June).....	36
Figura 3.12. Laguna en los alrededores de Alto Pil3n de Azúcar.....	37
Figura 3.13. Lomas rectilíneas-paralelas, de baja altura con rumbo N-S.	37
Figura 3.14. Ladera de pendiente fuerte, observada en los sectores de más altura del distrito Tres Equis.....	38
Figura 3.15. Laguna entre laderas de Fila Molejones.....	38
Figura 3.16. Laderas de pendiente suave a moderada de la subunidad D1.2a.	40
Figura 3.17. Márgenes inestables por profundización del cauce de la quebrada Sol.....	40
Figura 3.18. Deslizamientos en la margen derecha del río Reventazón producto de pendiente fuerte en materiales incompetentes y erosión fluvial en la base del talud.	41
Figura 3.19. Laderas de pendiente suave a moderada de la subunidad D1.2.b.....	42
Figura 3.20. Deslizamiento de la margen derecha quebrada Camacho.	42
Figura 3.21. Topografía ondulada y colinas redondeadas. Subunidad D1.3.a.....	44
Figura 3.22. Laguna en subunidad D1.3.a.....	44
Figura 3.23. Escarpes escalonados con rumbo NE-SW y desprendimientos en márgenes de quebrada Mata de Guineo. Subunidad D1.3.b.....	45
Figura 3.24. Corona de deslizamiento y escarpes escalonados con rumbo NE-SW.....	46

Figura 3.25. Escarpes lineales escalonados con exposición de roca y suelo.	47
Figura 3.26. Intensa erosión fluvial, sección media-inferior río Calvario.	48
Figura 3.27. Vista hacia flanco sur del Alto Corozal (actualmente Tajo Corozal).	49
Figura 3.28. Escarpe longitudinal Amistad-Guadalupe, tramo norte. Paralelo a la ruta nacional 10.....	50
Figura 3.29. Loma adyacente a la entrada principal del poblado de Tres Equis,.....	51
Figura 3.30. Corte transversal de un segmento del escarpe longitudinal Amistad-Guadalupe (tramo norte) con rumbo preferencial N-S.	52
Figura 3.31. Vista del tramo sur del escarpe longitudinal Amistad-Guadalupe.	53
Figura 3.32. Zona deprimida con aguas estancadas entre colinas de la Fila Molejones.	53
Figura 3.33. lagunas en Fila Molejones con rumbo NE-SW.	54
Figura 3.34. Laguna en Fila Molejones.	54
Figura 3.35. Escarpe Flor con rumbo NW-SE.....	55
Figura 3.36. Escarpe Flor con rumbo NW-SE.....	55
Figura 3.37. Escarpe en la margen izquierda río Chitaría.	56
Figura 3.38. Terraza fluvial, margen derecha del río Reventazón.....	57
Figura 3.39. Terraza aluvial en la confluencia del río Cacao con el río Reventazón.....	57
Figura 3.40. Terraza fluvial en la confluencia del río Cacao.....	58
Figura 3.41. Terraza aluvial en la confluencia de la quebrada Mata de Guineo.	58
Figura 3.42. Mapa de inventario de bloques, sub-bloques de deslizamientos, escarpes respectivos y lineamientos para el distrito de Tres Equis y alrededores.	61
Figura 3.43A. Esquema explicativo sobre el deslizamiento de tipo desplazamientos laterales.....	62
Figura 3.43. B. Bloques de deslizamientos Tres Equis-Chitaría y Pacuare.....	63
Figura 3.44. Vista hacia aguas arriba en el río Calvario.....	64
Figura 3.45. Escarpes secundarios con forma escalonada, margen derecha río Calvario.	65
Figura 3.46. Flujo de lodo generado en rocas de la Fm Uscari, margen derecha del río Calvario.....	65
Figura 3.47. Flujo de lodo generado en la superficie del sub-bloque de deslizamiento Calvario.....	66
Figura 3.48. Segmento de deslizamiento en el sub-bloque Flor.....	67
Figura 3.49. grietas de corona observadas en un escarpe dentro del sub-bloque de deslizamiento Flor.	67
Figura 3.50. Vista aérea del sub-bloque Reventazón-Camacho	68
Figura 3.51. Laderas de fuerte pendiente con reptación y estancamiento de aguas en la base, morfología frecuentemente observada en el sub-bloque Amistad – San Martín.	70
Figura 3.52. Vista en Google earth del sector sur del sub-bloque San Pablo.	71
Figura 3.53. Vista en planta del escarpe longitudinal, intersección entre las rutas 10 y 413 (Tres Equis – San Pablo).	72
Figura 3.54. Vista longitudinal de lineamiento N-S al suroeste del sub-bloque San Pablo.	72
Figura 3.55. Vista transversal del lineamiento N-S y escarpe Longitudinal Amistad – Guadalupe.	73
Figura 3.56. Corona de deslizamiento al este del escarpe longitudinal, con formación de escarpes escalonados en la base del deslizamiento.	73
Figura 3.57. Comparación de imágenes aéreas del escarpe Blake.....	74
Figura 3.58. Vivista del escarpe con rumbo N60W.....	74
Figura 3.59. Grieta en el escarpe Finca Blake con desplazamiento vertical de 80 cm y rumbo N40W, septiembre, 2011. 75	75
Figura 3.60. Grieta en el escarpe Finca Blake con desplazamiento vertical de 50 cm y rumbo N40W, septiembre, 2011. 75	75
Figura 3.61. A. vista general de sub-bloque Pacuare.	76
Figura 3.62. Vista de la expresión morfológica al este del sub-bloque San Pablo	77
Figura 3.63. Vista del sector sur del sub-bloque Guadalupe.	77
Figura 3.64. Perfil esquemático que atravieza los sub-bloques Chitaría, Molejones, Guadalupe y Q. Grande.....	78
Figura 3.65. Terrazas de deslizamiento en la margen izquierda de la quebrada Grande.	79
Figura 3.66. Movimientos gravitacionales y Fallamiento en el sector de Tres Equis modificado de Soulas (1992).	80
Figura 3.67. Vista aérea del sub-bloque Tres Equis sector norte, hacia la confluencia del río Calvario con el río Reventazón.....	83
Figura 3.68: Perfil topográfico del deslizamiento en el sub-bloque Tres Equis	84
Figura 4.1. Mapa de ubicación de muestreos geotécnicos (realizados en esta investigación y trabajos anteriores) en el distrito de Tres Equis y alrededores	92
Figura 4.2. Muestreo geotécnico.	93
Figura 4.3: Mapa de clasificación de suelos según sistema unificado de clasificación de suelos (astm, 1993).....	103

Figura 4.4. Ensayo de permeabilidad.....	105
Figura 4.5: mapas de parámetros utilizados para el modelo de susceptibilidad a deslizamientos según metodología moravarhson-mora (MVM) y modificada.....	117
Figura 4.6: Mapa de Susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos, según MVM y método modificado para componente geomorfológica.....	120
Figura 5.1. Mapa de percepción elaborado por miembros de la comunidad de San Pablo.....	141
Figura 5.2. Mapa de percepción elaborado por miembros de la comunidad de Tres Equis y.....	143
Figura 5.3. Mapa de percepción elaborado por miembros de la comunidad de Tres Equis.....	145
Figura 5.4. Distribución geográfica del inventario de infraestructura habitacional realizado en el sector urbano del distrito de Tres Equis.....	147
Figura 5.5. Detalle del sector urbano del distrito de Tres Equis, con la ubicación de grietas, su disposición preferencial y casas con daños.....	148
Figura 5.6. Inicios del poblado de Tres Equis entre los años 1971-1972, construcciones realizadas con módulos prefabricados en madera.....	149
Figura 5.7. Vivienda ubicada en el centro de Tres Equis entre la Fuerza Pública y la escuela La Guaria.....	150
Figura 5.8. Vivienda ubicada en el sector de Bajo Los Mora.....	151
Figura 5.9. Vivienda ubicada a la entrada de Tres Equis.....	151
Figura 5.10. Gimnasio de la escuela San Pablo afectado por grietas de tensión.....	152
Figura 5.11. Vista de los sistemas de grietas que atraviesan la escuela de San Pablo y el escarpe de deslizamiento ubicado al este del centro educativo.....	153
Figura 5.12. Daños observados en vivienda prefabricada construida sobre grieta activa de deslizamiento.....	154
Figura 5.13. Ubicación de las grietas y escarpes que atraviesan la comunidad de Tres Equis, presentan un rumbo preferencial NE.....	155
Figura 5.14. Daños en carreteras por grietas de deslizamiento, sector entre la Escuela y la fuerza Pública de Tres Equis. las grietas de distensión presentan un rumbo N58E.....	156
Figura 5.15. Mapa inventario de daños por deslizamientos en el acueducto de Tres Equis.....	157
Figura 5.16. Daños generados por grietas activas de deslizamiento sobre la tubería de agua potable, sector de barrio San Juanillo.....	158
Figura 5.17. Vista aérea de grietas activas que atraviesan la antigua plaza (sector A) y la nueva plaza de Tres Equis (sector B).....	158
Figura 5.18. Grietas generadas por deslizamiento en la antigua plaza de Tres Equis, la cual quedó inhabilitada posterior al terremoto de Limón.....	159
Figura 5.19. Grietas generadas por deslizamiento generan daños en la ruta No.10, en la plaza nueva y en el cementerio de Tres Equis.....	159
Figura 5.20. Ubicación de torre de transmisión eléctrica sobre la corona lateral del deslizamiento en el sub-bloque Calvario.....	160
Figura 5.21. Vista del poliducto en diferentes tramos afectados por movimientos en masa.....	161
Figura 7.1. Ejemplo de medidor rústico para detección de deslizamientos del terrenos.....	172

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1. Distribución de la población en el distrito de Tres Equis, Turrialba.	3
Gráfico 1.2. Distribución de las viviendas ocupadas para el distrito de Tres Equis, zonas urbano y rural.	5
Gráfico 5.1. Ocupación de las personas entrevistadas.	123
Gráfico 5.2. Agrupación de los entrevistados según el rango de edad.	124
Gráfico 5.3. Representación del nivel de escolaridad de las personas entrevistadas.	125
Gráfico 5.4. Distribución de la población entrevistada según su género.	126
Gráfico 5.5. Tiempo de residencia de los entrevistados en el distrito de Tres Equis, Turrialba.	127
Gráfico 5.6. Distribución de las actividades económicas en el distrito de Tres Equis.	128
Gráfico 5.7. Distribución de los peligros naturales o humanos que han afectado a la comunidad, según percepción de los entrevistados.	129
Gráfico 5.8. Percepción de las amenazas cde acuerdo al rango de edad de los entrevistados.	130
Gráfico 5.9. Opinión de los entrevistados sobre el origen de los desastres.	131
Gráfico 5. 10. Opinión de los entrevistados sobre la causa de los deslizamientos en Tres Equis.	132
Gráfico 5.11. Memoria histórica de los entrevistados con relación al tiempo transcurrido desde el último evento que afectó a la comunidad.	133
Gráfico 5.12. Percepción de los entrevistados sobre la ocurrencia de daños generados por deslizamientos.	134
Gráfico 5.13. Tipo de daños en el terreno observados en el distrito de Tres Equis.	134
Gráfico 5.14. Percepción de los entrevistados sobre la organización comunal para atender eventuales desastres.	135
Gráfico 5.15. Percepción de los entrevistados con relación a la organización comunal para la atención de eventuales desastres.	136
Gráfico 5.17. Conocimiento de los entrevistados sobre instituciones responsables de la atención de emergencias.	137
Gráfico 5.18. Percepción de los entrevistados sobre el desempeño municipal.	138
Gráfico 5.19. Distribución del inventario de deslizamiento realizado en el sector urbano de Tres Equis, viviendas dañadas y sin daños.	147
Gráfico 5.20. Distribución de los materiales utilizados en las viviendas que presentan daños en el sector urbano de Tres Equis.	149

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1 Parámetros morfométricos de las microcuencas.....	28
Cuadro 3.2 Clases de pendientes (modificadas de Van Zuidan, 1986).....	29
Cuadro 3.3. Listado de bloques y sub-bloques de deslizamientos en el distrito de Tres Equis y alrededores.....	60
Cuadro 3.4. Dimensiones estimadas para los bloques de deslizamiento Tres Equis – Chitaría y Pacuare.....	62
Cuadro 3.5. Comparación entre áreas y volúmenes medidos en diferentes depósitos de deslizamientos descritos en la literatura científica.....	85
Cuadro 3.6. Registro de las precipitaciones diarias para diciembre de 1970, estación Pacuare.....	88
Cuadro 3.7. Comparación entre las Intensidades Mercalli Modificada registradas para diferentes eventos sísmicos sentidos en Costa Rica, contra los daños reportados en el poblado de Tres Equis.....	90
Cuadro 4.1. Ubicación de pruebas geotécnicas realizadas por Carrillo & Alfaro (1995) y Chavarría (1996).....	91
Cuadro 4.2. Ubicación de las pruebas geotécnicas realizadas para este trabajo.....	93
Cuadro 4.3. Propiedades físicas de las muestras de suelo en el distrito de Tres Equis y alrededores.....	94
Cuadro 4.4. Datos estadísticos para las propiedades físicas determinadas en suelos residuales de la Fm.Doán.....	94
Cuadro 4.5: Resumen de las propiedades físicas determinadas en las muestras de suelo recolectadas durante las campañas geológicas de 1995 y 1996.....	96
Cuadro 4.6: Resultados de los límites de Atterberg y ensayos granulométricos realizados a las muestras de suelo.....	97
Cuadro 4.7: Clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (ASTM, 1993).....	97
Cuadro 4.8: Resultados de los límites de Atterberg y ensayos granulométricos realizados durante las campañas geológicas de 1995 y 1996.....	98
Cuadro 4.9: Clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (ASTM, 1993) realizados durante las campañas geológicas de 1995 y 1996.....	99
Cuadro 4.10: Cohesión y ángulo de fricción de las muestras de suelo recolectadas.....	102
Cuadro 4.11: Cohesión y ángulo de fricción de las muestras de suelo recolectadas durante las campañas geológicas de 1995 y 1996.....	104
Cuadro 4.12: Datos estadísticos para propiedades mecánicas determinadas en esta investigación y durante las campañas geológicas de 1995 y 1996.....	104
Cuadro 4.13: Ensayo de conductividad hidráulica (Ensayo de permeabilidad).....	105
Cuadro 4.14: Ensayo de conductividad hidráulica en Salón Comunal Multiuso, San Pablo, Tres Equis.....	105
Cuadro 4.15: Ensayo de DPL en Colegio de Tres Equis (PGT-6) y Salón Comunal Multiuso, San Pablo, Tres Equis (SP3X02).....	106
Cuadro 4.16. Ubicación de muestras para difracción de rayos X.....	106
Cuadro 4.17. Minerales identificados en análisis de roca total de las muestras Fm. Uscari. Tomado de: Centro de Servicios de Recursos Geotérmicos del Instituto Costarricense de Electricidad. (Anexo E: figuras 1 a 4).....	107
Cuadro 4.18. Minerales identificados en análisis de las muestras de la Fm. Uscari por el método de separación de arcillas. Tomado de: Centro de Servicios de Recursos Geotérmicos del Instituto Costarricense de Electricidad. (Anexo E: figuras 5 a 7).....	107
Cuadro 4.19. Grados de expansividad y valores medios de parámetros geotécnicos. Modificado de: Vallejo, G. (2002).....	107
Cuadro 4.20: Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento.....	110
Tomado de Mora et. al. (2002).....	110
Cuadro 4.21: Clases de pendientes, condiciones del terreno, colores sugeridos y valoración del parámetro SP. Modificado de Mora et. al. (2002).....	111
Cuadro 4.22: Valoración del parámetro susceptibilidad litológica, caso macizos rocosos según RMR (Bieniawski, 1989).....	112
Cuadro 4.23: Valoración del parámetro de susceptibilidad litológica.....	112
Cuadro 4.24: Valores asignados a los promedios mensuales de lluvia.....	112
Tomado de Mora et. al. (2002).....	112
Cuadro 4.25: Valoración del parámetro humedad del terreno (SH).....	113
Tomado de Mora et. al. (2002).....	113
Cuadro 4.26: Valores de precipitación del área. Tomado de Hernández (2005).....	113

Cuadro 4.27: Valoración del parámetro geomorfológico del terreno (SG)	114
Cuadro 5.1. Calificación de los mapas de percepción, según metodología propuesta por Peraldo (2004).....	140
Cuadro 5.2. Clasificación de los materiales utilizados en la construcción de las viviendas inventariadas en la zona urbana de Tres Equis.....	148
Cuadro 7.1. Guía para categorización de la peligrosidad por deslizamiento	170
2) Entrevistas seleccionadas de pobladores de Tres Equis.....	196

SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

ASADA: Asociación Administradora de Acueducto Rural
ASTM: American Society for Testing and Materials
B.S.I: British Standard Institution
CICG: Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas
CNE: Comisión Nacional de Prevención del Riesgo y Atención de Emergencias
DPL: Ensayo de penetración dinámica ligera
Fm. Formación
FUNDEVI: Fundación de Investigación de la Universidad de Costa Rica
ICE: Instituto Costarricense de Electricidad
IDA: Instituto de Desarrollo Agrario
IGN: Instituto Geográfico Nacional
IMN: Instituto Meteorológico Nacional
INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censo
LIS: Laboratorio de Ingeniería sísmica
mm: milímetros
MM: Escala Mercalli Modificada
m.s.n.m: Metros sobre el nivel del mar
m.s.n.t: Metros sobre el nivel del terreno
MVM: Mora – Varhson- Mora
Mw: Magnitud de momento
N: Norte
NE: Noreste
NW: Noroeste
RECOPE: Refinadora Costarricense de Petróleo
RSN: Red Sismológica Nacional
S: Sur
SE: Sureste
SW: Suroeste
SELSyR: Servicios especializados de laboratorio de suelos y Rocas
SIG: Sistema de Información Geográfica
S.U.C.S: Sistema Unificado de clasificación de suelos
UCR: Universidad de Costa Rica

RESUMEN

El área de investigación está circunscrita administrativa y políticamente al distrito de Tres Equis en el cantón de Turrialba, el cual posee una superficie de 36,9 km² y una población censada al año 2011 de 1808 personas. Su ubicación geotectónica corresponde con el extremo oriental del Cinturón Deformado de Costa Rica, conformado predominantemente por rocas sedimentarias de edad Paleoceno – Mioceno, cubiertas por depósitos volcanoclásticos asociados con la fase orogénica que inició en el Neógeno.

El análisis de la geodinámica externa se basó en la caracterización geológica, geomorfológica y geotécnica de la zona de estudio, a partir de la integración del estudio de fotografías aéreas, información bibliográfica y visitas de campo, delimitándose dos grandes bloques de deslizamientos denominados: Tres Equis – Chitaría con una superficie de 32 km² y el bloque Pacuare con un área de 28 km². Ambas masas inestables sobrepasan los límites geográficos del distrito y están limitadas al este por el río Pacuare y al oeste por el río Reventazón. Estos bloques se dividieron en trece sub-bloques de deslizamientos, limitados por rasgos geomorfológicos característicos de zonas con movimientos en masa activos. Predomina en el área de estudio las formas denudacionales, seguido de las formas de origen estructural-denudacional y las formas de origen fluvial, según los criterios de clasificación de van Zuidan (1986).

Para el área de estudio se identificó la presencia de deslizamientos denominados desplazamientos laterales según la clasificación de Varnes (1978). Estos deslizamientos se caracterizan desde el punto de vista litológico, por el movimiento de la Fm. Doán compuesta por depósitos volcanogénicos, sobre la Fm, Uscari, constituida por una secuencia de areniscas finas y lutitas. Los movimientos del terreno inducidos por las masas inestables presentan un desplazamiento lento, que abarca grandes extensiones de terrenos, generando grietas y desplazamientos diferenciales que daña la infraestructura civil.

La caracterización de los procesos de geodinámica externa se complementó con la aplicación de la metodología para el análisis de susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos propuesta por Mora-Vahrson-Mora (Mora *et al.*, 2002), obteniéndose una susceptibilidad a deslizarse de moderada a alta; las áreas con mayor susceptibilidad a los deslizamientos corresponden con las zonas de topografía escarpada que incluye la corona de deslizamiento, denominada en este trabajo como escarpe longitudinal Amistad – Guadalupe, así como algunas lomas aisladas.

Adicionalmente se realizó un análisis de vulnerabilidad; que incluyó el inventario de infraestructura dañada, análisis de la percepción social y ejecución de un taller comunal de percepción sobre el deslizamiento. Como resultado se obtiene que la población entrevistada identifica los daños generados por el movimiento del terreno. No obstante, niegan la ocurrencia de un deslizamiento, principalmente por la ausencia de daños cuantiosos y

porque estos eventos puede generar eventuales restricciones al uso del terreno. El trabajo con la comunidad permitió realizar una reconstrucción histórica sobre diferentes movimientos del terreno ocurridos en los últimos 40 años; a principios de los años 80 (destrucción antigua escuela de Tres Equis), en el año 1991 (afectación de viviendas y carreteras inducidos por el terremoto de Limón) y diversos movimientos en la década del 2000 que generaron grietas sobre la ruta nacional Turrialba - Siquirres e incremento de viviendas afectadas.

Se recomendó establecer un planteamiento de políticas estratégicas para la adecuada planificación urbana del distrito, afinar la caracterización del los deslizamientos con investigaciones complementarias y fomentar la participación comunitario en los procesos de conocimiento y monitoreo permanente de los deslizamientos.

Ponentes: Dione Barahona Oviedo, Joanna Méndez Herrera, Linda Sjöbohm Castillo

Director tesis: M.Sc. Giovanni Peraldo Huertas

Palabras clave: Deslizamiento, Tres Equis, Análisis de susceptibilidad, geodinámica externa, percepción, vulnerabilidad, gestión del riesgo.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación del estudio

La interacción de aspectos topográficos, climáticos y geológicos presentes en Costa Rica, contribuye con el desarrollo de una gama de movimientos en masa que se manifiestan en pérdidas económicas e inclusive de vidas humanas, con capacidad para reducir significativamente el crecimiento y desarrollo socioeconómico de una población.

Para reducir los daños generados por este tipo de eventos es necesario conocer los materiales geológicos que interactúan en las áreas expuestas a un activo proceso de geodinámica externa, sus características, distribución estratigráfica y propiedades geomecánicas, así como los factores que condicionan y desencadenan los movimientos en masa.

La aplicación de distintas técnicas para la auscultación de deslizamientos será utilizada en esta investigación con el objetivo de ampliar el conocimiento sobre las condiciones geológicas, geomorfológicas, geotécnicas e hidrológicas presentes en el distrito de Tres Equis. Los productos de estos análisis serán visualizados mediante una serie de mapas que incluyen geología, geomorfología, pendientes, susceptibilidad de las laderas a deslizamientos y un inventario de deslizamientos que en conjunto pueden ser utilizados como insumo para potenciar el desarrollo socioeconómico del distrito de Tres Equis mediante una adecuada planificación del uso del suelo.

Complementario al análisis integrado de las condiciones geológicas y climáticas que contribuyen con la ocurrencia de deslizamientos, se incorpora en el presente estudio una evaluación sobre los elementos vulnerables que pueden ser dañados como consecuencia de la activa geodinámica externa, así como, un diagnóstico respecto a la percepción social de la comunidad de Tres Equis hacia el deslizamiento. Los resultados de los estudios enfocados desde la perspectiva geológica y social pueden ser utilizados como una herramienta para la adecuada gestión del riesgo. Para la selección del área de estudio se tomó en consideración el proceso de deslizamiento que ha venido afectando desde hace unas cuatro décadas a la población que habita en el distrito de Tres Equis. Entre los daños asociados a los movimientos en masa se encuentran desplazamientos en el terreno, hundimientos, agrietamientos, deformaciones de viviendas e infraestructura civil que incluye vías de comunicación, acueducto, líneas de transmisión eléctrica, daños en centros educativos entre otros. De allí la necesidad de orientar el proyecto de investigación hacia una mejor comprensión y delimitación de los movimientos en masa que afectan a la población, dando como resultado un producto que pudiera ser incorporado en el planteamiento de políticas para el ordenamiento territorial del distrito.

Esta investigación se financió parcialmente con fondos del proyecto 830-B0-055 “Inventariado de deslizamientos en el área central del país” del Centro de Investigaciones de Ciencias Geológicas (CICG) de la Universidad de Costa Rica. Además, contó con el apoyo de la Comisión Nacional de Prevención del Riesgo y Atención de Emergencias (CNE), entidad que colaboró con el transporte al área de estudio e impresión final del documento; así como el financiamiento con recursos propios.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general:

Analizar la susceptibilidad del terreno a deslizamientos y su impacto en el desarrollo de la población e infraestructura civil del distrito de Tres Equis con detalle en la comunidad del mismo nombre, como un apoyo para futuros proyectos de gestión del riesgo y ordenamiento territorial.

1.2.2 Objetivos específicos:

- Determinar la susceptibilidad a los deslizamientos con base en el estudio de las condiciones del medio físico, geológico y geotécnico, que confluyen en el área de estudio.
- Inventariar los deslizamientos en el distrito de Tres Equis mediante el análisis de rasgos geomorfológicos, evidencias de campo y fotointerpretación.
- Describir la percepción popular de la amenaza por deslizamiento en la comunidad de Tres Equis.
- Identificar los daños en la infraestructura civil relacionados con la activación de los movimientos en masa dentro de la comunidad de Tres Equis.

1.3 Aspectos generales sobre el distrito de Tres Equis

1.3.1 Población

Según los datos del censo efectuado por el Instituto Nacional de Estadística y Censo (2011), se tiene que el distrito de Tres Equis de Turrialba cuenta una población de 1808 personas (**ver gráfico 1.1**), de las cuales 697 personas que representan el 39% de la población total, habitan en la zona urbana y 1111 personas con una representación del 61% de la población total, habitan en la zona rural que comprende los poblados de Alto June, Corozal, Flor, Guanacasteca, Isla Bonita, Pilon de Azúcar y Sol.

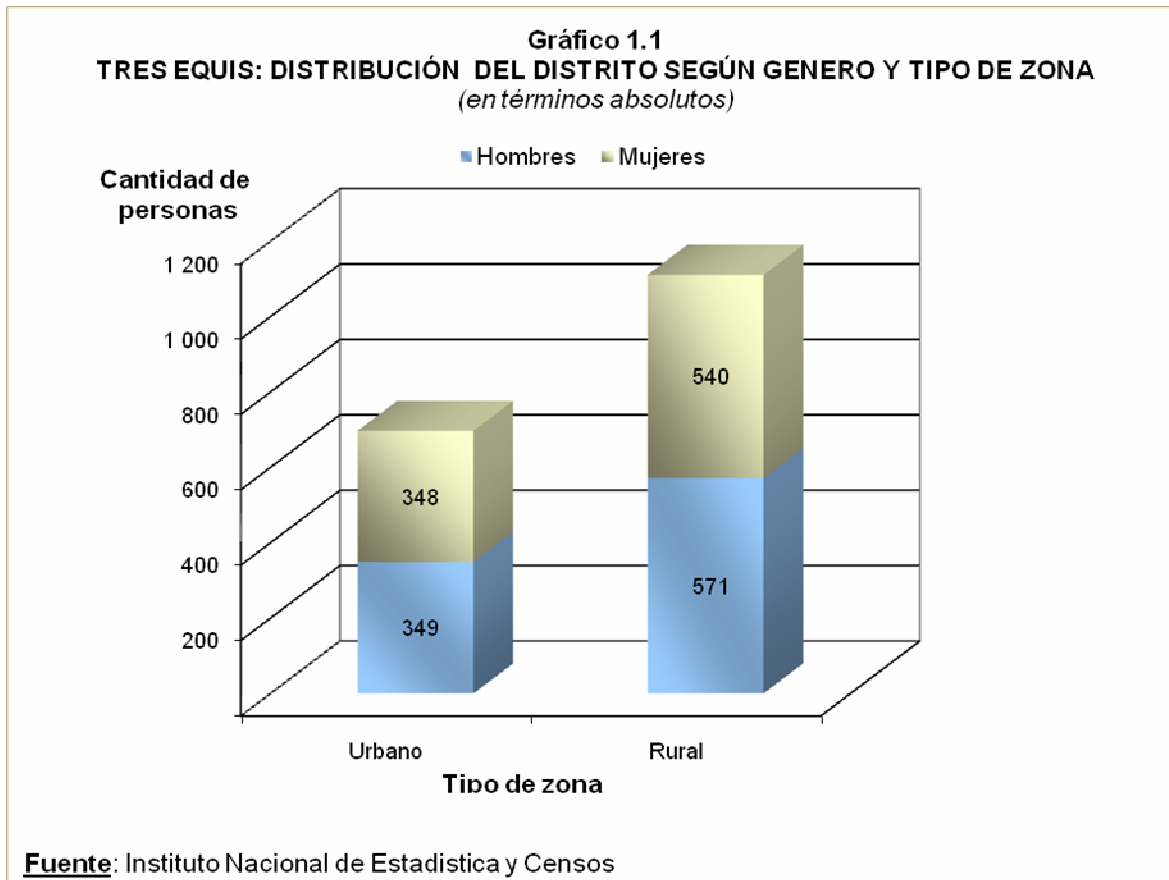


GRÁFICO 1.1. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN EN EL DISTRITO DE TRES EQUIS, TURRIALBA.
FUENTE: INEC (CENSO 2011, <http://www.inec.go.cr/Web/Home/pagPrincipal.aspx>)

1.3.2 Uso potencial del suelo y recursos naturales

El uso predominante del suelo es la actividad agrícola y pecuaria, según datos obtenidos mediante fotografía aérea de 1998 e imágenes de Google Earth para los años 2002 y 2012. La cobertura boscosa comprende 12,2 km² que corresponde con un 33% de la superficie total del territorio de Tres Equis. Del área con cobertura boscosa, se tiene que hacia la cuenca del río Reventazón se presenta una cobertura de 2,5 km² y un área con cobertura boscosa de 9,7 km² hacia la cuenca del río Pacuare.

Para la selección de la cobertura boscosa se escogieron las áreas que presentaban vegetación arbórea preferiblemente por más de 0,5 hectáreas, así como el bosque de galería observado en las márgenes de los sistemas fluviales. Se excluyeron de esta zona las formaciones de árboles mezcladas con los sistemas de producción agrícola, por ejemplo las áreas de cultivos de café y culantro intercaladas con árboles de mediana altura. Se observó que al menos el 78% de la cobertura boscosa identificada corresponde con bosque secundario o intervenido (**figura 1.1**).

**MAPA USO DE SUELO,
DISTRITO TRES EQUIS**
Elaborado por: Barahona D., Méndez J. & Sjöbohm L.

SIMBOLOGÍA

- Poblados
- Caminos
- Ruta Nacional 10
- Ríos y quebradas
- Distrito Tres Equis
- ⊕ 67% Zonas con actividad pecuaria
- ⊕ 33% Zonas boscosas
- Lagunas
- Cementerio
- Colegio
- Escuela
- Iglesia



Base topográfica 1:25000, Proyecto Terra 1988
Proyección Lambert
Esférico Clarke de 1866
Fundamental de Ocotépeque

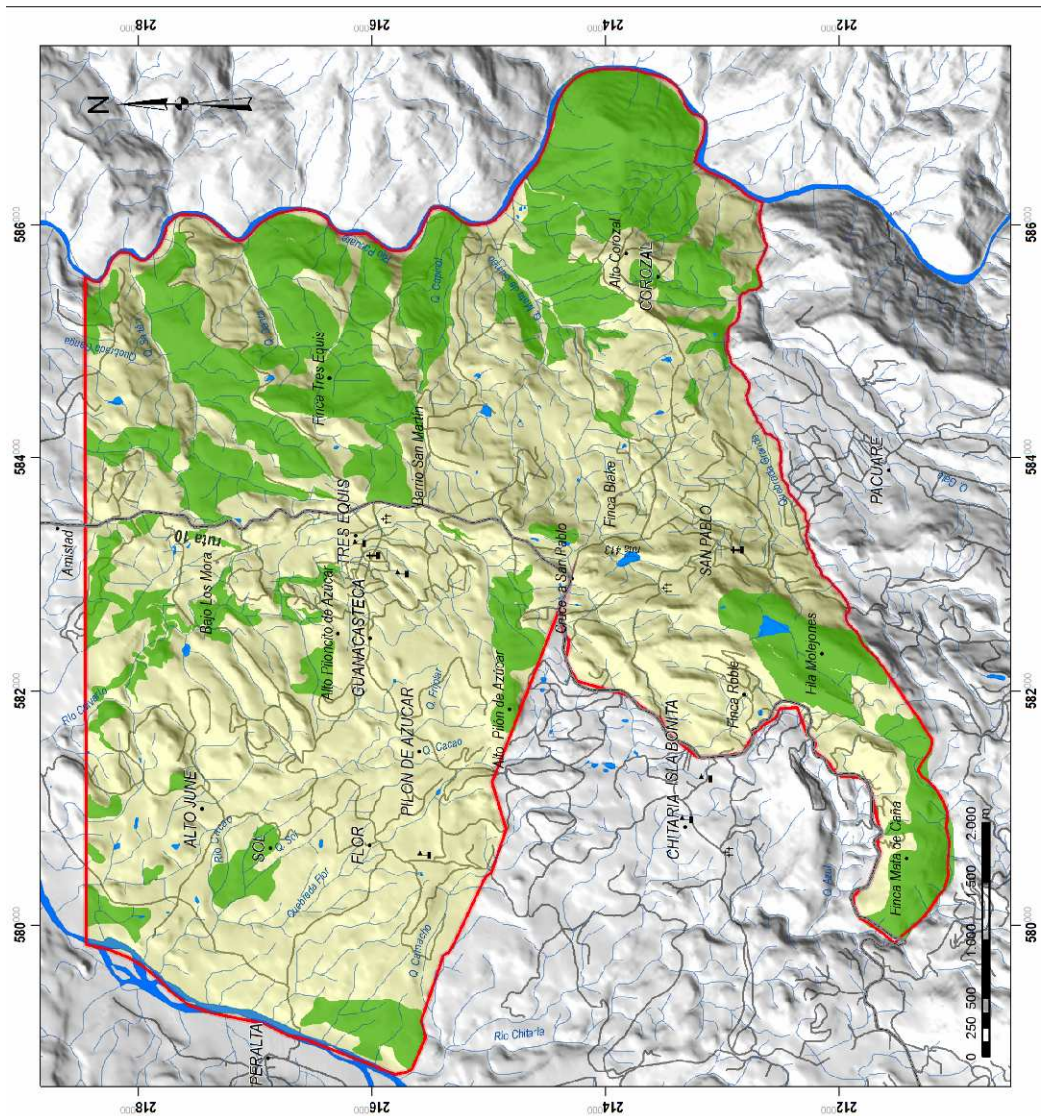


FIGURA 1.1 REPRESENTACIÓN DE LA COBERTURA BOSCOSA PARA EL DISTRITO DE TRES EQUIS, CON BASE EN LAS IMÁGENES DE GOOGLE EARTH DE LOS AÑOS 2002 Y 2006.

1.3.3 Vialidad y transporte

La principal ruta de transporte la constituye la ruta nacional No. 10, que une el cantón de Turrialba con el cantón de Siquirres en la provincia de Limón; esta es la única ruta asfaltada, las vías secundarias del distrito se encuentran en buen estado y son de lastre.

1.3.4 Agua potable, alcantarillado y electricidad

Los poblados de Tres Equis y San Pablo cuentan con el servicio de acueducto suministrado por la ASADA de Tres Equis, la cual mantiene un registro de 520 abonados a octubre del 2012. Según los datos del INEC (Censo, 2011), el 94,1% de las viviendas en el distrito de Tres Equis cuenta con abastecimiento de agua por medio de un acueducto, el 95,4% cuenta con tanque séptico y un 99,1% dispone de servicio eléctrico.

1.3.5 Educación

El distrito de Tres Equis cuenta con 5 centros educativos de primaria y un centro educativo de secundaria.

1.3.6 Vivienda

El total de viviendas reportadas por el INEC, según el censo realizado en 2011 para el distrito de Tres Equis, es de 638, donde 540 viviendas están ocupadas y 98 viviendas desocupadas, mientras que un 45,2% de las viviendas se encuentra en buen estado. La distribución de las viviendas ocupadas según la zona es de 212 viviendas en la zona urbana y 328 viviendas en la zona rural. (**Gráfico 1.2**).

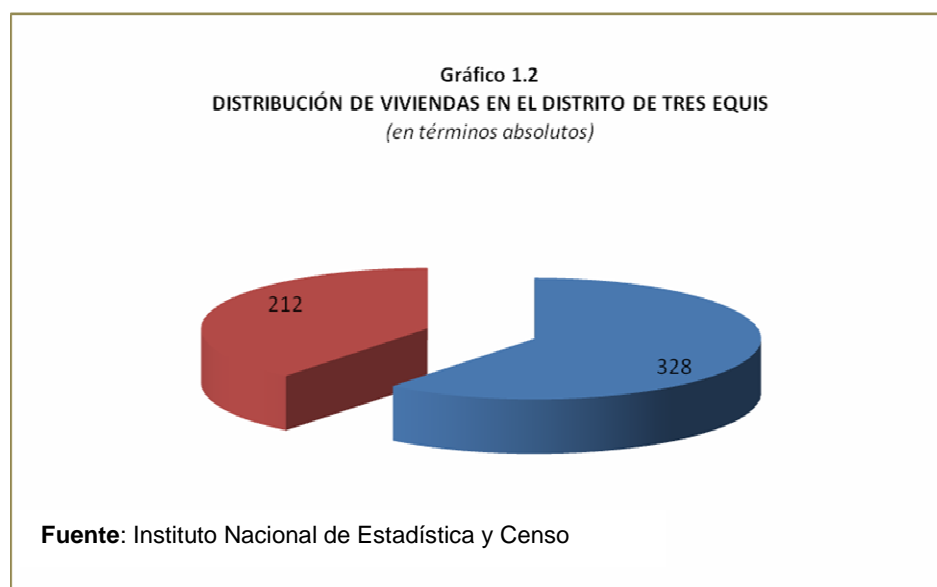


GRÁFICO 1.2. DISTRIBUCIÓN DE LAS VIVIENDAS OCUPADAS PARA EL DISTRITO DE TRES EQUIS, ZONAS URBANO Y RURAL.

1.4 Ubicación

La zona de estudio se ubica al noreste de la ciudad de Turrialba (**Fig.1.2**). Políticamente corresponde con el distrito Tres Equis, cantón de Turrialba, provincia de Cartago. El área del distrito es de 36,9 km². Geográficamente, se ubica entre las coordenadas Lambert Costa Rica Norte 210 - 218 Norte y 580 - 586 Este, en la hoja topográfica Tucurrique, escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional. Desde el punto de vista geológico y geotectónico, el área de estudio se ubica dentro de la cuenca tras-arco.

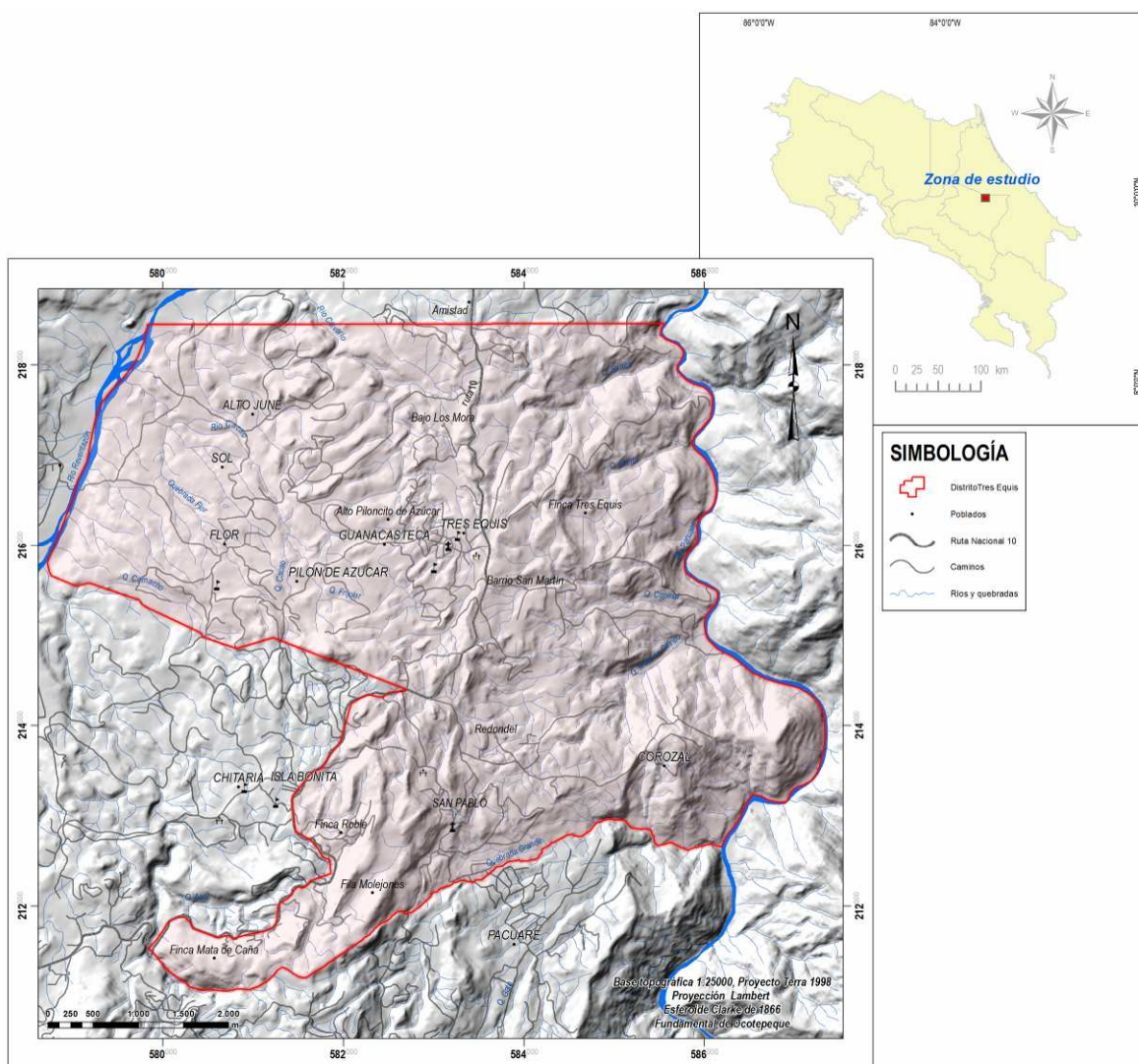


FIGURA 1.2: MAPA DE UBICACIÓN DEL DISTRITO DE TRES EQUIS, TURRIALBA. PARTE DE LA HOJA TOPOGRÁFICA TUCURRIQUE, ESCALA 1:50 000, IGN

1.5 Antecedentes de investigación

El distrito de Tres Equis cuenta en la actualidad con importante información aportada por una serie de investigaciones que han sentado las bases sobre los aspectos geológicos, estratigráficos y neotectónicos presentes al noreste de Turrialba. Estas investigaciones se han desarrollado en torno a proyectos de gran envergadura, tales como el poliducto de la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), la línea de transmisión eléctrica y los proyectos hidroeléctricos Reventazón y Angostura, investigados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) en la cuenca del río Reventazón. La Escuela Centroamericana de Geología ha tenido su protagonismo mediante la ejecución de tesis de licenciatura y campañas geológicas.

Entre las investigaciones que aportan información sobre los distintos aspectos geológicos mencionados, destacan las tesis de licenciatura de Madrigal (1985) y Sáenz (1985), las campañas geológicas de Carrillo & Alfaro (1995), Chavarría (1996), Rojas (1996), Sibaja (1996); Pérez (1996), las tesis de Cervantes (1989), Fernández (1987) y Linkimer (2003). Otros estudios fueron realizados por Cervantes & Soto (1988) sobre la sedimentación y vulcanismo trasarco, así como por Linkimer & Alvarado (2002), donde sintetizan los aspectos más relevantes sobre la geología de Turrialba. Aspectos relacionados con las formaciones geológicas presentes en el entorno del área de estudio, han sido abordados por Laurito (1996) en lo que respecta a la Formación Uscari, así como por Alvarado & Pérez (1999) en relación con la Formación Doán. En lo referente al tema de susceptibilidad de deslizamientos, se cuenta con el análisis realizado por Segura (2009), donde se investigó mediante aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica, la susceptibilidad al deslizamiento en el corredor Siquirres-Turrialba, como factor de riesgo del poliducto de RECOPE.

Circunscrito a los deslizamientos de Tres Equis, San Pablo y Pacuare, se han realizado por parte de la CNE una serie de evaluaciones técnicas ligadas a las consecuencias que estos deslizamientos han generado sobre la población e infraestructura civil asentada en las áreas activas, sin llegar a un análisis profundo sobre las causas y consecuencias de los deslizamientos. Referente al deslizamiento de Tres Equis, se cuenta con informes técnicos elaborados para la CNE por los geólogos Sjöbohm (2005) y Madrigal (2006), quienes delimitan a grandes rasgos los bloques del deslizamiento y realizan un inventario de daños generados por el desplazamiento del terreno.

1.6 Metodología

El análisis de la susceptibilidad a deslizamientos se realizó mediante la identificación de los movimientos en masa, el estudio de las causas y posibles factores que generan áreas inestables en el distrito de Tres Equis, sumado a la investigación de las condiciones geodinámicas. Se plantea una descripción de la vulnerabilidad enfocada en la percepción popular de la comunidad de Tres Equis ante los procesos exógenos que modifican el paisaje. La **figura 1.3** representa una síntesis de las diferentes etapas que se realizaron durante el proceso de investigación.

El detalle de las etapas para la ejecución de la investigación son las siguientes:

1.6.1 Marco Geológico

- Análisis de estudios preliminares realizados en el ámbito de la geología regional y local, así como diversos estudios enfocados en el contexto geotectónico y neotectónico de la zona.
- Integración de la información cartográfica preexistente mediante la creación de un mapa geológico, estructural y geotectónico que brindó una visión general del contexto geológico y sirvió de base para el trabajo de campo.
- Reconocimiento general mediante el trabajo de campo, con lo cual se corroboró la información previamente establecida en las investigaciones seleccionadas y se afinaron aquellos aspectos geológicos y estructurales que predominan en el área de estudio.
- Compilación de la información bibliográfica y las observaciones de campo realizadas, para establecer el contexto geológico final sobre el que se realizó el análisis de susceptibilidad a deslizamientos.

1.6.2 Análisis geomorfológico y geodinámica externa

- El estudio geomorfológico y rasgos geodinámicos externos se realizaron mediante el análisis de fotografías aéreas de 1961, 1971, 1978, 1988, 1996 y 1998, con las siguientes escalas (1:60 000, 1:20 000, 1:25 000, 1:35 000 y 1:40 000). Conjuntamente con el análisis fotogeológico se describieron aspectos morfológicos con un análisis de la topografía basado en las hojas topográficas 1: 25 000 del Proyecto Terra 1998.
- En la descripción de las unidades geomorfológicas se tomó en cuenta la interacción entre los aspectos hidrológicos, morfológicos y litológicos, determinados mediante el análisis fotogeológico y trabajo de campo.
- Para la descripción de elementos de inestabilidad se identificaron y delimitaron las expresiones topográficas asociadas a movimientos en masa, permitiendo una caracterización de bloques de deslizamiento, sub-bloques, escarpes y trazado de

lineamientos para la construcción de un inventario de deslizamientos para el distrito de Tres Equis e incluso zonas aledañas que mostraron relación morfológica con las unidades descritas para el área de estudio.

1.6.3 Susceptibilidad a la inestabilidad de laderas

- El estudio de la susceptibilidad a la inestabilidad de laderas partió del análisis integrado de: condiciones geotécnicas de las unidades litológicas mediante sus propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas y calidad del macizo rocoso, la caracterización detallada del deslizamiento Tres Equis y la aplicación del método Mora-Vahrson-Mora o MVM (Mora et al., 2002); así como el ensayo de la variante a este método, utilizando el parámetro geomorfológico de acuerdo a las unidades delimitadas para este estudio.

1.6.4 Elementos vulnerables

- El estudio de los elementos vulnerables en la población de Tres Equis se centró en los siguientes factores que permitieron extraer amplia información sobre la percepción social del deslizamiento y su entorno: análisis de daños en infraestructura habitacional, infraestructura vial, acueducto y análisis de percepción social de la comunidad sobre la amenaza por deslizamiento (mediante entrevistas e implementación de taller).

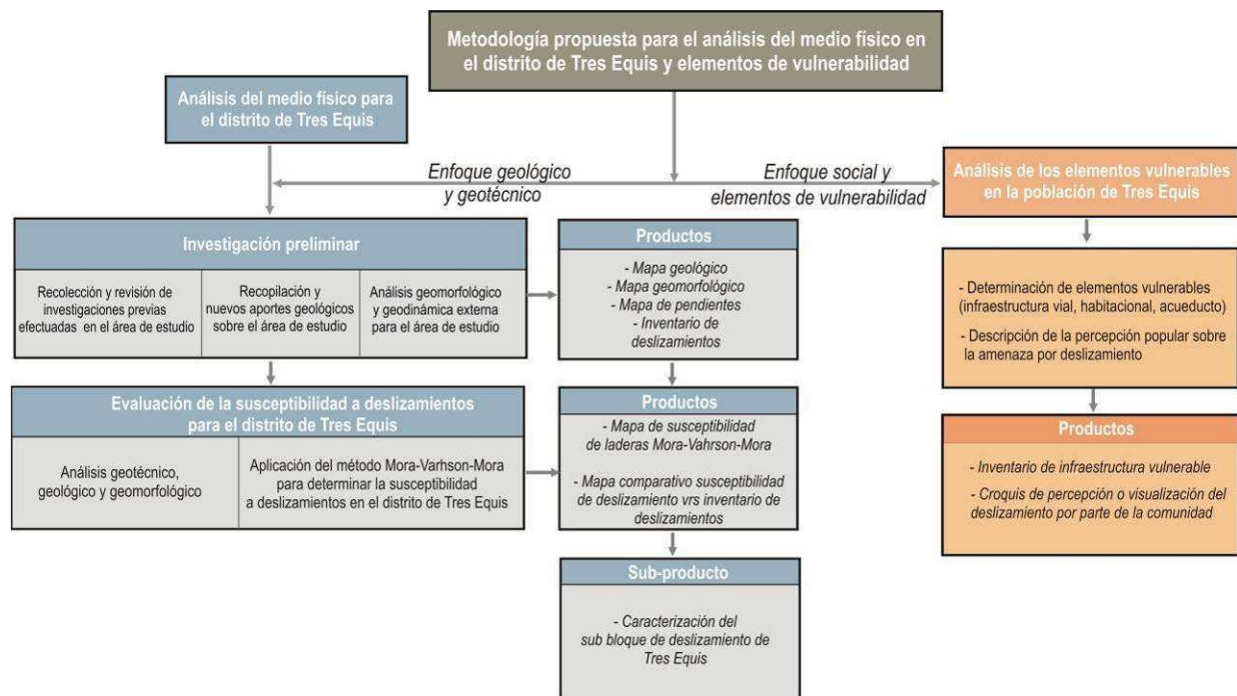


FIGURA 1.3 SÍNTESIS DE METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL ANÁLISIS DEL MEDIO FÍSICO EN EL DISTRITO DE TRES EQUIS Y ELEMENTOS DE VULNERABILIDAD

II. MARCO GEOLÓGICO

2.1 Geología Regional

La zona de estudio se ubica dentro de la cuenca trasarco de Costa Rica, denominada también cuenca Limón – Bocas del Toro, considerada como la zona de afloramiento del cinturón deformado del norte de Panamá (Fernández, 1987). Esta cuenca inició su sedimentación de carácter hemipelágico tras la instauración del arco de islas en el Cretácico Terminal.

Los estudios sobre la cuenca incluyen investigaciones realizadas por Dóndoli & Torres (1954) quienes realizaron el estudio geoagronómico de la región oriental de la “Meseta Central”. Rivier (1973) realiza sus contribuciones sobre la geología de la cuenca de Limón en el que presenta un esquema sobre el desarrollo paleogeográfico de Costa Rica. Diversos estudios realizados por el ICE sobre reconocimiento geológico para proyectos hidroeléctricos complementan el conocimiento de la evolución geológica de la zona; entre ellos destacan los estudios efectuados por Umaña & Masseta (1969) para el proyecto hidroeléctrico Pacuare, así como Madrigal (1985) para el proyecto hidroeléctrico Guayabo y Sáenz (1985) para el proyecto hidroeléctrico Angostura. La investigación en la cuenca Limón se intensificó a raíz de los trabajos realizados por compañías petroleras transnacionales y Recope, entre ellos: Pizarro (1985), Fernández (1987) y Campos (1987), quienes recopilaron y definieron el marco estratigráfico regional.

La litoestratigrafía de la cuenca Limón incluye las siguientes formaciones geológicas (**figura 2.1**):

2.1.1 Formación Tuis

Corresponde con brechas y conglomerados, intercalados con algunos estratos de areniscas y lutitas expuestas en la margen derecha del río Pacuare y en los alrededores del poblado de Tuis. Constituye la base de la secuencia estratigráfica que aflora en el área de estudio, asignándose una edad Paleoceno – Eoceno; sobreyacen a la Formación Changuinola, no aflorante en territorio costarricense (Bottazzi et al., 1994).

2.1.2 Formación Senosri

Secuencia de lutitas cargadas de material carbonatado, areniscas y brechas calcáreas, con macroforaminíferos, algas, bivalvos, partes de corales y fragmentos esqueléticos de otros organismos. Estas rocas se depositaron entre el Eoceno Medio y el Mioceno Inferior (Bottazzi et al., 1994), sobreyaciendo a las rocas de la Formación Tuis.

2.1.3 Formación Fila de Cal

Corresponde con lo que se ha denominado Formación Las Ánimas, constituida por calizas formadas por asociaciones de foraminíferos especialmente Nummulites y algas, quienes fueron los principales constructores de extensas plataformas carbonatadas, durante el Eoceno Medio – Superior, en las cuales, las condiciones ambientales fueron estables, cálidas y oxigenadas (Linkimer & Aguilar, 2000). Fernández (1987) menciona además, la presencia de algas y foraminíferos, la acumulación de corales, hidrozoos y gastrópodos. Cubre parcialmente a los depósitos de la Formación Tuis.

2.1.4 Formación Punta Pelada

Formada por una secuencia de calizas arrecifales, masivas y bioclásticas, y ocasionales brechas calcáreas, areniscas y conglomerados. Estas rocas sobreyacen a la Formación Senosri y poseen una edad Oligoceno Superior – Mioceno Inferior (Aguilar, 1997).

2.1.5 Formación Uscari

Esta secuencia de lutitas calcáreas, oscuras y suaves, están expuestas en la mayoría de los afluentes de los ríos Pacuare y Reventazón, dentro de un rango de edad que va del Mioceno Inferior al Mioceno Superior (Bottazzi et al., 1994). Sobreyace a la Formación Senosri y presenta un cambio lateral transicional con la Formación Río Banano. Es común encontrar comunidades fosilíferas conformadas por bivalvos endobentónicos, gastrópodos, espinas de erizos, ichnofósiles e incluso dientes de tiburón (Aguilar, 1993).

2.1.6 Formación Río Banano

Areniscas, lutitas y conglomerados estratificados, de composición volcánica, depositados en ambiente marino somero durante el Mioceno Superior – Plioceno. Sobreyace a la Formación Uscari (Bottazzi et al., 1994).

2.1.7 Formación Suretka

Conglomerados y brechas con partículas que varían desde arcilla hasta bloques métricos, siendo la composición de los bloques predominantemente volcánica y ocasionalmente intrusiva (Cervantes, 1989). Cubre parcialmente a las formaciones Senosri, Uscari y Río Banano (Bottazzi et al., 1994). La depositación ocurrió durante el Plioceno – Pleistoceno y está relacionada con un ambiente más continental debido a la erosión de las masas expuestas por el levantamiento de la Cordillera de Talamanca.

2.1.8 Formación Doán

De edad posiblemente Plioceno. Está compuesta por depósitos volcánicos (piroclásticos y epiclásticos), brechas, conglomerados volcánicos y ocasionales depósitos de tobas, así como coladas de lava y diques subordinados. La fase orogénica, que se inició en el

Neógeno, estuvo caracterizada por un sistema tectónico y volcánico complejo, aunado a un levantamiento y destrucción rápido del arco magmático. Este proceso produjo erosión e inestabilidad, generando lahares y avalanchas volcánicas, un tipo de sedimentación molásica, paralela con una fuerte actividad de eventos de flujos piroclásticos y coladas de lava e intrusiones hipoabisales, que cubren parcialmente las rocas de origen sedimentario previamente depositadas (Alvarado & Pérez, 1999).

2.1.9 Formación Limón

Consiste en lutitas, areniscas y cuerpos carbonatados de origen arrecifal, interestratificados y aislados. Se asocia lateralmente con conglomerados de la Formación Suretka. Su edad es Plio-Pleistoceno al Reciente (Botazzi, et al., 1994).

2.1.10 Depósitos no litificados del Cuaternario

Poseen una gran distribución a lo largo de los valles de los ríos Reventazón, Pacuare, Turrialba, Pejibaye, Atirro, Tuis y Guayabo, en donde generalmente están constituidos por partículas que varían en un amplio ámbito de granulometría, desde arcillas hasta cantos rodados. Están relacionados con la actividad neotectónica de las fallas ubicadas en sus vecindades (Linkimer, 2003) y la erosión del sistema montañoso.

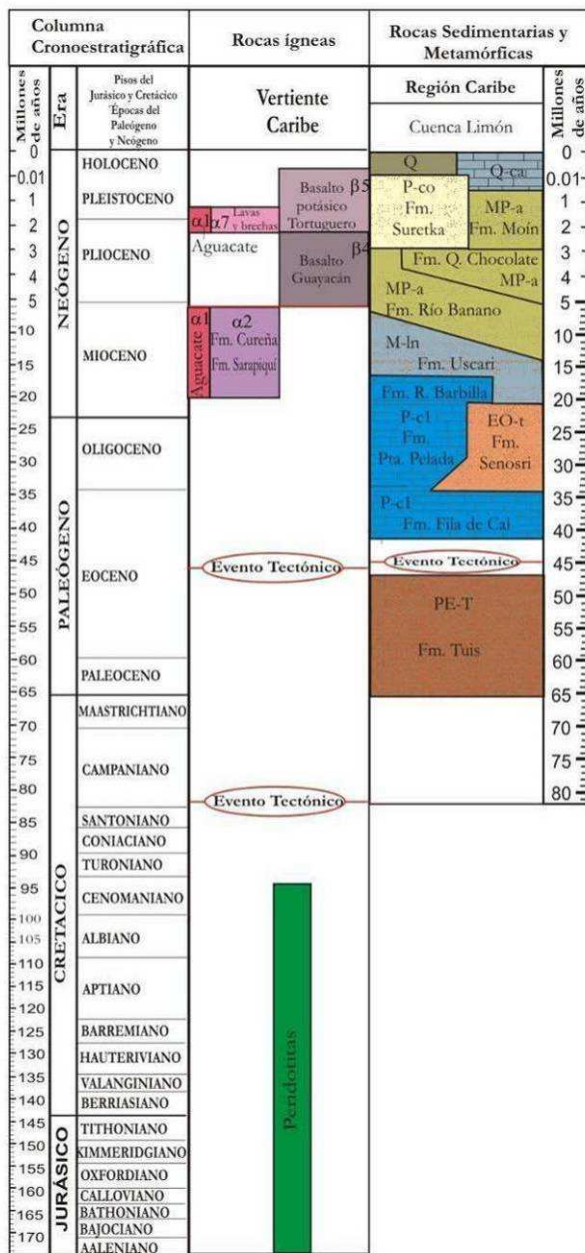


FIGURA 2.1. COLUMNA CRONOESTRATRIGRÁFICA REGIONAL MODIFICADA DE: DENYER & ALVARADO (2007)

2. 2 Geotectónica e Historia Geológica

Según Fernández (1987), la historia geológica de la zona trasarco inició en el Cretácico Superior con la instalación del Complejo Ofiolítico de Nicoya y con el inicio del vulcanismo basáltico toleítico de un arco primitivo, que evolucionó en un arco andesítico en el Maastrichtiano y que continuó su desarrollo con pulsaciones volcánicas y tectónicas, así como una intensa sedimentación hasta el presente. Luego se da una progradación de facies de talud, cuyo sedimento se originó en el arco andesítico (Fernández, 1987).

Durante el Paleógeno e inicios del Neógeno la cuenca se colmata progresivamente. Los cambios eustáticos y una alta sedimentación determinaron una nueva colmatación parcial para el Mioceno Superior, generando facies estuarinas y litorales, que constituyen las llanuras de sedimentación siliciclástica al borde de un puente insular pre-ístmico (Seyfried & Sprechmann, 1985; Fernández 1987).

Desde el Plioceno se da un fuerte levantamiento de la cordillera de Talamanca, transformando la paleogeografía insular en un istmo continuo, hace 3,5 ma (Jones & Hasson, 1985). Posterior al levantamiento se depositan espesas secuencias de pie de monte con espesores de hasta 1700 m al sureste de la cuenca y unos 1000 m en la zona de Siquirres (Fernández, 1987 y Cervantes, 1988). Según Cervantes & Soto (1988), en esta potente secuencia de pie de monte, se intercalan eventos volcánicos proximales (lavas y lahares) que provienen del macizo del Turrialba. Además establecen que las vulcanitas Pliocenas fueron eruptadas a lo largo de fracturas distensivas con dirección NE. El patrón tectónico tensional parece haber actuado durante los últimos 5 m.a. (Cervantes & Soto, 1988) según **figura 2.2**.

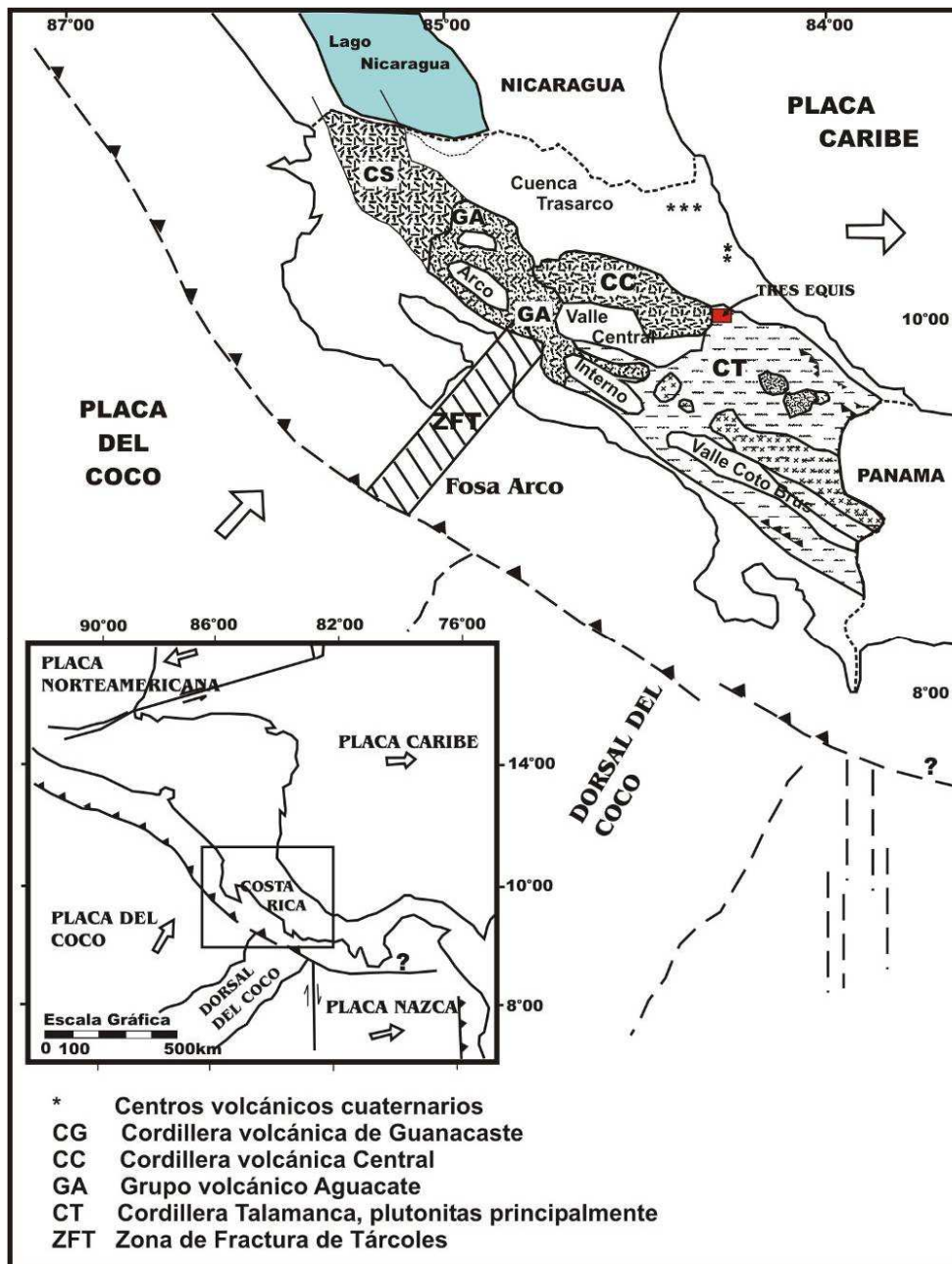


FIGURA 2.2. UBICACIÓN GEOTECTÓNICA
MODIFICADO DE: CERVANTES & SOTO (1988)

2.3 Geología local

La determinación de las diferentes unidades litológicas se realizó mediante recopilación bibliográfica y corroboración de campo de la geología establecida en investigaciones previas, seleccionadas tanto a nivel regional como local, con el fin de afinar mediante las observaciones de campo aquellos aspectos geológicos y/o estructurales de interés que predominan en el área de estudio y con base en este contexto geológico realizar los análisis detallados propuestos.

Se reconocen dentro del área de estudio 6 unidades litológicas de las cuales las más extendidas se correlacionan con las formaciones Uscari y Doán; con litologías menos extendidas se encuentran la Fm. Tuis y Senosri y algunos lentes de material aluvial que pueden ser correlacionados con la Fm. Suretka. En el límite sur del área de estudio, en la quebrada Grande, Fernández (1987) reconoce además depósitos de la Fm. Río Banano; ésta se observó fuera del área de estudio en los alrededores del poblado de Pacuare. **Figura 2.3** Mapa geológico compilado y modificado para esta investigación.

2.3.1 Formación Tuis

Afloramientos de esta formación fueron descritos mediante levantamientos estratigráficos realizados por Fernández (1987) y Carrillo & Alfaro (1995) en las quebradas Ganga, Sartén, Danta, Mata de Guineo y Alcantarilla, así como en la margen izquierda del río Pacuare. Se reconoce la Formación Tuis como la base de la secuencia estratigráfica del área de estudio.

Carrillo & Alfaro (1995) la denominaron como Unidad Volcano-sedimentaria y consiste de alternancias de areniscas, brechas, conglomerados y coladas de lava andesítico-basálticas correspondientes con abanicos submarinos, de edad Paleoceno – Eoceno (Bottazzi *et al.*, 1994)

2.3.2. Formación Senosri

Esta unidad aflora hacia la margen izquierda del río Pacuare, se encuentra bien expuesta en el Tajo Corozal (585952 E / 213717 N) y en la actual Finca Tres Equis (584950 E / 218262 N), aunque también aflora en las quebradas Danta y Grande según Fernández (1987).

En el Tajo Corozal (**figuras 2.4A y 2.5**) se observan alternancias de lutitas y areniscas calcáreas, finas y medias, dispuestas en paquetes centimétricos y contorsionados, característico de depósitos turbidíticos. Estos depósitos presentan tonalidades blanco-amarillentas así como tonalidades rojizas asociadas a la presencia de óxidos de hierro. Adicionalmente, se presenta una fuerte meteorización que degrada la roca a un material arcilloso. Se observan fuertes variaciones en la dirección de los buzamientos de los estratos, presentando capas deformadas y contorsionadas por bloques decimétricos de calizas, localizadas a manera de parches, inmersas entre los depósitos finos, conformando un

depósito tipo slump. Carrillo & Alfaro (1995) mencionan otros afloramientos representativos en las quebradas Sartén, Capinal y Mata de Guineo también con una distribución espacial y areal corta.

Mediante análisis micropaleontológicos se observaron macroforaminíferos completos así como fragmentos aglutinados sin diferenciar y retrabajados, los cuales incorporan en su estructura magnetita y algunos de los fósiles presentan costras rojizas por oxidación (J. Betancourt, com. pers., 2012). Además, Carrillo & Alfaro (1995) mencionan en estos depósitos la presencia de glauconita.

Los bloques de calizas presentan un color de blanco a gris en superficie sana, amarillento por meteorización a arcillas y rojizo-naranja por alteración a óxidos de hierro. No se observó estratificación sino un afloramiento masivo con gran cantidad de fracturas. Macroscópicamente se observaron algas, macroforaminíferos y pocos clastos líticos oxidados, además de un mineral de alteración de color verde (glauconita?). Comunes son las mineralizaciones de calcita en vetas.

Microscópicamente (**figura 2.4B**) se observan fragmentos de macroforaminíferos y la mayoría bien preservados como *Discocyclina* y numulites; además algas (articuladas e incrustantes), pocas espículas de erizo, clastos líticos y foraminíferos bentónicos. En el **Anexo A** se encuentra la descripción microscópica respectiva con código TC-2.

Carrillo & Alfaro (1995) la correlacionan con los lentes de calizas alodápicas que se encuentran en la parte basal de la Formación Senosri, de edad Oligoceno (Fernández *et. al.*, 1994).

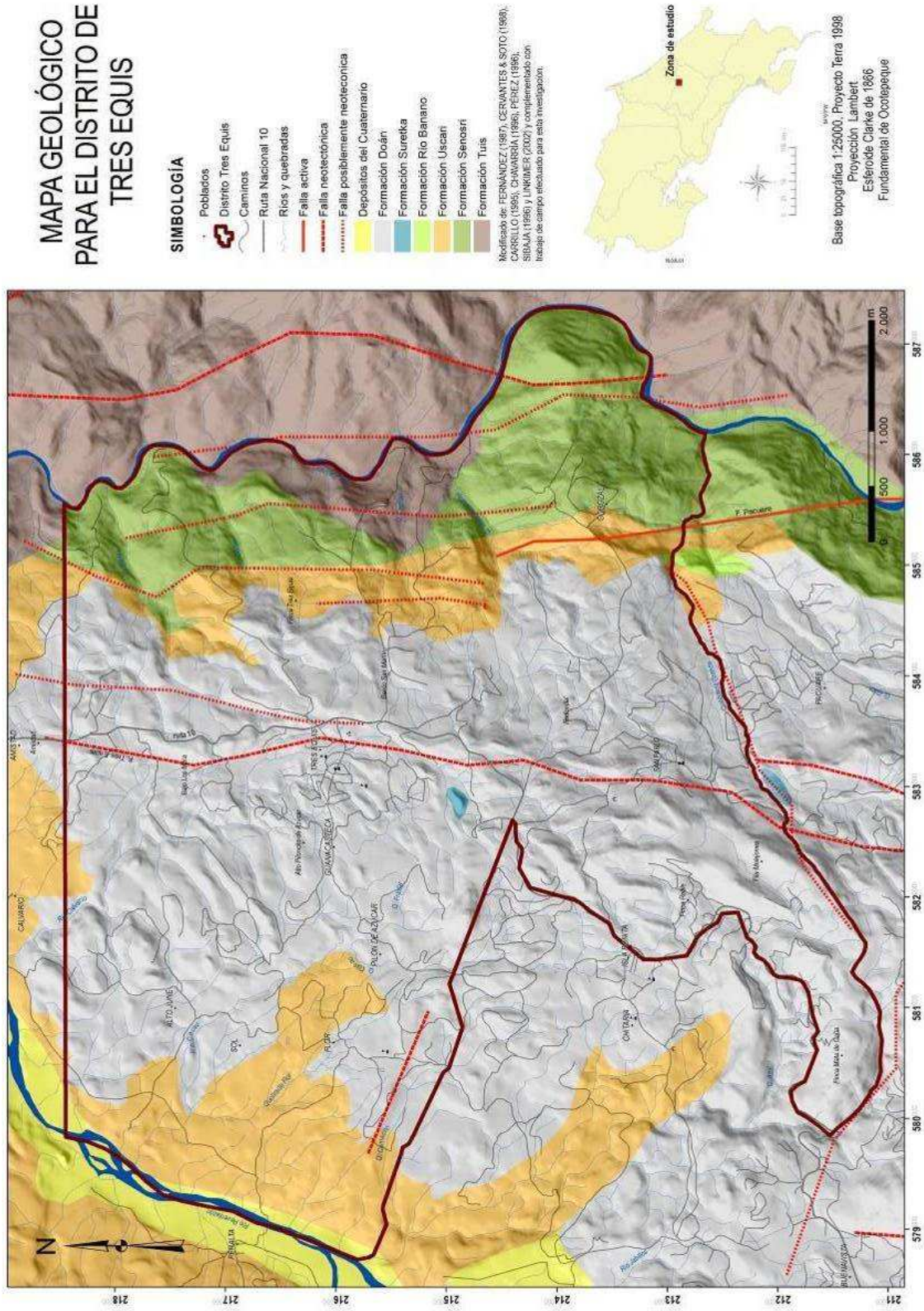


FIGURA 2.3. MAPA GEOLÓGICO COMPILADO Y MODIFICADO

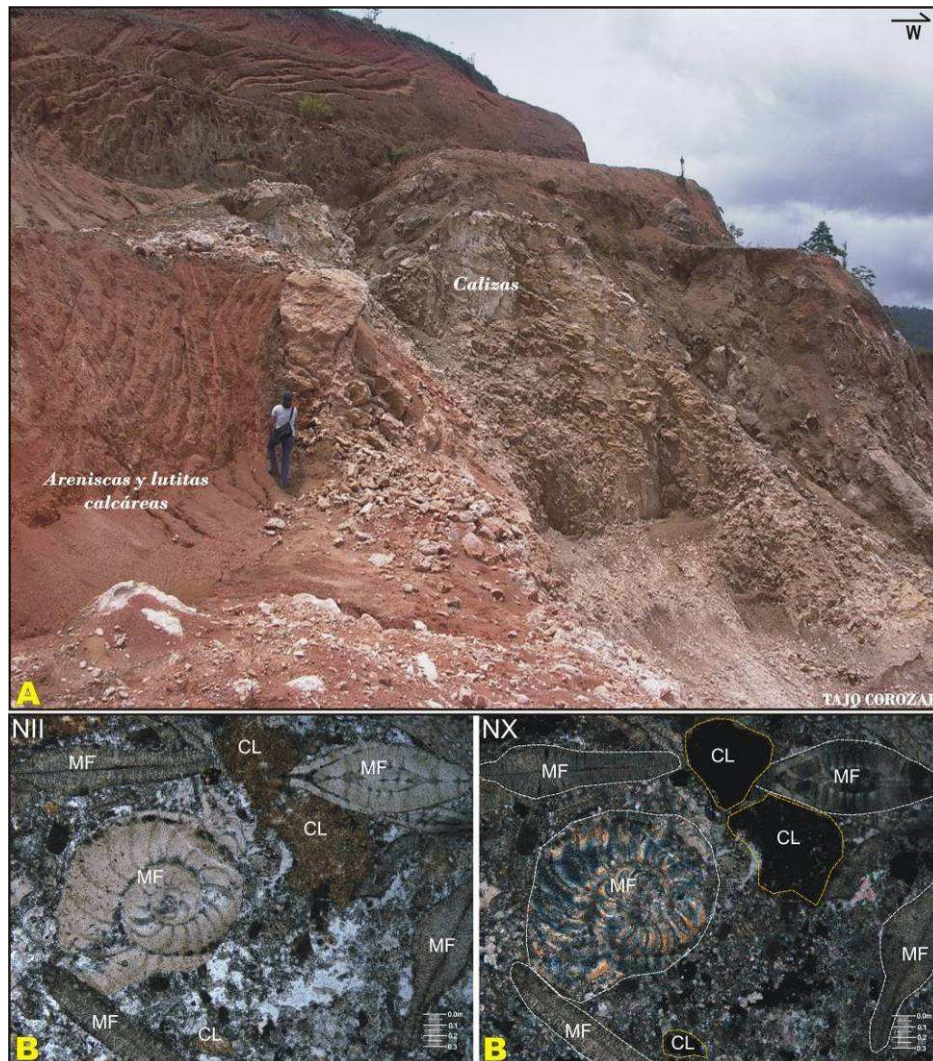


FIGURA 2.4 A: INTERCALACIONES DE LUTITAS Y ARENISCAS CALCÁREAS DE LA FM. SENOSRI, CONTORSIONADAS Y DEFORMADAS POR BLOQUES DECIMÉTRICOS DE CALIZAS. CORTE DE TALUD EN EL TAJO COROZAL. COORDENADAS: 585952 E / 213717 N
B: DETALLE MICROSCÓPICO DE CALIZAS DEL TAJO COROZAL. A NÍCOLES PARALELOS (IZQ.) Y NÍCOLES CRUZADOS (DER.). MF: MICROFORAMINÍFERO Y CL: CLASTO LÍTICO.

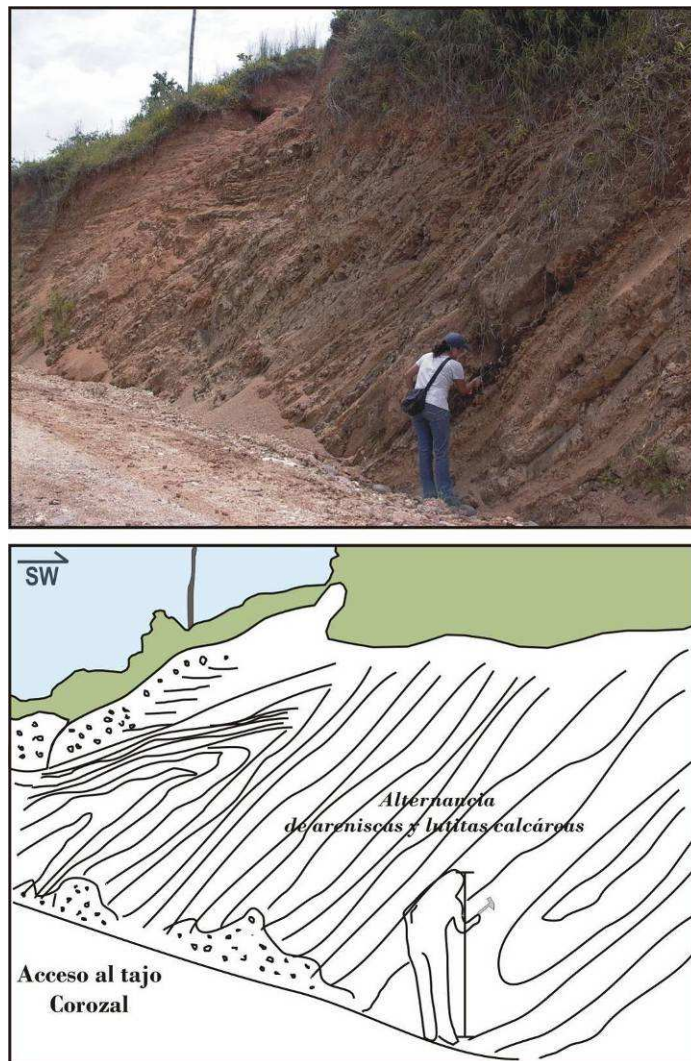


FIGURA 2.5. ALTERNANCIA DE ARENISCAS Y LUTITAS CALCÁREAS DE LA FM. SENOSRI CON ESTRATOS DISLOCADOS (TIPO SLUMP). CORTE DE TALUD EN EL TAJO COROZAL. COORDENADAS: 585952 E / 213717 N

2.3.3 Formación Uscari

Dentro del área de estudio esta formación aflora principalmente hacia la margen derecha del río Reventazón (579180 E / 216685 N). Se encuentra bien expuesta en una quebrada sin nombre en las cercanías del poblado Flor (580434 E / 216855 N) y hacia la margen derecha del río Calvario, cercano al poblado de Bajo 52 Millas (581755 E / 218769 N) (**figuras 2.6A, 2.6B, 2.7 y 2.8**).

Macroscópicamente consiste de intercalaciones de areniscas finas y lutitas calcáreas deleznales o friables, de tonalidad gris-azulado a verdoso en superficie sana y amarillento-rojizo en superficie meteorizada. Se observan algunas trazas fósiles y laminación paralela. La dirección de buzamiento preferencial de esta unidad es NE y el espesor observado es cercano a los 100 m.

Microscópicamente presenta principalmente foraminíferos planctónicos quillados, globigerinas y pocos foraminíferos bentónicos aglutinados en una matriz lodosa.



FIGURA 2.6. ARENISCAS FINAS Y LUTITAS DE LA FORMACIÓN USCARI, MARGEN DERECHA DEL RÍO CALVARIO. COORDENADAS: 581384 E / 219138 N. B: DETALLE MICROSCÓPICO A NÍCOLES PARALELOS (IZQ.) Y NÍCOLES CRUZADOS (DER.). PRESENCIA DE FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS.



FIGURA 2.7. FORMACIÓN USCARI AFLORANDO EN UN AFLUENTE DE LA QUEBRADA CAMACHO.
COORDENADAS: 580351 E / 215097 N



FIGURA 2.8. TRAZAS FÓSILES EN LUTITAS DE LA FM. USCARI, MARGEN DERECHA DEL RÍO REVENTAZÓN.
COORDENADAS: 579370 E / 216751 N

2.3.4 Formación Río Banano

Esta unidad no fue observada dentro del área de estudio sino en los alrededores del poblado de Pacuare. Fernández (1987) reconoce esta unidad en un levantamiento estratigráfico realizado en el curso medio de la quebrada Grande y la quebrada Gata.

Se encuentra expuesta en el balneario Sacramento (585483 E / 212064 N). Está constituida por areniscas finas a medias bien seleccionadas con laminación paralela y conglomerados

finos, ambos de composición calcárea. Se identifican macroscópicamente (**figura 2.9A**) macroforaminíferos centimétricos, abundantes espículas de erizos, clastos líticos redondeados de posible composición volcánica en tonalidades variadas. Mineral de alteración de color verde (glaucionita?) y fuerte alteración a óxidos de hierro. Presenta abundante magnetita.

Microscópicamente (**figura 2.9B**) presenta algas incrustantes y articuladas, espículas de erizos, posibles corales, plagioclasas, óxidos de hierro, abundantes clastos líticos y muy pocos macroforaminíferos del tipo discocyclina y numulites.

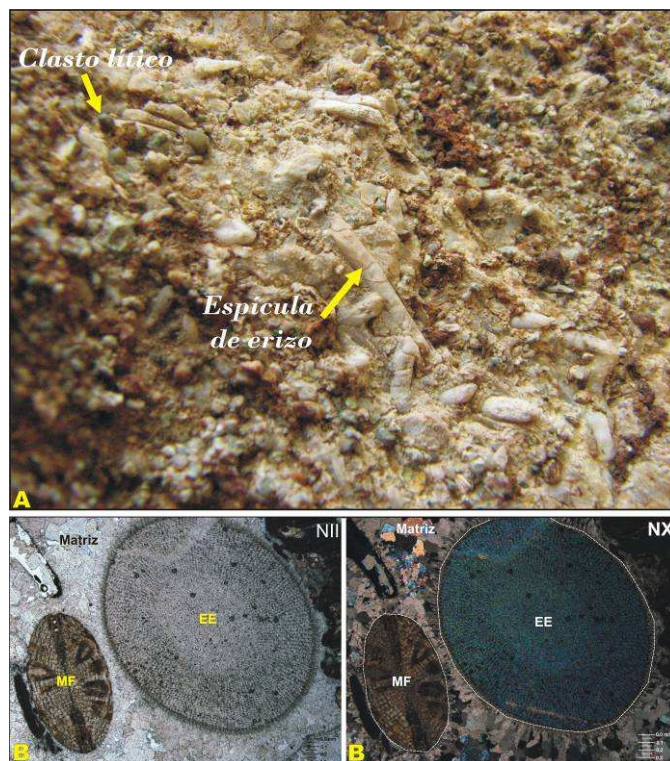


FIGURA 2.9 A: DETALLE MACROSCÓPICO CON ESPÍCULAS DE ERIZO Y CLASTOS LÍTICOS DE LA FM. RÍO BANANO. COORDENADAS: 585483 E / 212064 N

B: DETALLE MICROSCÓPICO A NÍCOLES PARALELOS (IZQ.) Y NÍCOLES CRUZADOS (DER.). MF: MACROFORAMINÍFERO Y EE: ESPÍCULA DE ERIZO.

2.3.5 Formación Suretka

Con esta formación se correlaciona un único afloramiento (**figura 2.10**) de 30 m de largo y 10 m de altura en las cercanías del cruce entre la ruta nacional 10 y el poblado de San Pablo (582438 E / 214596 N). Está conformado por un conglomerado con clastos centimétricos, subredondeados, mal seleccionados, de composición principalmente volcánica en una matriz arenosa moderadamente consolidada. Asociados a depósitos aluviales.

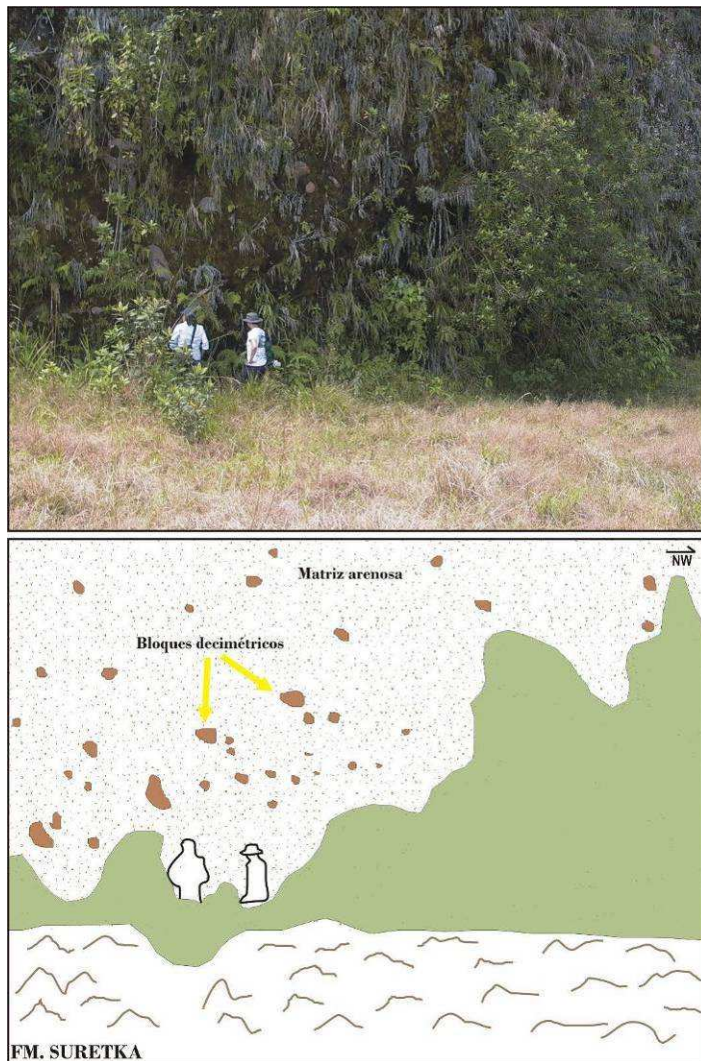


FIGURA 2.10. CONGLOMERADO PERTENECIENTE A LA FM. SURETKA.
COORDENADAS: 582438 E / 214596 N

2.3.6 Formación Doán

Esta unidad se encuentra ampliamente expuesta en el área de estudio principalmente en Alto June, Alto Pílon de Azúcar, quebrada Cacao, alrededores de Tres Equis incluyendo barrio San Martín y en el poblado de San Pablo.

Son depósitos caóticos de aspecto brechoso conformados por flujos piroclásticos que están dispuestos en estructuras masivas (**figuras 2.11, 2.12 y 2.13**) que constituyen colinas de poca altura especialmente presentes en el poblado de Tres Equis. Como se observa en la **figura 2.14**, este depósito presenta bloques con tamaños que varían de métricos a centimétricos y de redondeados a subredondeados que quedan parcialmente expuestos en la superficie de las colinas por erosión de la matriz.

En un detalle macroscópico del flujo piroclástico muestreado en el sector de Alto June (**figura 2.15A**) se observan clastos líticos (centimétricos a milimétricos) de origen

volcánico y composición principalmente andesítica, algo vesiculares, pómez centimétricas, cristales de feldspatos arcillitizados (plagioclasas) y augita, inmersos en una matriz tobácea de tonalidades café, rojiza o moradas; la superficie de meteorización a arcillas es de color café-blancuzco. En la **figura 2.15B** se observa el detalle microscópico de este flujo y en el **Anexo A** se encuentra la descripción microscópica respectiva con código Doán.



FIGURA 2.11. AFLORAMIENTO DE LA FM. DOÁN.
COORDENADAS: 580420 E / 210573 N



FIGURA 2.12. FORMACIÓN DOÁN, QUEBRADA CACAO.
COORDENADAS: 581286 E / 216540 N



**FIGURA 2.13. AFLORAMIENTO DE LA FM. DOÁN EN EL SECTOR DE ALTO JUNE.
COORDENADAS: 580420 E / 210573 N**



**FIGURA 2.14. BLOQUES RESIDUALES DE LA FM. DOÁN.
COORDENADAS: 582057 E / 218422 N**

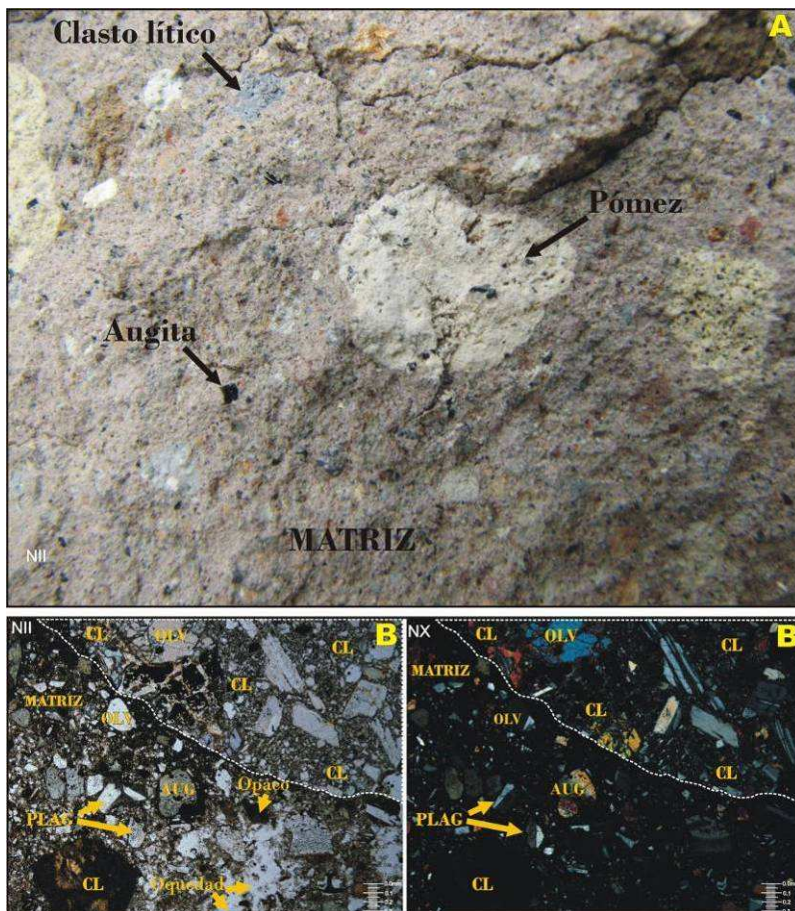


FIGURA 2.15 A: DETALLE MACROSCÓPICO DE FLUJO PIROCLÁSTICO DE LA FFM. DOÁN CERCANÍAS DEL CERRO ALTO JUNE. COORDENADAS: 581286 E /216540 N

B: DETALLE MICROSCÓPICO A NÍCOLES PARALELOS (IZQ.) Y NÍCOLES CRUZADOS (DER.).

CL: CLASTO LÍTICO, OLV: OLIVINO, AUG: AUGITA Y PLAG: PLAGIOCLASA.

2.3.7. Depósitos Recientes

Están distribuidos ampliamente en los valles de los ríos principales (Reventazón y Pacuare) y sus afluentes. Están constituidos por granulometrías variadas desde arcillas hasta cantos, y composiciones que derivan de las litologías circundantes anteriormente descritas. Se relacionan con procesos denudacionales y flujos de detritos transportados por los sistemas fluviales (figuras 2.16, 2.17 y 2.18).



FIGURA 2.16. ALUVIÓN, RÍO REVENTAZÓN. COORDENADAS: 579209 E / 216991 N



FIGURA 2.17. ALUVIÓN, RÍO PACUARE. COORDENADAS: 585957 E / 217421 N



**FIGURA 2.18. ALUVIÓN, RÍO CALVARIO.
COORDENADAS: 581426 E / 219068 N**

III. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO Y GEODINÁMICA EXTERNA

Se describen en este capítulo los rasgos geomorfológicos que caracterizan la zona de estudio, así como las consideraciones hidrológicas y patrones de drenaje que exhiben los sistemas fluviales dentro de las distintas microcuencas.

El análisis de la geodinámica externa, junto con el inventario de deslizamientos, se apoyó en estudios de las fotografías aéreas de los años 1961, 1971, 1978, 1988, 1996 y 1998, imágenes de satélite Google Earth (2002 y 2012), hojas cartográficas 1:25 000 y 1:50 000, así como trabajo detallado de campo. Para la determinación de las unidades geomorfológicas, se utilizaron las unidades para mapeo geomorfológico e interpretación de fotografías aéreas establecidas por van Zuidan (1986).

3.1 Consideraciones hidrológicas

El área de estudio es compartida por las cuencas de los ríos Reventazón (al oeste del área) y Pacuare (al este). Ambas cuencas están formadas por varias microcuencas que drenan el área, tanto al oeste como al este, hacia los colectores principales: el Reventazón y el Pacuare, que discurren hacia el norte.

En la cuenca del río Reventazón se identificaron nueve microcuencas, cuyos colectores principales presentan un rumbo preferencial sureste a noroeste, desfogando de forma oblicua sobre el río Reventazón; estas nueve microcuencas tienen una cobertura de 53,7 km².

Desfogando hacia el Pacuare se identificaron diez microcuencas, cuyos principales colectores presentan un rumbo preferencial suroeste a noreste y una cobertura de 30,28 km².

En la **figura 3.1**, se observan las microcuencas trazadas mediante las delimitaciones de las diferentes divisorias de aguas, constituidas por líneas imaginarias que representan las áreas de mayor altura que bordean al cauce principal, obteniéndose en total la segregación de 19 microcuencas.

1. Quebrada Grande-Gata

La quebrada Gata nace fuera del distrito de Tres Equis y se une a la quebrada Grande justo en el límite distrital. El cauce principal de la quebrada Grande es utilizado para el límite sur – sureste del distrito de Tres Equis, hasta desfogar en el río Pacuare.

Presenta un patrón de drenaje subparalelo, con una longitud de cauce principal de 5,5 km y una longitud total de cauces de 77,18 km, para una cobertura areal de 11,55 km², con una densidad de drenaje de 6,68 km/km² (**cuadro 3.1**). Este valor de densidad es característico de regiones húmedas, montañosas y de terrenos impermeables o de baja permeabilidad, (Horton, 1945).

El patrón de drenaje subparalelo observado en la microcuenca Grande-Gata, se caracteriza porque los cursos tributarios se ramifican formando ángulos agudos con el cauce principal, cambiando luego de dirección tornándose paralelo al cauce de las quebradas Grande y Gata. Hacia las nacientes de la quebrada Grande, se observa que los tributarios presentan inicialmente un rumbo preferencial N75E, coincidente con los sectores de mayor desplazamiento de los sub-bloques Guadalupe-San Pablo, Alto Guadalupe y Pacuare, observados en la **figura 3.42**. Hacia el curso inferior de la quebrada Grande, el rumbo es modificado en sentido oeste-este, justo después de la confluencia con la quebrada Gata.

En la sección alta de la cuenca, los cursos tributarios presentan una moderada asimetría que se ve reflejada en la mayor longitud de los cauces tributarios de la margen derecha, entre tanto en las secciones media y baja de la cuenca, los cauces tributarios de la margen izquierda presentan mayor longitud con relación a los de la margen derecha, posiblemente asociado con la presencia de una cobertura rocosa más blanda, que permite el desarrollo de ejes de cauces con mayor longitud.

Las **microcuencas 2 y 3** se describen en la sección de sistemas de microdrenajes que desfogan directamente en el río Pacuare.

4. Lagunas Chitaría

Como se observa en la **figura 3.1**, la microcuenca denominada Lagunas Chitaría corresponde con una serie de tributarios que no desfogan sobre un cauce principal, sino que forman una serie de estanques limitados por una barrera topográfica correspondiente con una ladera que impide el flujo de escorrentía hacia la quebrada Flor o cursos vecinales.

Esta microcuenca exhibe un patrón de drenaje lagunar, el cual corresponde con una zona compuesta por pequeños estanques espaciados en forma desordenada, característica de cuencas de planicies, cerradas y con condiciones de suelos predominantemente impermeables o con baja permeabilidad, cuyo ciclo erosivo se encuentra en etapas juveniles. Esta

microcuenca se desarrolla en la base del escarpe del bloque de deslizamiento Tres Equis – Chitaría, observado en la **figura 3.42**.

Presenta una longitud total de cauces de 12,73 km, para una cobertura areal de 1,92 km², con una densidad de drenaje de 7,23 km/km², característica de regiones húmedas, montañosas y de terrenos impermeables (Horton, 1945) (**cuadro 3.1**).

5. Quebrada Mata de Guineo

Como se observa en la **figura 3.1**, la quebrada Mata de Guineo presenta un patrón de drenaje desordenado; se denomina así por presentar un sistema integrado de drenajes superficiales, donde se observan cauces tributarios que desfogan en estanques con apariencia de no poseer una continuidad hacia el cauce tributario principal. Esta característica del drenaje es observada en la sección alta de la cuenca, justo en la base del escarpe del deslizamiento de los sub-bloques San Pablo y Blake observados en la **figura 3.42**, los cauces tributarios confluyen en ángulo agudo y carecen de simetría.

El cauce principal de la quebrada Mata de Guineo se presenta contorsionado en la sección media, cambiando drásticamente de rumbo de N55W a N80E y luego a N5E, en tramos que no exceden los 600 m de longitud; la última sección del cauce desfoga con rumbo N65E en el río Pacuare. Los cauces tributarios presentan los mismos rumbos y contorsiones en la sección donde se presenta mayor movilidad del deslizamiento. La pendiente general del terreno donde se presentan los cauces contorsionados no excede los 10°, favoreciendo la depositación de flujos de lodo y creación de zonas pantanosas. Se relacionan los cambios bruscos en el rumbo del patrón de drenaje, con las grietas principales de los sub-bloques San Pablo y Blake observados en la **figura 3.42**, las cuales posiblemente generen condiciones blandas que favorezcan el proceso erosivo de terreno.

La longitud total de los cauces es de 40,66 km, para una cobertura areal de 5,62 km², con una densidad de drenaje de 7,23 km/km² (**cuadro 3.1**); este valor de densidad es característico de regiones húmedas, montañosas y de terrenos impermeables o de baja permeabilidad, según Horton (1945).

6. Río Chitaría

En su mayor parte, esta cuenca se ubica fuera del área del distrito de Tres Equis; se incorporan un tramo de la sección alta de la microcuenca y una franja en la sección noroeste de la microcuenca. La sección media-alta de la microcuenca presenta un patrón de drenaje contorsionado, caracterizado por dar vuelta o formar una curvatura alrededor del límite del escarpe del sub-bloque de deslizamiento Chitaría. Inicialmente, los tributarios presentan rumbo este – oeste y son modificados hacia un rumbo sur - norte en forma curvada; el curso inferior del cauce principal desfoga con rumbo N45W en el río

Reventazón. Esta microcuenca se forma por la unión del río Chitaría con las quebrada Camacho y Azul.

Es frecuente la formación de estanques en las diferentes secciones de la microcuenca, observándose una mayor concentración en la sección alta.

La longitud total de los cauces en la microcuenca del río Chitaría es de 104,67 km, para una cobertura areal de 17,65 km², con una densidad de drenaje de 5,93 km/km² (**cuadro 3.1**); según Horton (1945), este valor de densidad es característico de regiones húmedas, montañosas y de terrenos impermeables o de baja permeabilidad.

7. Quebrada Capinal

El patrón de drenaje exhibido por la quebrada Capinal es de tipo subdentítico y se caracteriza por presentar cauces tributarios con un rumbo distinto al que presenta el colector principal, evidenciando un control establecido por los procesos de remoción en masa. En la sección media de la microcuenca, los cauces tributarios y el cauce principal presentan modificaciones en la sinuosidad y rumbo, posiblemente asociadas con movimientos diferenciales del terreno. Estos cambios de rumbos son consecuentes con los observados en la quebrada adyacente (Mata de Guineo). Sin embargo, se presentan de forma leve, perceptibles básicamente a partir del trazado de drenajes tributarios. La quebrada Capinal desfoga en el río Pacuare con un rumbo N65E.

La longitud total de los cauces en la microcuenca de la quebrada Capinal es de 14,95 km, para una cobertura areal de 2,41 km², con una densidad de drenaje de 6,21 km/km² (**cuadro 3.1**). Este valor de densidad es característico de regiones húmedas, montañosas y de terrenos impermeables o de baja permeabilidad según Horton (1945).

9. Quebradas 9. Danta, 12. Sartén y 17. Ganga

Al igual que la quebrada Capinal, se tiene que el patrón de drenaje exhibido por las quebradas Danta, Sartén y Ganga, es de tipo subdentítico, caracterizado por presentar cauces tributarios con un rumbo distinto al que presenta el colector principal, evidenciando un control establecido por los procesos de remoción en masa. En la sección media de las microcuencas, los cauces tributarios y el cauce principal presentan modificación en la sinuosidad y rumbo, posiblemente asociado con movimientos diferenciales del terreno. Estos cambios de rumbos son consecuentes con los observados en la quebrada Mata de Guineo y Capinal; sin embargo, se presentan de forma leve, perceptibles básicamente a partir del trazado de drenajes tributarios. Las quebradas Danta y Sartén desfogan en el río Pacuare con un rumbo N65E.

La densidad de drenaje en la quebrada Danta es de 5,77 km/km², en la quebrada Sartén es de 5,72 km/km² y en la quebrada Ganga es de 7,08 km/km² (**cuadro 3.1**); estos valores de

densidades de drenaje son característicos de regiones húmedas, montañosas y de terrenos impermeables o de baja permeabilidad según Horton (1945).

11. Quebradas Cacao – Flor

Los sistemas de drenaje constituidos por la quebrada Cacao – Flor, presentan un patrón de drenaje subparalelo, que se caracteriza porque los cursos tributarios se ramifican formando ángulos agudos con el cauce principal, cambiando luego de dirección, tornándose paralelos al cauce de las quebradas Cacao-Flor. Hacia las nacientes de la quebrada Flor, se observa que los tributarios presentan una leve contorsión, asociada con el escarpe del sub-bloque de deslizamiento Flor. Las quebradas Flor – Cacao desfogon en el río Reventazón, con un rumbo preferencial N45W.

La longitud total de los cauces en la microcuenca Cacao - Flor es de 22,52 km, para una cobertura areal de 4,05 km², con una densidad de drenaje de 5,56 km/km² (**cuadro 3.1**).

La **microcuenca 12** es descrita en la sección de sistemas de microdrenajes que desfogon directamente en el río Pacuare y la **microcuenca 13** se describe en la sección de sistemas de microdrenajes que desfogon directamente en el río Reventazón.

14. Quebrada Alto June

Se denomina así al sistema fluvial que nace en el cerro Alto June y desfoga en el río Reventazón con rumbo N30W; presenta una longitud total de drenaje de 8,94 km, con una cobertura areal de 1,55 km² y una densidad de drenaje de 5,77 km/km² (**cuadro 3.1**).

Como se observa en la **figura 3.1**, el patrón de drenaje predominante es sub-paralelo. Entre las características morfológicas presentes, se tiene que hacia la sección alta de la microcuenca los tributarios presentan un rumbo preferencial N20E, consecuente con los tributarios de la margen izquierda del río Calvario, hasta desfogar en el cauce principal, que presenta un rumbo N30W.

La **microcuenca 15** es descrita en la sección de sistemas de microdrenajes que desfogon directamente en el río Reventazón.

16. Río Calvario

El río Calvario presenta un patrón de drenaje contorsionado. Los tributarios contorsionados pueden estar dominados por los rumbos de las principales grietas que se presentan en el deslizamiento del sub-bloque Tres Equis (N20E), formando un ángulo obtuso con la corriente principal (río Calvario), el cual presenta un rumbo preferencial de N50W. Se destaca que los tributarios de la margen izquierda del río Calvario presentan notoriamente la forma contorsionada, mientras que los cauces tributarios de la margen derecha exhiben un patrón predominantemente sub-paralelo, posiblemente relacionado con la extensión de

las ladera que conforman los márgenes (margen izquierda ladera larga, margen derecha ladera corta), producto de la actividad del deslizamiento en el sub-bloque Tres Equis.

La presencia de topografía plano ondulada contribuye con la formación de estanques en la sección media a alta de la cuenca.

La longitud total de los cauces en la microcuenca de la quebrada Calvario es de 45,68 km, para una cobertura areal de 7,07 km², con una densidad de drenaje de 6,46 km/km² (**cuadro 3.1**). La **microcuenca 17** es descrita en la sección de sistemas de microdrenajes que desfogan directamente en el río Pacuare.

18. Quebrada Patincho

La quebrada Patincho se ubica hacia el límite norte del distrito Tres Equis; presenta un patrón de drenaje sub-paralelo. Este sistema fluvial drena el deslizamiento de Bajo 52 Millas, ubicado en el cantón de Siquirres.

La densidad de drenaje en la microcuenca de la quebrada Patincho es de 5,25 km/km², (**cuadro 3.1**).

- Sistemas de microdrenajes que desfogan directamente en el río Pacuare, quebradas Corozal Sur, Corozal Este, Ladera Pacuare y Corozal Norte

Estas microcuencas se observan en la **figura 3.1** con los números 2, 3, 8 y 19. Se caracterizan por estar compuestas por drenajes que presentan longitudes menores a un kilómetro, los cuales desfogan directamente sobre el río Pacuare; en el caso de los sistemas que bordean el cerro Alto Corozal, estos se subdividieron según el rumbo con el que desfogan sobre el colector principal.

- Sistemas de microdrenajes que desfogan directamente en el río Reventazón, Ladera Flor, Ladera Reventazón y Alto June Norte

Corresponden con los sistemas de drenajes número 10, 13 y 15 de la figura 3.1, los cuales desfogan directamente sobre el río Reventazón. Se caracterizan por presentar un patrón de drenaje sub-paralelo con rumbo preferencial N45W. En el caso de la microcuenca Alto June Norte, se observa una leve modificación del rumbo en los tributarios ubicados en la sección superior de la cuenca, el cual es consecuente con el rumbo que presenta los tributarios de la microcuenca del río Calvario (**cuadro 3.1**).

Los valores de densidad de drenaje determinados para las diferentes microcuencas indican una alta densidad de drenaje, condiciones que fueron establecidas por Horton, (1945) y Strahler, (1964). Estos valores fueron asociados por estos autores con materiales poco permeables, característica geotécnica que fue adicionalmente comprobada mediante las pruebas de infiltración analizadas para la esta investigación.

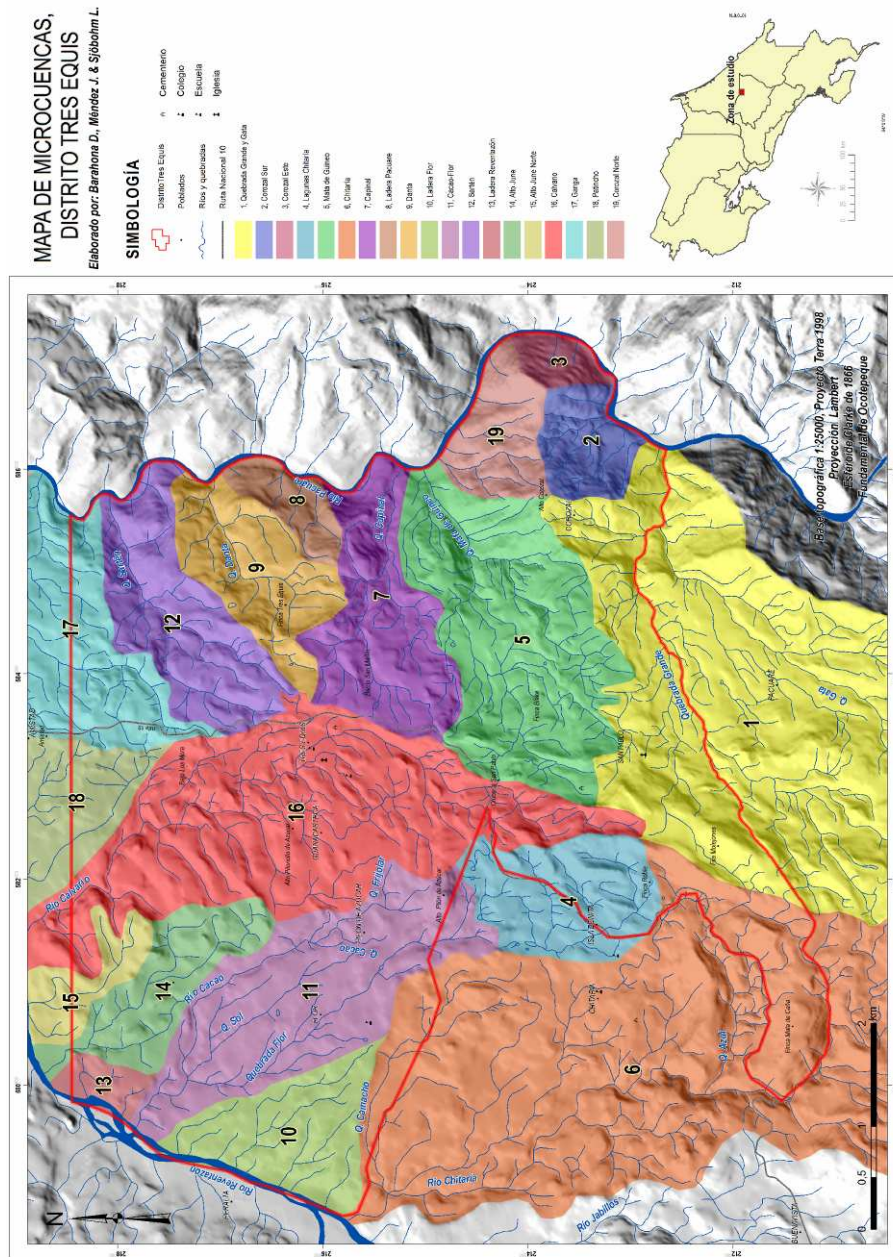


FIGURA 3.1 MAPA CON LA DISTRIBUCIÓN DE MICROCUENCAS Y DRENAJES RESPECTIVOS EN EL DISTRITO DE TRES EQUIS Y ALREDEDORES

Cuadro 3.1 Parámetros morfométricos de las microcuencas

Micro Cuenca	Área (km ²)	Longitud (km)	Densidad de drenaje (km/km ²)
1. Quebrada Grande-Gata	11,5	77,2	6,7
2. Corozal Sur	0,9	6,4	7,3
3. Corozal Este	0,4	0,0	0
4. Lagunas Chitaria	1,9	12,7	6,6
5. Mata de Guineo	5,6	40,7	7,2
6. Chitaria	17,6	104,7	5,9
7. Capinal	2,4	14,9	6,2
8. Ladera Pacuare	0,6	2,8	4,7
9. Danta	1,8	10,5	5,8
10. Ladera Flor	1,9	9,3	4,9
11. Cacao-Flor	4,0	22,5	5,6
12. Sartén	2,4	13,8	5,7
13. Ladera Reventazón	0,4	1,4	3,7
14. Alto June	1,5	8,9	5,8
15. Alto June Norte	0,8	3,8	5
16. Calvario	7,1	45,7	6,5
17. Ganga	5,2	37,0	7,1
18. Patincho	4,5	23,6	5,2
19. Corozal Norte	1,1	5,4	5,1

3.2 Pendientes

Para el establecimiento de las clases de pendientes con sus respectivos rangos, se utilizaron los propuestos por van Zuidan (1986), los cuales describen condiciones o procesos característicos esperados en terrenos pertenecientes a cada clase (**Anexo B**). Debido a que para el área de estudio son muy pocas las áreas con pendientes correspondientes a las segunda y tercer clase descritas en la propuesta original del autor, se hace una modificación agrupando las dos segundas clases como una sola, con rangos que oscilan entre 3° a 8°, correspondientes con laderas de pendientes bajas (ver **cuadro 3.2**).

Cuadro 3.2 Clases de pendientes (modificadas de Van Zuidan, 1986)

Pendiente en grados	Porcentaje de cobertura	Clasificación	Procesos característicos y condiciones que se pueden encontrar en cualquier terreno de esta clase
0-2	6.7%	Pendiente muy baja	Planicie sin denudación apreciable, movimientos en masa de baja velocidad de diferentes clases, daños severos por erosión del suelo.
2.1-8	20.4%	Pendientes baja	Peligro severo de erosión
8.1-16	30.9%	Pendiente moderada	Movimientos en masa de todos los tipos, peligro de erosión de suelos y deslizamientos.
16.1-35	36.4%	Pendiente fuerte	Procesos denudacionales intensos de diferentes tipos, erosión, reptación y deslizamientos bajo cobertura vegetal, extremo peligro de erosión del suelo.
35.1-55	5.6%	Pendiente muy fuerte	Procesos denudacionales intensos, caída de rocas, es posible el desarrollo de cobertura boscosa.
> 56	0%	Pendiente extremadamente fuerte	Caída de rocas, procesos denudacionales fuertes, especialmente denudación de los escarpes rocosos, cobertura boscosa limitada.

En la **figura 3.2** se puede observar el modelo digital del terreno (DEM) y modelo sombreado y en la **figura 3.3** el mapa de pendientes respectivo. Las áreas con pendiente muy fuerte (5,6%) se ubican al sur del distrito Tres Equis, hacia la fila Mollejones y al este del distrito, correspondiente con la ladera que delimita el río Pacuare. Las áreas con pendiente fuerte (36,4%), están distribuidas en diferentes sectores del distrito, con mayor representación en la ladera oeste del río Pacuare. Las zonas con pendiente moderada, baja y muy baja se presentan hacia el río Reventazón, y sectores ubicados al este del distrito.

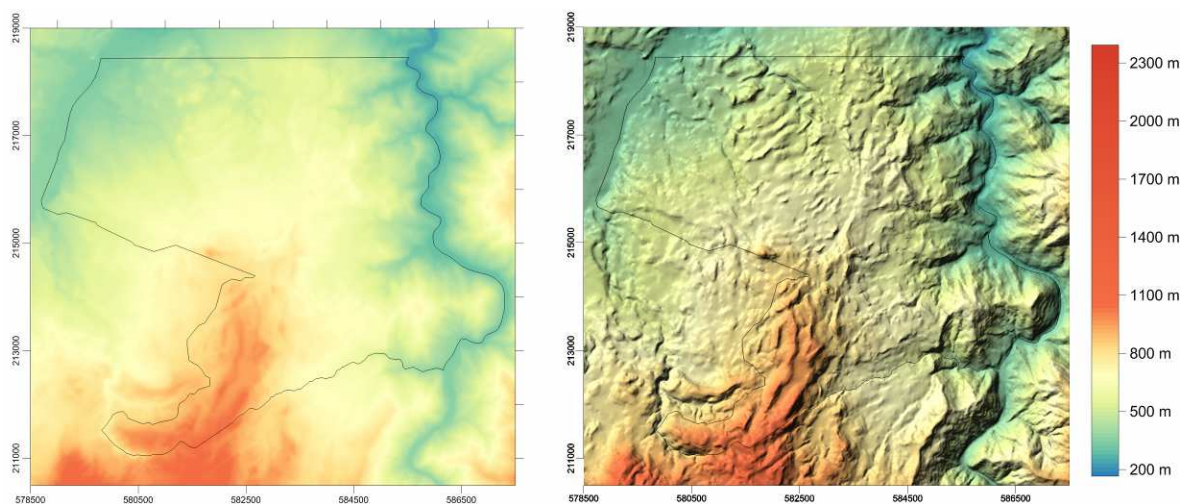


FIGURA 3.2. MODELO DIGITAL DEL TERRENO (DEM) PARA EL DISTRITO DE TRES EQUIS, TURRIALBA

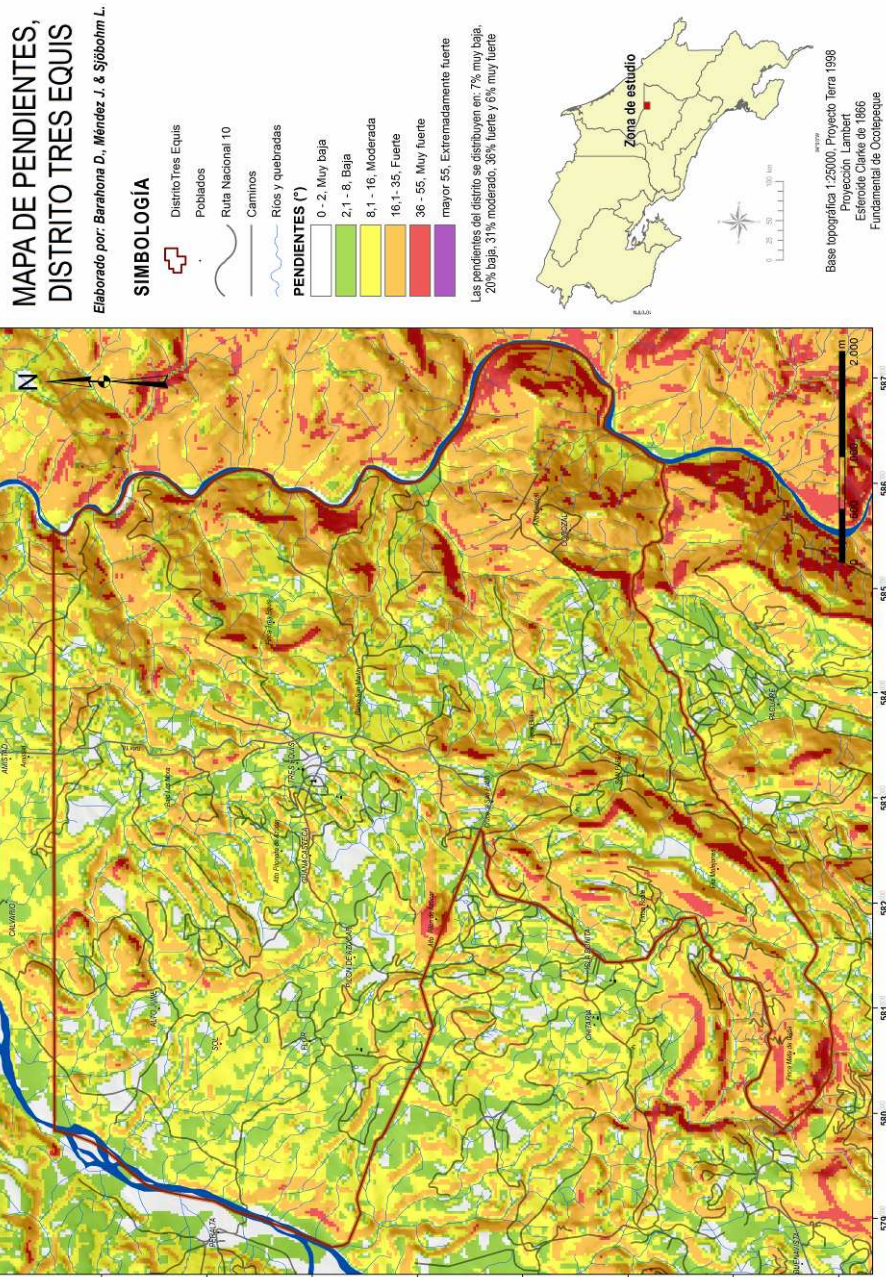


FIGURA 3.3. MAPA DE PENDIENTES PARA EL DISTRITO DE TRES EQUIS, TURRIALBA, SEGÚN CARACTERIZACIÓN PROPUESTA POR VAN ZUIDAN (1986)

3.3 Unidades geomorfológicas

Las unidades geomorfológicas se determinaron según el origen de las formas (o morfogénesis), de acuerdo a los criterios de clasificación de van Zuidan (1986). Esta clasificación posee 8 clases genéticas y cada una de ellas presenta de 5-17 subclases y permite además la creación de nuevas subclases, si el área o la morfología lo requieren.

Para el área de estudio se determinaron formas de origen denudacional, que son las más abundantes en el área, caracterizadas por procesos de remoción en masa activos y laderas denudacionales de pendiente fuerte con escarpes secundarios de deslizamientos.

Las formas de origen denudacional-estructural incluyen aquellas morfologías o estructuras prominentes (escarpes, lineamientos) que presentan procesos denudacionales visibles, pero en los que no se encontró evidencia clara para asociarlas a un origen netamente estructural.

Las formas de origen fluvial están restringidas a las confluencias de los principales sistemas fluviales que drenan hacia los ríos Reventazón y Pacuare. En la **figura 3.4** se observa la distribución espacial de las unidades y subunidades geomorfológicas delimitadas para el distrito de Tres Equis y alrededores.

3.3.1 Formas de origen denudacional (D)

➤ Unidad de laderas sometidas a procesos de remoción en masa (D1)

Esta unidad es la más extendida en el área de estudio. Debido a que no existe en la literatura geológica una categorización específica para describir detalladamente unidades morfológicas dentro de movimientos en masa complejos, las unidades y subunidades se determinaron con base en diferencias topográficas, pendientes de las laderas, orientación y distribución de rasgos morfológicos importantes, patrones de drenaje, sistemas erosivos lineales, entre otros.

✓ D1.1 Cerros elongados con distribución paralela y deslizamientos activos

La litología presente en esta unidad está conformada principalmente por flujos piroclásticos que se correlacionan con la Formación Doán.

MAPA GEOMORFOLÓGICO PARA EL DISTRITO DE TRES EQUIS

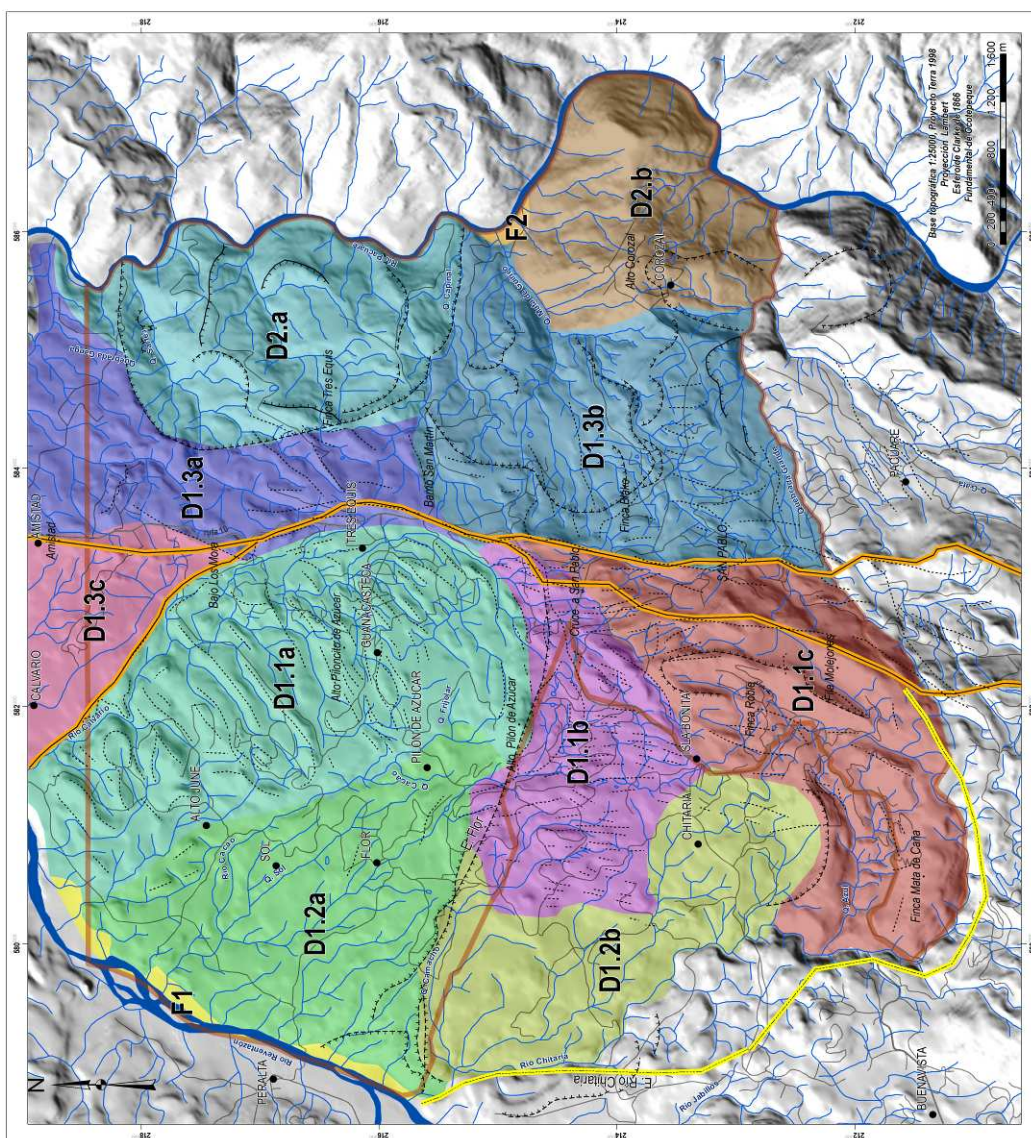
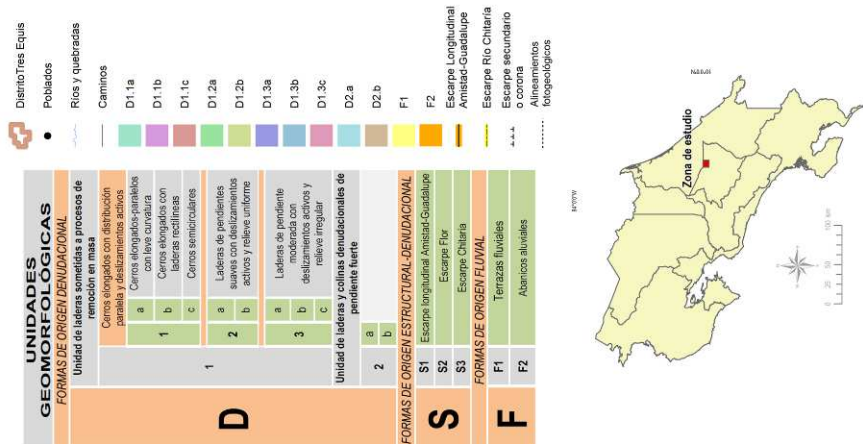


FIGURA 3.4 MAPA GEOMORFOLÓGICO PARA EL DISTRITO DE TRES EQUIS, TURRIALBA

Elaborado por: Barahona D., Méndez J. & Sjöbohm L.

Se divide en las siguientes subunidades:

- D1.1.a. Cerros elongados – paralelos con leve curvatura

Esta subunidad se ubica en la parte central del área de estudio. Se extiende longitudinalmente de NW a SE. Limita al sur con el Alto Pílon de Azúcar, al oeste con el río Cacao, al este con el tramo norte del escarpe longitudinal denominado en este trabajo como Amistad-Guadalupe (paralelo a la ruta nacional 10) y se bifurca hacia el NW por el margen derecha del río Calvario. En esta subunidad se ubica el poblado de Tres Equis (al SE), el cual posee la mayor densidad poblacional de todo el distrito.

Presenta topografía irregular, con relieve ondulado, caracterizado por la presencia de colinas con divisoria cortas y redondeadas. Estas colinas tienen una forma elongada y son paralelas entre sí, con rumbos preferenciales NE-SW, la variación en los rumbos del eje longitudinal de las colinas forma un contorno levemente curvo. Exhiben alturas promedios de 60 m sobre el nivel del terreno. Las laderas presentan pendientes de moderadas a fuertes (8-35°), con una pendiente longitudinal a la subunidad cercana a los 5°; se encuentran fuertemente disectadas por los sistemas fluviales tanto perpendiculares como paralelos a estas lomas. Estas morfologías se asemejan a los depósitos de debris avalanche que forman un relieve denominado hummocks (**Figuras 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8**).

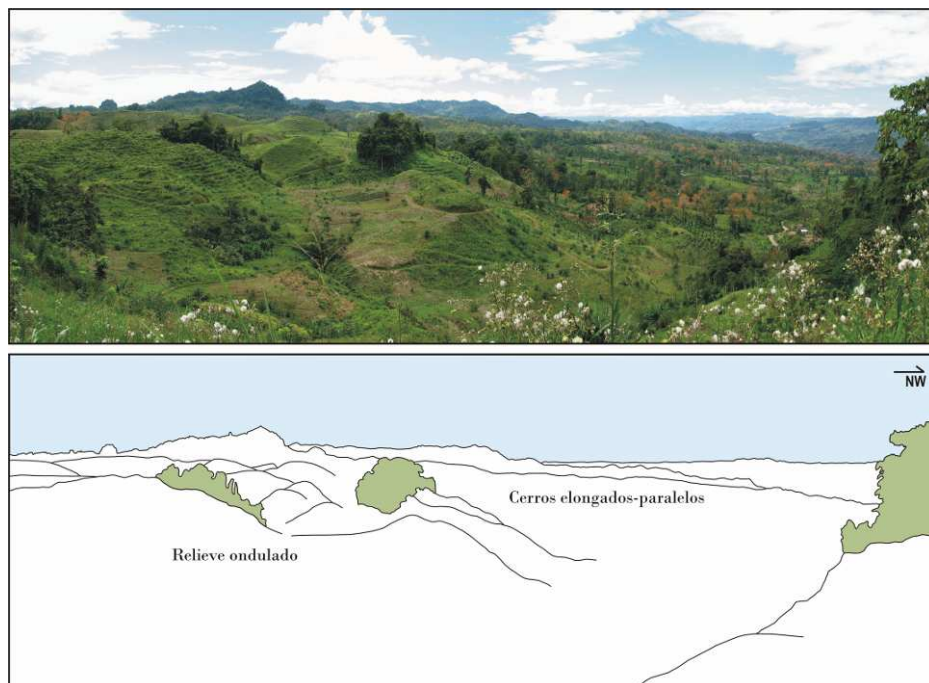


FIGURA 3.5. CERROS ELONGADOS - PARALELOS, PERPENDICULARES A LA PENDIENTE LONGITUDINAL DE LA SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA.

FOTOGRAFÍA TOMADA DESDE COORDENADAS: 217723 N / 581518 E



FIGURA 3.6. RELIEVE ONDULADO, CERCANÍAS DE CERRO ALTO JUNE.
COORDENADAS: 217730 N / 582192 E

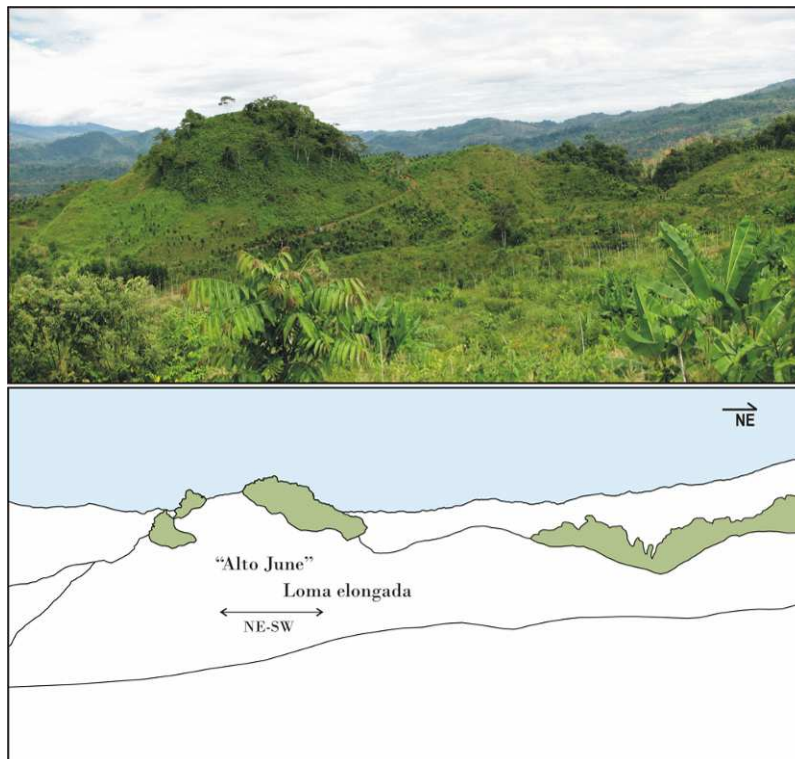


FIGURA 3.7. LOMA ELONGADA CON RUMBO NE-SW (ALTO JUNE).
COORDENADAS: 217371 N / 581773 E



FIGURA 3.8. LOMA ELONGADA CON RUMBO N40E, CERCANÍAS DEL CENTRO DE TRES EQUIS.
COORDENADAS: 215723 N / 583300 E

En esta subunidad geomorfológica se forman depresiones topográficas donde es común observar áreas pantanosas y pequeñas lagunas. Las bajas permeabilidades medidas en esta unidad (pruebas de permeabilidad realizadas para esta investigación), contribuye con la formación de lagunas (**Figuras 3.9, 3.10 y 3.11**). Los patrones de drenaje observados son contorsionados y sub- paralelos.

Como rasgos topográficos destacan los cerros Alto Pilon de Azúcar, Alto Piloncito de Azúcar y Alto June, además del tramo norte del escarpe longitudinal Amistad-Guadalupe que se extiende en total 9 km con un rumbo preferencial N-S.

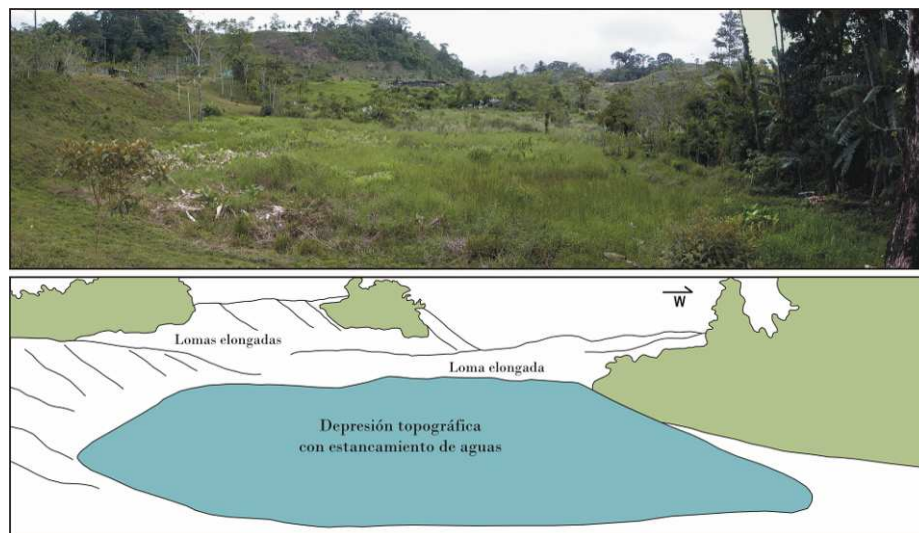


FIGURA 3.9. LOMAS ELONGADAS Y ZONA DEPRIMIDA CON ESTANCAMIENTO DE AGUAS.
COORDENADAS: 217612 N / 583097 E

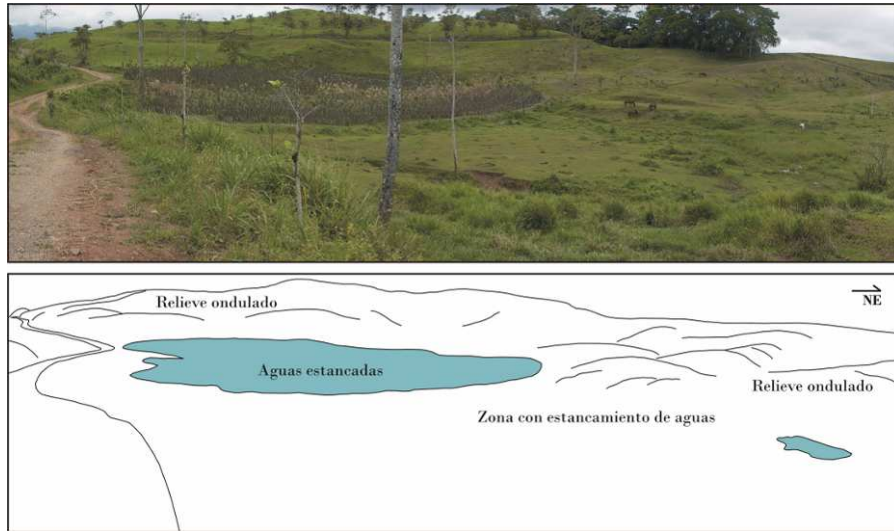


FIGURA 3.10. ZONAS DEPRIMIDAS CON ESTANCAMIENTO DE AGUA, CERCANÍAS DEL CENTRO DE TRES EQUIS. COORDENADAS: 216126 N / 582501 E

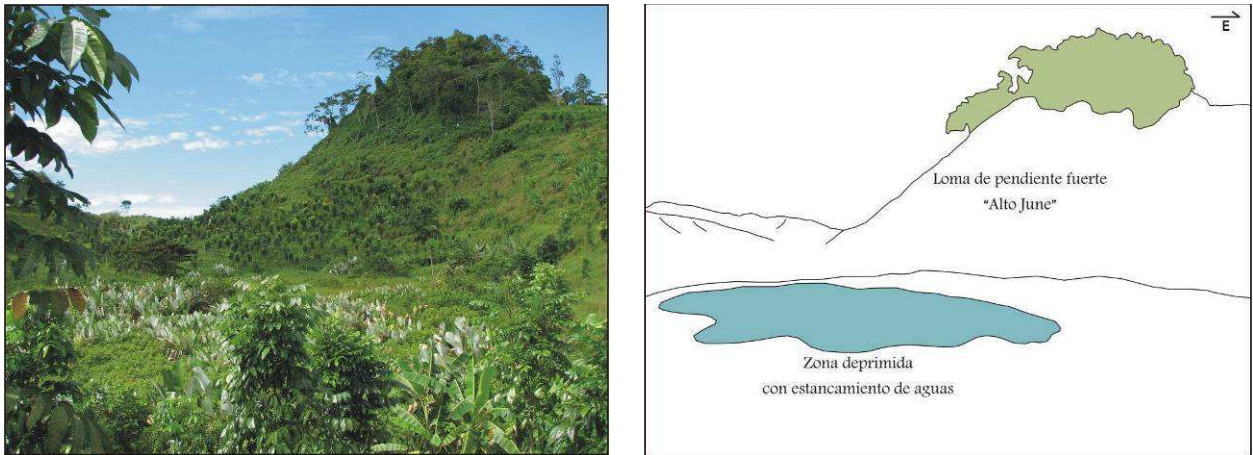


FIGURA 3.11. LADERA DE PENDIENTE FUERTE EN LOMA ELONGADA (ALTO JUNE) CON ALTURA CERCANA A 60 M Y ZONA DEPRIMIDA AL PIE CON ESTANCAMIENTO DE AGUAS. COORDENADAS: 217559 N / 581664 E

- D1.1b. Cerros elongados con laderas rectilíneas

Esta subunidad limita al norte con el escarpe Flor y Alto Pilón de Azúcar, al este con el tramo sur del escarpe longitudinal Amistad-Guadalupe, al oeste con la subunidad geomorfológica D1.2b y al sur con un afluente del río Chitaría. El poblado más cercano es Chitaría. Se extiende mayoritariamente fuera del área de estudio y se distingue por poseer laderas con morfología rectilínea y no curvada, como la observada en la subunidad D1.1a.

Morfológicamente presenta un relieve conformado por lomas rectilíneas, con alturas cercanas a los 20 m sobre el nivel del terreno, un rumbo preferencial N-S y paralelas entre sí. Predominan las pendientes de moderada a fuerte entre 8°-35°, con una pendiente longitudinal a la unidad de 5°. Se observan en esta subunidad desagües truncados y

encerrados por los escarpes Flor, Amistad-Guadalupe y el Alto Pilón de Azúcar. Estos drenajes no conectan a un colector principal, induciendo estancamientos de aguas que forman lagunas, desarrollando un patrón de drenaje lagunar (**figura 3.12 y 3.13**).



FIGURA 3.12. LAGUNA EN LOS ALREDEDORES DE ALTO PILÓN DE AZÚCAR.
COORDENADAS: 214079 N / 581368 E

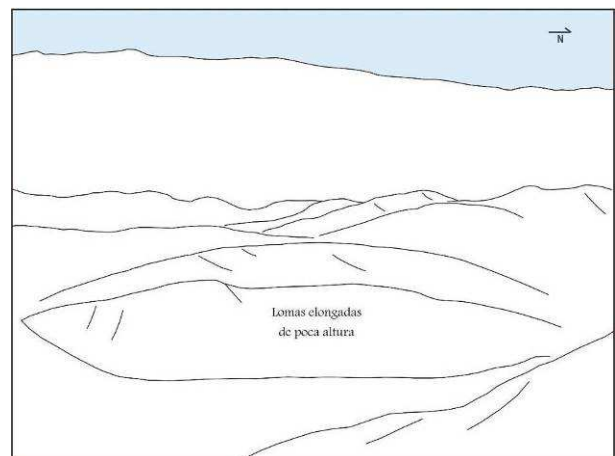


FIGURA 3.13. LOMAS RECTILÍNEAS-PARALELAS, DE BAJA ALTURA CON RUMBO N-S.
COORDENADAS: 214634 N / 581390 E

- D1.1c. Cerros semicirculares

Esta subunidad se localiza al sur del área de estudio. Corresponde con el segmento sur del escarpe Amistad-Guadalupe, localizado en la Fila Molejones; el poblado más cercano es Isla Bonita. Las laderas presentan alturas que rondan los 900 m.s.n.m y alturas promedio sobre el nivel del terreno de 200 m. La topografía es escarpada, conformada por laderas con pendientes fuertes a muy fuertes (16° a 55°) (**figura 3.14**).

Las lomas semicirculares presentan distribución paralela, formando depresiones topográficas entre cada loma con desarrollo de lagunas alargadas, con una longitud máxima que puede variar entre 100 - 250 m (**figura 3.15**). Esta subunidad se observa profundamente disectada por los sistemas fluviales que forman estrechos cañones en las secciones superiores de la quebrada Azul y del río Chitaría. El patrón de drenaje es contorsionado.

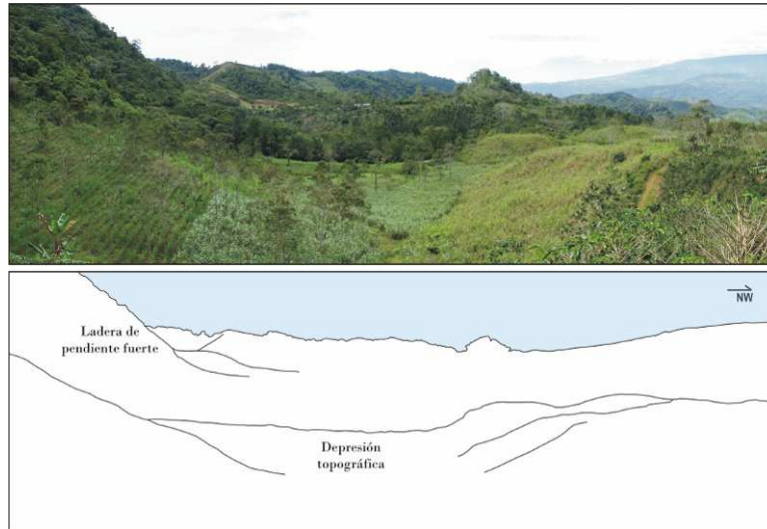


FIGURA 3.14. LADERA DE PENDIENTE FUERTE, OBSERVADA EN LOS SECTORES DE MÁS ALTURA DEL DISTRITO TRES EQUIS (ENTRE 100 Y 200 M). PARTE DE FILA MOLEJONES. COORDENADAS: 211675 N / 581450 E



FIGURA 3.15. LAGUNA ENTRE LADERAS DE FILA MOLEJONES. COORDENADAS: 213821 N / 583114 E

✓ **D1.2 Laderas de pendiente suave con deslizamientos activos y relieve uniforme.**

Se divide en las subunidades D1.2a y D1.2b, las cuales se encuentran separadas topográficamente por el escarpe Flor. La subunidad D1.2b se ubica fuera del área de esta investigación; no obstante, se incluye una breve descripción que contribuye a la caracterización geomorfológica de las áreas cercanas al distrito de Tres Equis.

-D1.2a: Esta subunidad se ubica al norte del escarpe Flor. Limita al norte con la subunidad D1.1a (Cerros alongados paralelos con leve curvatura), al este con la quebrada Frijolar - río Cacao, al sur con el escarpe Flor y al oeste con el río Reventazón. Incluye los poblados Flor y Sol.

Presenta topografía uniforme, con pendientes de baja a moderada (2-16°) (**figura 3.16**). Las pendientes máximas se encuentran en el extremo suroeste de la subunidad, sector que corresponde con el escarpe Flor. La pendiente longitudinal media de esta subunidad es cercana a los 5°. El relieve uniforme facilita los procesos de escorrentía y con ello severos procesos de remoción en masa, al no existir obstáculos topográficos que reduzcan la escorrentía superficial mediante la formación de estanques.

Los sistemas fluviales que drenan la subunidad favorecen la erosión de las márgenes, contribuyendo con la profundización y ensanchamiento de los cauces; este proceso induce la formación de deslizamientos laterales, como los observados en la quebrada denominada informalmente Sol (**figura 3.17**).

Las microcuencas que conforman las quebradas Flor, Sol y Cacao presentan patrones de drenaje subparalelo.

El escarpe secundario de deslizamiento más prominente de la unidad se ubica en el área de pendiente fuerte y mayor disectación, observado al norte de la confluencia entre la quebrada Camacho y el río Chitaría.

Los múltiples desprendimientos a lo largo de la margen derecha del río Reventazón se relacionan con la constante erosión fluvial en la base del talud (**figura 3.18**).

La principal característica que la diferencia de las unidades anteriormente descritas es la ausencia de lomas alineadas.

Como rasgos geomorfológicos destacan el patrón de drenaje rectangular del río Cacao, las terrazas en la margen derecha del río Reventazón, el escarpe secundario de deslizamiento al suroeste de la unidad y el escarpe Flor.



**FIGURA 3.16. LADERAS DE PENDIENTE SUAVE A MODERADA DE LA SUBUNIDAD D1.2A.
COORDENADAS: 215609 N / 580220 E**



**FIGURA 3.17. MÁRGENES INESTABLES POR PROFUNDIZACIÓN DEL CAUCE DE LA QUEBRADA SOL.
COORDENADAS: 216806 N / 580447 E**

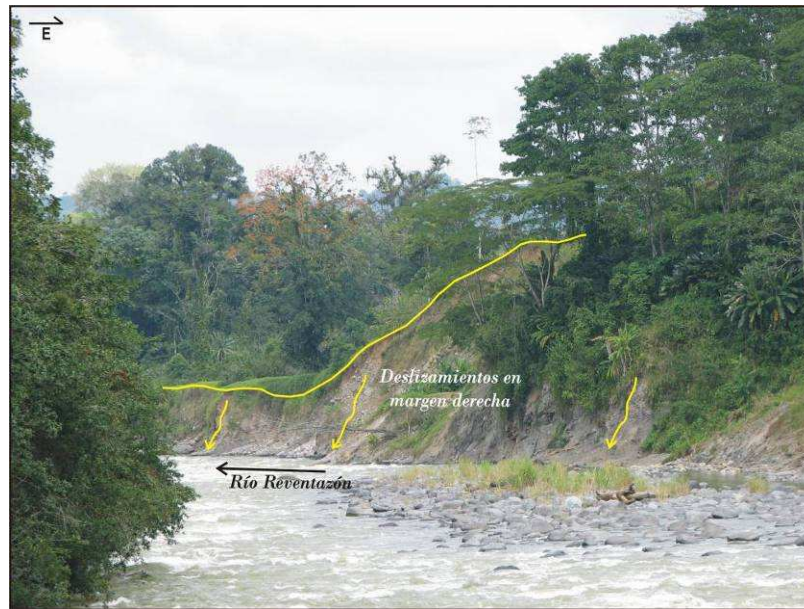


FIGURA 3.18. DESLIZAMIENTOS EN LA MARGEN DERECHA DEL RÍO REVENTAZÓN PRODUCTO DE PENDIENTE FUERTE EN MATERIALES INCOMPETENTES Y EROSIÓN FLUVIAL EN LA BASE DEL TALUD.
COORDENADAS: 216673 N / 579122 E

D1. 2b. Esta subunidad se encuentra mayoritariamente fuera del área de estudio, se describe brevemente para mejor comprensión de las características geomorfológicas predominantes en los alrededores del distrito de Tres Equis.

Presenta una topografía regular con pendientes moderadas (8-16°) (**figura 3.19**). Las pendientes máximas se localizan en los cauces de la quebrada Camacho, río Chitaría y un afluente de éste.

La subunidad se observa moderada a fuertemente disectada por los sistemas fluviales; generando constantes desprendimientos de material asociado a los procesos erosivos, ejemplo de éstos pueden observarse en la quebrada Camacho y el río Chitaría (**figura 3.20**).

Como rasgos geomorfológicos destacan el patrón contorsionado del río Chitaría y quebrada Azul, el tramo sur del escarpe Amistad-Guadalupe, escarpe del río Chitaría y el escarpe Flor.



**FIGURA 3.19. LADERAS DE PENDIENTE SUAVE A MODERADA DE LA SUBUNIDAD D1.2.B.
COORDENADAS: 214752 N / 580830 E**



**FIGURA 3.20. DESLIZAMIENTO DE LA MARGEN DERECHA QUEBRADA CAMACHO.
COORDENADAS: 215527 N / 579146 E**

✓ **D1.3 Laderas de pendiente moderada con deslizamientos activos y relieve irregular.**

Esta unidad está conformada por litologías variadas, entre ellas flujos piroclásticos (Fm. Doán) y rocas sedimentarias de las formaciones Senosri y Uscari.

La mayor parte de esta unidad se ubica en la margen izquierda del río Pacuare, limita al oeste con el escarpe longitudinal Amistad-Guadalupe (que corresponde con la divisoria de aguas entre las cuencas de los ríos Reventazón y Pacuare), al sur con la quebrada Grande, al norte con la quebrada Ganga y al este con las unidades D2.a, D2.b y el río Pacuare. Hay un pequeño sector que se ubica en la margen derecha del río Calvario.

Presenta topografía irregular con pendientes bajas a moderadas (2-16°) y una pendiente longitudinal cercana a los 9°.

Esta unidad presenta forma elongada con rumbo preferencial N-S y es disectada por los cursos superiores y medios de las quebradas Grande, Mata de Guineo, Sartén y el río Calvario. El patrón de drenaje de los sistemas fluviales puede variar entre desordenado, subdendrítico y subparalelo.

Dentro de los procesos de remoción en masa activos se incluyen: reptación, escarpes secundarios de deslizamientos con desplazamientos verticales entre 5-30 m, flujos de detritos y lodo, lagunas alineadas (N-S), grietas longitudinales con un rumbo preferencial N-S y grietas transversales con un rumbo NE-SW, bloques escalonados y bloques basculados.

Dentro de la unidad se definen las siguientes tres subunidades:

- **D1.3a:** es una franja estrecha de un kilómetro, conformada por lomas con rumbo preferencial N-S y algunas con rumbo N45E. Se caracteriza por una topografía ondulada y presencia de colinas con superficies redondeadas (**figura 3.21**). Dentro de esta área destaca el desarrollo de lagunas (**figura 3.22**), procesos de reptación y actualmente presenta desplazamientos diferenciales poco perceptibles del terreno.

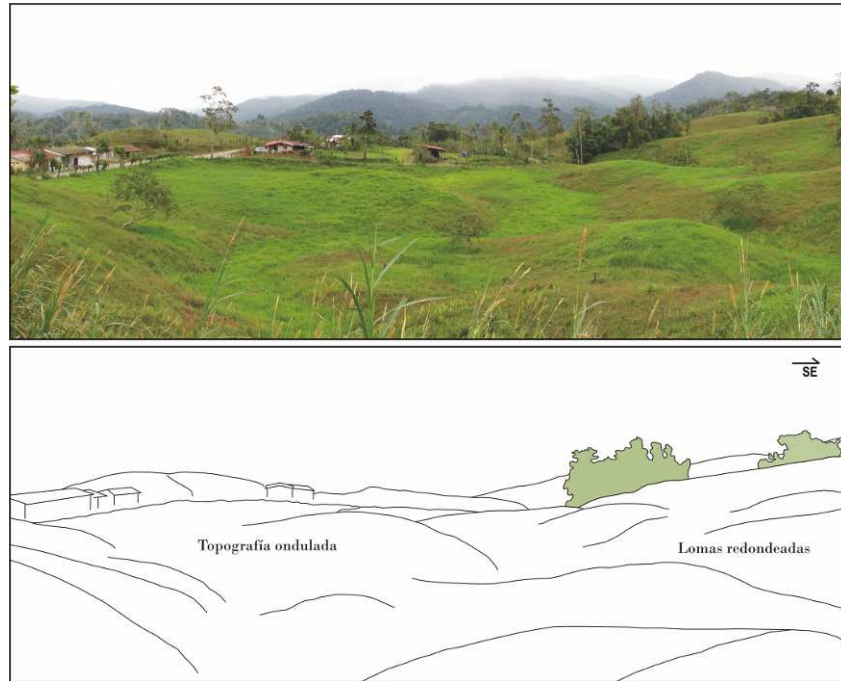


FIGURA 3.21. TOPOGRAFÍA ONDULADA Y COLINAS REDONDEADAS. SUBUNIDAD D1.3.A.
COORDENADAS: 219252 N / 583407 E

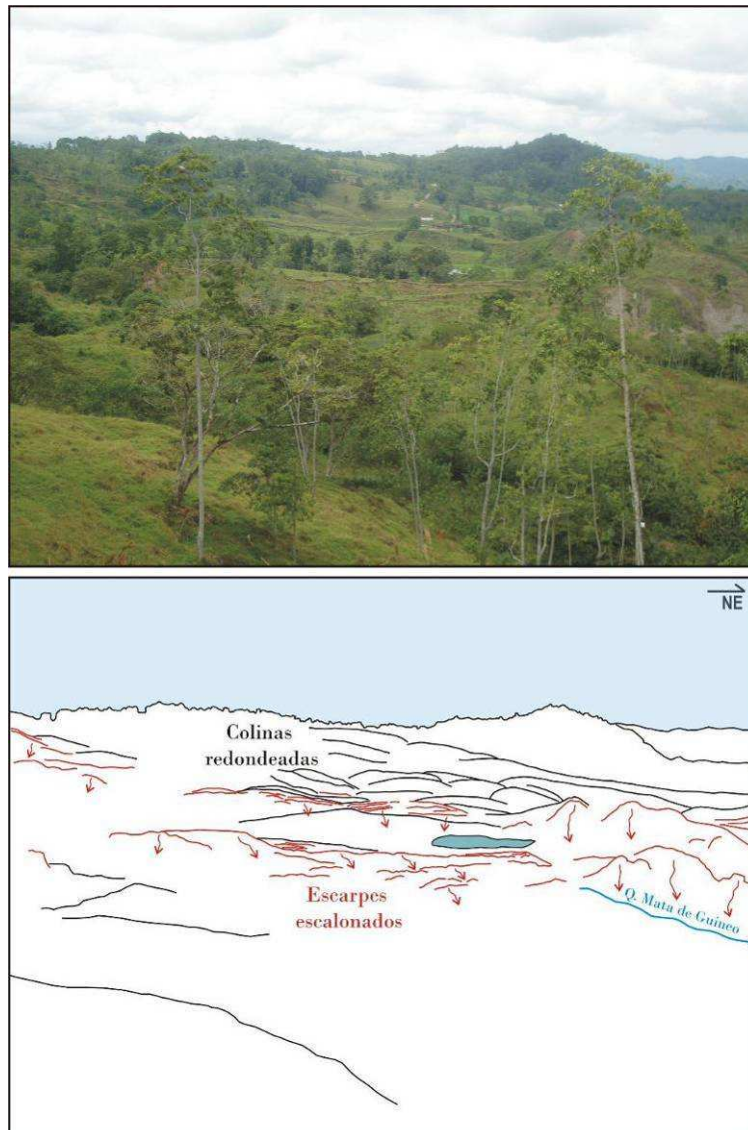


FIGURA 3.22. LAGUNA EN SUBUNIDAD D1.3.A.
COORDENADAS: 216882 N / 584672 E

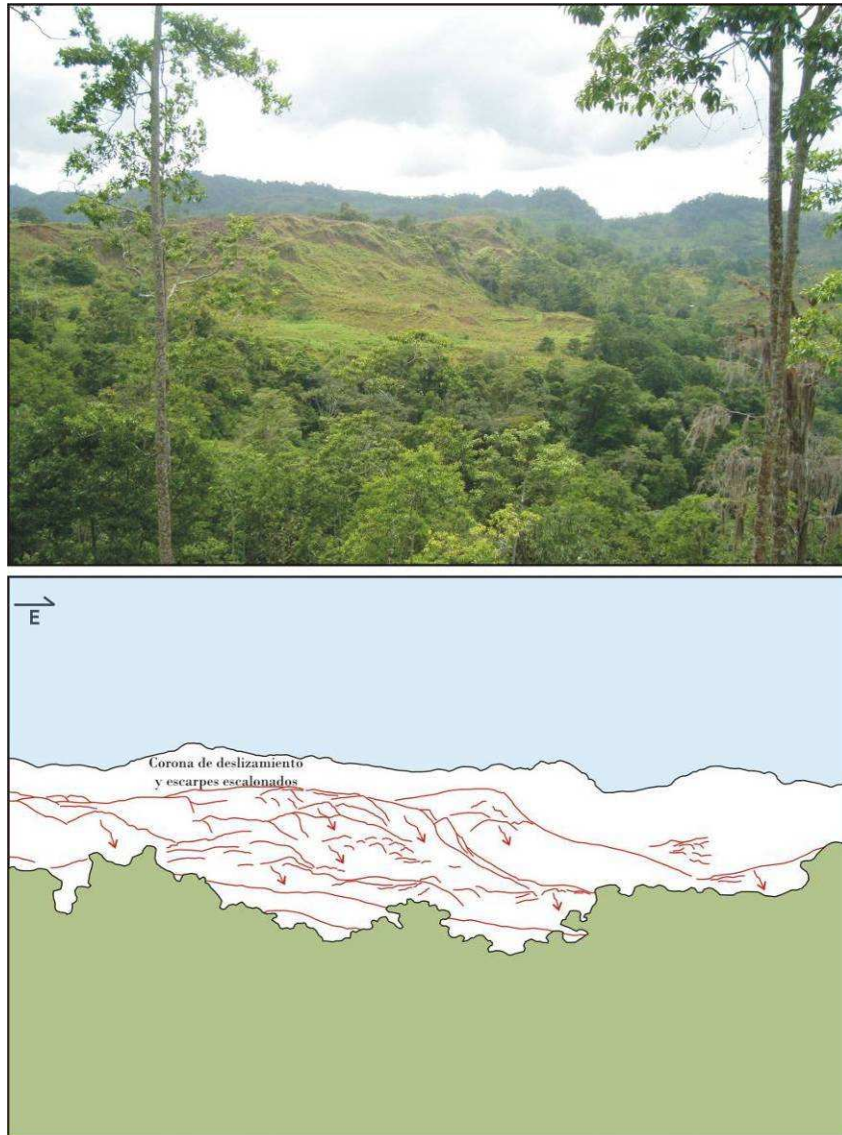
- **D1.3b:** se caracteriza por presentar procesos de remoción en masa activos, expresados mediante escarpes lineales que alcanzan longitudes cercanas a 1 km. Estos escarpes tienen un rumbo preferencial N-S, NE-SW (**figuras 3.23 y 3.24**), además, se observan en las márgenes de los principales sistemas fluviales.

En la microcuenca de la quebrada Mata de Guineo se observa una secuencia de escarpes semicirculares con desplazamientos verticales decamétricos y exposición de suelo y roca. Además, grietas, bloques escalonados y semibasculados, lagunas alineadas N-S y puntualmente flujos de detritos y lodo.

También, se caracteriza por presentar relieve irregular con escarpes secundarios de deslizamiento, preferencialmente rectilíneos, observables en el sector de San Pablo (**figura 3.25**). Además, en la margen izquierda de la quebrada Grande se presentan este tipo de escarpes de deslizamientos con terrazas basculadas.



**FIGURA 3.23. ESCARPES ESCALONADOS CON RUMBO NE-SW Y DESPRENDIMIENTOS EN MÁRGENES DE QUEBRADA MATA DE GUINEO. SUBUNIDAD D1.3.B.
COORDENADAS: 214080 N / 584629 E**



**FIGURA 3.24. CORONA DE DESLIZAMIENTO Y ESCARPES ESCALONADOS CON RUMBO NE-SW CON BLOQUES SEMI-BASCULADOS. SUBUNIDAD D1.3.B.
COORDENADAS: 213698 N / 584846 E**

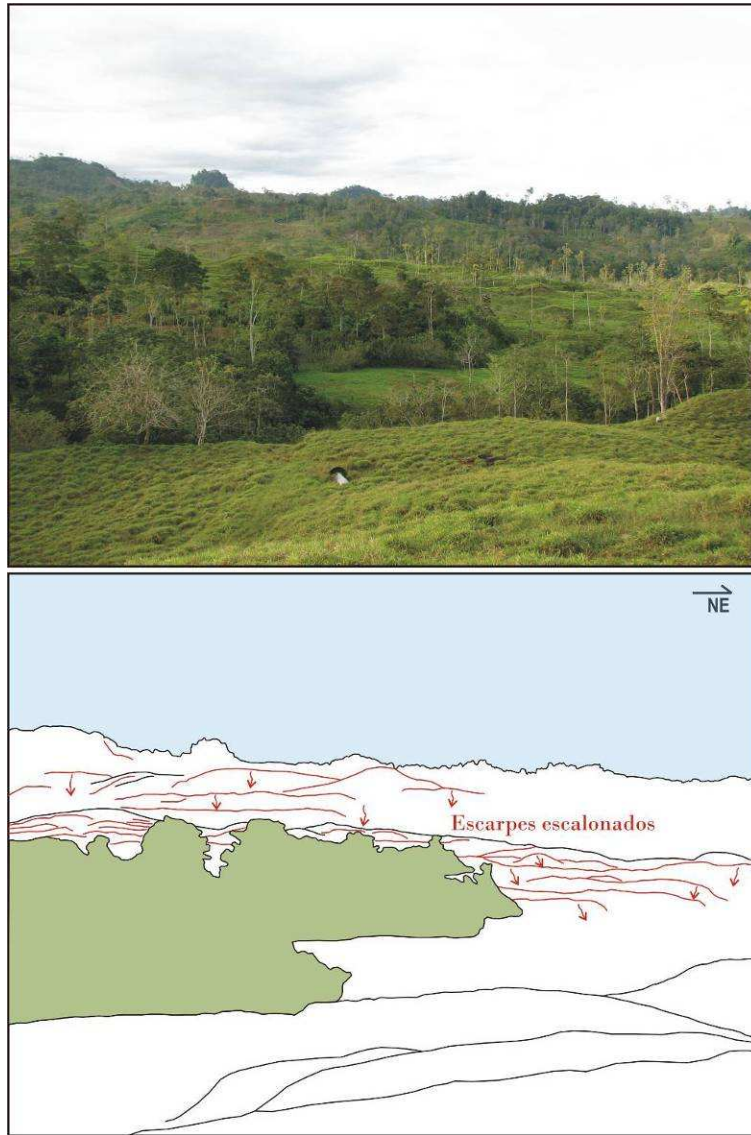


FIGURA 3.25. ESCARPES LINEALES ESCALONADOS CON EXPOSICIÓN DE ROCA Y SUELO.
VISTA HACIA SAN PABLO DESDE PACUARE. SUBUNIDAD D1.3.B.
COORDENADAS: 212104 N / 585018 E

- **D1.3c**: se caracteriza por presentar relieve irregular y desarrollo de escarpes de deslizamiento escalonados hacia la margen derecha del río Calvario. En ambas márgenes se observa, procesos de erosión fluvial activos, con desprendimientos de laderas y formación de flujos de detritos y lodo (**figura 3.26**).



FIGURA 3.26. INTENSA EROSIÓN FLUVIAL, SECCIÓN MEDIA-INFERIOR RÍO CALVARIO. SUBUNIDAD D1.3C. COORDENADAS: 218830 N / 581574 E

➤ **Unidad de laderas y colinas denudacionales de pendiente fuerte (D2)**

Esta unidad se localiza al este del área de estudio limita y con la margen izquierda del río Pacuare. Presenta laderas de pendiente fuerte a muy fuerte (16° - 55°), moderadamente disectadas por los sistemas fluviales, ya que la mayoría de ellos son de carácter intermitente y de recorridos que varían entre 300 y 1000 m de longitud.

Incluye tres microcuencas que exhiben un patrón de drenaje sub-paralelo (en el Alto Corozal).

Fotogeológicamente se observó un alineamiento con rumbo N-S, que podría coincidir con un posible contacto geológico. Carrillo & Alfaro (1995) reportan en este sector direcciones de buzamiento predominantes hacia el oeste, contrario a la pendiente del terreno, condición que parece contribuir con la estabilidad de la ladera

- **D2.a:** Se ubica entre las quebradas Capinal y Sartén. Los rasgos geomorfológicos característicos para esta subunidad son: presencia de un patrón de drenaje subdendrítico y escarpes secundarios de deslizamientos.

- **D2.b:** Comprende las áreas cercanas al Alto Corozal; con desarrollo de sistemas fluviales intermitentes que desfogan directamente sobre el río Pacuare. Se distingue por presentar un eje de elongación E-W, generando un desvío perpendicular en el cauce del río Pacuare, que bordea el sector este de la subunidad. (**figura 3.27**).

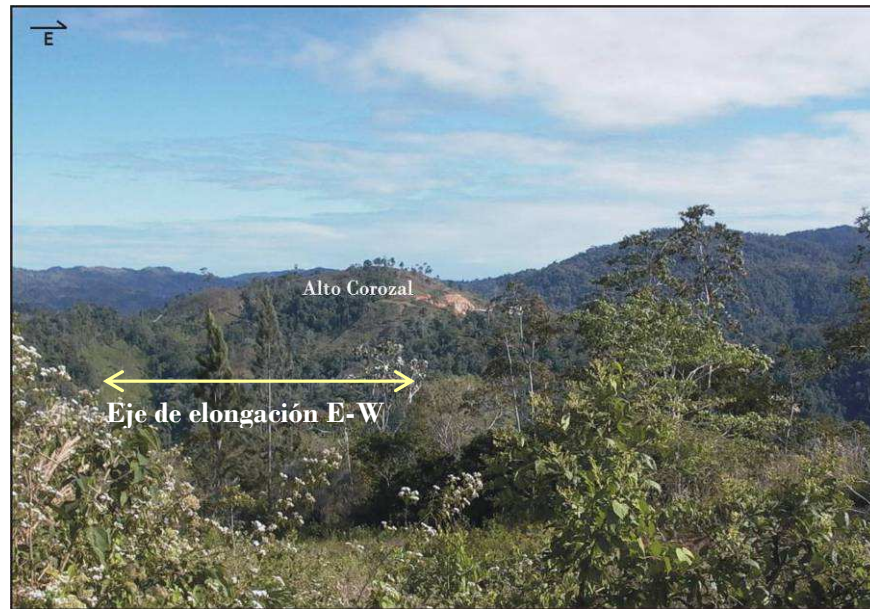


FIGURA 3.27. VISTA HACIA FLANCO SUR DEL ALTO COROZAL (ACTUALMENTE TAJO COROZAL).
COORDENADAS: 213218 N / 584910 E

3.3.2 Formas de origen estructural-denudacional (S)

✓ Escarpe longitudinal Amistad-Guadalupe (S1)

Tiene una longitud total de 11,94 km, gran parte del escarpe corresponde con la divisoria de aguas que separa las cuencas de los ríos Reventazón y Pacuare, por lo que corta el área de estudio en dos grandes bloques de deslizamiento. Posee una altura sobre el nivel del terreno entre los 200-250 m, con un rumbo norte-sur, levemente curvado hacia el este en el poblado de Tres Equis. Dentro del área de estudio se divide en dos tramos principales, que a su vez se bifurcan hacia sus extremos.

Parte del trazo del escarpe longitudinal realizado para esta investigación coincide con el trazo de la falla neotectónica denominada por Linkimer (2003), como falla Tres Equis.

Su nombre hace referencia a los poblados ubicados en los límites norte y sur del escarpe, que corresponden respectivamente con Amistad y Guadalupe, ubicados fuera del distrito.

- Tramo Norte:

El tramo norte (**figuras 3.28, 3.29 y 3.30**) inicia en la intersección entre la ruta nacional 10 (Turrialba-Siquirres) y el camino a San Pablo (ruta 413); se desplaza hacia el norte paralelo a la ruta nacional, hasta la intersección con el río el río Calvario, donde se curva con rumbo noroeste



FIGURA 3.28. ESCARPE LONGITUDINAL AMISTAD-GUADALUPE, TRAMO NORTE. PARALELO A LA RUTA NACIONAL 10.

FOTO: JULIO MADRIGAL, 2003. COORDENADAS: 216029 N / 583078 E

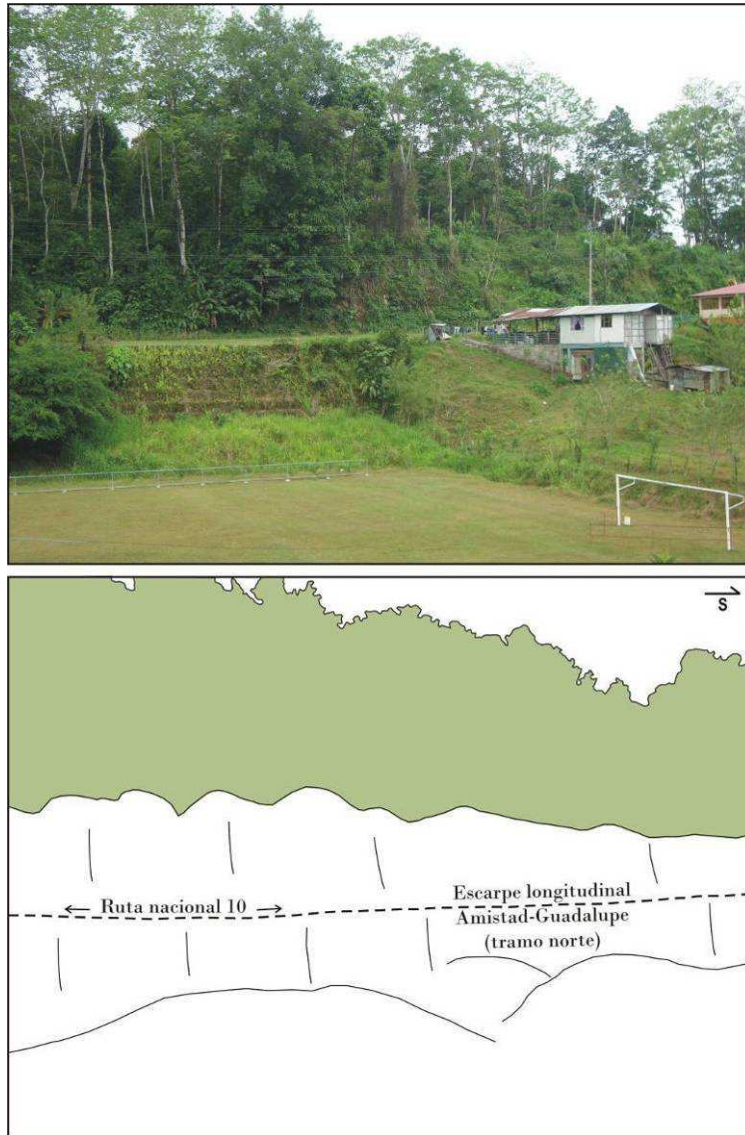
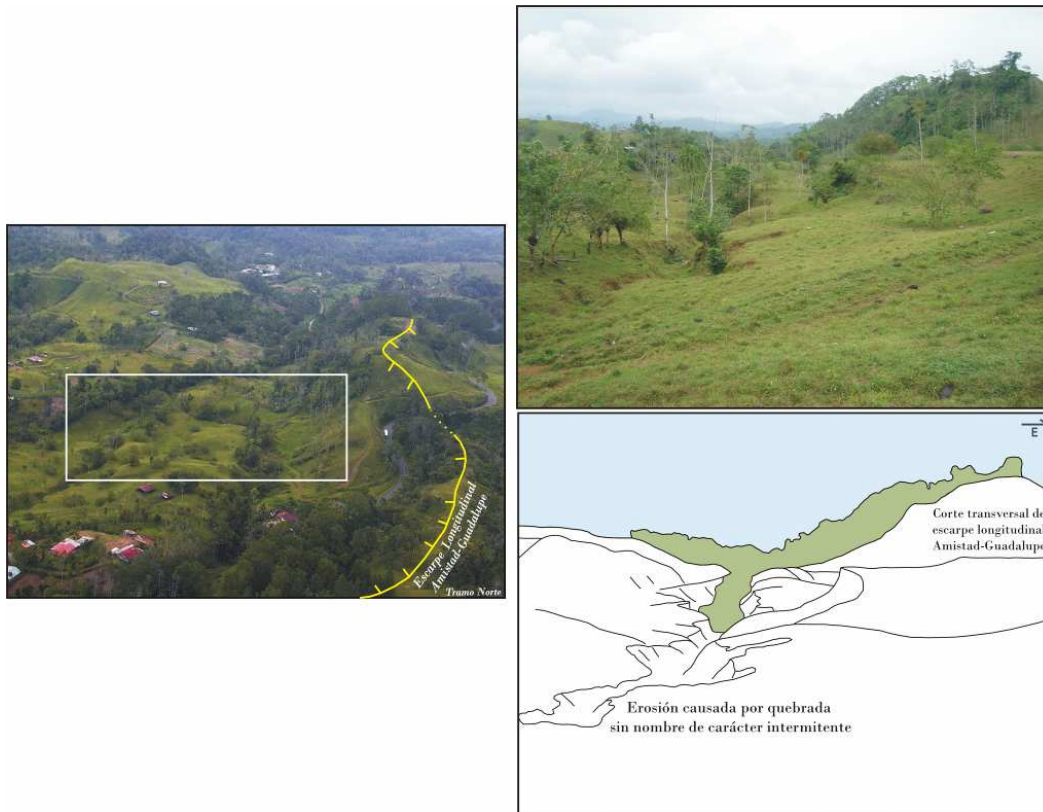


FIGURA 3.29. LOMA ADYACENTE A LA ENTRADA PRINCIPAL DEL POBLADO DE TRES EQUIS CORRESPONDE CON EL TRAMO NORTE DEL ESCARPE LONGITUDINAL AMISTAD-GUADALUPE, COORDENADAS: 215890 N / 583476 E



**FIGURA 3.30. CORTE TRANSVERSAL DE UN SEGMENTO DEL ESCARPE LONGITUDINAL AMISTAD-GUADALUPE (TRAMO NORTE) CON RUMBO PREFERENCIAL N-S.
COORDENADAS: 216325 N / 583317 E**

- Tramo Sur:

El tramo sur (**figuras 3.31, 3.32, 3.33 Y 3.34**) se extiende desde la intersección de la ruta nacional 10 con el camino a San Pablo (ruta 413) hasta el poblado de Guadalupe; incluye la Fila Molejones. Es de carácter discontinuo, ya que se compone de lomas aisladas con rumbo N-S y zonas fuertemente escarpadas.



FIGURA 3.31 VISTA DEL TRAMO SUR DEL ESCARPE LONGITUDINAL AMISTAD-GUADALUPE.
COORDENADAS: 213366 N / 583378 E

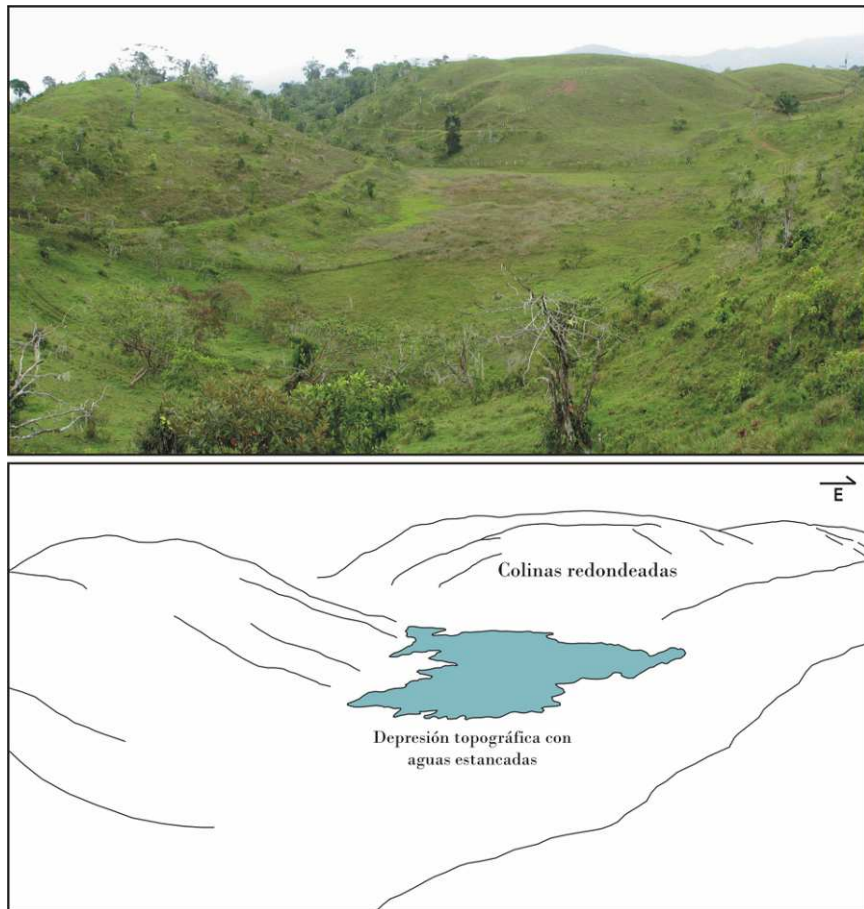


FIGURA 3.32. ZONA DEPRIMIDA CON AGUAS ESTANCADAS ENTRE COLINAS DE LA FILA MOLEJONES.
COORDENADAS: 210677 N / 581781 E



FIGURA 3.33. LAGUNAS EN FILA MOLEJONES CON RUMBO NE-SW.
COORDENADAS: 210652 N / 582117 E



FIGURA 3.34. LAGUNA EN FILA MOLEJONES.
COORDENADAS: 210811 N / 581335 E

✓ **Escarpe Flor (S2)**

Este escarpe tiene una longitud de 1100 m, con rumbo NW-SE. De la base al tope del escarpe, la diferencia de altura varía entre 20 y 40 m. (**figuras 3.35 y 3.36**).

El extremo NW de este alineamiento limita con el escarpe secundario de deslizamiento observado en la subunidad D1.2a. Fernández (1987) lo asocia con un fallamiento geológico inactivo y Linkimer (2003) con un lineamiento moderado.



FIGURA 3.35. ESCARPE FLOR CON RUMBO NW-SE.
COORDENADAS: 215532 N / 580139 E



FIGURA 3.36. ESCARPE FLOR CON RUMBO NW-SE.
COORDENADAS: 215532 N / 580139 E

✓ **Escarpe Chitaría (S3)**

Este escarpe se extiende por 3000 m de longitud; presenta una diferencia de altura entre la corona y la base de 40 m y el rumbo preferencial es N-S, observado en el segmento sur del escarpe. No obstante, en las cercanías de la Fila Molejones el escarpe se desvía N50W.

En la margen izquierda del río Chitaría y margen derecha de la quebrada Camacho se presentan múltiples deslizamientos, producto del desarrollo de pendientes escarpadas que varía entre 16° - 35° (**figura 3.37**). Fernández (1987), asocia esta estructura con un pliegue anticlinal.

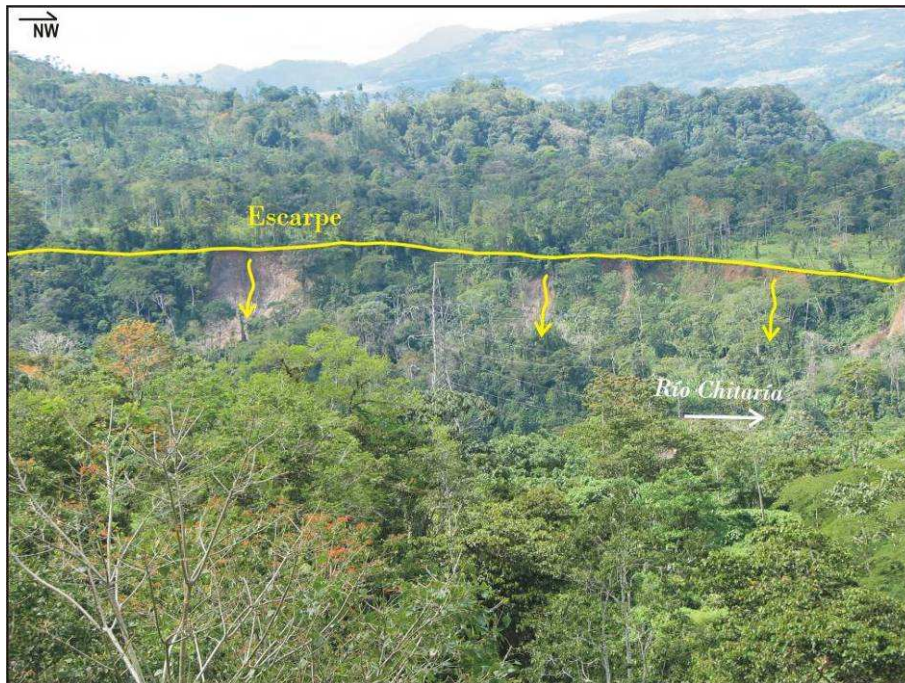


FIGURA 3.37. ESCARPE EN LA MARGEN IZQUIERDA RÍO CHITARÍA.
COORDENADAS: 215769 N / 579304 E

3.3.3 Formas de origen fluvial (F)

✓ Terrazas fluviales (F1)

Esta unidad se localiza en la margen derecha del río Reventazón (**figuras 3.38, 3.39 y 3.40**) en las confluencias entre los ríos Calvario, Cacao con el río Reventazón y la terraza ubicada al noreste de la confluencia entre los ríos Chitaría y Reventazón

Son terrenos con pendientes bajas de 2° -4°, moderadamente disectados por los sistemas fluviales. Están conformadas por materiales inconsolidados como gravas, arenas y arcillas.

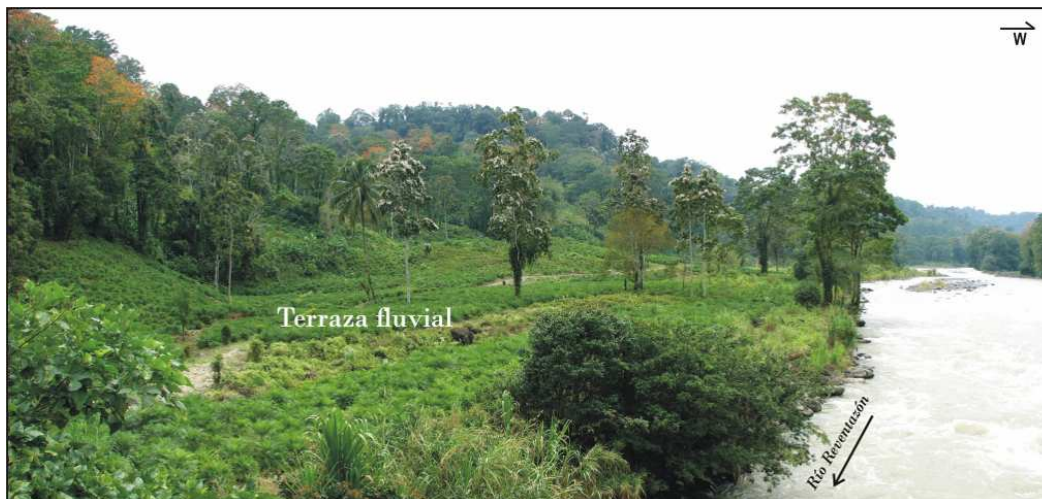


FIGURA 3.38. TERRAZA FLUVIAL, MARGEN DERECHA DEL RÍO REVENTAZÓN.
COORDENADAS: 216553 N / 579056 E



FIGURA 3.39. TERRAZA ALUVIAL EN LA CONFLUENCIA DEL RÍO CACAO CON EL RÍO REVENTAZÓN.
COORDENADAS: 217791 N / 579663 E. IMAGEN GOOGLE EARTH, FEBRERO, 2011

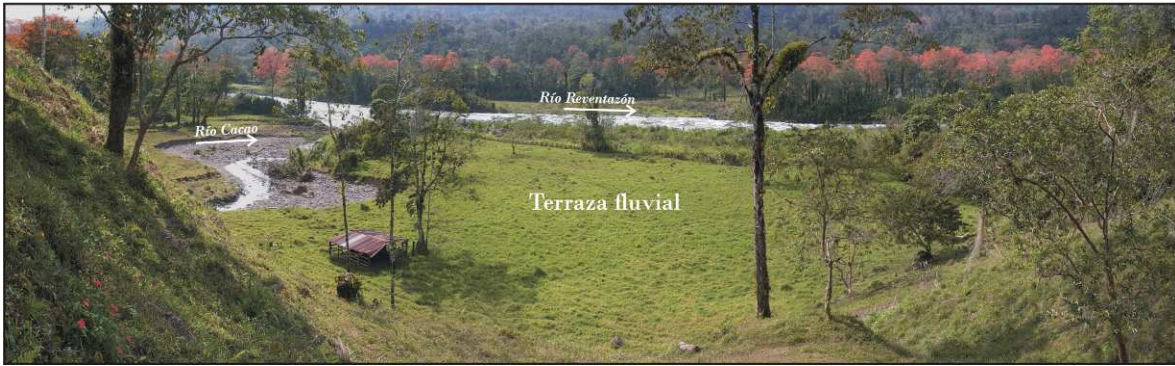


FIGURA 3.40. TERRAZA FLUVIAL EN LA CONFLUENCIA DEL RÍO CACAO.
COORDENADAS: 217791 N / 579663 E

✓ **Abanico aluvial (F2)**

Formados por los sedimentos acarreados por la quebrada Mata de Guineo, depositados en la confluencia con el río Pacuare. Presenta un patrón de drenaje dicotómico con tres canales de desagües desarrollados (ver figura 3.41). La ausencia de vegetación revela el constante rejuvenecimiento por aporte continuo de materiales.



FIGURA 3.41. TERRAZA ALUVIAL EN LA CONFLUENCIA DE LA QUEBRADA MATA DE GUINEO.
COORDENADAS: 215004 N / 585945 E. IMAGEN GOOGLE EARTH, FEBRERO, 2011.

3.4 Descripción de elementos de inestabilidad

En este apartado se identifican y delimitan diferentes expresiones topográficas asociadas a movimientos en masa, permitiendo así un inventario y caracterización detallada de los deslizamientos y otras formas generadas de la geodinámica externa presentes en el distrito de Tres Equis y alrededores.

3.4.1 Inventario de deslizamientos

Se determinaron dos grandes bloques de deslizamiento denominados: Bloque Tres Equis-Chitaría y Bloque Pacuare, los cuales se dividen en diferentes sub-bloques delimitados por escarpes principales que componen la corona del deslizamiento y escarpes laterales que conforman los límites entre bloques, así como otros componentes de deslizamientos como son los lineamientos menores relacionados con escarpes secundarios, grietas transversales, longitudinales y curvadas que evidencian los desplazamientos relativos de los movimientos en masa. Estos componentes de los deslizamientos fueron trazados por medio de fotografías aéreas de los años 1961, 1971, 1978, 1988, 1996 y 1998, imagen satelital Google Earth en conjunto con el trabajo de campo. Los resultados se resumen en el **cuadro 3.3** y la **figura 3.42** Inventario de deslizamiento.

➤ Bloque Tres Equis-Chitaría

Como se observa en la **figura 3.42** el bloque Tres Equis – Chitaría limita al norte con el río Calvario, al sur con el río Chitaría y la fila Molejones, al este con el escarpe longitudinal Amistad – Guadalupe y al oeste con el río Reventazón. Este bloque está constituido por los siguientes sub-bloques: 1. Sub-bloque Tres Equis, 2. Sub-bloque Calvario, 3. Sub-bloque Flor, 4. Sub-bloque Reventazón – Camacho, 5. Sub-bloque Molejones, 6. Sub-bloque Chitaría y 7. Sub-bloque Q. Camacho (**cuadro 3.3**). De éstos, los sub-bloques: Calvario, Molejones, Chitaría y Q. Camacho se ubican fuera del área de investigación.

El volumen de los deslizamientos se estimó siguiendo la metodología de Varnes & Cruden (1996), la cual indica que el volumen de un deslizamiento puede calcularse utilizando la relación: $V = l \times a \times h \times \pi/6$.

Dónde “**V**” es volumen, “**l**” es el largo del deslizamiento, “**a**” es el ancho, “**h**” es la profundidad o espesor y “ **π** ” es la constante $\pi = 3,1416$.

El espesor utilizado para el cálculo del volumen se obtiene a partir de la interpretación de las relaciones estratigráficas propuestas por Fernández (1987) y las observaciones geológicas realizadas para esta investigación, asumiendo un espesor máximo de 180 m para el bloque Tres Equis - Chitaría.

Cuadro 3.3. Listado de bloques y sub-bloques de deslizamientos en el distrito de Tres Equis y alrededores

Bloques	Sub-bloques	Área (km ²)	Escarpes de deslizamientos	Largo (m)	
Tres Equis-Chitaría	1	Sub-bloque Tres Equis	8,3	E. Tres Equis	2970
	2	Sub-bloque Calvario	4,4	E. Alto June	4095
	3	Sub-bloque Flor	5,6	E. Flor	4500
	4	Sub-bloque Reventazón-Camacho	0,3	C. Reventazón	1550
	5	Sub-bloque Molejones	5,7	E. Quebrada Azul	4520
	6	Sub-bloque Chitaría	2,4	E. Chitaría	4640
	7	Sub-bloque Q Camacho	5,3	E. Río Chitaría	7500
		Total	32		
Pacuare	8	Sub-bloque Amistad-San Martín	6,5	E. Longitudinal	11940
	9	Sub-bloque Q. Sartén-Danta	4,3	C. Danta-Sartén	3980
	10	Sub-bloque San Pablo	5,1	E. Capinal	2865
				E. Mata de Guineo	1940
				E. San Pablo	5330
	11	Sub-bloque Guadalupe	3,5	E. Finca Blake	3910
	12	Sub-bloque Q. Grande	5,3	E. San Pablo-San Martín	1940
				E. Pacuare	4910
13	Sub-bloque Corozal-Bajo Pacuare	3,3	E. Quebrada Grande	2100	
			C. Corozal	4840	
	Total	28			

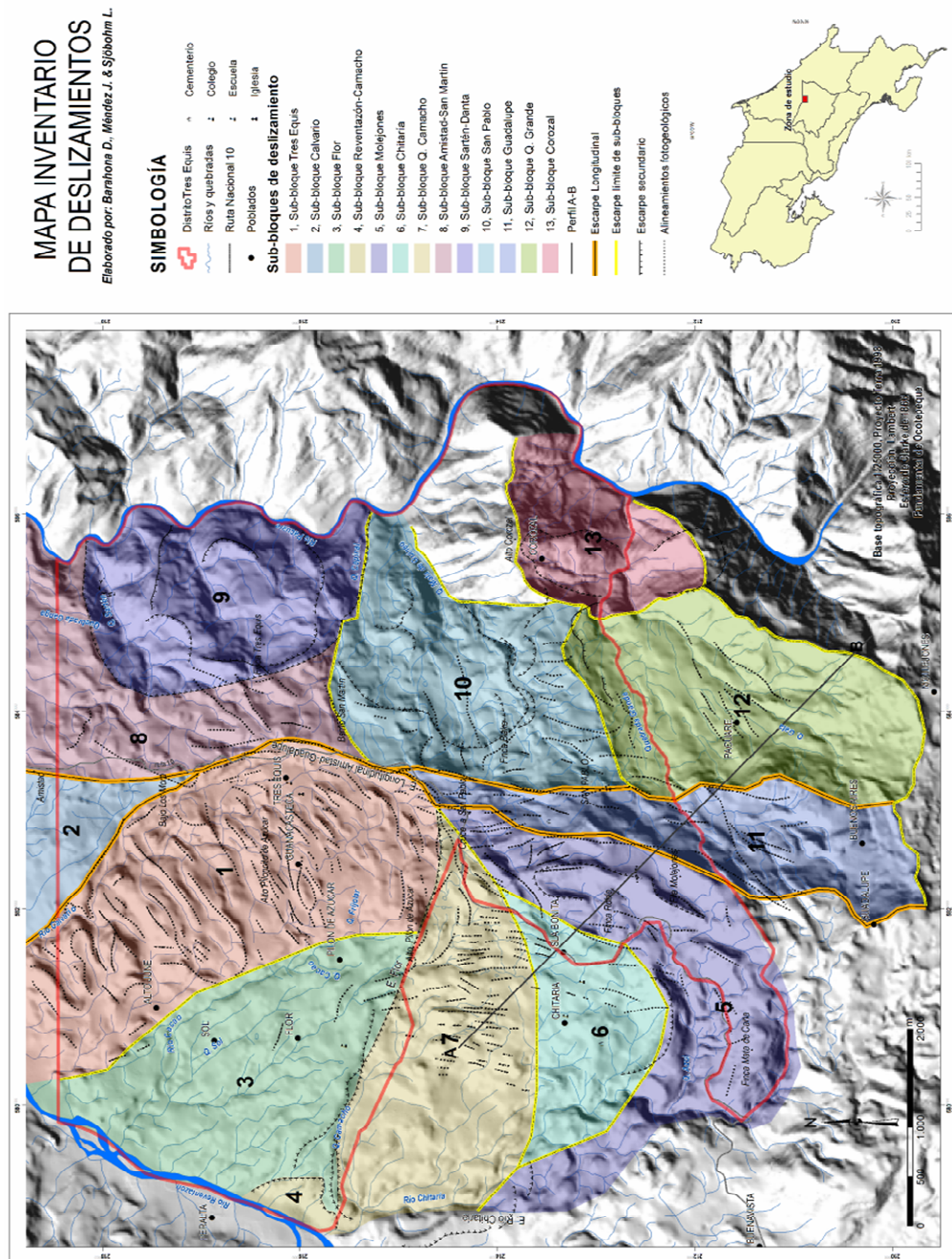


FIGURA 3.42. MAPA DE INVENTARIO DE BLOQUES, SUB-BLOQUES DE DESLIZAMIENTOS, ESCARPES RESPECTIVOS Y LINEAMIENTOS PARA EL DISTRITO DE TRES EQUIS Y ALREDEDORES.

El bloque Tres Equis - Chitaría presenta una forma elongada con rumbo norte – sur, el eje longitudinal tiene una extensión máxima de 7 km y el eje transversal de 4,5 km. Este bloque se desplaza hacia el río Reventazón con rumbo preferencial noroeste, se estimó un volumen de 2,75 km³ y una pendiente media del terreno que puede variar entre los 4° y 8°, la masa en movimiento comprende un área de 32 km² que sobrepasa los límites político-administrativos del distrito de Tres Equis y los límites del área de estudio propuestos para esta investigación. No obstante, se delimita la totalidad de la masa deslizada para un mayor entendimiento de la geodinámica externa y se describen los sub-bloques ubicados dentro del área de estudio (**cuadro 3.4**).

Cuadro 3.4. Dimensiones estimadas para los bloques de deslizamiento Tres Equis – Chitaría y Pacuare

Bloque de deslizamiento	Área (km ²)	Largo (km)	Ancho (km)	Pendiente media
Tres Equis-Chitaría	32	7	4,5	4° - 8°
Pacuare	28	10	3	10°

Los factores condicionantes que intervienen en la formación del deslizamiento son la litología y las características geotécnicas de las formaciones geológicas involucradas en el movimiento. Desde la perspectiva geológica se tiene un estrato de lutitas y areniscas finas (Fm. Uscari) poco competente donde se midieron buzamientos S38W/68°, S30W/70°, N14E/16° y N30W/70°, Fernández (1987) relaciona esta diversidad de buzamiento con un sinclinal en la quebrada Flor y anticlinal en el río Chitaría. La Fm. Uscari es sobreyacida discordantemente por un estrato de rocas competentes de la Fm. Doan, clasificándose el deslizamiento de tipo desplazamientos laterales (González et al, 2002). El movimiento en este tipo de deslizamientos se caracteriza porque los bloques de estratos coherentes se desplazan sobre un material blando que se deforma bajo el peso de los bloques con mayor rigidez, debido a la pérdida de resistencia del material subyacente. Los bloques se mueven a favor de pendientes muy suaves, menor a los 10° (**figura 3.43A y B**). La capa superior del deslizamiento se fragmenta generando grietas y desplazamientos diferenciales, como el observado en el inventario de grietas realizado en el centro de Tres Equis el cual se describirá en el capítulo 5.

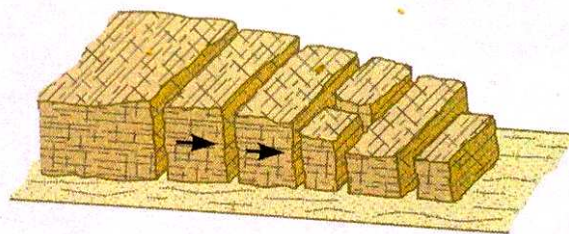


FIGURA 3.43A. ESQUEMA EXPLICATIVO SOBRE EL DESLIZAMIENTO DE TIPO DESPLAZAMIENTOS LATERALES, PARA EL CASO DE ESTUDIO LA FM. USCARI ES SOBREYACIDA POR LA FM. DOÁN. TOMADO DE: GONZÁLEZ ET AL., 2002

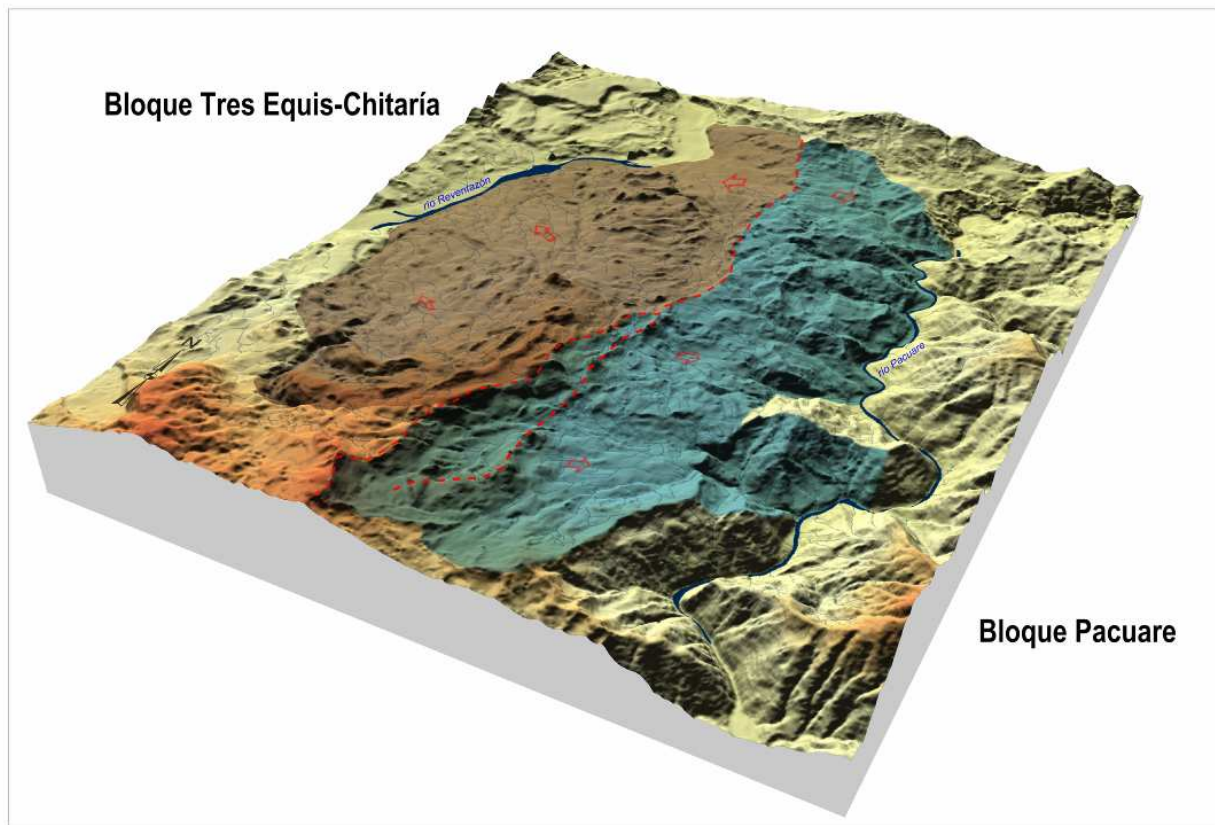


FIGURA 3.43. B. BLOQUES DE DESLIZAMIENTOS TRES EQUIS-CHITARÍA Y PACUARE

Los movimientos diferenciales del terreno generan una serie de hundimientos o morfología plano ondulada donde se forman estanques de agua con rumbos N-S, N10E hasta N45E. Los rumbos de las depresiones topográficas coinciden con los rumbos de algunas grietas observadas en el poblado de Tres Equis, estas grietas se forman al pie del escarpe longitudinal y pueden modificar su rumbo de NE a NW mediante una curvatura. Las grietas asociadas con el eje transversal del deslizamiento presentan un rumbo preferencial N75W y coinciden con los rumbos de los principales sistemas fluviales que drenan el deslizamiento como lo son las quebradas Flor, Cacao, Camacho y quebradas secundarias sin nombre.

Según datos obtenidos en mediciones de campo efectuadas en la carretera nacional # 10 a la entrada de la población de Tres Equis y en San Juanillo del distrito de Tres Equis, se tiene que al menos durante períodos de estabilidad climática (ausencia de precipitaciones extremas o mayores a los 300 mm mensuales) este bloque puede presentar desplazamientos anuales entre 0,1 a 0,3 m en el eje vertical y desplazamientos horizontales que varían entre 0,1 a 0,2 m según mediciones de campo realizadas durante el periodo de investigación (2010-2012), por lo que se clasifica como un deslizamiento con un movimiento lento según las velocidades de deslizamientos propuestas por Varnes & Cruden (1996) (**Anexo C**). No

obstante, se debe tener en cuenta que esta condición puede variar enérgicamente según los cambios en la saturación del terreno producto de precipitaciones extremas y los cambios generados por las aceleraciones del terreno inducidas por eventos sísmicos.

Al oeste del deslizamiento, en el límite con el río Reventazón se presenta erosión fluvial de terrazas aledañas al cauce, contribuyendo de forma leve con la pérdida del soporte basal del deslizamiento.

A continuación se describen los sub-bloques ubicados dentro del área de estudio (**figura 3.42**).

1. Sub-bloque Tres Equis: Se detalla al final de capítulo.

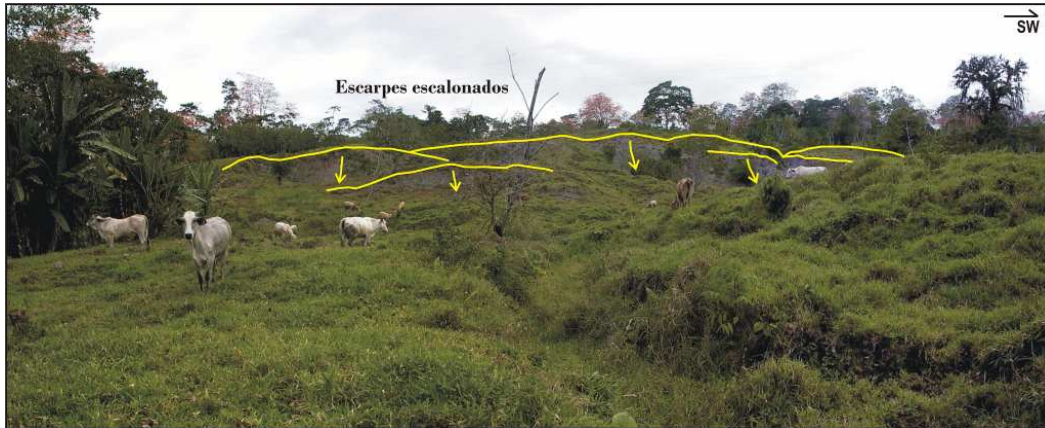
2. Sub-bloque Calvario

Abarca desde la margen derecha de la quebrada Calvario hasta el poblado de Bajo 52 Millas, ubicado en el cantón de Siquirres. La zona de deslizamiento ubicada dentro del distrito de Tres Equis presenta reptación, agrietamientos en forma escalonada e incluso flujos de lodo locales. En los límites con el río Calvario el movimiento es potenciado por la erosión fluvial y presenta un rumbo preferencial noreste – suroeste; un segundo frente se desplaza hacia el río Reventazón con rumbo preferencial sureste-noroeste generando daños hacia el poblado de Bajo 52 Millas. Este bloque expone los frentes de deslizamiento desarrollados sobre la Formación Uscari. Las figuras 3.44, 3.45, 3.46 y 3.47 muestran las formas erosivas observadas en este sub-bloque.

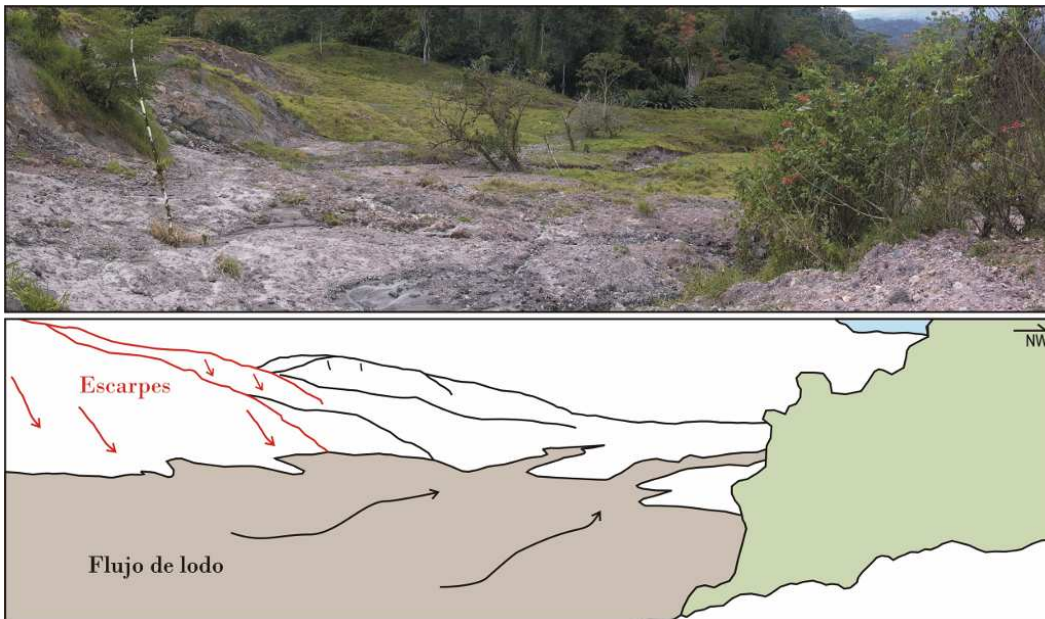


FIGURA 3.44. VISTA HACIA AGUAS ARRIBA EN EL RÍO CALVARIO. A LA IZQUIERDA SE OBSERVAN LOS BLOQUES DE DESLIZAMIENTOS CON MOVIMIENTO SUROESTE LOS CUALES SON EROSIONADOS EN SU BASE POR EL RÍO CALVARIO.

COORDENADAS: 218936 N / 581508 E



**FIGURA 3.45. ESCARPES SECUNDARIOS CON FORMA ESCALONADA, MARGEN DERECHA RÍO CALVARIO.
DESLIZAMIENTO SOBRE LA FM. USCARI, SUB-BLOQUE CALVARIO.
COORDENADAS: 218719 N / 581668 E**



**FIGURA 3.46. FLUJO DE LODO GENERADO EN ROCAS DE LA FM USCARI, MARGEN DERECHA DEL RÍO
CALVARIO.
COORDENADAS: 218589 N / 581765 E**

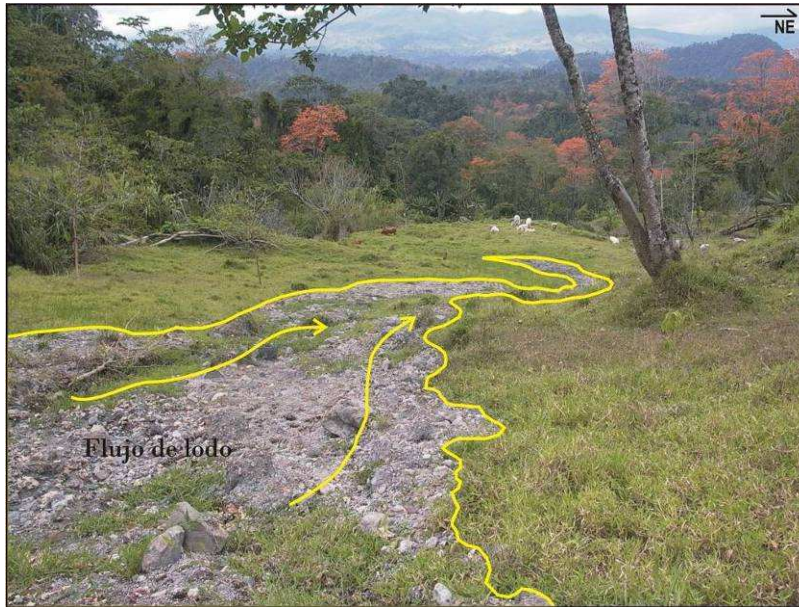


FIGURA 3.47. FLUJO DE LODO GENERADO EN LA SUPERFICIE DEL SUB-BLOQUE DE DESLIZAMIENTO CALVARIO, MARGEN DERECHA RÍO CALVARIO. COORDENADAS: 218577 N / 581803 E

3. Sub-bloque Flor

El sub-bloque Flor presenta forma de cuña, está enclavado entre los sub-bloques Tres Equis y el sub-bloque Camacho y presenta una cobertura de 5,69 km². Limita al sur con el escarpe Flor, al norte con el escarpe Alto June, al oeste con el río Reventazón y la cicatriz de deslizamiento. Con la quebrada Flor y el río Cacao como los principales colectores, se caracteriza por presentar un patrón de drenaje sub-paralelo observándose cambios de rumbo en éste asociados con el empuje del deslizamiento.

El deslizamiento presenta un movimiento preferencial sureste-noroeste hacia el río Reventazón. Se presentan grietas que delimitan una serie de bloques escalonados con desplazamientos verticales observados en el campo entre 1 a 5 m. Se presentan daños en viviendas, fincas cultivadas con culantro y vía pública (**figuras 3.48 y 3.49**).

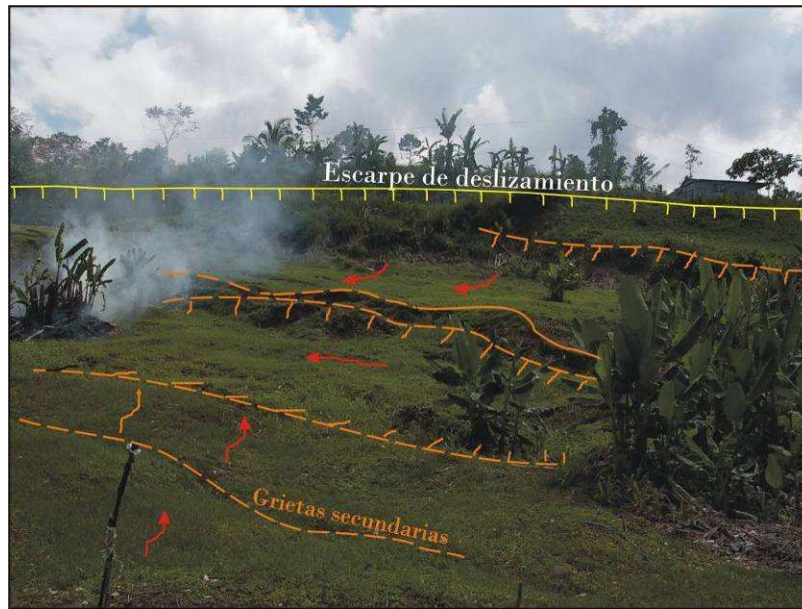


FIGURA 3.48. SEGMENTO DE DESLIZAMIENTO EN EL SUB-BLOQUE FLOR. SE OBSERVA UNA FINCA CULTIVADA CON CULANTRO AFECTADA POR GRIETAS SECUNDARIAS. EL DESLIZAMIENTO SE UBICA ENTRE LA QUEBRADA SOL Y EL RÍO CACAO. COORDENADAS: 217312 N / 580220 E



FIGURA 3.49. GRIETAS DE CORONA OBSERVADAS EN UN ESCARPE DENTRO DEL SUB-BLOQUE DE DESLIZAMIENTO FLOR. EL DESLIZAMIENTO SE UBICA ENTRE LA QUEBRADA SOL Y EL RÍO CACAO. COORDENADAS: 217282 N / 580254 E

4. Sub-bloque Reventazón-Camacho

Este sub-bloque se ubica en las inmediaciones de la margen derecha del río Reventazón como se observa en la **figura 3.50**. Presenta un área de 0,33 km², corresponde con un depósito de deslizamiento que es erosionado en la parte frontal por el río Reventazón.

Limita al este, norte y sur con el sub-bloque Flor y al oeste con el río Reventazón. Es drenado por una serie de sistemas fluviales intermitentes que desfogan al río Reventazón.

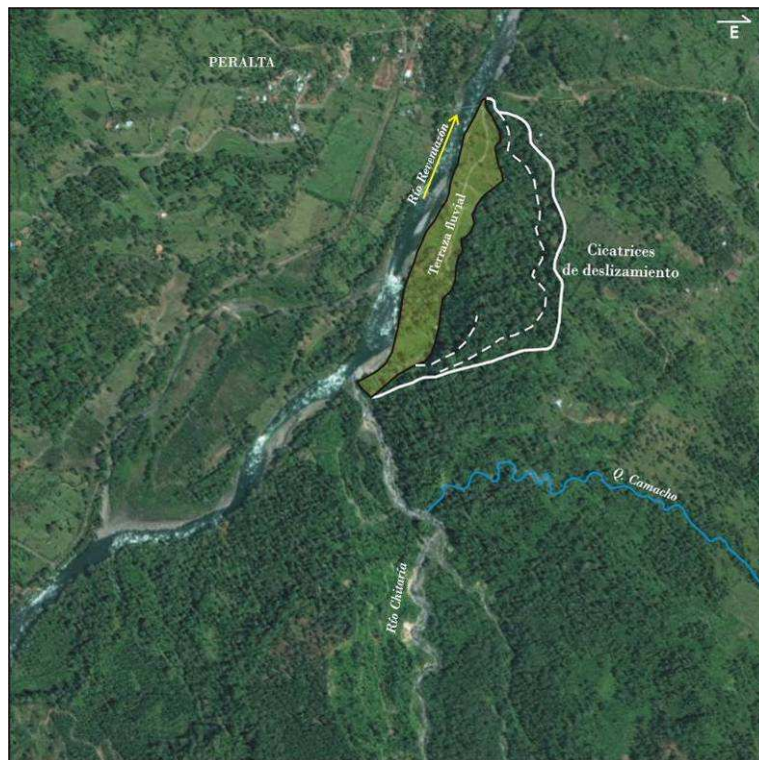


FIGURA 3.50. VISTA AÉREA DEL SUB-BLOQUE REVENTAZÓN-CAMACHO, LIMITADO AL ESTE POR UNA CICATRIZ DE DESLIZAMIENTO. IMAGEN DE GOOGLE EARTH
COORDENADAS: 216147 N / 5792500 E

➤ **Bloque Pacuare**

El bloque Pacuare limita al oeste con el escarpe longitudinal Amistad – Guadalupe, al norte con la quebrada Ganga, al este con el río Pacuare y al sur con la fila Molejones (**Figura 3.42 Mapa Inventario de Deslizamientos**). Este bloque se desplaza con rumbos preferenciales oeste-este y sureste-noroeste, hacia el río Pacuare. La masa en movimiento abarca un área de 28 km² que sobrepasan los límites político-administrativos del distrito de Tres Equis y límites del área de estudio propuesta para esta investigación. No obstante se delimita la totalidad de la masa deslizada para un mayor entendimiento de la geodinámica externa y se describen los sub-bloques ubicados dentro del área de estudio.

El bloque Pacuare presenta forma elongada con rumbo norte – sur, un eje longitudinal de 10 km y un eje transversal de 3 km, con un espesor medio aproximado a los 100 m, interpretado a partir de las relaciones estratigráficas establecidas por Fernández (1987) y observaciones de campo realizadas durante esta investigación (**cuadro 3.4**).

Los movimientos diferenciales del terreno generan una serie de hundimientos o morfología plano ondulado donde tienden a formarse estanques dominados por los rumbos de las

grietas longitudinales: N20E hasta N20W. Las grietas transversales presentan un rumbo preferencial S40W, S50W y N65E que coincide con los rumbos de los principales sistemas fluviales que drenan el deslizamiento como lo son las quebradas Grande y Mata de Guineo.

En cuanto a la clasificación del deslizamiento se tiene que el bloque Pacuare corresponde con un deslizamiento complejo según la clasificación de Varnes (1978), compuesto por una serie de sub-bloques que tienden a comportarse de forma independiente según la constitución geológica predominante y la pendiente media de la ladera. Se observan deslizamientos de tipo desplazamiento lateral, flujos de lodo e incluso algunos segmentos con deslizamiento tipo rotacional. Lo anterior está ligado a la heterogeneidad litológica que exhibe la ladera oeste del río Pacuare, en el área de estudio.

Mediante imágenes de fotografías aéreas se delimitaron los siguientes sub-bloques de deslizamientos dentro del bloque Pacuare: 8. Sub-bloque Amistad – San Martín, 9. Sub-bloque Q. Sartén-Danta, 10. Sub-bloque San Pablo, 11. Sub-bloque Guadalupe, 12. Sub-bloque Q. Grande y 13. Sub-bloque Corozal, todos incluidos dentro del área de estudio. Fuera del área se encuentran gran parte de los sub-bloques Guadalupe y Q. Grande.

8. Sub-bloque Amistad-San Martín

Como se observa en la **figura 3.42** el sub-bloque Amistad – San Martín comprende un área de 6,73 km², presenta una forma elongada con rumbo norte-sur y es drenado por la quebrada Ganga.

Como se observa en la **figura 3.42** este sub-bloque limita al este con la cicatriz de deslizamiento Sartén -Danta, al oeste con el escarpe Longitudinal que separa las cuencas de los ríos Pacuare y Reventazón y al sur con el escarpe Capinal.

Este sub-bloque se ubica dentro de la Unidad Geomorfológica D1.3.a que se observa en la figura 3.4 Mapa Geomorfológico. Se destaca en las fincas ganaderas la presencia de un proceso erosivo tipo reptación y estanques al pie de escarpes, tal y como se observa en la **figura 3.51**.



FIGURA 3.51. LADERAS DE FUERTE PENDIENTE CON REPTACIÓN Y ESTANCAMIENTO DE AGUAS EN LA BASE, MORFOLOGÍA FRECUENTEMENTE OBSERVADA EN EL SUB-BLOQUE AMISTAD – SAN MARTÍN. COORDENADAS: 218111 N / 584474 E

9. Sub-bloque Q. Sartén-Danta

Este sub-bloque se ubica en las inmediaciones de la margen izquierda del río Pacuare según se observa en las **figuras 3.42**, presenta un área de 4,34 km², corresponde con un depósito de deslizamiento que es erosionado en su base por el río Pacuare y la quebrada Danta.

Limita al este con el río Pacuare, al oeste con el sub-bloque Amistad San Martín y al sur con el escarpe Capinal, es drenado por una serie de sistemas fluviales que desfogan sobre el río Pacuare.

10. Sub-bloque San Pablo

Como se observa en la **figura 3.42** el sub-bloque San Pablo comprende un área de 5,07 km², presentan forma asimétrica con el eje longitudinal en dirección norte – sur y el transversal este - oeste, es drenado por la quebrada Mata de Guineo la cual presenta un patrón de drenaje poco desarrollado y desordenado, evidenciando los movimientos diferenciales generados por el movimiento en masa.

Este sub-bloque limita al sur con el escarpe quebrada Grande, al oeste con el escarpe longitudinal Amistad - Guadalupe, al norte con el escarpe Capinal y al este con el río Pacuare. Dentro de la masa inestable se identifican una serie de escarpes secundarios denominados: escarpe Mata de Guineo y escarpe finca Blake. Estos escarpes tienden a ser en algunos tramos rectilíneos con longitudes de hasta 500 m y en otros sectores presentan forma festoneada tal y como se observa en la **figura 3.52**. Los desplazamientos verticales en estos escarpes pueden variar entre 20 a 40 m. Las figuras 3.52 a la 3.62 muestran diferentes vistas del sub-bloque San Pablo.

Al sur del sub-bloque de deslizamiento San Pablo se asienta el poblado del mismo nombre, observándose grietas que generan daños en la infraestructura habitacional, acueducto, escuela y vías públicas, como se observa en la **figura 3.52**. Al norte del sub-bloque se ubica el poblado de San Martín, sector en vías de desarrollo urbano donde se han reportado rupturas en el acueducto producto de la masa en movimiento. Destacan la presencia de lomas elongadas y la formación de estanques o lagunas elongadas, ubicadas al pie de las lomas y escarpes de mayor altura.

Hacia el río Pacuare se intensifica el proceso de inestabilidad en las laderas que conforman la quebrada Mata de Guineo, observándose formación de lagunas, escarpes y grietas frescas, con coronas regresivas.

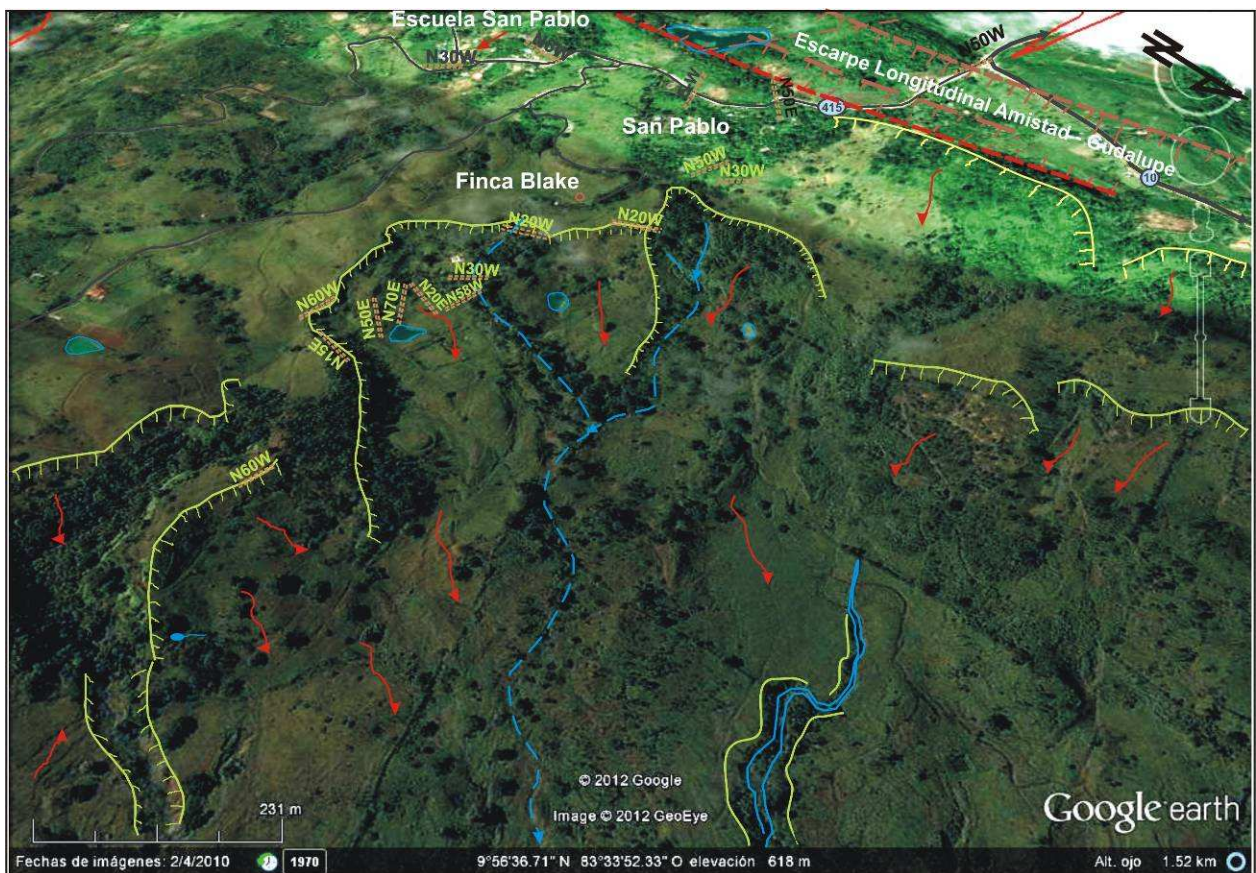


FIGURA 3.52. VISTA EN GOOGLE EARTH DEL SECTOR SUR DEL SUB-BLOQUE SAN PABLO. SE OBSERVA EL ESCARPE EN FINCA BLAKE Y LOS RUMBOS DE LAS GRIETAS INVENTARIADAS PARA ESTE SUB-BLOQUE



**FIGURA 3.53. VISTA EN PLANTA DEL ESCARPE LONGITUDINAL, INTERSECCIÓN ENTRE LAS RUTAS 10 Y 413 (TRES EQUIS – SAN PABLO).
COORDENADAS: 214803 N / 583333 E**



FIGURA 3.54. VISTA LONGITUDINAL DE LINEAMIENTO N-S AL SUROESTE DEL SUB-BLOQUE SAN PABLO. CERCA DE LA INTERSECCIÓN DE LAS RUTAS 10 Y 413. COORDENADAS: 214803 N / 583333 E. MARZO, 2011

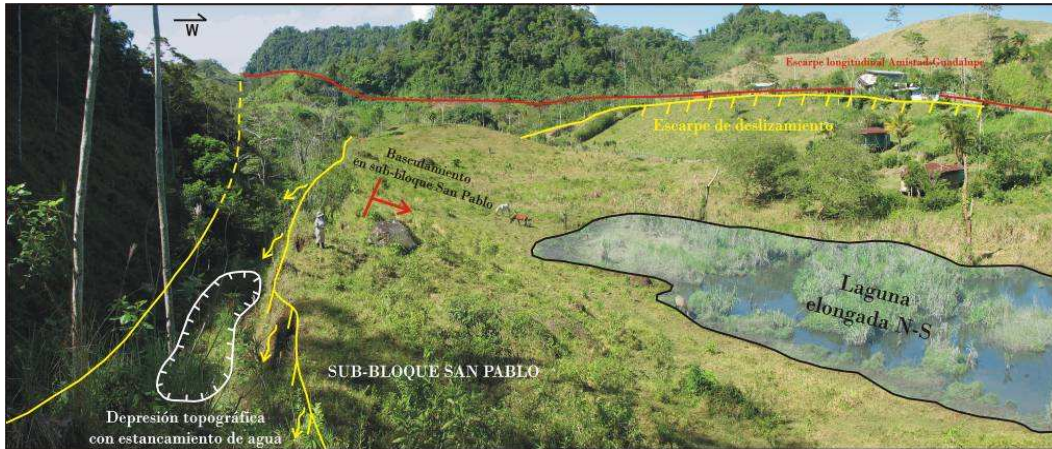


FIGURA 3.55. VISTA TRANSVERSAL DEL LINEAMIENTO N-S Y ESCARPE LONGITUDINAL AMISTAD – GUADALUPE. FORMACIÓN DE LAGUNAS ELONGADAS N-S LIMITADA POR LAS GRIETAS DE CORONA. ESTA IMAGEN SE UBICA AL SUROESTE DEL SUB-BLOQUE SAN PABLO HACIA LA INTERSECCIÓN DE LAS RUTAS 10 Y 413. COORDENADAS: 214803 N / 583333 E



FIGURA 3.56. CORONA DE DESLIZAMIENTO AL ESTE DEL ESCARPE LONGITUDINAL, CON FORMACIÓN DE ESCARPES ESCALONADOS EN LA BASE DEL DESLIZAMIENTO. ESTA IMAGEN SE UBICA EN EL LÍMITE OESTE DEL SUB-BLOQUE SAN PABLO. COORDENADAS: 214634 N / 583499 E

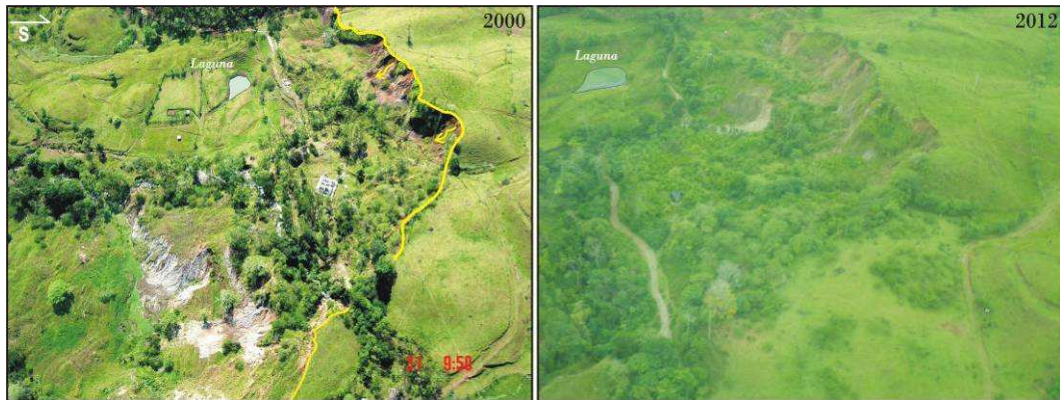


FIGURA 3.57. COMPARACIÓN DE IMÁGENES AÉREAS DEL ESCARPE BLAKE.

IZQUIERDA: FOTO DE JULIO MADRIGAL, 2000 POSTERIOR A LAS PRECIPITACIONES EXTREMAS DE DICIEMBRE DE 1999; SE OBSERVAN LOS MOVIMIENTOS EN LA BASE DEL ESCARPE E INTENSIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE REPTACIÓN. DERECHA: FOTO JOANNA MÉNDEZ, POSTERIOR AL SISMO DEL 26 DE JUNIO, 2012 EN TRES EQUIS; SE OBSERVA MAYOR COBERTURA VEGETAL Y AUSENCIA DE MOVIMIENTOS FRESCOS DEL TERRENO. COORDENADAS: 213624 N / 583793 E



FIGURA 3.58. VISTA DEL ESCARPE CON RUMBO N60W. DESPLAZAMIENTO VERTICAL DECAMÉTRICO Y FLUJOS DE LODO POR SATURACIÓN (SEPTIEMBRE, 2011). FINCA DE MICHAEL BLAKE. COORDENADAS: 213975 N / 584183 E



**FIGURA 3.59. GRIETA EN EL ESCARPE FINCA BLAKE CON DESPLAZAMIENTO VERTICAL DE 80 CM Y RUMBO N40W, SEPTIEMBRE, 2011.
COORDENADAS: 214074 N / 583881 E**



**FIGURA 3.60. GRIETA EN EL ESCARPE FINCA BLAKE CON DESPLAZAMIENTO VERTICAL DE 50 CM Y RUMBO N40W, SEPTIEMBRE, 2011.
COORDENADAS: 214201 N / 583718 E**

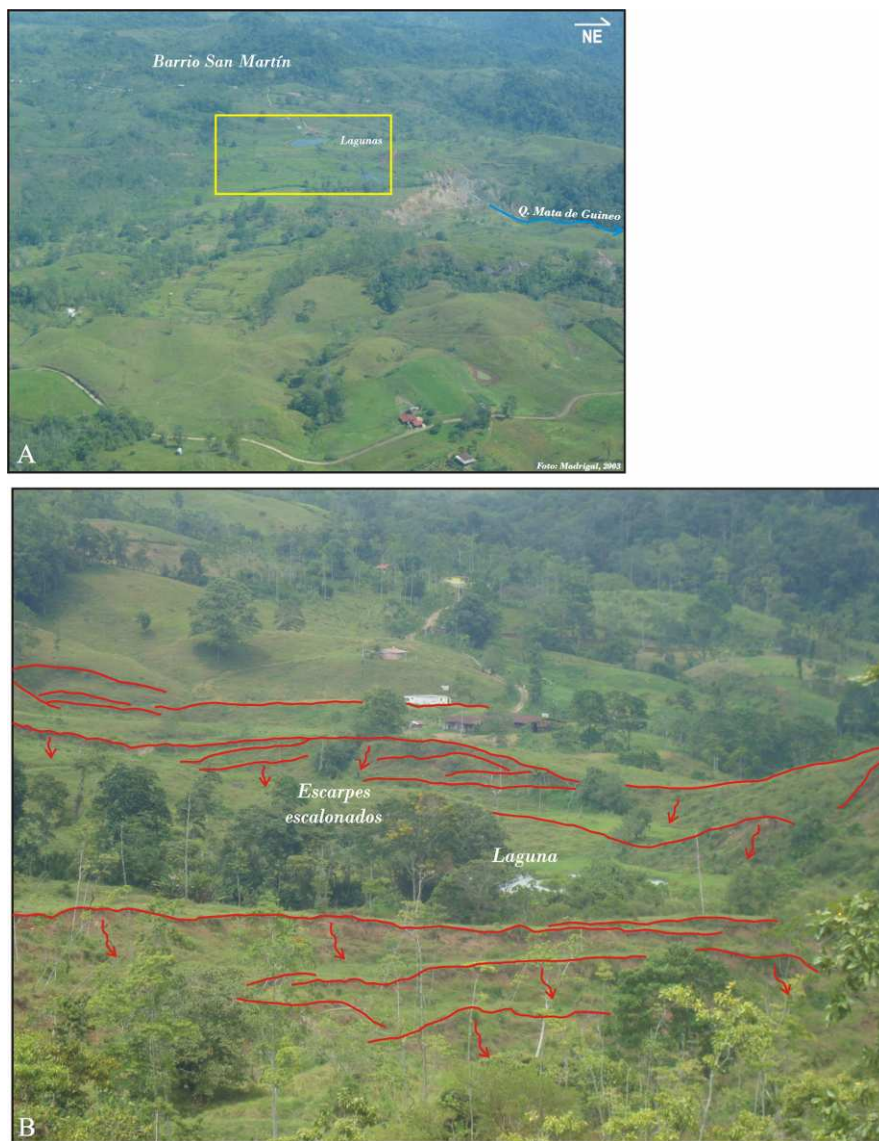


FIGURA 3.61. A. VISTA GENERAL DE SUB-BLOQUE PACUARE. EL RECUADRO AMARILLO ES LA ZONA QUE SE DETALLA EN LA IMAGEN INFERIOR (B). B. DETALLE DE ESCARPES ESCALONADOS CON RUMBO NE-SW, VISTA HACIA BARRIO SAN MARTÍN, AL NORTE DEL SUB-BLOQUE SAN PABLO. FOTOGRAFÍA TOMADA DESDE COORDENADAS: 214975 N / 584574 E



FIGURA 3.62. VISTA DE LA EXPRESIÓN MORFOLÓGICA AL ESTE DEL SUB-BLOQUE SAN PABLO, PRESENTA ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES, BLOQUES BASCULADOS Y FORMACIÓN DE ESTANQUES.
COORDENADAS: 214000/585000

11. Sub-bloque Guadalupe

El sub-bloque Guadalupe corresponde con una zona de distensión donde se separan el bloque Tres Equis – Chitaría del bloque Pacuare. Es frecuente la acumulación de aguas y la formación de lagunas, grietas y escarpes de corona con rumbo preferencial N-S. Se estima una superficie de 3,6 km² (figuras 3.42, 3.63 y 3.64).



FIGURA 3.63. VISTA DEL SECTOR SUR DEL SUB-BLOQUE GUADALUPE, SE OBSERVAN GRIETAS DE CORONA Y FORMACIÓN DE LAGUNAS EN LA ZONA DE SEPARACIÓN ENTRE LOS BLOQUES DE DESLIZAMIENTO TRES EQUIS – CHITARÍA Y PACUARE.
COORDENADAS: 211312 N / 581813 E

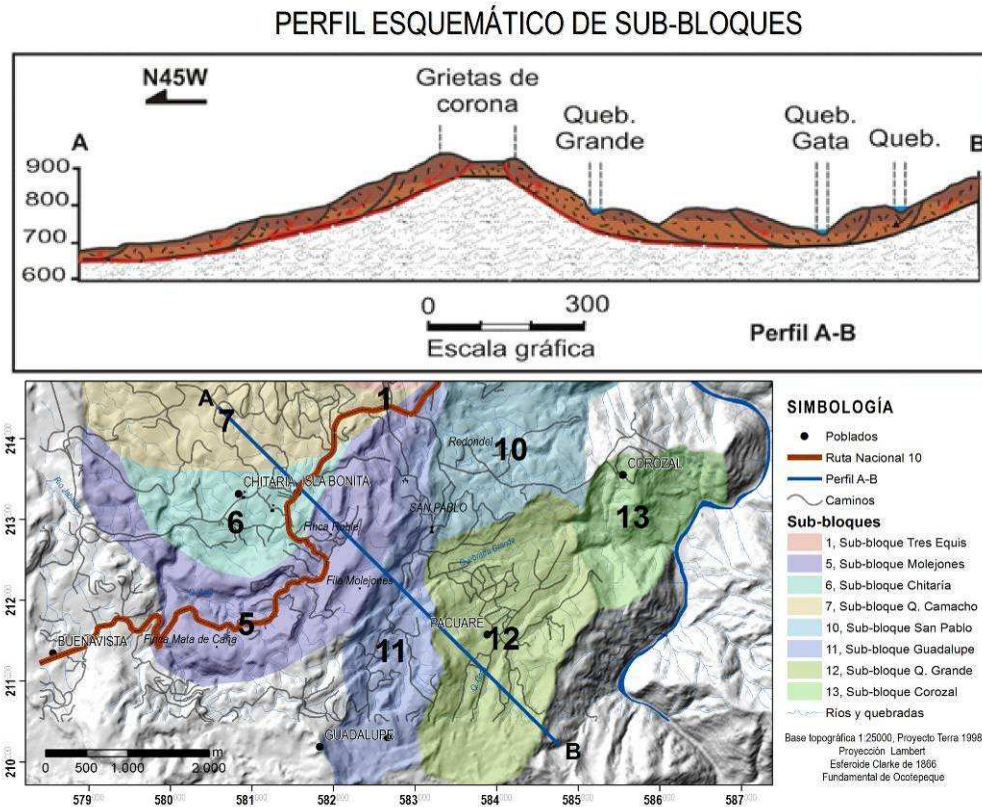


FIGURA 3.64. PERFIL ESQUEMÁTICO QUE ATRAVIEZA LOS SUB-BLOQUES CHITARÍA, MOLEJONES, GUADALUPE Y Q. GRANDE. SE REPRESENTA LAS GRIETAS DE CORONA EN LA ZONA DE SEPARACIÓN DE LOS BLOQUES DE DESLIZAMIENTO TRES EQUIS – CHITARÍA Y PACUARE.

12. Sub-bloque quebrada Grande

Como se observa en la **figura 3.42** el sub-bloque quebrada Grande comprende un área de 5,4 km², presentan una forma asimétrica con el eje longitudinal en dirección noreste – suroeste y el transversal este - oeste, es drenado por la quebrada Grande que presenta un patrón de drenaje subparalelo y también la quebrada Gata.

Este sub-bloque limita al sur con Molejones, al oeste con el sub-bloque Guadalupe, al norte con el escarpe Quebrada Grande y al este con el sub-bloque Corozal. Las grietas en este sub-bloque presentan un comportamiento errante, predominando los rumbos N75E que corresponden con una serie de terrazas de deslizamiento alineadas de forma paralela al cauce de la quebrada Grande tal y como se observa en la **figura 3.65**.

Destacan la presencia de lomas elongadas y la formación de estanques o lagunas elongadas, ubicadas al pie de las lomas y escarpes de mayor altura. Este sub-bloque estuvo involucrado en el evento de diciembre de 1970, cuando se destruyó el poblado de Pacuare (denominado por el pueblo como “Bajo Pacuare”).

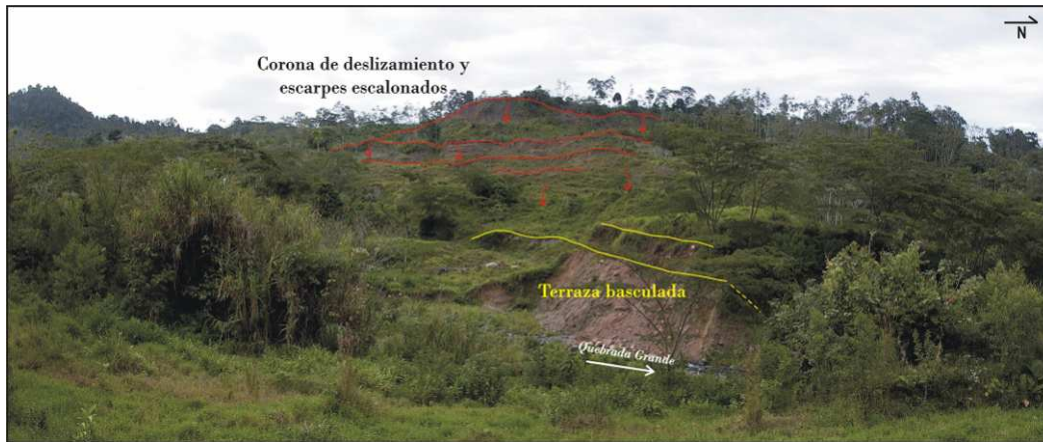


FIGURA 3.65. TERRAZAS DE DESLIZAMIENTO EN LA MARGEN IZQUIERDA DE LA QUEBRADA GRANDE.
COORDENADAS: 212259 N / 584877 E

13. Sub-bloque Corozal

Esta cicatriz se ubica en las inmediaciones de la margen izquierda del río Pacuare según se observa en las **figuras 3.42**, presenta un área de 2,4 km², se caracteriza por presentar pendiente de ladera media observándose una cicatriz de deslizamiento en la divisoria de aguas. El bloque es drenado de oeste a este por la quebrada Grande.

Limita al este con el río Pacuare, al norte con el escarpe Corozal y al oeste con los sub-bloques San Pablo y Q. Grande. Los movimientos en masa se dirigen hacia la quebrada Grande y el río Pacuare.

3.4.2 Caracterización del deslizamiento denominado sub-bloque tres equis

A continuación se describen las características de mayor relevancia que intervienen en el desarrollo del deslizamiento del sub-bloque Tres Equis. Se propuso en los objetivos del proyecto de investigación, la descripción detallada de este sub-bloque, por ser el que presenta mayor población y desarrollo de infraestructura civil.

➤ **Primeras referencias científicas sobre el deslizamiento (sub- bloque Tres Equis)**

Soulas (1992) realizó iniciales aportaciones sobre los deslizamientos en al área de estudio, estableciendo que entre los ríos Reventazón y Pacuare aparece un tipo de deslizamiento de tipo “gravitacional spreading”, por su morfología, su dinámica y su aspecto generalizado (**figura 3.66**).

Con relación al movimiento de estos bloques Soulas (1992) menciona que provisionalmente se puede estimar la velocidad promedio de desplazamiento del “gravitacional spreading”, analizada en una amplia ventada de tiempo como más elevada que la de cualquier falla activa, o sea superior a varios centímetros por año. Esto lo basó en

la observación de evidencias morfológicas, parecidas a las producidas por las fallas activas, más activas, pero más potentes y mucho más numerosas. Propone que es necesario precisar la velocidad del deslizamiento con monumentos o estacas; ya que el desplazamiento puede ser tanto constante en el tiempo, como discontinuo y limitado a ciertos periodos, en función del clima o en respuesta a sollicitaciones sísmicas, como algunas rupturas activadas por el terremoto de Limón en 1991, en la zona de Tres Equis.

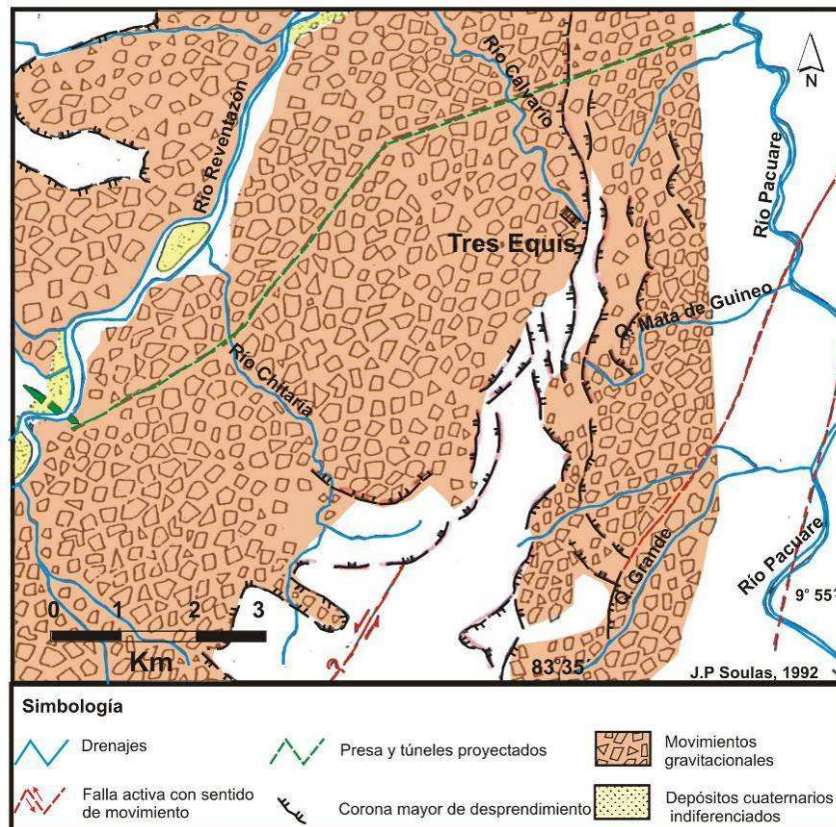


FIGURA 3.66. MOVIMIENTOS GRAVITACIONALES Y FALLAMIENTO EN EL SECTOR DE TRES EQUIS MODIFICADO DE SOULAS (1992).

Madrigal (2001) menciona la existencia de un deslizamiento inactivo en la comunidad de Tres Equis de Turrialba, al cual estima un área de 0,5 km² y lo denomina “Deslizamiento Tres Equis”. Adicionalmente, menciona una serie de daños por deslizamientos que han ocurrido en el área, como la destrucción de Pacuare en 1970, la destrucción de la escuela antigua, la plaza antigua y algunas casas de Tres Equis en el año de 1975, y daños en el poblado de San Pablo generados por el deslizamiento de San Pablo en el año 1999. Además, propuso algunas medidas de prevención y mitigación.

Linkimer (2003) realiza una amplia definición morfotectónica sobre los sistemas de fallas presentes en el extremo oriental del Cinturón Deformado del Norte de Costa Rica. Concretamente para el área de estudio, propone una serie de fallas y alineamientos de

rumbo predominante N-S y NW, que se localizan en los alrededores del río Pacuare, entre la población de Pacuare y la ciudad de Siquirres. El sistema incluye 4 fallas activas, 4 neotectónicas y al menos 2 posiblemente geotectónicas (**figura 2.1**), donde la falla Tres Equis es la falla neotectónica que podría tener mayor relevancia en la dinámica de los bloques de deslizamiento Tres Equis-Chitaría y Pacuare, descritos en esta investigación (**figura 3.42**). Alvarado *et al.* (1998) y López (1999) habían reconocido la falla Tres Equis. Esta falla tectónica tiene una expresión prominente, rumbo promedio norte-sur, con unos 9 km de longitud, y transcurre por la población de Tres Equis. La falla Tres Equis y otros alineamientos localizados en los alrededores de las poblaciones de Chitaría y Tres Equis, están localizados en una gran zona de deslizamientos activos. Esta situación dificulta el reconocimiento de estructuras neotectónicas, ya que muchos de los elementos geomorfológicos relacionados con el fallamiento activo, pueden también presentarse en zonas de deslizamientos. Por ejemplo, terrenos pantanosos, escarpes, contraescarpes, etc. Linkimer (2003) reconoce un deslizamiento de 3 km de diámetro en el extremo sur de la falla Tres Equis. Menciona que hacia el oeste de la falla, en el sector de Chitaría y Pílon de Azúcar, existe una morfología de deslizamiento, caracterizada por una pendiente muy irregular (alomada). Esta morfología se reconoce desde la población de Tres Equis, hasta el cauce del río Reventazón. Se presume la posibilidad de que esta falla haya favorecido el evento de deslizamiento, junto con otros factores como la litología y la pendiente. Se ha propuesto que se trata de una falla normal con componente dextral (Linkimer, 2003).

Sjöbohm (2005) delimita el deslizamiento de Tres Equis y calcula un área de 12 km², menciona que la morfología del área se caracteriza por los prominentes escarpes lineales de orientación norte-sur y noroeste-sureste, producto del sugerente fallamiento neotectónico y activo de la región, predominantemente en las localidades de Tres Equis y Alto Corazal. Además, destaca la evidencia de formas semicirculares, posiblemente cicatrices de avalanchas y paleo-megadeslizamientos. Las pendientes tienden a ser irregulares, identificándose lomas alargadas o aisladas que determinan los patrones de drenaje característicos de la zona. Conjuntamente, definió los bloques Chitaría, Tres Equis, Pacuare y Neda. Divide, además, el deslizamiento de Tres Equis en los bloques A y B.

Segura (2009) realizó un inventario de 69 deslizamientos mediante el análisis de la susceptibilidad al deslizamiento en el corredor Siquirres-Turrialba como factor de riesgo para el poliducto de RECOPE. Entre los deslizamientos inventariados destaca el deslizamiento Pílon de Azúcar - Tres Equis, al cual le asigna un área de 8,03km². Además, considera que la masa inestable constituye un sector de alto riesgo para el poliducto, debido a que le ha generado desplazamientos y rupturas.

➤ **Caracterización del deslizamiento**

El sub-bloque Tres Equis se delimitó con base en la fotointerpretación de las fotografías aéreas de 1961, 1971, 1978, 1988, 1996 y 1998, en conjunto con el análisis de las características morfológicas del terreno y el levantamiento en el campo de las estructuras de deslizamiento, tales como escarpes, grietas, lineamientos de lomas y lagunas, presentes en este sub-bloque.

Comprende un área de 8,45 km², presenta una forma elongada con rumbo sureste-noroeste, es drenado por el río Calvario que presenta un patrón de drenaje contorsionado modificado por la masa inestable. Este sub-bloque limita al sur con el escarpe Flor, al oeste con el río Reventazón y el escarpe lateral denominado Alto June, al norte con el río Calvario y al este con el escarpe longitudinal Amistad - Guadalupe (**figura 3.67**).

Sobre este sub-bloque de deslizamiento se asienta la comunidad de Tres Equis, donde se observan grietas con rumbos que varía entre N-S, N50E, N25E y N40E formando depresiones topográficas semicirculares que coinciden con el rumbo del escarpe principal. Estas grietas generan daños en la infraestructura habitacional, acueducto y vías públicas. Los poblados donde es frecuente observar daños en infraestructura por grietas son; Bajo Los Mora, San Juanillo, San Joaquín, Pílon y Alto June. Los ríos Calvario y sistemas de drenaje tienden a curvarse en la base de la corona del deslizamiento y presentan un intenso proceso erosivo, según se describió en el apartado geomorfológico. Se destaca en este bloque la presencia de morfología semejante a la hummocky, compuesta por cerros alomados con rumbo N20E y formación de estanques entre lomas.

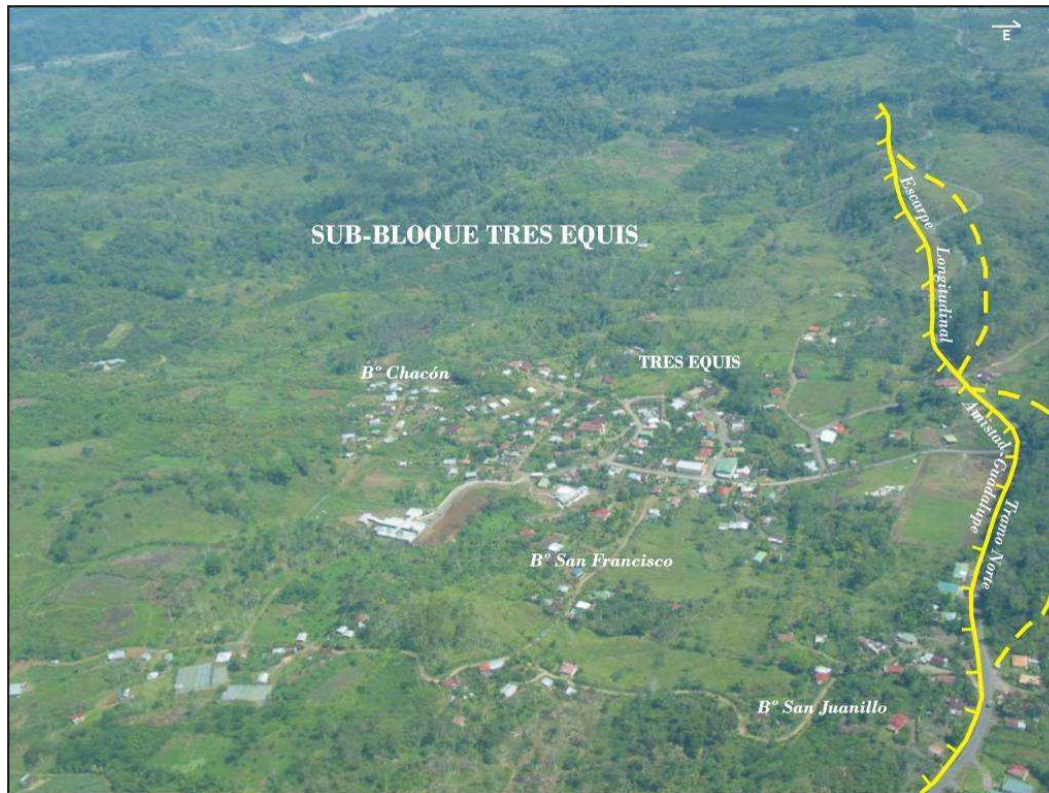


FIGURA 3.67. VISTA AÉREA DEL SUB-BLOQUE TRES EQUIS SECTOR NORTE, HACIA LA CONFLUENCIA DEL RÍO CALVARIO CON EL RÍO REVENTAZÓN
FOTO: JULIO MADRIGAL, 2003. COORDENADAS: 216029 N / 583078 E

Geológicamente está compuesto por depósitos de la Fm. Uscari conformados por lutitas gris azuladas que fueron mapeadas por Madrigal (1985) y Fernández (1987). Sobreyaciendo a estos depósitos sedimentarios mediante una discontinuidad estratigráfica se presentan depósitos volcanogénicos relacionados por Alvarado & Pérez (1999) y en este estudio con la Fm. Doán. Se estima un espesor aproximado a los 180 m para este sub-bloque de deslizamiento, concordante con el espesor propuesto mediante perfiles estratigráficos y geofísicos realizados por Madrigal (1985).

En esta investigación se clasificó este sub-bloque de deslizamiento como desplazamiento laterale utilizando las clasificaciones realizadas por Varnes (1978) y González et al. (2002), (figura 3.68).

PERFIL TOPOGRÁFICO DEL DESLIZAMIENTO EN EL SUB-BLOQUE TRES EQUIS

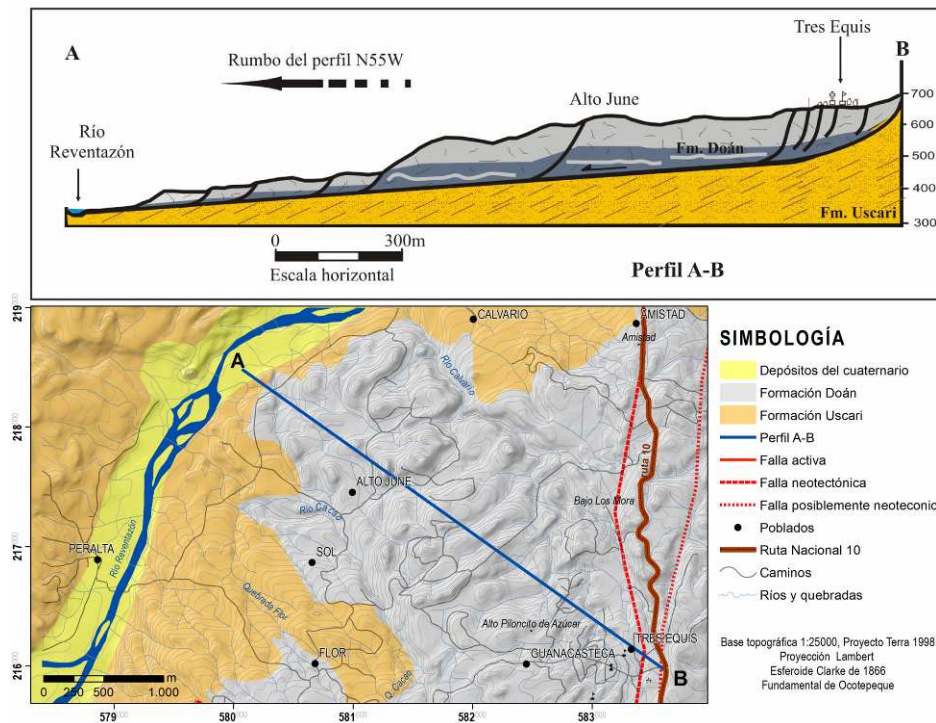


FIGURA 3.68: PERFIL TOPOGRÁFICO DEL DESLIZAMIENTO EN EL SUB-BLOQUE TRES EQUIS. SE REPRESENTA LA PENDIENTE MEDIA DEL TERRENO CON ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE 8°

Para el cálculo del volumen del sub-bloque Tres Equis se utilizaron dos metodologías, la primera propuesta por Varnes & Cruden (1996); según esta metodología y parámetros del deslizamiento establecidos en el capítulo 3 se estimó un volumen de 0,98 km³. El segundo método utilizado es el de los perfiles topográficos, el cual consiste en la sumatoria de áreas entre perfiles según la fórmula $V_T = \sum_a ((\text{Área perfil}_{AA} + \text{Área perfil}_{BB}) / 2) * D$, donde se obtiene un volumen de 1,21 km³ (figura 3.69).

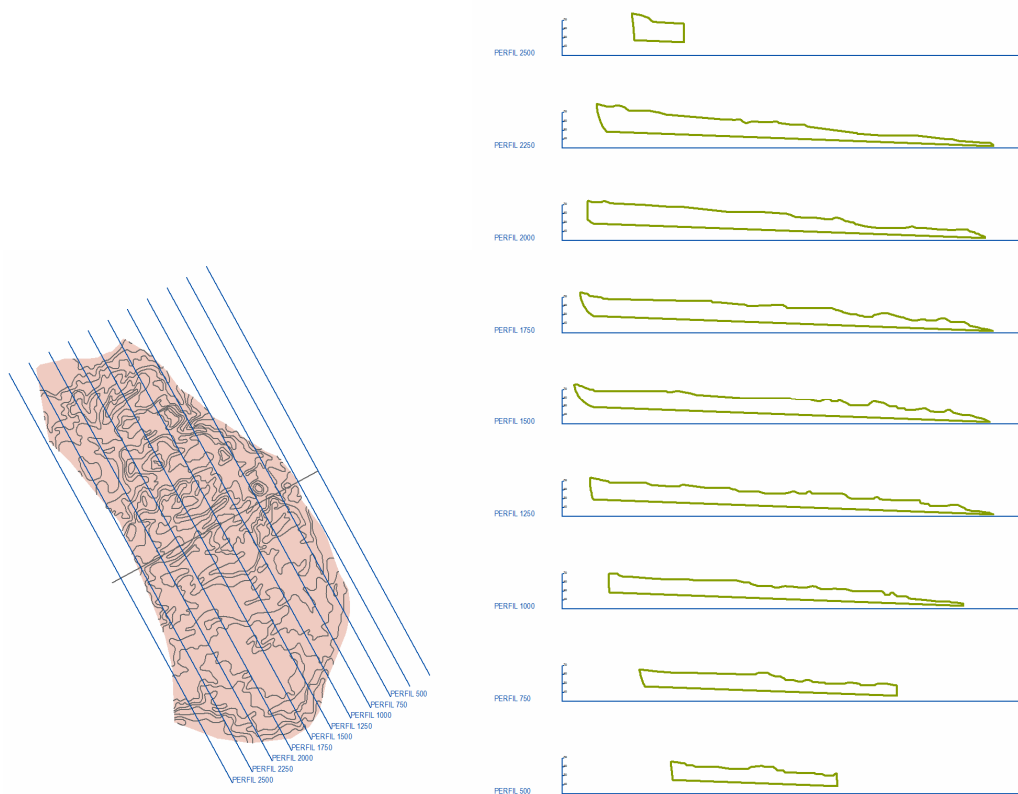


Figura 3.69: Perfiles topográficos del Sub-bloque Tres Equis

En el **cuadro 3.5** se incluye una comparación entre las áreas y volúmenes estimados para el sub-bloque Tres Equis según la metodología de Varnes & Cruden (1996) y el método de los perfiles, así como características de morfométricas de otros depósitos de deslizamientos descritos para Costa Rica y otros países.

Cuadro 3.5. Comparación entre áreas y volúmenes medidos en diferentes depósitos de deslizamientos descritos en la literatura científica

Depósitos de grandes deslizamientos (debris avalanche)				
Nombre	Área (km ²)	Volumen (km ³)	País	Fuente
Sub-bloque Tres Equis	8,45	1,21	Costa Rica	Esta investigación ¹
Sub-bloque Tres Equis	8,45	0,98	Costa Rica	Esta investigación ²
Angostura, Turrialba	25	1,4	Costa Rica	<i>Alvarado et al.,2004</i>
Cacao, Guanacaste	52	2	Costa Rica	<i>Alvarado et al.,2004</i>
Peñas Blancas, San Ramón	-	0,26	Costa Rica	<i>Cascante et al. (2001)</i>
Monte. St. Helens	60	2,5	EE. UU.	<i>Seisdedos, 2009</i>

¹ Cálculo del volumen para el sub-bloque mediante el método propuesto por Varnes & Cruden (1996).
² Cálculo del volumen para el sub-bloque Tres Equis mediante la metodología para el cálculo de reservas

➤ **Factores condicionantes y desencadenantes**

Se establecen como factores condicionantes la constitución litológica del área, conformada por depósitos de lutitas de la Fm. Uscari, caracterizados geotécnicamente como un limo elástico arenoso de plasticidad extremadamente alta, sobreyacido discordantemente por depósitos volcániclasticos de la Fm. Doán, que desarrollan suelos caracterizados geotécnicamente como limo elástico arenoso de plasticidad alta.

Entre los factores desencadenantes se consideró el efecto de las precipitaciones y la actividad sísmica.

- Precipitaciones

Para el análisis de las precipitaciones se consultó el registro meteorológico de la estación Pacuare (1963-1986), donde se muestra que el año de 1970 fue un año significativamente lluvioso, reportándose un excedente de 72% con relación a la precipitación media anual reportada para los 23 años del registro histórico de la estación (IMN, 1988). El patrón de las precipitaciones registrado para el mes de diciembre del año 1970 en la estación Pacuare fue significativamente más lluvioso, reportando una lluvia mensual acumulada de 1156,1mm (**figura 3.70**), generando un excedente del 312% con relación a la media mensual de 280,4mm.

Las precipitaciones en el mes de diciembre de 1970 se dispararon durante los días 3 y 4, obteniéndose un registro de 230.8 mm y 290.3 mm respectivamente, sobrepasando en dos días la media mensual. El día 18 de diciembre, el periódico *La República* (**Anexo J**) informó que el pueblo de Pacuare fue destruido por un deslizamiento; para esa fecha la precipitación acumulada del mes era de 893,7 mm, según se observa en el **cuadro 3.6** y el **gráfico 3.1**. Estos eventos meteorológicos se asocian con la influencia de frentes fríos.

De los registros meteorológicos disponibles para la estación Pacuare, se destaca que los cuatro años precedentes a 1970 fueron años con excedentes de precipitaciones, reportando el año de 1969 un excedente del 25% sobre la precipitación media anual.

La escasez de un registro continuo de precipitaciones diarias y acumuladas para el área de estudio, que permitan establecer una relación directa con los diferentes movimientos del terreno reportados por la población de Tres Equis, llevó a utilizar el registro meteorológico del año 1970, como umbral de referencia para la aceleración de los movimientos en masa.

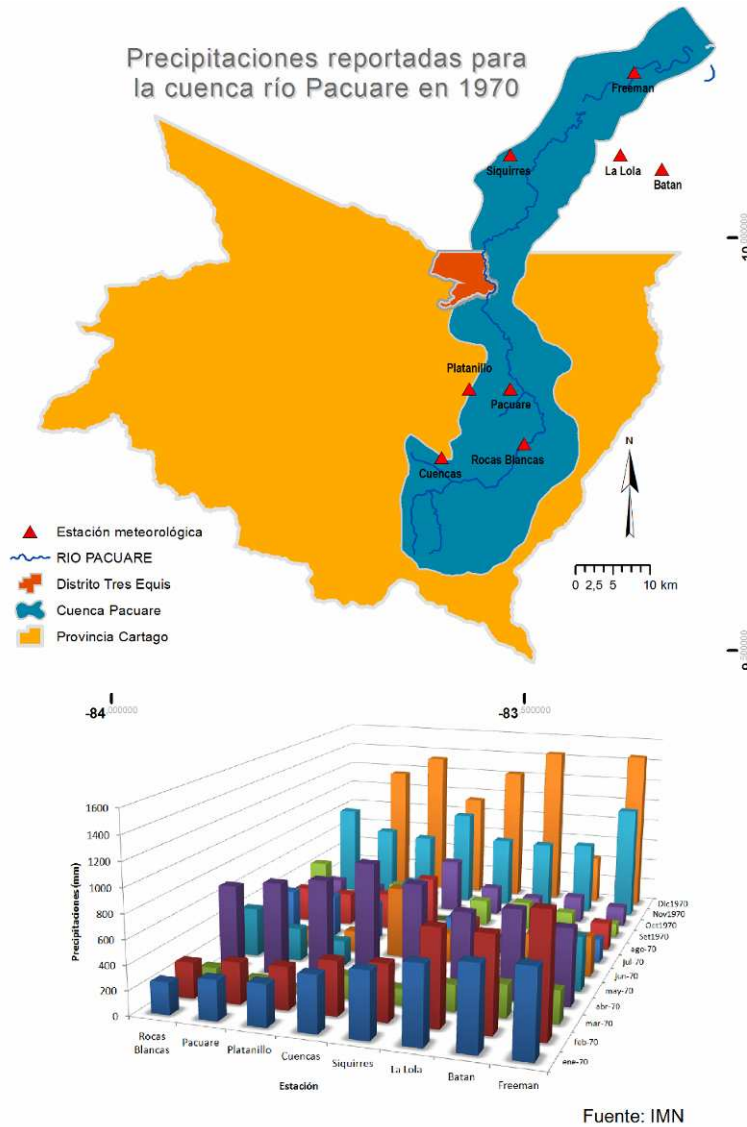


FIGURA 3.70. CUENCA DEL RÍO PACUARE CON LA UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y LA REPRESENTACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES REGISTRADAS POR ÉSTAS PARA EL AÑO 1970.

Los datos meteorológicos del mes de diciembre de 1970 en conjunto con una amplia descripción cronológica sobre la destrucción de Bajo Pacuare (poblado ubicado 4 km al sur del centro de Tres Equis y 2 km al sur de San Pablo), obtenida a partir de la memoria histórica de la población entrevistada, en conjunto con los reportes publicados en los periódicos La República y La Nación (**anexo J**); permitió establecer la siguiente relación; las precipitaciones acumuladas mayores a los 900 mm son capaces de generar movimientos en masa que afectaran significativamente el relieve donde se asientan las diferentes poblaciones del distrito (San Pablo, Tres Equis, Flor, Pílon de Azúr, Alto June), destruyendo infraestructura civil y habitacional ubicadas sobre las áreas a desplazarse.

Las precipitaciones diarias mayores a los 200mm contribuyen con el empuje del terreno y acentúan las áreas por desplazamiento activos, esto según las observaciones de campo realizadas durante los años de estudio para esta investigación (2010-2013), tomando como referencia las precipitaciones de julio 2012, para la estación meteorológica CATIE.

Cuadro 3.6. Registro de las precipitaciones diarias para diciembre de 1970, estación Pacuare

Datos de lluvia diaria (mm/m²), estación Pacuare, Diciembre 1970		
Día	Precipitación	Pp acumulada
1	6,8	6,8
2	8	14,8
3	230,8	245,6
4	290,3	535,9
5	68,9	604,8
6	35,6	640,4
7	28,4	668,8
8	26,5	695,3
9	63,2	758,5
10	98,6	857,1
11	21,7	878,8
12	3	881,8
13	3	884,8
14	0,4	885,2
15	8,5	893,7
16	0	893,7
17	0	893,7
18*	86,3	980
19	60,9	1040,9
20	6,9	1047,8
21	57,6	1105,4
22	3,6	1109
23	1,1	1110,1
24	1,2	1111,3
25	11,5	1122,8
26	25,3	1148,1
27	4,9	1153
28	1,8	1154,8
29	0,3	1155,1
30	0,1	1155,2
31	0,9	1156,1

* Destrucción del poblado de Pacuare

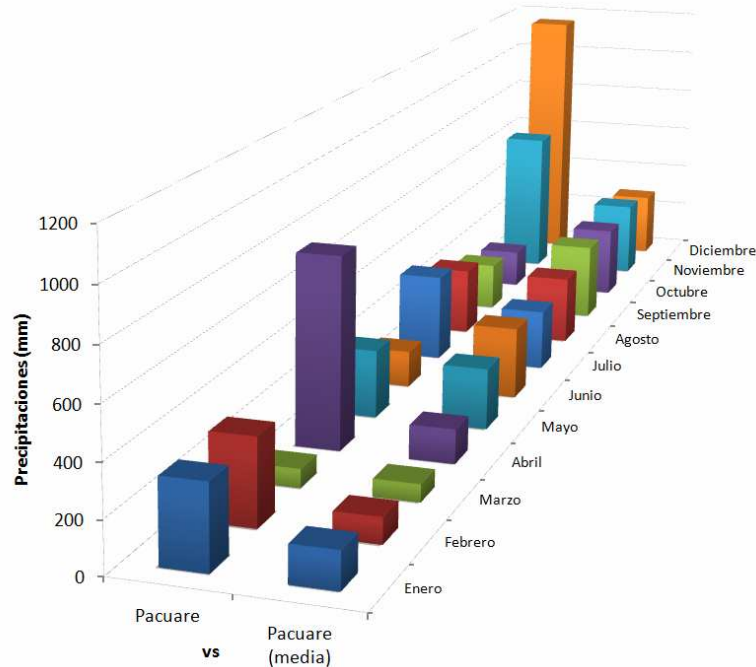


GRÁFICO 3.1. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS PRECIPITACIONES MENSUALES PARA EL AÑO 1970 CONTRA LA MEDIA DE PRECIPITACIONES HISTÓRICAS REGISTRADAS PARA LA ESTACIÓN PACUARE

- Actividad sísmica

La actividad sísmica es el otro factor desencadenante que ha tenido relevancia en la aceleración de los deslizamientos inventariados para el distrito de Tres Equis. Los mayores daños en el poblado de Tres Equis y alrededores se reportan tras el Terremoto de Limón del 22 de abril de 1991, el cual afectó la infraestructura vial, habitacional y espacios públicos (plaza de deportes) en el centro de la comunidad de Tres Equis. Se estimó una intensidad Mercalli de VIII para este evento sísmico, según el mapa de intensidades sísmicas elaborado por el Laboratorio de Ingeniería Sísmica (Schmidt, 2006). Climent (1991) reporta una aceleración pico entre 0,2 g – 0,3 g medida en el proyecto hidroeléctrico Siquirres, situado en Siquirres, a 10 km al norte del poblado de Tres Equis.

Realizando una comparación entre las intensidades reportadas para el sector de Tres Equis, durante diferentes eventos sísmicos que han ocurrido en el país desde 1991 (**cuadro 3.7**), contra los daños en la infraestructura y terrenos ubicados en el distrito, se tiene como resultado que los eventos sísmicos con intensidades mayores a IV (Intensidad Mercalli Modificada: IMM), son capaces de degenerar desplazamiento y/o deformaciones en los terrenos ubicados dentro de los deslizamientos delimitados en este estudio.

Cuadro 3.7. Comparación entre las Intensidades Mercalli Modificada registradas para diferentes eventos sísmicos sentidos en Costa Rica, contra los daños reportados en el poblado de Tres Equis

Fecha	Eventos sísmicos	Magnitud	Intensidad máxima (IMM)	Aceleración ¹ (% g)	Fuente	Caracterización de los daños reportados según diferentes eventos sísmicos
22/04/91	Terremoto de Limón	7,7M _L	VIII	35,4-70,5	LIS/RSN	Fuertes: Daños en viviendas, grietas en terrenos con desplazamiento vertical y horizontal centimétricos, ruptura de acueducto, vía pública.
05/09/12	Terremoto de Sámara	7,6M _w	V	4,5-8,9	LIS/RSN	Moderados: Puertas y ventanas de viviendas y edificios evidencian leve deformación generada por el movimiento del deslizamiento dificultando la apertura y cierre de las mismas. Puede observarse presencia de nuevas grietas con desplazamientos milimétricos.
25/06/12	Tres Equis	4,1 Mw	IV	2,2-4,5	RSN	Leve: Puede generarse nuevas grietas en viviendas ubicadas sobre grietas. Daños en el terreno son poco perceptibles.

¹Trifunac & Brady, 1975

Referente a la actividad sísmica en Tres Equis y alrededores, Linkimer (2003) establece que la zona se encuentra bajo la influencia del Sistema de Fallas Pacuare, donde se destaca la presencia de las fallas Tres Equis y Alto Corozal, además de una serie de lineamientos prominentes neotectónicos, que presentan potencial para generar sismos de hasta 5,9 de magnitud. A escasos kilómetros (entre 2 y 10 km), se encuentran las fallas Pacuare, Bajo Tigre y Cabeza de Buey, las cuales presentan actividad sísmica reciente y potencial de generar sismos con magnitudes máximas que oscilan entre 5,1(M_w) y 6,8 (M_w). De ocurrir un evento asociado a estas fallas sísmicas, podrían esperarse daños similares a los generados en el centro de Tres Equis por el terremoto de Limón del 1991, con intensidades Mercalli de VII o mayores.

IV. SUSCEPTIBILIDAD A LA INESTABILIDAD DE LADERAS

El estudio de la susceptibilidad a la inestabilidad de laderas surge del análisis integrado de las condiciones geológicas, geomorfológicas y geotécnicas determinadas para el área de estudio, así como la caracterización del deslizamiento y la aplicación de la modificación del método Mora & Vahrson (1992) denominado Mora-Vahrson-Mora o MVM (Mora *et al.*, 2002).

4.1 Caracterización geotécnica

Una adecuada caracterización de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de los materiales permite establecer el contexto geotécnico del área en cuanto a la capacidad de soporte de los suelos y su relación con masas inestables, para la determinación de su potencial en el desarrollo o restricción de futuras obras de infraestructura.

La caracterización geotécnica del distrito de Tres Equis se realizó mediante la elaboración de ensayos de campo y pruebas de laboratorio a 14 muestras de suelo recolectadas en distintos puntos del distrito (**figura 4.1** y **cuadro 4.2**). Para complementar el análisis se utilizaron los resultados de ensayos geotécnicos realizados durante las Campañas Geológicas de 1995 y 1996 en esta misma zona (**cuadro 4.1**). La selección de los puntos de muestreo en esta investigación se basó en las características geológicas, accesibilidad, ubicación de infraestructura pública como centros educativos y que no coincidiera con pruebas efectuadas en trabajos anteriores.

Cuadro 4.1. Ubicación de pruebas geotécnicas realizadas por Carrillo & Alfaro (1995) y Chavarría (1996) como parte del curso Campaña Geológica y por Mora (2008)

Código muestra	Coordenadas Lambert		Referencia
	X (E)	Y (N)	
LG/1	582800	216000	Guanacasteca
LG/4	583500	219200	Poblado Amistad
LG/5	582150	219750	Quebrada Patincho
GT-3	584950	215250	Terreno Barrio San Martín
GT-4	584700	214600	Terreno cercanías de margen izquierda Q. Mata de Guineo
GT-5	584800	214500	Margen izquierda Q. Mata de Guineo
GT-6	584950	214400	Terreno cercanías de margen derecha Q. Mata de Guineo
GT-7	585300	217400	Camino hacia Río Pacuare, entre quebrada Danta y Sartén
GT-8	585200	218400	Camino a Río Pacuare (actual Finca Tres Equis, Heriberto Abarca)
GT-9	584100	219850	Poblado Ganga
GT-11	585150	218250	Camino a Río Pacuare (actual Finca Tres Equis, Heriberto Abarca)
SP3X02 y SP3X04	583302	213020	Salón Comunal Multiusos, San Pablo

LG: Pruebas geotécnicas realizadas por L. Chavarría (1996)

GT: Pruebas geotécnicas realizadas por S. Carrillo & A. Alfaro (1995)

SP3X: Prueba geotécnica realizada por Mora (2008). Proyecto 0960 FUNDEVI-UCR

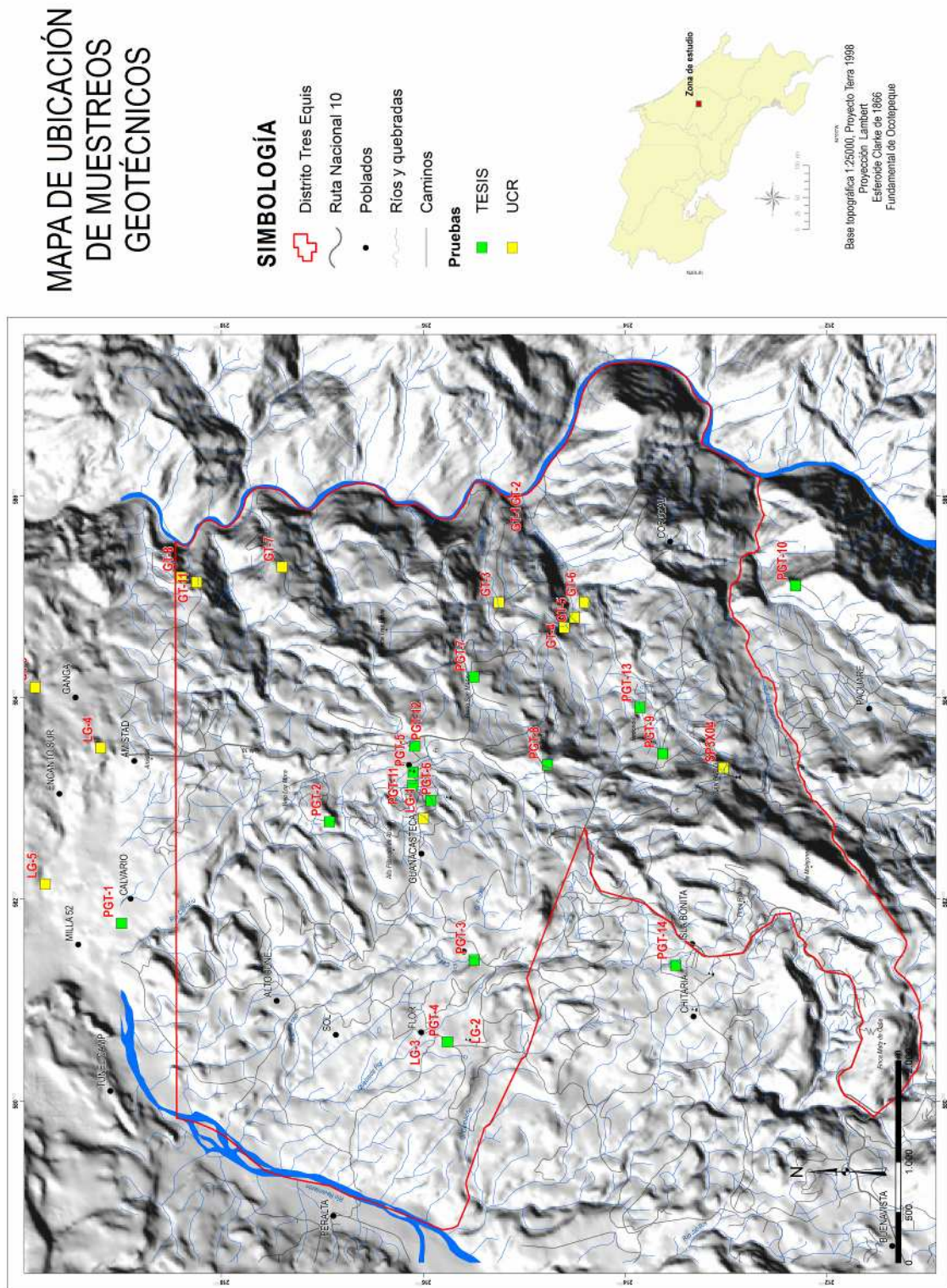


FIGURA 4.1. MAPA DE UBICACIÓN DE MUESTREOS GEOTÉCNICOS (REALIZADOS EN ESTA INVESTIGACIÓN Y TRABAJOS ANTERIORES) EN EL DISTRITO DE TRES EQUIS Y ALREDEDORES

Cuadro 4.2. Ubicación de las pruebas geotécnicas realizadas para este trabajo

Código muestra	Coordenadas Lambert		Referencia
	X (E)	Y (N)	
PGT-1	581763	218992	Margen derecha Río Calvario, camino hacia Bajo 52 Millas
PGT-2	582768	216930	Bajo Los Mora
PGT-3	581399	215496	Escuela Pílon de Azúcar
PGT-4	580585	215760	Escuela del poblado Flor
PGT-5	583259	216100	Escuela de Tres Equis
PGT-6	582978	215925	Colegio de Tres Equis
PGT-7	584201	215500	Terreno en Barrio San Martín
PGT-8	583334	214768	Terreno detrás de Cabinas “El paso del viento y su magia”
PGT-9	583443	213623	Escuela San Pablo
PGT-10	585115	212307	Finca Calvo/Balneario Sacramento
PGT-11	583130	216104	Casa en centro Tres Equis (oficina ASADA)
PGT-12	583519	216085	Plaza nueva de Tres Equis
PGT-13	583900	213850	Finca Blake
PGT-14	581346	213496	Escuela Chitaría

PGT-6: únicamente se realizó ensayo penetrométrico dinámico (DPL)



FIGURA 4.2. MUESTREO GEOTÉCNICO. COORDENADAS: 217287 N / 583157 E

4.1.1 Propiedades físicas de los suelos

En el **cuadro 4.3** se observan los resultados de las propiedades físicas obtenidas para cada una de las muestras realizadas en esta investigación. En el **Anexo D** se encuentra además, un CD que contiene las hojas electrónicas con los datos geotécnicos completos y gráficos respectivos.

Cuadro 4.3. Propiedades físicas de las muestras de suelo en el distrito de Tres Equis y alrededores

Código de muestra	Peso unitario seco (kN/m ³)	Peso unitario húmedo (kN/m ³)	Peso unitario saturado (kN/m ³)	Gravedad específica	Relación de vacíos (%)	Porosidad (%)	Contenido de humedad (%)	Grado de saturación (%)
PGT-1	12,76	17,86	17,91	2,74	1,11	52,5	39,9	98,9
PGT-2	11,48	16,79	16,81	2,56	1,19	54,3	46,2	99,7
PGT-3	9,06	15,12	15,52	2,71	1,93	65,9	66,93	93,8
PGT-4	8,82	14,77	15,47	2,79	2,10	67,7	67,42	89,5
PGT-5	7,86	13,78	14,70	2,65	2,31	69,8	75,32	86,5
PGT-7	9,85	15,44	16,04	2,72	1,71	63,1	56,63	90,2
PGT-8	7,37	10,94	14,43	2,69	2,58	72,1	48,50	50,5
PGT-9	10,18	16,19	16,23	2,71	1,61	61,7	59,0	99,3
PGT-10	10,15	15,81	16,13	2,65	1,56	60,9	55,7	94,7
PGT-11	10,17	16,09	16,25	2,73	1,63	62,0	58,2	97,3
PGT-12	9,27	15,20	15,55	2,63	1,78	64,1	64,03	94,4
PGT-13	8,96	14,14	15,43	2,68	1,93	65,9	57,8	80,2
PGT-14	8,35	13,55	15,05	2,69	2,16	68,4	62,27	77,6

De las propiedades físicas determinadas en esta investigación (**cuadro 4.3**) se obtuvieron los valores máximos, mínimos, promedio y desviación estándar para cada propiedad física relacionándola con la Fm. Doán la cual posee casi la totalidad de muestras en esta investigación (**cuadro 4.4**), para la Fm. Uscari se tiene un único muestreo (PGT-1) cuyos valores se observan en el **cuadro 4.3**. No se pudo comparar con los muestreos realizados en las campañas de 1995 y 1996 (**cuadro 4.5**) porque en éstas no se determinaron todas las propiedades físicas solamente gravedades específicas y algunos contenidos de humedad.

Cuadro 4.4. Datos estadísticos para las propiedades físicas determinadas en suelos residuales de la Fm.Doán

Formación Doán								
Propiedades físicas	Peso unitario seco (kN/m ³)	Peso unitario húmedo (kN/m ³)	Peso unitario saturado (kN/m ³)	Gravedad específica	Relación de vacíos (%)	Porosidad (%)	Contenido de humedad (%)	Grado de saturación (%)
Valor máximo	11,5	16,8	16,8	2,79	2,6	72,1	75,3	99,7
Código de muestra	PGT-2			PGT-4	PGT-8	PGT-8	PGT-5	PGT-2
Valor mínimo	7,4	10,9	14,4	2,56	1,2	54,3	46,2	50,5
Código de muestra	PGT-8			PGT-2	PGT-2	PGT-2	PGT-2	PGT-8
Promedio	9,3	14,8	15,7	2,7	1,9	64,4	59,0	87,2
Desviación estándar	1,1	1,5	0,7	0,1	0,4	4,6	8,4	13,3

De los **cuadros 4.3** y **4.4** se tienen los siguientes resultados.

Con respecto a los pesos unitarios:

- La muestra PGT-2 es la que presenta los valores más altos para el peso unitario húmedo, peso unitario seco y el peso unitario saturado y coincide con la muestra que presenta los valores de relación de vacíos y porosidad más bajos. Esto quiere decir, según Montes (2007) que al ser más densa más fácilmente llega al punto en el que todos sus poros estén llenos de agua.

- La muestra PGT-8 es la que presenta los valores más bajos para el peso unitario húmedo, peso unitario seco y peso unitario saturado y coincide con la muestra que presenta los valores de relación de vacíos y porosidad más altos. Esto indica, según Montes (2007) que la alta porosidad (más liviana) hace que sea más difícil que llegue al punto en que todos sus poros se llenen de agua.

Con respecto a la gravedad específica:

- Como se puede observar la mayoría de muestras presentan gravedades específicas entre 2,63 y 2,72 que están dentro de los rangos normales propuestos por Bowles (1982) para los diferentes tipos de suelos (**Anexo D**). La PGT-1 y PGT-11 aunque están fuera de los rangos establecidos están muy cerca del límite superior con 2,74 y 2,73 respectivamente.

- Como excepción, ya que no se encuentran dentro de los rangos establecidos se tienen la muestra PGT-2 que presenta el valor más bajo (2,56) y la PGT-4 que presenta el valor más alto (2,79). Esto se debe probablemente a que sus constituyentes mineralógicos presentan estas características específicas.

Con respecto al contenido de humedad:

- La muestra PGT-5 es la que presenta el contenido de humedad más alto (75%) y el segundo porcentaje de porosidad más alto; esto hace que su peso unitario seco y saturado sean de los más bajos. Presenta a su vez un grado de saturación alto.

- La muestra PGT-2 presenta el contenido de humedad más bajo (46%) y a su vez la porosidad más baja lo que indica que no es capaz de admitir mucha agua. Presenta entonces el peso unitario seco y saturado más alto; así como el grado de saturación mayor (99,7%).

Con respecto a la relación de vacíos:

- La muestra con el valor más alto de relación de vacíos (PGT-8), a su vez tiene el porcentaje más alto de porosidad y los valores de pesos unitarios secos más bajos; contrario a lo que se esperaría no presenta un alto contenido de humedad ni grado de saturación esos poros no están conectados entre sí o porque haya minerales arcillosos en los intersticios; además al ser un suelo muy blando puede presentar una alta deformación (Montes, 2007).

- La muestra con el valor más bajo de relación de vacíos (PGT-2) es a su vez la menos porosa y con un alto peso unitario seco y por esto puede presentar una menor deformación.

Con respecto a la porosidad:

- Se puede observar de la mayoría de muestras que existen valores altos de porosidad sin embargo, como se ve más adelante, la permeabilidad de los suelos es clasificada de poco permeable a muy poco permeable, por lo que la conductividad del agua no es buena en la zona debido probablemente a poros no interconectados y fracciones arcillosas importantes.

Con respecto al grado de saturación:

- Los valores varían desde 50,5 % hasta 99,7%. La mayoría presenta valores altos de grado de saturación lo que muestra que gran cantidad de agua está siendo retenida en los suelos, esto asociado posiblemente a la importante fracción de finos, minerales arcillosos formados entre los poros por meteorización o que éstos no están interconectados.

Cuadro 4.5: Resumen de las propiedades físicas determinadas en las muestras de suelo recolectadas durante las campañas geológicas de 1995 y 1996

Código muestra	Gravedad Específica (g/cm ³)	Contenido de Humedad (%)
LG/1	2,68	-
LG/4	2,72	-
LG/5	2,74	-
GT-3	2,73	64
GT-4	2,66	66
GT-5	2,66	25
GT-6	2,67	19
GT-7	2,69	82
GT-8	2,69	78
GT-9	2,66	29
GT-11	2,74	193

LG: Pruebas geotécnicas realizadas por Chavarría (1996)

GT: Pruebas geotécnicas realizadas por Carrillo & Alfaro (1995)

4.1.2 Clasificación de suelos

La clasificación de suelos se realiza con base en las normas del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S) de la ASTM (1993) en la cual se consideran los parámetros obtenidos de los ensayos de límites de Atterberg y granulometría.

El ensayo de límites aplica solamente para suelos cohesivos y en granulometrías generalmente finas. Los ensayos granulométricos se realizaron vía húmeda.

En el **cuadro 4.6** se observan los resultados de los límites de consistencia y análisis granulométricos (porcentaje de finos, arenas y gravas) obtenidos en esta investigación y en el **cuadro 4.7** su clasificación respectiva según el S.U.C.S. (ASTM, 1993).

Cuadro 4.6: Resultados de los límites de Atterberg y ensayos granulométricos realizados a las muestras de suelo

Código muestra	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Finos (%)	Arena (%)	Grava (%)
PGT-1	59	30	29	71,1	21,4	7,5
PGT-2	92	58	34	86,0	11,5	2,5
PGT-3	103	61	42	68,2	28,5	3,3
PGT-4	61	39	22	86,8	13,2	0,0
PGT-5	60	40	20	48,2	49,5	2,3
PGT-7	69	47	22	88,4	11,6	0,0
PGT-8	54	28	26	47,1	23,5	29,4
PGT-9	60	41	19	72,7	19,4	7,9
PGT-10	58	35	23	64,9	35,1	0,0
PGT-11	73	47	26	86,1	13,9	0,0
PGT-12	60	40	20	68,4	12,8	18,8
PGT-13	68	42	26	88,3	11,0	0,7
PGT-14	85	52	33	91,3	7,7	1,0

Cuadro 4.7: Clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (ASTM, 1993)

Código muestra	Clasificación de suelos	Correlación con formación geológica	Referencia
PGT-1	Arcilla gruesa con arena (CH), de plasticidad alta	Fm. Uscari	Margen derecha Río Calvario, camino hacia Bajo 52 Millas
PGT-2	Limo elástico (ME), de plasticidad extremadamente alta	Fm. Doán	Bajo Los Mora
PGT-3	Limo elástico arenoso (ME), de plasticidad extremadamente alta	Fm. Doán	Escuela Pilón de Azúcar
PGT-4	Limo elástico (MH), de plasticidad alta	Fm. Doán	Escuela del poblado Flor
PGT-5	Limo elástico arenoso (MH), de plasticidad alta	Fm. Doán	Escuela de Tres Equis
PGT-7	Limo elástico (MH), de plasticidad alta	Fm. Doán	Terreno en Barrio San Martín
PGT-8	Arcilla gruesa gravosa con arena (CH), de plasticidad alta	Fm. Doán	Terreno detrás de Cabinas “El paso del viento y su magia”
PGT-9	Limo elástico con arena (MH), de plasticidad alta	Fm. Doán	Escuela San Pablo
PGT-10	Limo elástico arenoso (MH), de plasticidad alta	Fm. Río Banano	Finca Calvo/Balneario Sacramento
PGT-11	Limo elástico (MV), de plasticidad muy alta	Fm. Doán	Casa en centro Tres Equis (oficina ASADA)
PGT-12	Limo elástico gravoso (MH), de plasticidad alta	Fm. Doán	Plaza nueva de Tres Equis
PGT-13	Limo elástico (MH), de plasticidad alta	Fm. Doán	Finca Blake
PGT-14	Limo elástico (MV), de plasticidad muy alta	Fm. Doán	Escuela Chitaría

En el **cuadro 4.8** se observan los resultados de los límites de consistencia y análisis granulométricos (porcentaje de finos, arenas y gravas) realizados durante las campañas geológicas de 1995 y 1996 y en el **cuadro 4.9** su clasificación respectiva según el S.U.C.S.

Cuadro 4.8: Resultados de los límites de Atterberg y ensayos granulométricos realizados durante las campañas geológicas de 1995 y 1996

Código muestra	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Finos (%)	Arena (%)	Grava (%)
LG/1	73,7	41,3	32,4	21,94	78,06	0,0
LG/4	73,5	47,1	26,4	21,20	78,8	0,0
LG/5	145,6	63,9	81,7	42,49	57,51	0,0
GT-3	62,8	38,1	24,7	12,05	87,95	0,0
GT-4	-	-	-	5,09	93,52	1,38
GT-5	-	-	-	8,86	55,75	35,39
GT-6	-	-	-	9,58	58,28	32,14
GT-7	79,2	57,0	22,2	84,21	15,79	0,0
GT-8	79,5	40,7	38,8	14,87	85,13	0,0
GT-9	-	-	-	4,68	90,52	4,80
GT-11	81,8	40,4	41,3	83,19	16,81	0,0

LG: Pruebas geotécnicas realizadas por Chavarría (1996)

GT: Pruebas geotécnicas realizadas por Carrillo & Alfaro (1995)

Como se observa en el **gráfico 4.1** de las 20 muestras que presentan límites de consistencia incluyendo las muestras analizadas en esta investigación en conjunto con las de trabajos previos se clasifican según el British Standard Institution (B.S.I) la mayoría como limos; dentro de éstos 8 con plasticidades altas (MH), 7 con plasticidades muy altas (MV) y limos con plasticidades extremadamente altas (ME). **Gráfico 5.20** arcillas con plasticidad alta (CH).

El resto de muestras (4 en total) son suelos con fracciones más gruesas, por lo tanto no cohesivos.

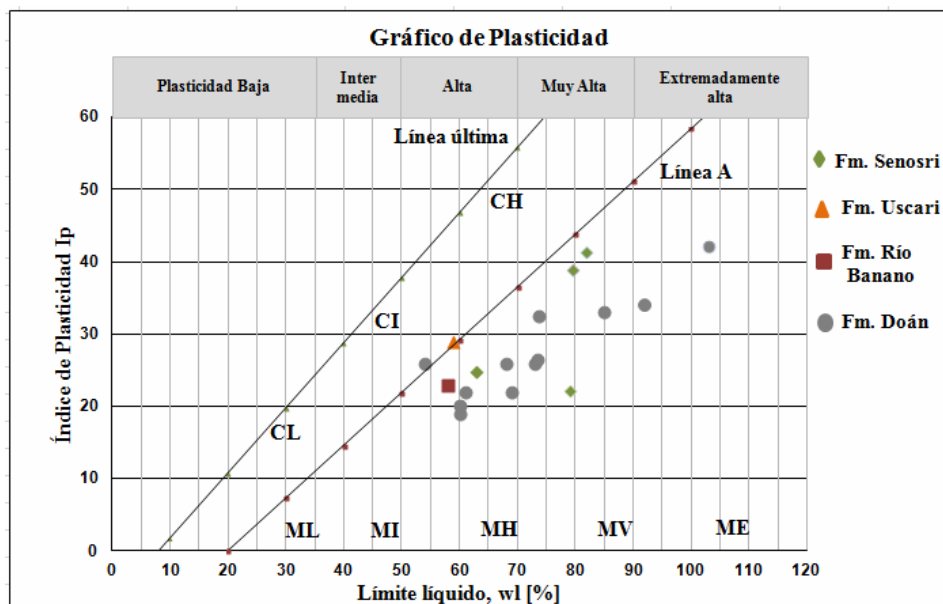


GRÁFICO 4.1: CLASIFICACIÓN DE PLASTICIDAD PARA MUESTRAS DE SUELO REALIZADAS DURANTE LAS CAMPAÑAS GEOLÓGICAS DE 1995, 1996 Y EN ESTA INVESTIGACIÓN

Cuadro 4.9: Clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (ASTM, 1993) realizados durante las campañas geológicas de 1995 y 1996

Código muestra	Clasificación de Suelos	Correlación con formación geológica	Referencia
LG/1	Limo elástico arenoso (MV), de plasticidad muy alta	Fm. Doán	Guanacasteca
LG/4	Limo elástico arenoso (MV), de plasticidad muy alta	Fm. Doán	Poblado Amistad
LG/5	Limo elástico arenoso (ME), de plasticidad extremadamente alta	Fm. Uscari	Quebrada Patincho
GT-3	Limo elástico arenoso (MH), de plasticidad alta	Depósitos de deslizamiento (Fm. Senosri)	Terreno Barrio San Martín
GT-4	Arena pobremente gradada (SP) con arcilla	Depósito de deslizamiento (Fm. Uscari)	Terreno cercanías de margen izquierda Q. Mata de Guineo
GT-5	Arena pobremente gradada (SP) con grava y arcilla	Depósito de deslizamiento (Fm. Uscari)	Margen izquierda Q. Mata de Guineo
GT-6	Arena pobremente gradada (SP) con grava y arcilla	Depósito de deslizamiento (Fm. Uscari)	Terreno cercanías de margen derecha Q. Mata de Guineo
GT-7	Limo elástico con arena (MV), de plasticidad muy alta	Depósito de deslizamiento (Fm. Senosri)	Camino hacia Río Pacuare, entre quebrada Danta y Sartén
GT-8	Limo elástico arenoso (MV), de plasticidad muy alta	Fm. Senosri	Camino hacia Río Pacuare por actual Finca Tres Equis (Heriberto Abarca)
GT-9	Arena pobremente gradada (SP)	Fm. Uscari	Poblado Ganga
GT-11	Limo elástico con arena (MV), de plasticidad muy alta	Fm. Senosri	Camino hacia Río Pacuare por actual Finca Tres Equis (Heriberto Abarca)

LG: Pruebas geotécnicas realizadas por Chavarría (1996)

GT: Pruebas geotécnicas realizadas por Carrillo & Alfaro (1995)

Para mostrar la totalidad de suelos clasificados en el área de estudio para cada formación litológica se utilizaron los siguientes rangos y su calificativo respectivo R. Mora, com. pers., 2013:

- Si se presenta > 40% entonces se califica o se indica como: *el constituyente principal es ...*
- Si se encuentra entre 20 – <40%: *con cantidad importante de ...*
- Entre 12 – <20%: *con algo de ...*
- Entre 5 – <12%: *con cantidad menor de ...*
- <5%: *con trazas de ...*

Por lo tanto, relacionando las formaciones litológicas presentes con los suelos residuales, su respectiva clasificación según S.U.C.S y los rangos indicados por R. Mora, com. Pers., 2013, se tiene que:

- En el **gráfico 4.2** se puede observar que en los suelos residuales provenientes de la Formación Doán su constituyente principal corresponde con limos elásticos (MH) de plasticidad alta (46,2%), con cantidad importante de limos elásticos (MV) de plasticidad muy alta (30,8%), con algo de limo elástico (ME) de plasticidad extremadamente alta (15,4%) y con cantidad menor de arcilla gruesa gravosa con arena (CH) de plasticidad alta (7,7%).

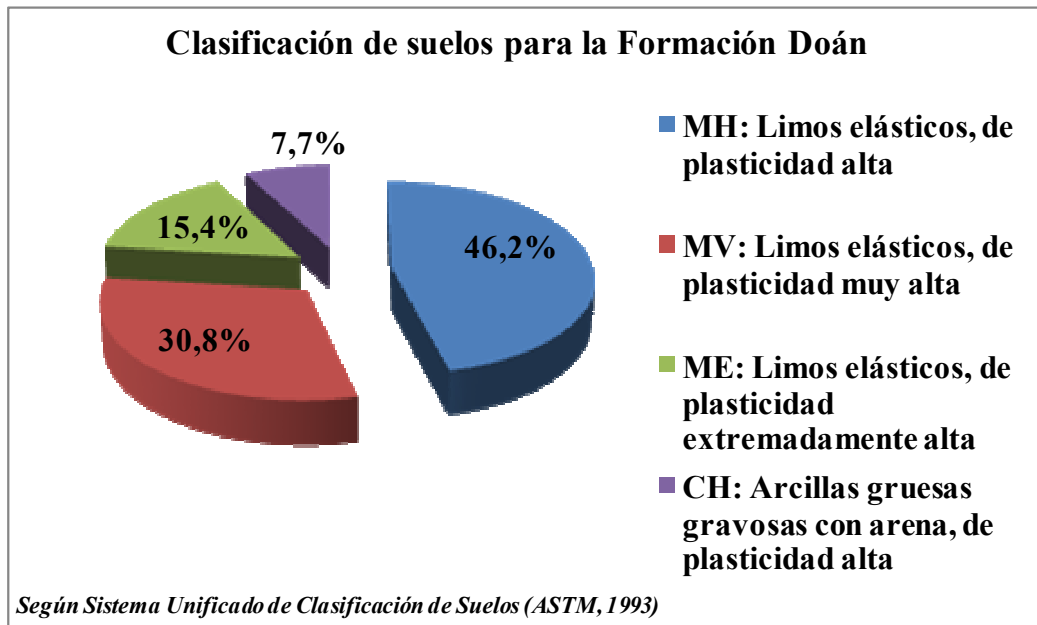


GRÁFICO 4.2: CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA LA FORMACIÓN DOÁN

- Del **gráfico 4.3** se destaca que los suelos residuales provenientes de la Formación Uscari varían dependiendo de si se muestrean zonas donde prevalecen lutitas o areniscas. Su constituyente principal corresponde con arenas pobremente gradadas (SP) con contenidos variables de arcilla y grava (66,7%) especialmente hacia el río Pacuare y hacia el río Reventazón con algo de arcillas gruesas con arena (CH) de plasticidad alta (16,7%) y algo de limos elásticos arenosos (ME) de plasticidad extremadamente alta (16,7%).

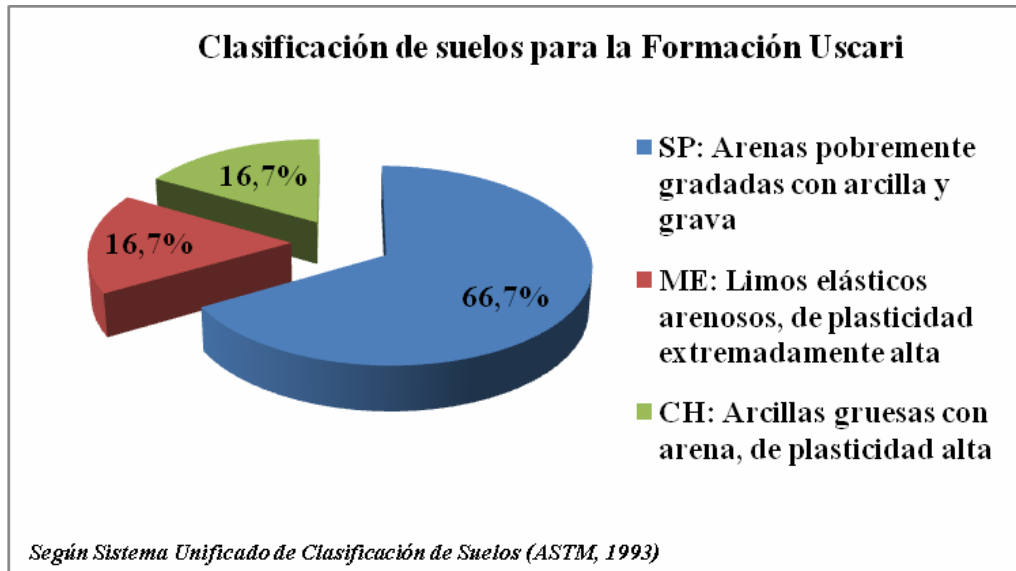


GRÁFICO 4.3: CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA LA FORMACIÓN USCARI

- En el **gráfico 4.4** se puede ver que en los suelos residuales provenientes de la Formación Senosri su constituyente principal corresponde con limos elásticos arenosos (MV) de plasticidad muy alta (75%) y con cantidad importante de limos elástico arenosos (MH) de plasticidad alta (25%).

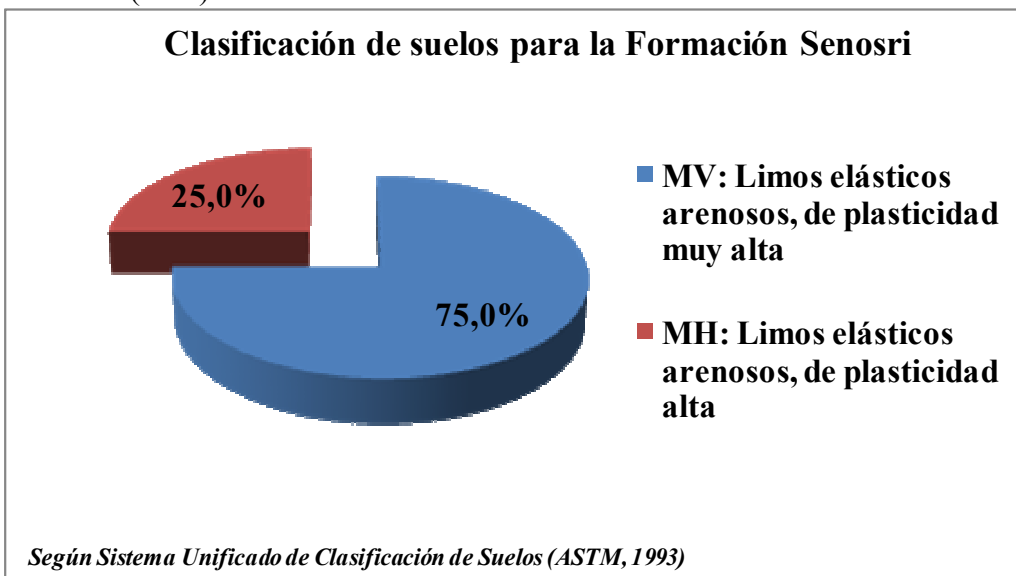


GRÁFICO 4.4: CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA LA FORMACIÓN SENOSRI

- Los suelos residuales provenientes de la Formación Río Banano (en una única muestra realizada) corresponden con limos elásticos arenosos (MH) de plasticidad alta (100%).

Como se puede ver en la **figura 4.3**, los suelos son en su mayoría limos con variable plasticidad provenientes principalmente de la meteorización de rocas volcánicas; sin embargo hay que considerar que esta propiedad de plasticidad puede variar según la ubicación de los muestreos como por ejemplo si se efectúa en cortes de talud, zonas deprimidas, parte alta de las colinas o áreas con cierta intervención donde se ven expuestas de manera diferente a las condiciones climáticas y de erosión. También se presentan arenas pobremente gradadas (SP) hacia el río Pacuare producto en algunos de los puntos de depósitos de deslizamiento. El sector de color gris hacia el río Pacuare corresponde con la Fm. Tuis sin embargo, no hay muestreos en esta zona por lo que no se clasificó este sector.

4.1.3 Propiedades mecánicas de los suelos

Corte directo consolidado-drenado (CD)

En el **cuadro 4.10** se observan los resultados de los parámetros de resistencia al corte de las muestras de esta investigación y en el **cuadro 4.11** para las muestras realizadas en las campañas geológicas de 1995 y 1996.

Este tipo de ensayo se realiza en condiciones de saturación y sin alterar; además las muestras son pre-consolidadas.

Cuadro 4.10: Cohesión y ángulo de fricción de las muestras de suelo recolectadas

Código muestra	Cohesión (kPa)	Ángulo de Fricción	Correlación con formación geológica
PGT-1	6	29°	Fm. Uscari
PGT-2	8	27°	Fm. Doán
PGT-3	17	27°	Fm. Doán
PGT-4	1	48°	Fm. Doán
PGT-5	9	24°	Fm. Doán
PGT-7	11	30°	Fm. Doán
PGT-8	10	30°	Fm. Doán
PGT-9	5	32°	Fm. Doán
PGT-10	1	40°	Fm. Río Banano
PGT-11	8	32°	Fm. Doán
PGT-12	6	41°	Fm. Doán
PGT-13	6	33°	Fm. Doán
PGT-14	5	30°	Fm. Doán

Según Mora (1998) se espera que los suelos compuestos por partículas de tamaño limo desarrollen una resistencia por fricción, ya que en los limos las partículas son muy finas por lo que existe un contacto directo entre ellas. Como se puede observar del **cuadro 4.10** la mayoría de muestras presentan cohesiones bajas y ángulos de fricción altos lo que significa según Montes (2007) que la resistencia proviene principalmente de la fricción interna de las partículas y no de la cohesión de los materiales.

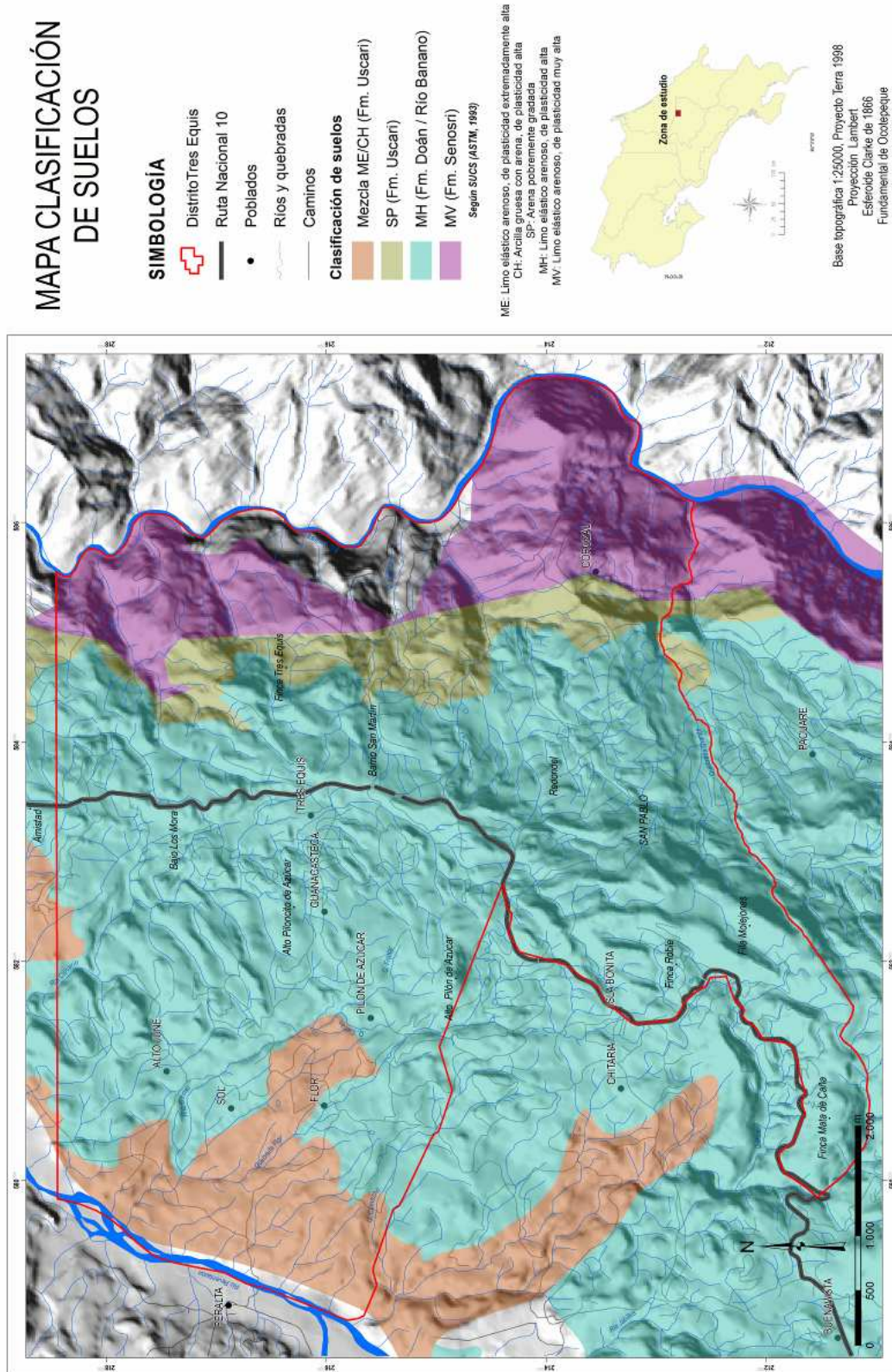


FIGURA 4.3: MAPA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (ASTM, 1993)

Cuadro 4.11: Cohesión y ángulo de fricción de las muestras de suelo recolectadas durante las campañas geológicas de 1995 y 1996

Código muestra	Cohesión (kPa)	Ángulo de Fricción	Correlación con formación geológica
LG/1	7,49	27,9°	Fm. Doán
LG/4	8,15	31,7°	Fm. Doán
LG/5	26,79	7,4°	Fm. Uscari
GT-3	3,77	30,10°	Depósitos de deslizamiento (Fm. Senosri)
GT-4	2,18	36,30°	Depósito de deslizamiento (Fm. Uscari)
GT-5	4,91	34,30°	Depósito de deslizamiento (Fm. Uscari)
GT-6	1,94	29,0°	Depósito de deslizamiento (Fm. Uscari)
GT-7	7,06	28,8°	Depósito de deslizamiento (Fm. Senosri)
GT-8	1,24	21,5°	Fm. Senosri
GT-11	17,71	18,0°	Fm. Senosri

Cuadro 4.12: Datos estadísticos para propiedades mecánicas determinadas en esta investigación y durante las campañas geológicas de 1995 y 1996

Fm. Uscari			Fm. Doán			Fm. Senosri		
Valores	Cohesión (kPa)	Ángulo de Fricción	Valores	Cohesión (kPa)	Ángulo de Fricción	Valores	Cohesión (kPa)	Ángulo de Fricción
Máximo	26,8	36,3	Máximo	17	48	Máximo	17,7	30,1
Código muestra	LG/5	GT-4	Código muestra	PGT-3	PGT-4	Código muestra	GT-11	GT-3
Mínimo	1,9	7,4	Mínimo	1	24	Mínimo	1,2	18
Código muestra	GT-6	LG/5	Código muestra	PGT-4	PGT-5	Código muestra	GT-8	GT-11
Promedio	8,4	27,2	Promedio	7,8	31,8	Promedio	7,4	24,6
Desviación estándar	10,4	11,5	Desviación estándar	3,8	6,3	Desviación estándar	7,2	5,8

Del **cuadro 4.12** se tiene que:

- Las cohesiones para la Fm. Uscari varían en un rango desde 1,9 hasta 26,8 kPa siendo más representativa esta última. Los ángulos de fricción varían entre 7,4 a 36,3°.
- Las cohesiones para la Fm. Doán varían en un rango desde 1 hasta 17 kPa. Los ángulos de fricción varían entre 24 a 48°.
- Las cohesiones para la Fm. Senosri varían en un rango desde 1,2 hasta 17,7 kPa. Los ángulos de fricción varían entre 18 a 30,1°.
- La cohesión para la Fm. Río Banano es de 1 kPa y el ángulo de fricción de 40°.

Si se considera toda el área incluyendo la totalidad de formaciones litológicas se tiene que la muestra de la Fm. Uscari (LG/5) presenta la cohesión más alta y el ángulo de fricción más bajo; mientras que la muestra de la Fm. Doán (PGT-4) presenta la cohesión más baja y por lo tanto el ángulo de fricción más alto.

4.1.4 Propiedades hidráulicas de los suelos

La conductividad hidráulica se determinó mediante 10 ensayos efectuados con el Permeámetro de Guelph y en condiciones saturadas del terreno (**figura 4.4**). En el **cuadro 4.13** se muestran únicamente aquellos puntos (5) en los cuales durante una hora de muestreo mostraron datos de conductividad hidráulica.

Se tiene por lo tanto que en los puntos de muestreo PGT-1, PGT-3, PGT-7, PGT-9 y PGT-13 después de una hora de ensayo no se registró ningún dato de conductividad hidráulica.

Cuadro 4.13: Ensayo de conductividad hidráulica (Ensayo de permeabilidad)

Código muestra	Profundidad del agujero (m)	Conductividad hidráulica (cm/s)	Clasificación de permeabilidad	Características de drenaje	Correlación con formación geológica
PGT-4	0,70	3,1E-06	Muy poco permeable	Pobre	Fm. Doán
PGT-5	0,40	3,2E-04	Poco permeable	Bueno	Fm. Doán
PGT-6	0,50	6,9E-05	Poco permeable	Pobre	Fm. Doán
PGT-8	0,57	1,8E-05	Poco permeable	Pobre	Fm. Doán
PGT-14	0,63	2,6E-05	Poco permeable	Pobre	Fm. Doán



FIGURA 4.4. ENSAYO DE PERMEABILIDAD CON LA PRESENCIA DE ALUMNOS DE LA ESCUELA FLOR. COORDENADAS: 215546 N / 580596 E

En el **cuadro 4.14** se observa un ensayo realizado por Mora (2008) a través de Servicios Especializados de Laboratorio de Suelos y Rocas (Proyecto 0960 FUNDEVI-UCR).

Cuadro 4.14: Ensayo de conductividad hidráulica en Salón Comunal Multiuso, San Pablo, Tres Equis.

Código muestra	Profundidad del agujero (m)	Conductividad hidráulica (cm/s)	Clasificación de permeabilidad	Características de drenaje
SP3X04	0,70	8,2E-05	Poco permeable	Pobre

El rango de conductividades hidráulicas en la Fm. Doán varía entre 3,1E-06 hasta 3,2E-04 con suelos muy poco permeables a poco permeables.

4.1.5 Ensayos penetrométricos dinámicos (DPL)

En el **cuadro 4.15** se observan los resultados de un ensayo realizado en esta investigación en el Colegio de Tres Equis (PGT-6); además una prueba con código SP3X02 realizada por Mora (2008) a través de Servicios Especializados de Laboratorio de Suelos y Rocas (Proyecto 0960 FUNDEVI-UCR) en el Salón Comunal Multiuso de San Pablo.

Cuadro 4.15: Ensayo de DPL en Colegio de Tres Equis (PGT-6) y Salón Comunal Multiuso, San Pablo, Tres Equis (SP3X02).

PGT-6		SP3X02	
Espesor (cm)	Descripción	Espesor (cm)	Descripción
0 - 60	Arcilla limosa poco consistente	0 - 40	Suelo orgánico sin consistencia
60 - 100	Limo arcilloso moderadamente consistente	40 - 150	Arcilla poco consistente
100 - 120	Arcilla limosa	150 - 170	Limo arcilloso
120 - 140	Limo arcilloso consistente	170 - 230	Arcilla moderadamente consistente
140 - 220	Arcilla limosa moderadamente consistente	230 - 260	Limo arcilloso consistente
220 - 230	Limo arcilloso	260 - 290	Limo consistente
230 - 260	Roca meteorizada muy consistente	290 - 310	Limo arcilloso
260 - 400	Limo consistente	310 - 370	Roca meteorizada
400 - 410	Roca meteorizada muy consistente		

Del **cuadro 4.15** con los resultados de los ensayos de DPL se observan perfiles de suelo característicos de la Formación Doán siendo dominados por fracciones limosas y arcillosas.

4.1.6 Difractometría de rayos X para reconocimiento de minerales arcillosos

Esta metodología para la identificación de grupos de arcillas fue aplicada y analizada gracias a la cortesía y colaboración del personal del Área de Geociencias, Centro de Servicios de Recursos Geotérmicos del Instituto Costarricense de Electricidad, Campo Geotérmico Miravalles.

El análisis se realizó en lutitas y areniscas finas de la Fm. Uscari y la ubicación respectiva de los muestreos se puede observar en el **cuadro 4.16**.

Cuadro 4.16. Ubicación de muestras para difractometría de rayos X

Código muestra	Coordenadas Lambert		Referencia
	X (E)	Y (N)	
Uscari 1 Burro Car 1	579370	216751	Camino hacia río Reventazón (fig.2.8)
Uscari 1 Burro Car 2	579628	216857	Afluente quebrada la Flor
Uscari 2 Calvario	581410	219065	Vado sobre río Calvario (fig.2.16)

Los dos procesos empleados consisten en el barrido de roca total y por centrifugación para separar los minerales livianos. El detalle y procedimiento de estas técnicas puede observarse en el **Anexo E**.

En los barridos realizados de roca total se identificaron los minerales del **cuadro 4.17** y en el **cuadro 4.18** se presentan los resultados de los barridos realizados a las muestras por el método de separación de arcillas.

Cuadro 4.17. Minerales identificados en análisis de roca total de las muestras Fm. Uscari. Tomado de: Centro de Servicios de Recursos Geotérmicos del Instituto Costarricense de Electricidad. (Anexo E: figuras 1 a 4)

Código	Minerales identificados
Uscari 1 Burrocar 1	Montmorillonita, cuarzo, calcita, anortita sódica y hematita
Uscari 1 Burrocar 2	Montmorillonita, cuarzo, calcita, andesina y hematita
Uscari 2 Calvario	illita/montmorillonita (5% de illita), nimita, cuarzo, calcita y andesina
Uscari 2 Calvario (calentada a 550°C)	illita, cuarzo, calcita y andesina

Cuadro 4.18. Minerales identificados en análisis de las muestras de la Fm. Uscari por el método de separación de arcillas. Tomado de: Centro de Servicios de Recursos Geotérmicos del Instituto Costarricense de Electricidad. (Anexo E: figuras 5 a 7)

Código	Minerales identificados
Uscari 1 Burrocar 1	Montmorillonita, cuarzo y calcita
Uscari 1 Burrocar 2	Montmorillonita, cuarzo y calcita
Uscari 2 Calvario	Illita/montmorillonita (5% de illita), nimita, cuarzo y calcita

De los **cuadros 4.17** y **cuadro 4.18** se observa que en la Fm. Uscari hacia el sector cercano al río Reventazón hay presencia de montmorillonita e illita, minerales arcillosos con características expansivas. También con base en los resultados de porcentaje de finos y límite líquido y por comparación con el **cuadro 4.19** se pudo hacer una estimación de una expansividad de media a alta correspondiente con un grado III.

Cuadro 4.19. Grados de expansividad y valores medios de parámetros geotécnicos. Modificado de: Vallejo, G. (2002)

Finos (%)	Límite líquido	Grado	Expansividad
< 30	< 35	I	Baja
30 – 60	35 – 50	II	Baja a media
60 - 95	50 - 65	III	Media a alta
> 95	> 65	IV	Muy alta

4.2 Determinación de susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos

Para la determinación de la susceptibilidad a los deslizamientos en el distrito de Tres Equis, se aplicó la modificación al método Mora & Vahrson (1992), denominado Mora-Vahrson-Mora o MVM (Mora *et al.*, 2002). Esta metodología permite obtener una zonificación de la susceptibilidad del terreno a deslizarse, mediante la combinación de la valoración y peso relativo de diversos indicadores morfodinámicos, la cual es sencilla de implementar mediante un Sistema de Información Geográfica (Mora *et al.*, 2002).

Según Mora *et al.* (2002), las modificaciones en esta metodología corresponden con un análisis de pendientes en lugar del parámetro de relieve relativo, así como la consideración dentro de la susceptibilidad litológica, de parámetros de resistencia al corte de suelos y posiblemente clasificación de macizos rocosos según Bieniawski (1989).

El método MVM permite obtener una zonificación de la susceptibilidad del terreno a deslizarse, mediante la combinación de la valoración y peso relativo de indicadores morfodinámicos (Mora *et al.*, 2002). Incluye los factores más significativos para la inestabilidad de laderas. Esta metodología no debe sustituir los estudios geotécnicos de campo y laboratorio, necesarios para el diseño y concepción de las obras civiles y sus complementos de protección y mitigación correspondientes (Mora *et al.*, 1992). La metodología tampoco es capaz de pronosticar el tipo de deslizamiento que podría presentarse (Mora *et al.*, 1992). Además se ensayó otra modificación al método aplicando parámetros geomorfológicos, esperando resultados más afines con la realidad, ya que se utiliza como complemento la percepción remota.

La metodología en general se aplica mediante la combinación de varios factores y parámetros, los cuales se obtienen de la observación y medición de indicadores morfodinámicos y su distribución espacio-temporal (Mora *et al.*, 1992). En esta investigación se utilizó la base topográfica Terra a escala 1:25 000 y a partir de ella se generó un modelo digital del terreno con tamaño de pixel de 20 x 20 m.

La combinación de los factores y parámetros se realiza considerando que los deslizamientos ocurren cuando en una ladera, compuesta por una litología determinada, con cierto grado de humedad y con cierta pendiente, se alcanza un grado de susceptibilidad (elementos pasivos). Bajo tales condiciones, los factores externos y dinámicos, como son la sismicidad y las lluvias intensas (elementos activos), actúan como factores de disparo que perturban el equilibrio, la mayoría de las veces precario, que se mantiene en la ladera (Mora *et al.*, 1992). Experimentalmente se utilizaron parámetros con pesos específicos según la caracterización geomorfológica sugerida para este trabajo en específico. Se combinó con la caracterización litológica y humedad, y se excluyó el parámetro de pendiente. A la vez se intentó obtener un segundo resultado excluyendo el parámetro de humedad y combinando los parámetros de pendiente y litológicos.

El grado de susceptibilidad al deslizamiento es el producto de los elementos pasivos y de la acción de los factores de disparo (Mora *et al.*, 1992):

$$\mathbf{H} = \mathbf{EP} * \mathbf{D}$$

donde: H= grado de susceptibilidad al deslizamiento; EP= valor producto de la combinación de los elementos pasivos, y D= valor del factor de disparo.

Los elementos pasivos son los parámetros de susceptibilidades: litológica (S_L), de humedad del terreno (S_H) y de pendiente (S_P), y por tanto,

$$\mathbf{EP} = \mathbf{S}_L * \mathbf{S}_H * \mathbf{S}_P$$

Para este trabajo se propone la utilización de otro parámetro pasivo definido por la caracterización geomorfológica, sugiriéndose dos combinaciones,

$$\mathbf{EP} = \mathbf{S}_L * \mathbf{S}_H * \mathbf{S}_G \text{ ó } \mathbf{EP} = \mathbf{S}_L * \mathbf{S}_P * \mathbf{S}_G$$

Los factores de disparo se componen de los parámetros de: sismicidad (D_S) y lluvia (D_{LL}), y por tanto,

$$\mathbf{D} = \mathbf{D}_S + \mathbf{D}_{LI}$$

Sustituyendo los parámetros apropiados, la ecuación original se puede expresar como (Mora, R. *et al.*, 1992):

$$\mathbf{H} = (\mathbf{S}_L * \mathbf{S}_H * \mathbf{S}_P) * (\mathbf{D}_S + \mathbf{D}_{LI})$$

Mientras que utilizando las variaciones con el parámetro geomorfológico,

$$\mathbf{H} = (\mathbf{S}_L * \mathbf{S}_H * \mathbf{S}_G) * (\mathbf{D}_S + \mathbf{D}_{LI}) \text{ ó}$$

$$\mathbf{H} = (\mathbf{S}_L * \mathbf{S}_G * \mathbf{S}_P) * (\mathbf{D}_S + \mathbf{D}_{LI})$$

De esta ecuación se pueden derivar las relaciones por susceptibilidad separada, a sismicidad (H_S) y lluvia (H_{LL}):

$$\mathbf{H}_S = (\mathbf{S}_L * \mathbf{S}_H * \mathbf{S}_P) * (\mathbf{D}_S)$$

$$\mathbf{H}_{LI} = (\mathbf{S}_L * \mathbf{S}_H * \mathbf{S}_P) * (\mathbf{D}_{LI})$$

Para los resultados de la combinación de todos los factores no se puede establecer una escala de valores única, pues los mismos dependen de las condiciones de cada área estudiada. Por este motivo, se sugiere dividir el rango de valores obtenido, para el área de estudio, en cinco clases de susceptibilidad y asignar los calificativos que se presentan en el **cuadro 4.20**. El calificativo de susceptibilidad es una representación cuantitativa de los diferentes niveles de amenaza, que muestra solamente el rango de amenaza relativa en un sitio en particular y no la amenaza absoluta (Mora *et al.*, 2002).

Los autores enfatizan en que esta clasificación es relativa de la susceptibilidad, y se basa en la influencia que tienen las diferentes condiciones examinadas en un área específica. Es decir, las áreas de susceptibilidad determinadas para un sitio son válidas únicamente para este sitio. Condiciones similares, encontradas fuera del sitio, pueden producir un resultado diferente por una pequeña diferencia en alguno de los factores (Mora *et al.*, 1992).

Se analizarán, a continuación, las diferentes variables para el área de estudio.

Cuadro 4.20: Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento.
Tomado de Mora et. al. (2002)

Clase	Calificativo de susceptibilidad al 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.
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. 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.

4.2.1 Pendientes (S_p)

Este parámetro utiliza las clases de pendiente de van Zuidam (1986), con las cuales se describen los procesos característicos y esperados, y las condiciones del terreno, así como una leyenda de colores sugerida por el mismo autor (Mora *et al.*, 2002). Esta escala de colores ha sido ligeramente modificada en esta investigación para efectos visuales de fácil reconocimiento (**cuadro 4.21**). Las clases de pendientes pueden coincidir con los sectores críticos, donde los procesos de deslizamiento son dominantes tal como lo ha sugerido Mora *et al.*, 2002. Las pendientes para el área de estudio se muestran en la **figura 3.3** del capítulo de análisis geomorfológico.

Cuadro 4.21: Clases de pendientes, condiciones del terreno, colores sugeridos y valoración del parámetro SP. Modificado de Mora et. al. (2002)

Pendiente en grados	Condiciones del terreno	Color usado	Valor del parámetro S _p
0-2	Planicie, sin denudación apreciable	Blanco	0
2-4	Pendiente muy baja, peligro de erosión	Verde oscuro	1
4-8	Pendiente baja, peligro severo de erosión	Verde claro	2
8-16	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro severo de erosión.	Amarillo	3
16-35	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos	Naranja	4
35-55	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible	Rojo claro	5
> 55	Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales severos (caída de rocas), cobertura vegetal limitada	Morado	6

De la **figura 3.3** y **cuadro 4.21** se observa que en el distrito de Tres Equis predominan las pendientes fuertes abarcando un 36,4% del área, seguido por un 30,9% con pendientes moderadas, un 20,4% con pendientes bajas, un 6,7% con pendientes muy bajas y un 5,6% con pendientes muy fuertes.

4.2.2 Litología (S_L)

Los tipos de suelos y rocas desempeñan un papel preponderante en el comportamiento dinámico de las laderas. Según Mora *et al.*, 1992, la composición mineralógica, la capacidad de retención de humedad, los espesores y grado de meteorización, el estado de fracturamiento, el ángulo de buzamiento, la posición y variación de los niveles freáticos, influyen en la estabilidad de las laderas.

Para caracterizar el S_L se utilizó el **cuadro 4.22** con la clasificación de macizos rocosos RMR según Bieniawski, 1989.

Cuadro 4.22: Valoración del parámetro susceptibilidad litológica, caso macizos rocosos según RMR (Bieniawski, 1989)

Valoración RMR	Número de clase RMR	Descripción RMR	Valoración del parámetro S_L
< 20	V	Muy pobre o muy malo	5
21-40	IV	Pobre o malo	4
41-60	III	Medio	3
61-80	II	Bueno	2
81-100	I	Muy Bueno	1

Para los casos de los macizos rocosos del área de estudio tenemos las siguientes condiciones dadas a partir de las observaciones de campo y con base en las pruebas geotécnicas (**cuadro 4.23**).

Cuadro 4.23: Valoración del parámetro de susceptibilidad litológica

Formación geológica	Litología	RMR	Valoración del parámetro S_L
Fm. Uscari	Lutitas y areniscas finas	< 20 (muy pobre)	5
Fm. Doán	Flujos piroclásticos	21 – 40 (pobre)	4
Fm. Senosri	Areniscas finas	21 – 40 (pobre)	4
Fm. Río Banano	Areniscas gruesas y medias	21 – 40 (pobre)	4

4. 2.3 Humedad (S_H)

Para este parámetro se recurre a los promedios mensuales de precipitación, efectuando con ellos un balance hídrico simplificado tal como sugiere Mora *et al.*, 1992. Seguidamente, a los promedios mensuales se les asignan los valores del **cuadro 4.24** y se efectúa la suma de estos valores para los doce meses del año, con lo que se obtiene un valor que puede oscilar entre 0 y 24 unidades. El resultado refleja los aspectos relacionados con la saturación y la distribución temporal de humedad en el terreno según Mora *et al.*, 1992. La valoración del parámetro se presenta en el **cuadro 4.25**.

Cuadro 4.24: Valores asignados a los promedios mensuales de lluvia. Tomado de Mora et. al. (2002)

Promedio de precipitación mensual (mm)	Valor asignado
< 125	0
125-250	1
>250	2

**Cuadro 4.25: Valoración del parámetro humedad del terreno (SH).
Tomado de Mora et. al. (2002)**

Suma de valores asignados a cada mes	Descripción	Valoración del parámetro 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 tal efecto, en el Mapa Climatológico de Costa Rica (Hernández, 2005) se buscó datos de lluvia en las cercanías del área (**cuadro 4.26**). Según este, los datos de precipitación arrojan una isoyeta que divide en dos secciones el distrito, norte y sur. Los datos consignados oscilan entre ambos sectores del distrito entre 319-383mm, otorgándose un valor de 2 (**cuadro 4.20**).

Cuadro 4.26: Valores de precipitación del área. Tomado de Hernández (2005)

Sector	Sur Distrito Tres Equis	Norte Distrito Tres Equis
PRECIPITACION ANUAL mm	3821	4595
PRECIPITACION MENSUAL mm	E277-F244-MZ146-AB271-MY263-JN391-JL393-AG362-S338-O303-N354-D479	E338-F250-MZ192-AB359-MY354-JN436-JL499-AG417-S378-O391-N481-D500

Nota: E277 se lee Enero 277 mm.

De modo tal, del **cuadro 4.25** se observa que la sumatoria mensual con base en los valores mencionados es de 23, y por tanto califica como “muy alto” asignándosele un valor S_H = 5.

4. 2.4 Geomorfología (S_G)

Las consideraciones geomorfológicas aportan características muy especiales del terreno asociadas al entendimiento de las condiciones y evolución del paisaje, por lo que este análisis es trascendental para el análisis de deslizamientos. Se estableció en el **cuadro 4.27** la valoración del parámetro geomorfológico según la caracterización presente en el área de estudio. Se sugieren valores de peso específicos para cada unidad geomorfológica delimitada según el **cuadro 4.28**.

Cuadro 4.27: Valoración del parámetro geomorfológico del terreno (SG).

Valor asignado	Índice de aporte a la susceptibilidad al deslizamiento	Características presentes en el área de estudio
3	Moderado	Susceptibilidad a deslizamiento moderada, en caso de lluvias constantes e intensas. Predominan los procesos de erosión fluvial generada por los principales sistemas de drenajes.
4	Alto	Susceptibilidad a deslizamientos alta, en caso de sismos con intensidades mayores a los V en escala Mercalli Modificada y precipitaciones diarias mayores al acumulado mensual. Es frecuente la ocurrencia de flujos de detritos.
5	Muy alto	Deslizamiento activo con presencia de grietas generadas por el desplazamiento diferencial del terreno, relieve ondulado y estancamientos de aguas entre las separaciones de las lomas. Se observa además, un proceso de reptación intenso. En caso de sismos con intensidades mayores a V en escala Mercalli Modificada y precipitaciones diarias mayores al acumulado mensual, se puede presentar aceleración en el movimiento de los bloques de deslizamientos y deformaciones en infraestructura. Los bloques de deslizamiento están delimitados por escarpes.

Los valores 1 y 2 no son representativos para el área de estudio.

Cuadro 4.28: Valores del parámetro geomorfológico del terreno (S_G).

Parámetro geomorfológico	Valor asignado	Índice de aporte
D1.3b	5	Muy alto
D1.3a	4	Alto
D1.3c	4	Alto
D1.1a	4	Alto
D1.1b	4	Alto
D1.1c	4	Alto
D1.2a	4	Alto
D1.2b	4	Alto
D2.a	3	Moderado
D2.b	3	Moderado
F1.a	2	Bajo
F1.b	2	Bajo
F1.c	2	Bajo
F2.a	2	Bajo

4.2.5 Disparo por lluvia (D_{LI})

En este parámetro se consideran las intensidades de lluvias potencialmente generadoras de deslizamientos. Se utiliza la lluvia máxima en 24 horas con un período de retorno de 100 años, aplicando la distribución de valores extremos Gumbel tipo I o LogPearson tipo III a series temporales con más de 10 años de registro tal como sugiere Mora *et al.*, 1992.

Cuadro 4.29: Valoración del parámetro de disparo por lluvias D_{LI} . Tomado de Mora *et al.* (2002)

Lluvia máxima en 24 horas, período de retorno 100 años (mm)	Descripción	Valor del parámetro D_{LI}
< 100	Muy bajo	1
100-200	Bajo	2
200-300	Medio	3
300-400	Alto	4
> 400	Muy alto	5

Para la obtención de este valor se utilizaron los datos del estudio de Vahrson & Dercksen (1990) los cuales posteriormente se compararon con el **cuadro 4.29** para definir la valoración del parámetro D_{LI} . Corresponden con las intensidades de lluvia para 5 minutos, considerado como el tiempo corto de mayor cantidad de agua posible. Para la estación Amistad se consideró 244,8 mm, Platanillo (229,2 mm), Pacuare (207,6 mm). También se utilizaron datos correspondientes a las precipitaciones diarias ocurridas durante diciembre de 1970 (IMN, 1988), donde se detectan lluvias diarias que alcanzaron hasta 290 mm.

Como el rango se encuentra entre 200 y 300 mm se asigna un valor para el parámetro D_{LI} de 3.

4.2.6 Disparo por sismicidad (D_S)

La sismicidad es el fenómeno de la geodinámica que causa el más notable disparo de deslizamientos en Costa Rica, y ejemplos notorios son los de los terremotos de Limón en 1991 (Mora & Mora, 1994) y Cinchona (Méndez *et al.*, 2009). Por eso Mora *et al.*, (1992) correlaciona con la escala de intensidades Mercalli-Modificada o con datos sobre aceleraciones pico (PGA). Los equivalentes que han usado para uno u otro parámetro, los han utilizado Mora *et al.* (1992) y Mora (2004) a partir de la relación de Trifunac & Brady (1975), para establecer los valores correspondientes del parámetro de disparo por sismicidad (D_S) (**Cuadro 4.30**).

**Cuadro 4.30: Valoración del parámetro de disparo por sismicidad DS.
Tomado de Mora et. al. (2002)**

Intensidad Mercalli-Modificada	Aceleración pico (% g) (Trifunac & Brady, 1975)	Valoración del parámetro D _s
I	0,3-0,6	1
II	0,6-1,1	2
III	1,1-2,2	3
IV	2,2-4,5	4
V	4,5-8,9	5
VI	8,9-17,7	6
VII	17,7-35,4	7
VIII	35,4-70,5	8
IX	70,5-140,8	9
X	140,8-280,8	10
XI	280,8-560,4	11
XII	> 560,4	12

Los valores para el parámetro de disparo por sismo a partir de la intensidad (MM), se pueden obtener de la máxima reportada por Morales & Aguilar (1993) y por Denyer *et al.*, (2003, 2009), la cual es de VII-VIII en el área de estudio. Por lo tanto, el factor de disparo por sismo conduce a una valoración del parámetro D_s de 8.

En la **figura 4.5** se puede observar una comparación de los mapas generados a partir de los 6 parámetros (pendiente, susceptibilidad litológica, humedad del terreno, geomorfología, disparo por lluvia y disparo por sismicidad).

Análisis de la susceptibilidad a deslizamientos en el distrito de Tres Equis: una base para la gestión del riesgo y ordenamiento territorial. Turrialba, Costa Rica

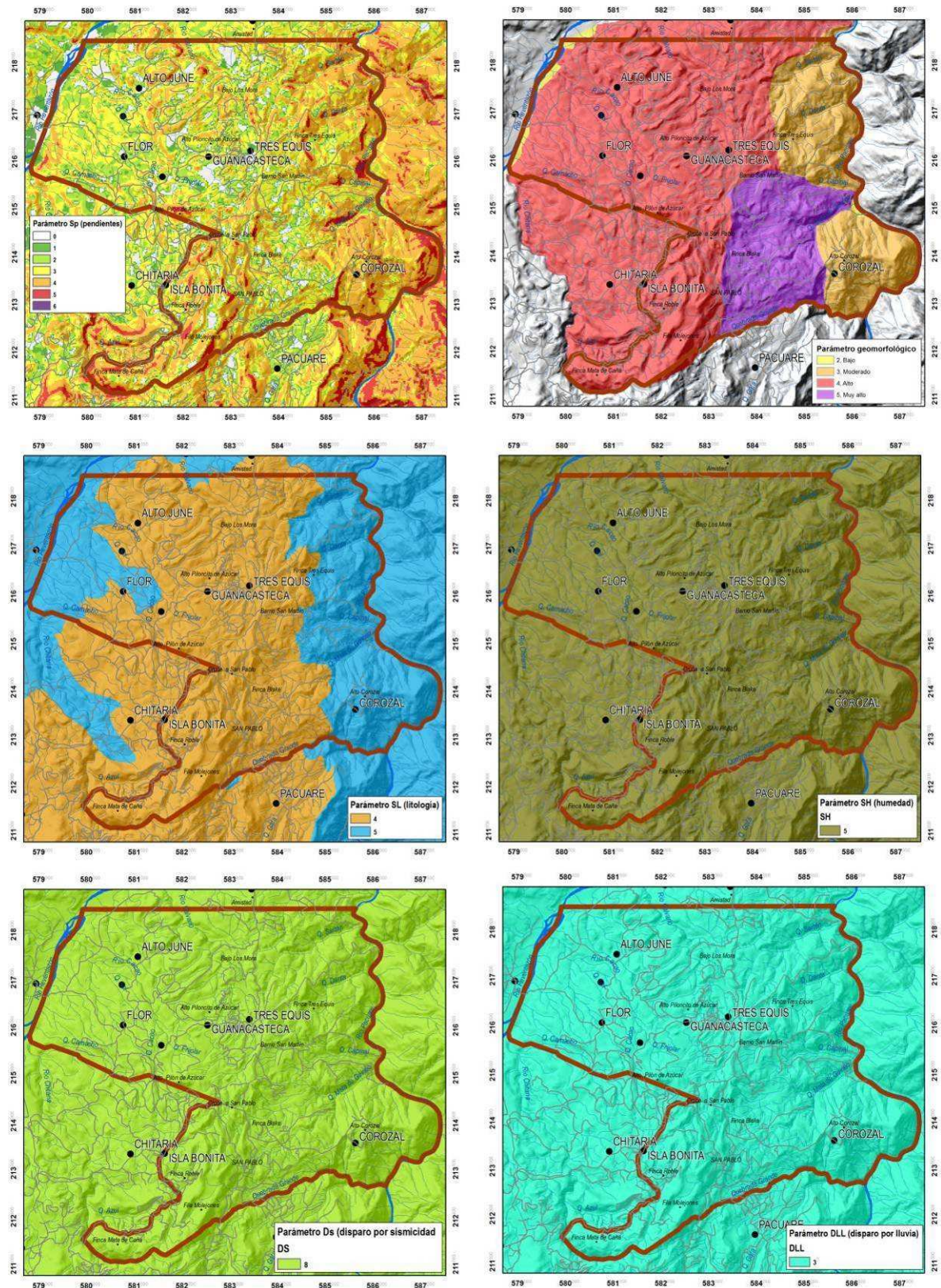


FIGURA 4.5: MAPAS DE PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL MODELO DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS SEGÚN METODOLOGÍA MORA-VARHSON-MORA (MVM) Y MODIFICADA

4.2.7 Susceptibilidad al deslizamiento del área de estudio

Una vez aplicados todos los parámetros a las fórmulas indicadas en el SIG, se obtienen tres mapas de susceptibilidad a los deslizamientos disparados por lluvias intensas o sismos importantes. Ambos fenómenos se pueden dar en conjunto o separados, de modo que puedan disparar los deslizamientos bajo diferentes circunstancias.

En la **figura 4.6**, identificado con 1, se observa el mapa de susceptibilidad a deslizamientos según el método Mora-Varhson-Mora, donde se combinan los parámetros condicionantes de litología, pendientes y humedad. Identificado con 2 se muestra el mapa resultante de la interacción de los parámetros condicionantes de litología, pendiente y geomorfología propuesta por Camacho *et al.*, (2004). Para el mapa 3 se utilizó la interacción entre parámetros condicionantes de geomorfología, humedad y litología, siendo este último el más representativo para el área.

Mediante la aplicación del método MVM se determinó que un 9,8% del área en el distrito de Tres Equis se clasifica con susceptibilidad muy baja a deslizamiento, un 17,8% como de baja susceptibilidad, 46% como moderada, un 22,6% como alta y un 3,9% como muy alta (**figura 4.6**).

Del mapa 1 se observa que los centros de población de Tres Equis, Flor, Alto June, Pílon de Azúcar y Pacuare se desarrollan sobre zonas de muy baja a baja susceptibilidad. Guanacasteca, Chitaría, Barrio San Martín y San Pablo lo hacen sobre zonas de baja a moderada, mientras que las áreas con susceptibilidad alta a muy alta se desarrollan preferencialmente hacia el extremo este del distrito, específicamente sobre las laderas que drenan directamente hacia el río Pacuare, entre ellas los cursos medios a inferior de las microcuencas de quebradas Capinal, Mata de Guineo, Danta y Sartén. También se denotaron con alta susceptibilidad las márgenes del curso bajo del río Chitaría-Camacho. Los terrenos con mayor susceptibilidad a deslizamiento se ubican sobre el bloque Pacuare.

De acuerdo a los datos obtenidos, aunado a las observaciones de campo, se establece que el resultado no se ajusta a la realidad de la geodinámica externa presente en el distrito. Ya que ubica al centro de población de Tres Equis dentro de un rango de muy baja susceptibilidad, mientras que las observaciones de campo determinan grietas, asentamientos y daños en la infraestructura asociados con movimientos en masa. Este resultado se desprende directamente del parámetro de pendiente, que para este caso tiene peso igual a cero (dentro del rango de 0° a 2°). También para este resultado, la descripción o recomendación sugerida por el método no se ajusta a la realidad. El **cuadro 4.20** menciona la posibilidad de medidas correctivas que para una zona donde se desarrollan movimientos en masa de gran extensión no es real, a pesar de contar con espacios relativamente planos.

El mapa 2 evidencia resultados mejorados de acuerdo con lo obtenido en el anterior, según lo observado en el campo. La componente geomorfológica otorga más peso a la condición inestable del distrito, más no deja de ser prioritaria y relevante el peso que aporta la componente pendiente, ya que el poblado principal de Tres Equis resulta con muy baja susceptibilidad. Resultan áreas con mayor susceptibilidad, principalmente demarcando zonas como San Pablo de Tres Equis, Pacuare, Finca Blake y San Martín con alta a muy alta susceptibilidad. Ello localizaría más acertadamente áreas que en campo presentan fuertes evidencias de inestabilidad.

El mapa 3 refleja de forma muy coherente la realidad de las zonas de inestabilidad, incluyéndose acá la comunidad de Tres Equis, Chitaría, Flor y Pílon de Azúcar, Alto June, Pílon y Sol dentro del rango de alta susceptibilidad, mientras que San Pablo, Pacuare, San Martín, finca Blake y río Chitaría con muy alta susceptibilidad. A diferencia de los dos mapas anteriores no se utiliza el parámetro de pendiente, reforzándose la componente geomorfológica con mayor peso al definir las zonas de susceptibilidad y a la vez quitando el poco peso que resulta la baja pendiente en zonas visiblemente inestables.

Como limitantes para el uso del método MVM en este caso específico, se menciona la escasez de datos a pequeña escala para los parámetros de disparo (lluvia y sismicidad). Los datos utilizados se usaron constantes para toda el área, por lo que no representa un elemento que modifique la influencia de este para áreas específicas en este trabajo. También el detalle topográfico es insuficiente, tomando en cuenta que en las visitas de campo se realizó un levantamiento minucioso que no se refleja a la escala existente (1:25000).

Con los ensayos realizados para la aplicación del método MVM y sus variantes, se concluye que el método no es determinante para zonas con pequeña escala a menos que se cuente con datos a detalle para cada parámetro. Tampoco es recomendable que se utilice el método por profesionales no expertos en el tema, ya que deben tomarse consideraciones especiales según la zona.

Para este caso en particular, la componente geomorfológica reveló resultados más cercanos a la realidad del distrito de Tres Equis, y que aun así no sustituye la recomendación de campo por un experto en el tema de amenaza y susceptibilidad de laderas.

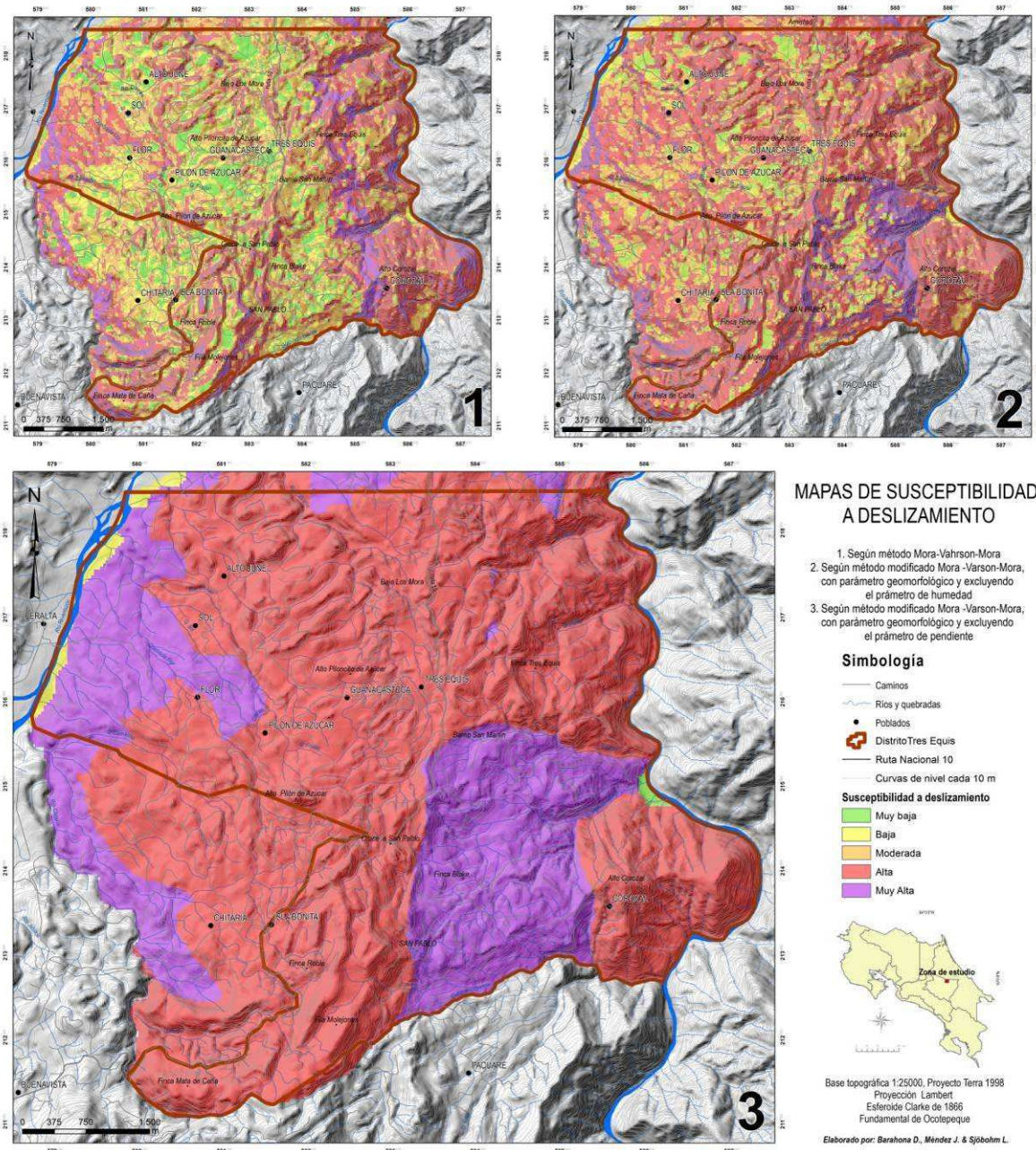


FIGURA 4.6: MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS, SEGÚN MVM Y MÉTODO MODIFICADO PARA COMPONENTE GEOMORFOLÓGICA

V. ELEMENTOS VULNERABLES EN EL POBLADO DE TRES EQUIS

Se describe en este capítulo los elementos vulnerables de mayor relevancia para la población de Tres Equis (zona urbana), siendo la infraestructura civil enmarcada en el aspecto habitacional, el elemento de mayor vulnerabilidad según la percepción de las personas entrevistadas.

Para la consecución de los datos sociales, se trabajó bajo la implementación de una combinación de tres metodologías que permitió obtener una visión general sobre las condiciones de vulnerabilidad expuestas en la comunidad de Tres Equis. Las metodologías implementadas fueron las siguientes: 5.1. *Análisis estadístico para conocer la percepción social de los entrevistados hacia el deslizamiento.* 5.2. *Implementación de talleres de percepción* y 5.3. *Inventario de daños en infraestructura civil para el centro de Tres Equis.*

5.1. Análisis estadístico para conocer la percepción social hacia el deslizamiento, por parte de las personas entrevistadas

El objetivo de la presente investigación es obtener, mediante la aplicación de entrevistas personales, un punto de referencia sobre el pensamiento popular en relación con la existencia de deslizamientos y otros peligros ya sea de índole geológico o humano a los que se ve expuesta la comunidad de Tres Equis, así como la percepción referente al grado de peligrosidad y conocimiento sobre el terreno en el que se asentó la comunidad. Los resultados de las encuestas y descripción popular del entorno de Tres Equis incorporan al análisis técnico del deslizamiento, obtenido mediante el estudio del medio geológico, geotécnico y geomorfológico, una visión social sobre la interacción comunidad – espacio.

Para conocer la opinión del entrevistado sobre deslizamientos y percepción del entorno de Tres Equis, se efectuó una encuesta estructurada por 20 preguntas (**Anexo F**). Las consultas formuladas presentaron una combinación de preguntas cerradas, las cuales proporcionarían información referente a la principal actividad económica de la comunidad, años de residencia en el poblado, edad, existencia de peligros naturales o humanos y sus posibles causas y efectos, percepción sobre el entorno natural y sobre el gobierno local, así como una serie de preguntas abiertas, mediante las cuales se obtendría una visión más amplia sobre la percepción del entrevistado respecto las amenazas que eventualmente podrían afectar a la población y referencia histórica sobre eventos naturales que impactaron a la comunidad.

La encuesta se aplicó a 30 personas, el equivalente a un 4,3% del total de la población ubicada en el sector urbano de Tres Equis, en la cual se incluyeron hombres y mujeres con

un rango de edad entre los 20 y 91 años; la selección de las personas entrevistadas se realizó mediante un muestreo intencional, debido a lo reducido de la muestra, donde se seleccionó de forma estratégica a personas que compartieran características típicas de la población residente en el área urbana del distrito, como el espacio geográfico, infraestructura vial, civil y que presentara como mínimo 5 años de residir en la comunidad de Tres Equis. La información de las encuestas fue procesada en Excel, en donde se elaboraron tablas y gráficos que fueron incorporadas en el análisis de los resultados; en el caso de preguntas abiertas, estas fueron incorporadas como complemento en el análisis de las preguntas que se dejaron cerradas. Diversos autores sugieren que para el caso de la investigación experimental, por su naturaleza y necesidad de control sobre las variables, se recomiendan muestras pequeñas que suelen ser de por lo menos 30 sujetos.

A continuación se describe cada uno de los resultados obtenidos, así como diversas relaciones que compararan la variable de edad contra peligros, percepción de daños y tiempo transcurrido de un evento.

- *Profesión u oficio de los entrevistados*

Como se observa en el **gráfico 5.1**, el principal oficio de los entrevistados corresponde con el de ama de casa, para un equivalente al 37% del total de la población entrevistada; le siguen los oficios de agricultor con un 17%, comerciante con un 13%, oficial de seguridad y educador con un 7%, mientras que en otros oficios se agruparon los de cocinera, fontanero, pensionados, ganadero y partera, que juntos alcanzan un 20%.

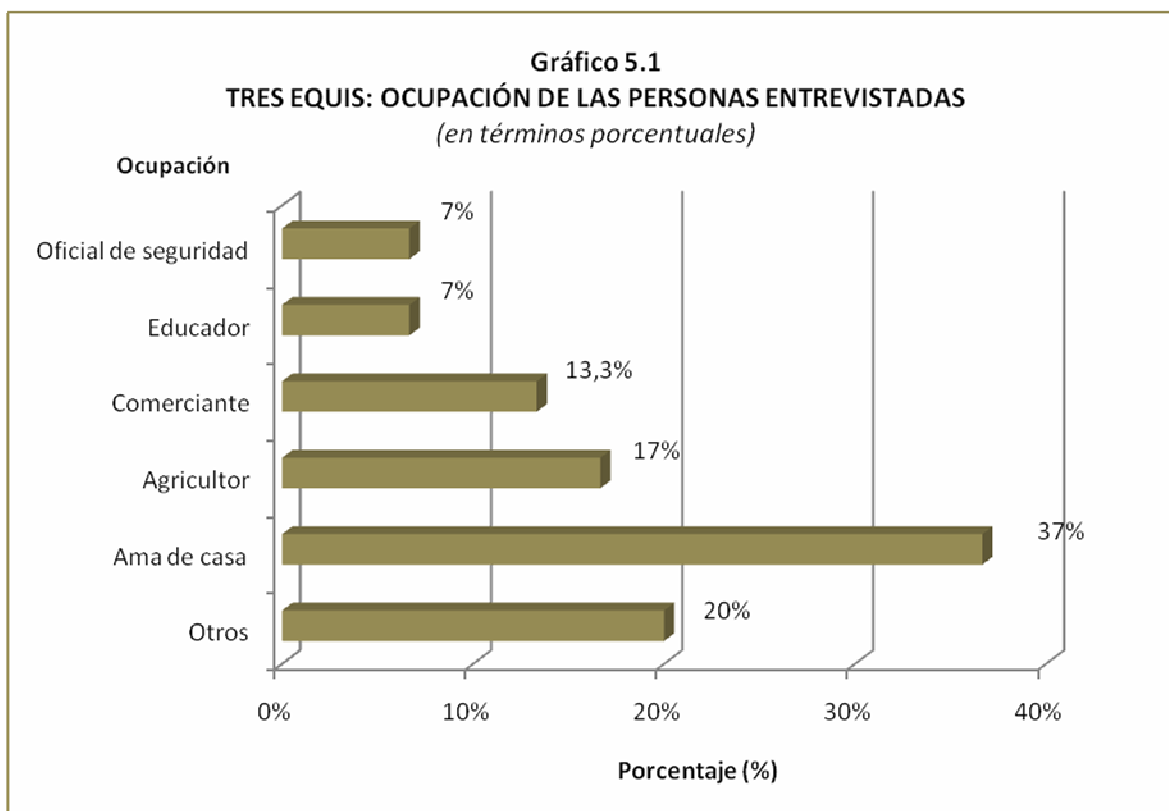


GRÁFICO 5.1. OCUPACIÓN DE LAS PERSONAS ENTREVISTADAS

- *Edad de los entrevistados*

Las edades de los entrevistados varían entre los 20 y 91 años. El rango de edad con la mayor cantidad de personas entrevistadas es el de los 31 - 40 años, que corresponde con un 33% del total de entrevistados. En el **gráfico 5.2** se observa la agrupación de los rangos de edades de las personas entrevistadas, con un 7% de personas con edades entre los 20-30 años, un 17% es mayor a los 60 años, un 20% se ubica en el rango de edad entre los 41-50 años y el 23% del total de los entrevistados presenta edades entre los 51-60.

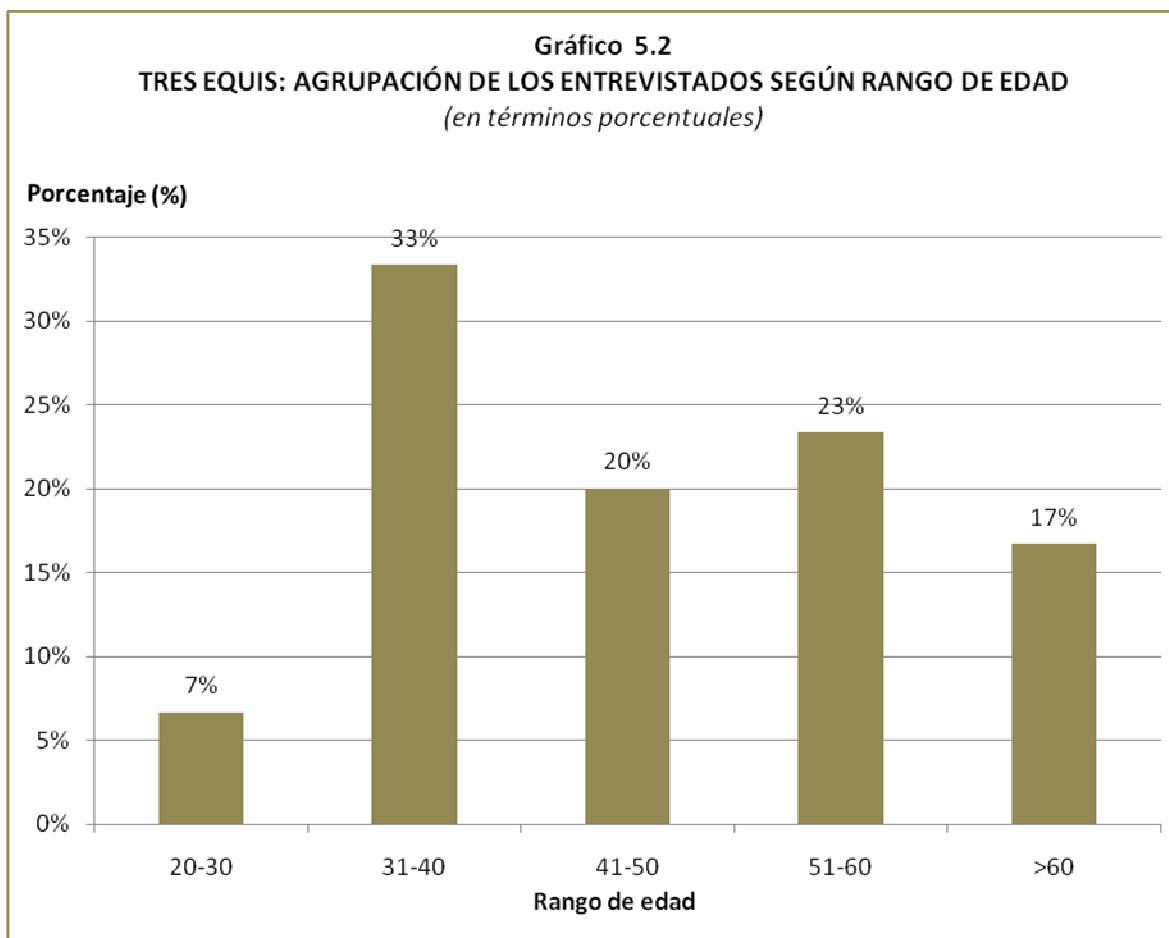


GRÁFICO 5.2. AGRUPACIÓN DE LOS ENTREVISTADOS SEGÚN EL RANGO DE EDAD.

- *Nivel de escolaridad de la población entrevistada*

Según se observa en el **gráfico 5.3** referente al nivel de escolaridad de los entrevistados, se tiene que un 51% del total de personas entrevistados posee primaria, esto por cuanto la mayoría de los entrevistados posee más de 40 años y crecieron en una época donde no se contaba con un centro educativo de secundaria en la zona, un 33% del total de los entrevistados posee nivel de primaria inconclusa, un 10% posee universitaria, un 3% secundaria y el restante 3% secundaria inconclusa.

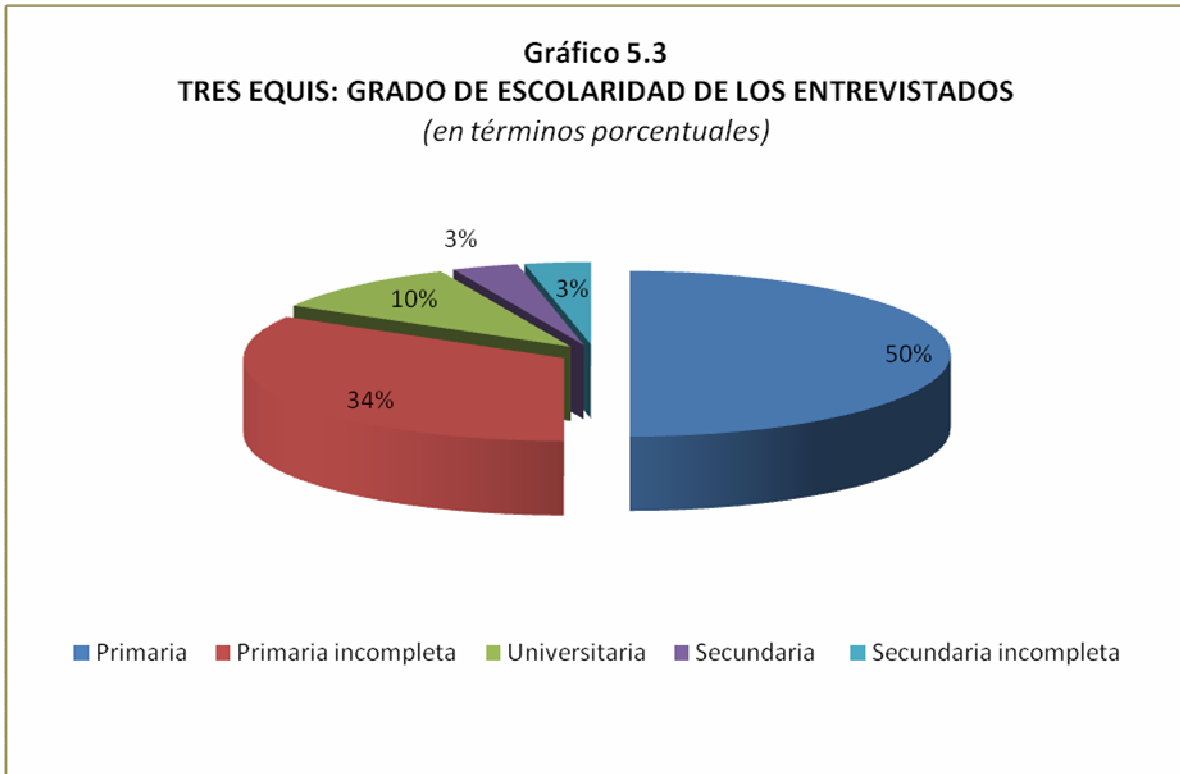


GRÁFICO 5.3. REPRESENTACIÓN DEL NIVEL DE ESCOLARIDAD DE LAS PERSONAS ENTREVISTADAS

- *Distribución de la población entrevistada por género*

El 63% del total de los entrevistados es femenino contra un 37% de masculinos (**gráfico 5.4.**), evidenciando una disposición a la participación en temas de investigación por parte de ambos géneros.

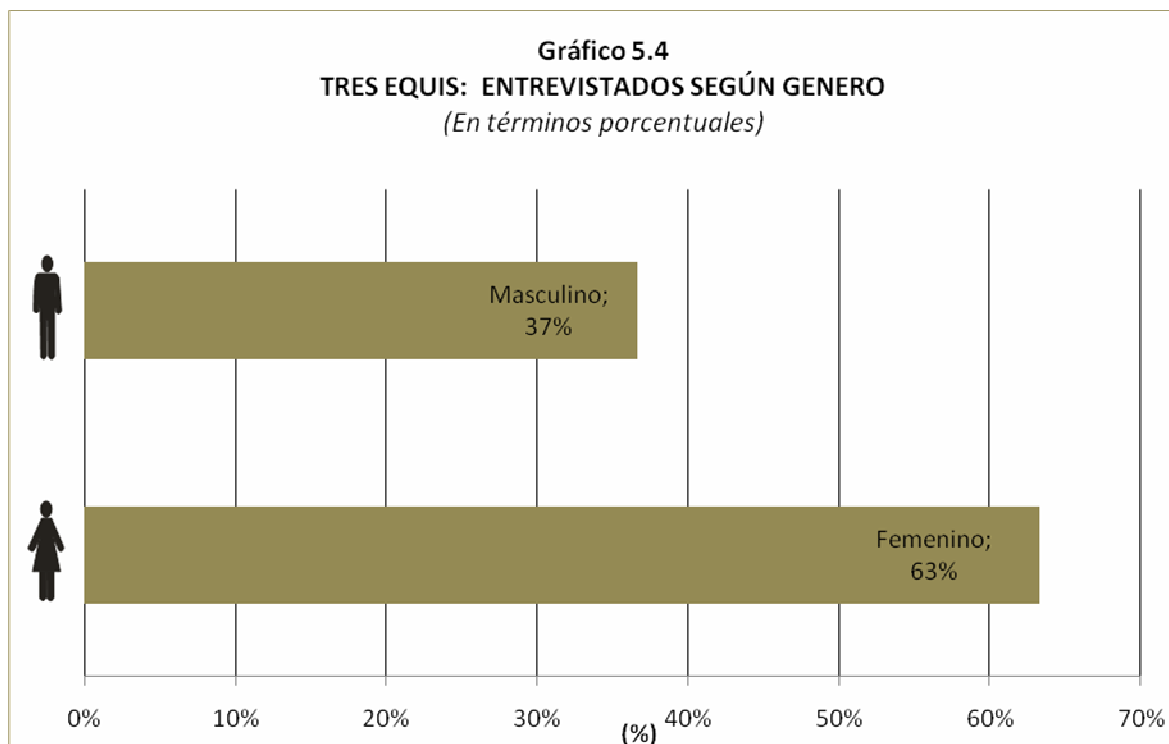


GRÁFICO 5.4. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN ENTREVISTADA SEGÚN SU GÉNERO

- *Años de residencia en Tres Equis de Turrialba*

Según se observa en el **gráfico 5.5**, el 87% del total de entrevistados manifiesta residir en la zona hace más de dos décadas y el restante 13% reside en el distrito hace menos de 10 años.

Adicionalmente, se consultó como pregunta abierta si conocían cuál era el origen del nombre del pueblo y al menos un 80% respondió que el nombre proviene de un árbol de ceibo que estaba ubicado en las cercanías de la iglesia católica de Tres Equis, unos montadores pusieron tres XXX como señal de guía para la cacería; otras versiones sobre el nombre del poblado y distrito hacen referencia a tres acequias que drenan el centro de Tres Equis y si juntan las palabras al pronunciarlas rápidamente suena como tresequias = tres equis, y una tercer versión hace referencia a tres cruces de caminos que forman tres equis, así como la existencia al inicio de tres fincas y tres linderos que formaban una equis.

Sobre el origen del pueblo de San Pablo, los entrevistados se refirieron como una zona de paso entre Bajo Pacuare y la finca Tres Equis, donde habitaban pocas familias. Expresan que al sector se le conocía como la “incubadora”, ya que las familias eran muy numerosas. Posteriormente, el nombre San Pablo fue propuesto por uno de los fundadores del poblado en referencia al apóstol San Pablo. Hace 15 años, el IDA segregó terrenos y dio parcelas a los agricultores, contribuyendo al crecimiento del poblado.

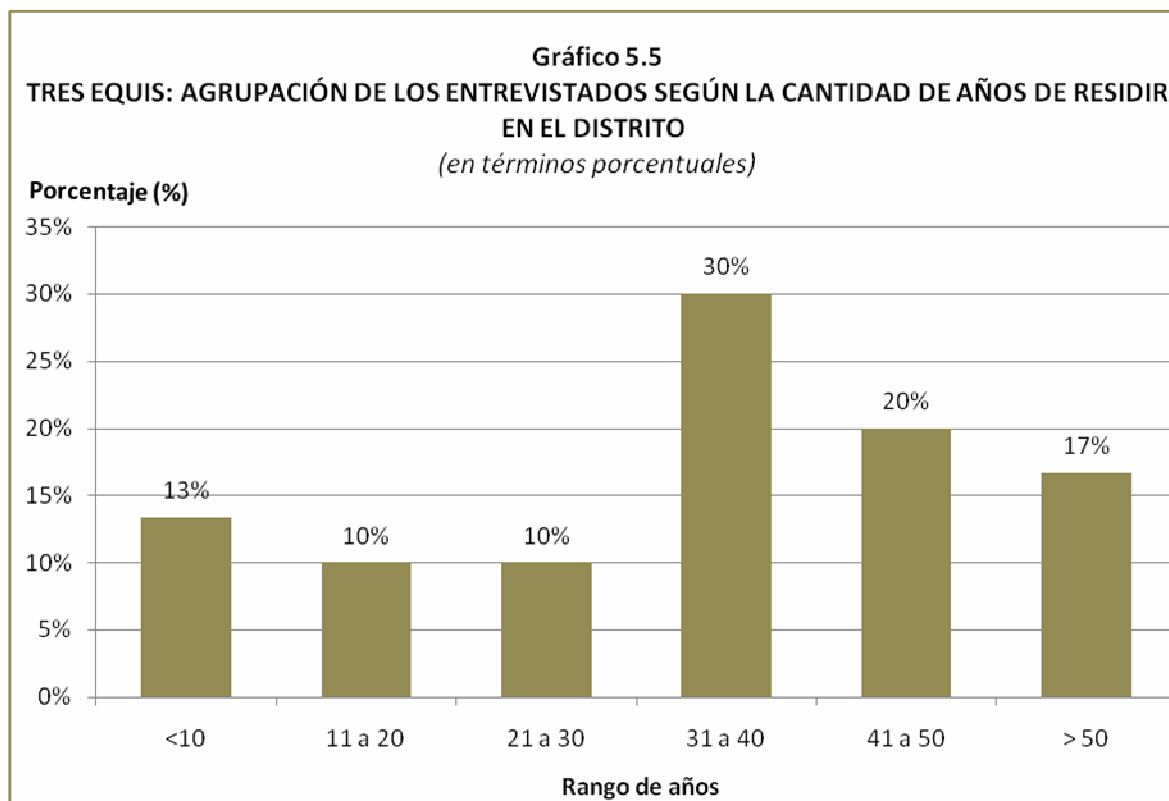


GRÁFICO 5.5. TIEMPO DE RESIDENCIA DE LOS ENTREVISTADOS EN EL DISTRITO DE TRES EQUIS, TURRIALBA.

- *Principal actividad económica del distrito*

Como se muestra en el **gráfico 5.6**, el 85% del total de los entrevistados coinciden en que la actividad agrícola es el principal ingreso económico del distrito. La agricultura está basada en el cultivo de productos para el consumo nacional y de exportación, como lo es el culantro coyote, así como cultivos de café y caña de azúcar. En segundo lugar, con un 6% se ubica la actividad pecuaria, que corresponde con la crianza de ganado, destacando las ganaderías de Tres Equis y Blake; los trabajos ocasionales registran un 6% y el turismo ocupa un 3%.

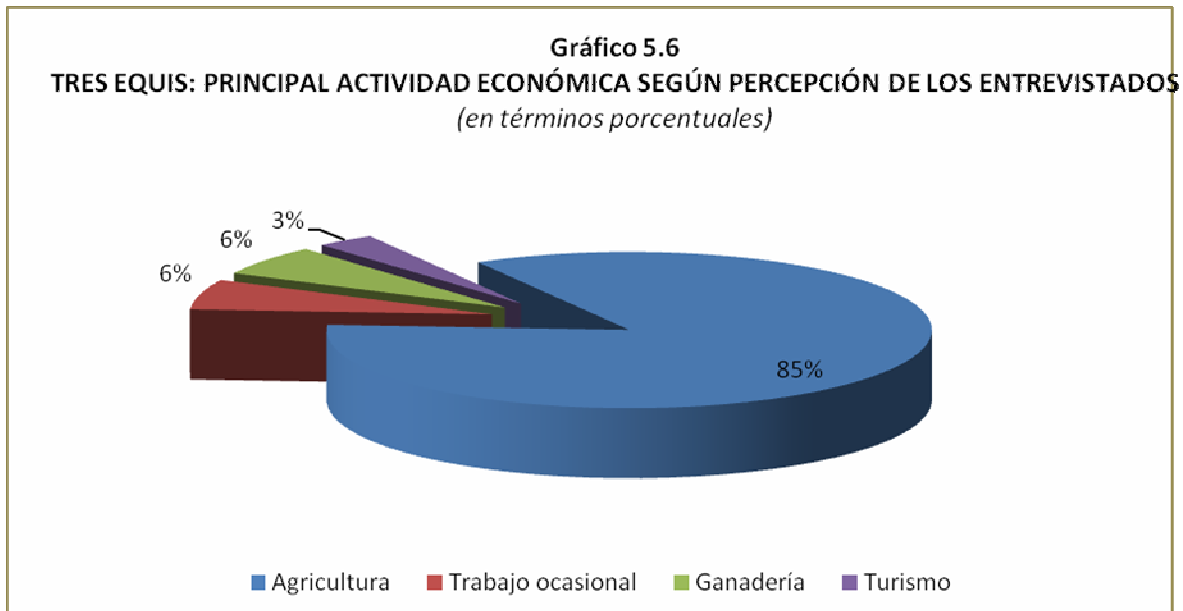


GRÁFICO 5.6. DISTRIBUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS EN EL DISTRITO DE TRES EQUIS.

- *Peligros naturales o humanos que han afectado a la comunidad*

Como se observa en el **gráfico 5.7**, el 54% del total de los entrevistados considera que el mayor peligro para la comunidad lo representan las grietas, mientras que un 16% del total de los entrevistados considera que los deslizamientos, un 11% mencionó las inundaciones y un 11% del total de los entrevistados considera que el poblado de Tres Equis no está expuesto a ningún peligro natural o humano. El 5% mencionó a las drogas como un peligro humano y un 3% ve a las erupciones del volcán Turrialba como un peligro para la comunidad.

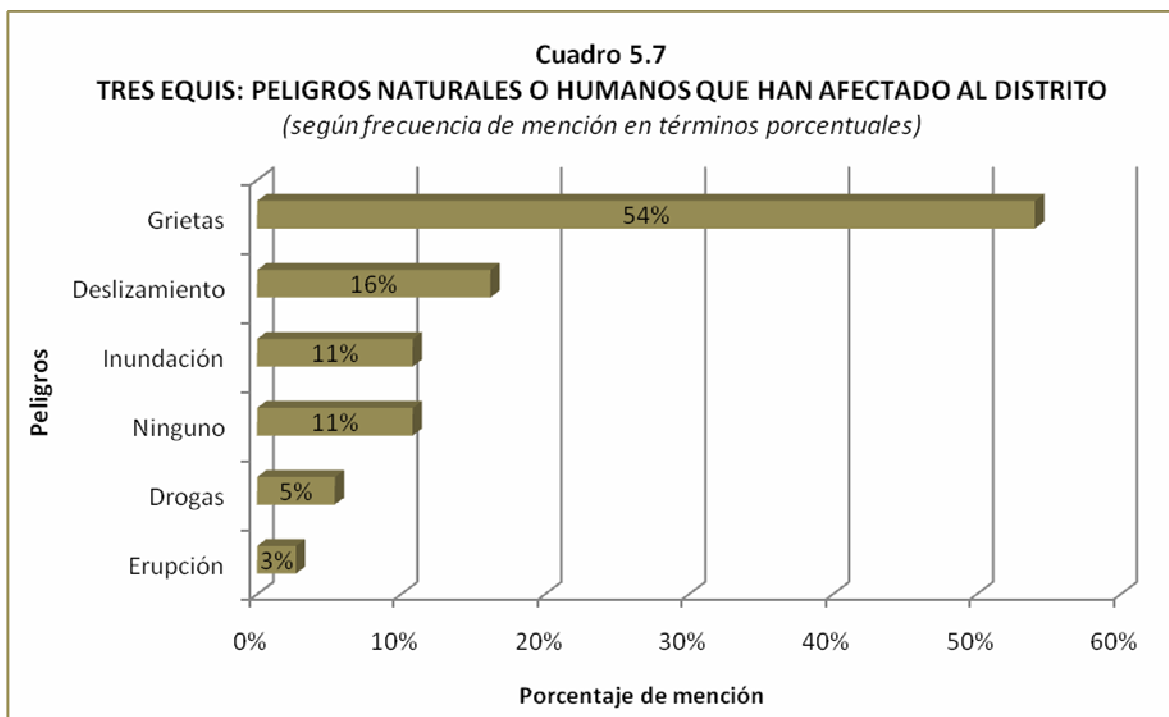


GRÁFICO 5.7. DISTRIBUCIÓN DE LOS PELIGROS NATURALES O HUMANOS QUE HAN AFECTADO A LA COMUNIDAD, SEGÚN PERCEPCIÓN DE LOS ENTREVISTADOS.

Sobre este tema se pueden rescatar las observaciones realizadas por los entrevistados, en el sentido de que no asocian directamente la existencia de grietas con la ocurrencia de un deslizamiento; al menos así lo manifestaron durante la aplicación de la entrevista. Para los entrevistados las grietas son estructuras que aparecen y dañan el terreno o las viviendas sólo en el sitio donde se observan, las grietas no son trascendentales, puesto que no generan fallecidos ni daños económicos cuantiosos; además, su abertura o desplazamiento son lentos.

Realizando una comparación de edad de los entrevistados contra los peligros naturales que han afectado a la comunidad, se tiene que el 7% de las personas entrevistadas con edades entre 20 – 30 años identifica como peligro natural a las venas volcánicas (esta opción no estaba incluida en el cuestionario) y deslizamientos. Las personas con edades entre los 31-40 años consideran a las grietas, las fallas, deslizamientos, erupción e inundaciones, como los peligros más relevantes; las personas con más de 41 años de edad mencionan a las grietas, deslizamientos e inundaciones como eventuales peligros que podrían afectar a la comunidad. Las personas mayores de 60 años se refieren a San Pablo como el poblado del distrito donde hay más deslizamientos y consideran que en el centro de Tres Equis no tienen la afectación que el sector de San Pablo y Bajo Pacuare, este último ubicado al sur del distrito (**gráfico 5.8**).

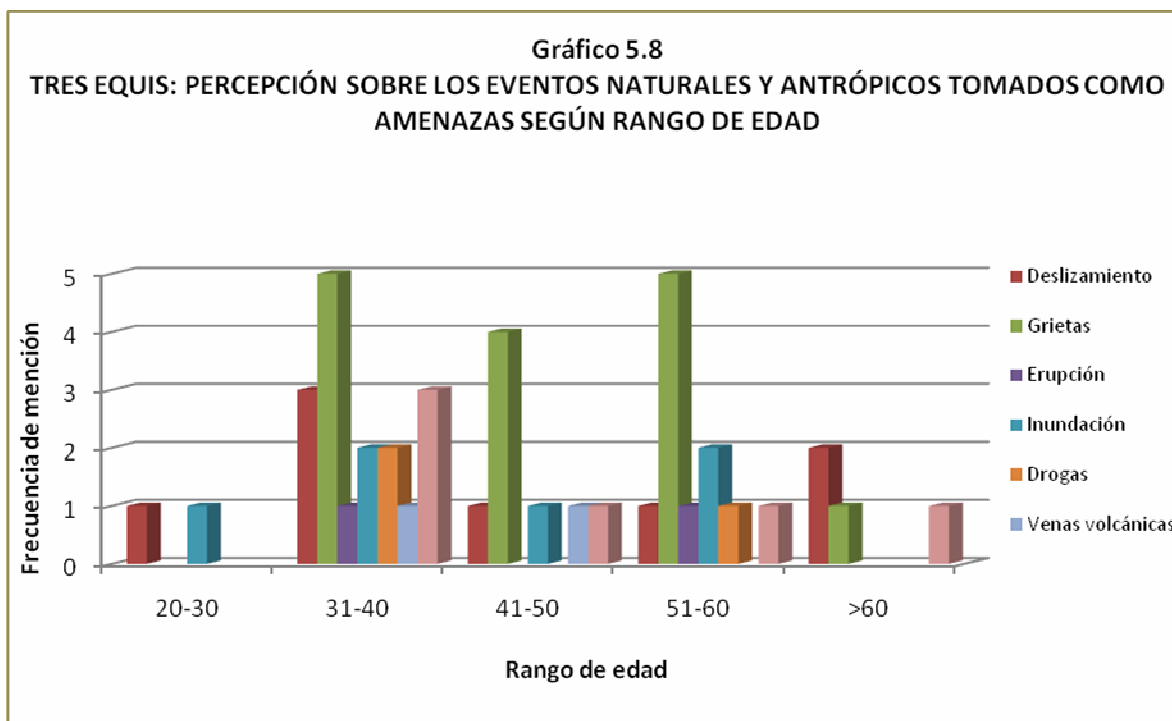


GRÁFICO 5.8. PERCEPCIÓN DE LAS AMENAZAS CDE ACUERDO AL RANGO DE EDAD DE LOS ENTREVISTADOS.

- *Orígenes de los desastres*

El **gráfico 5.9** muestra que el 43% del total de los entrevistados considera a las causas naturales como origen de los desastres. Mencionan la presencia de lagunas, precipitaciones, ríos subterráneos y fallas en el terreno como posibles generadores de desastres. Un 30% de los entrevistados contestó concretamente que los desastres son producto de causas humanas, mencionando la tala de árboles como una de las acciones que mayor desastre puede generar. Un 20% menciona otras opciones destacando las venas volcánicas como generadoras de desastres, presencia de tierra movediza y las bombas de agua; un 3% lo asocia al destino y el restante 3% al castigo divino, debido al aumento de la maldad en la sociedad.

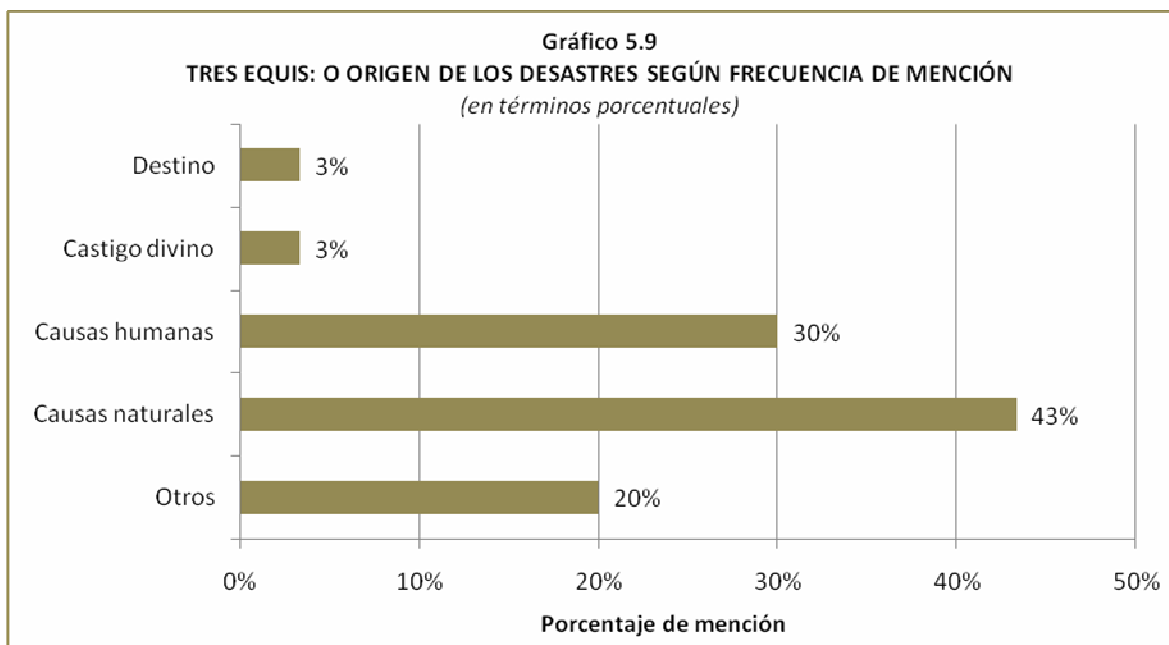


GRÁFICO 5.9. OPINIÓN DE LOS ENTREVISTADOS SOBRE EL ORIGEN DE LOS DESASTRES.

- *Conocimiento sobre deslizamientos*

Ante la consulta sobre el conocimiento de lo que es un deslizamiento, el 100% de los entrevistados mencionó conocer o haber escuchado hablar sobre deslizamientos. Obteniéndose algunas respuestas como las siguientes: “El deslizamiento es tierra que se afloja y se desliza por la lluvia”, “La tierra se mueve y causa vacíos y grietas”, “Desprendimiento de tierra desde una superficie elevada o cumbre”, “Son bombas de agua, derrumbes, no son por culpa de las grietas”, “Exceso de agua y acumulación y mano humana que interrumpe la naturaleza”, “Parte de un terreno que se va, un derrumbe. De San Pablo para allá si hay deslizamientos. Ej. Bajo Pacuare, unas 12 ha que se fueron a la quebrada Grande”, “Cuando la tierra se afloja y se viene.”, “Son producidos por lagunas y ríos subterráneos o por las bombas de agua, ya que la tierra no tiene como agarrarse.”, “Cuando se vienen las peñas.”, “Movimiento de tierra cortado que se va hacia el río, se ve arena y desaparece el pasto.”

De las descripciones populares sobre lo que es un deslizamiento, se rescata que efectivamente los entrevistados poseen un conocimiento sobre este tipo de eventos; no obstante, lo restringen únicamente a zonas de pendiente fuerte, como “laderas empinadas o peñas”, por lo que no tienden a asociar la presencia de grietas en zonas planas o plano onduladas, como las observadas en Tres Equis con un deslizamiento como tal; para ellos, el evento natural que ocurre en Tres Equis, es conocido como grieta y no como un movimiento en masa.

- *Eventos que generan o causan deslizamientos*

Al consultar sobre la causa de los deslizamientos, se mantiene el concepto de que los deslizamientos ocurren en zonas con pendiente fuerte, siendo las precipitaciones el principal causante de los deslizamientos, con una percepción del 30% del total de las entrevistas realizadas; un 23% de las personas entrevistadas consideran que la tala de árboles es una causa de los deslizamientos, un 14% los asocian a los temblores, un 9% a la acción del hombre y 9% a las venas volcánicas. En la categoría de otros, con un 14%, se incluyen las quemas y actividad volcánica (**gráfico 5.10**).

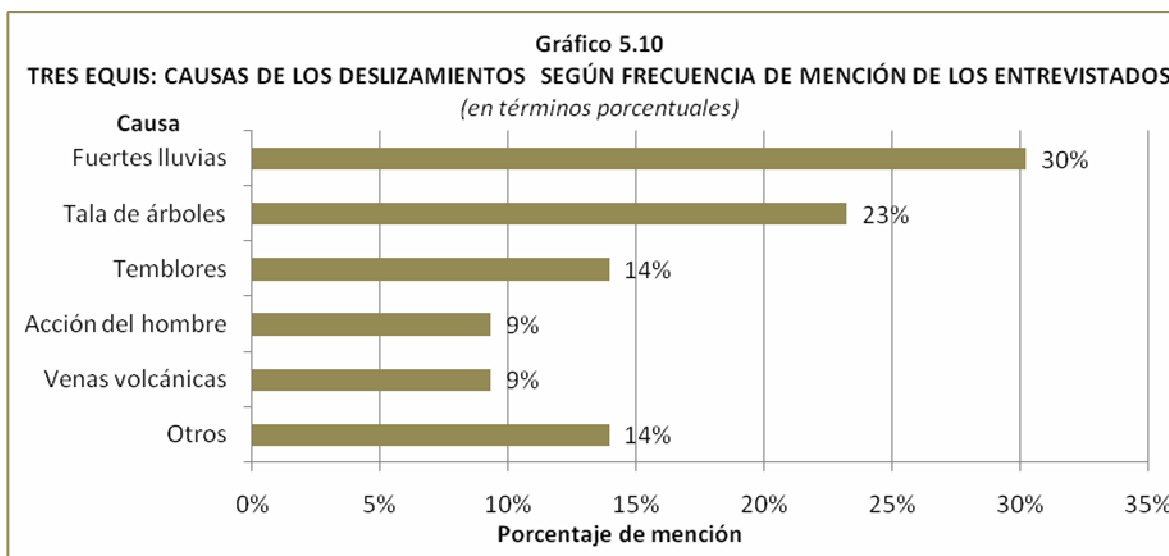


GRÁFICO 5. 10. OPINIÓN DE LOS ENTREVISTADOS SOBRE LA CAUSA DE LOS DESLIZAMIENTOS EN TRES EQUIS.

- *¿Cuándo ocurrió el último desastre que afectó a la comunidad?*

Como se observa en el **gráfico 5.11**, en relación con los eventos históricos tenemos dos tendencias, una de ellas corresponde con un 39% de las personas entrevistadas, quienes mencionan que los últimos desastres que afectaron a la comunidad de Tres Equis ocurrieron hace menos de 5 años, destacando las precipitaciones que afectaron la región Caribe a finales de julio y principios de agosto del 2012 y el terremoto de Sámara, del 5 de septiembre del 2012.

Una segunda tendencia corresponde con el 21% del total de entrevistados, quienes consideran que el último desastre ocurrió hace más de 21 años; uno de ellos corresponde con el terremoto de Limón en abril de 1991, el cual destruyó la antigua plaza de Tres Equis y dañó la antigua escuela. El otro evento corresponde con el deslizamiento y destrucción de Bajo Pacuare en los años 70 (diciembre 1970), siendo este último el evento que motivó a las autoridades gubernamentales, empresa privada y miembros de la comunidad, al traslado

de las familias de Bajo Pacuare hacia finca Tres Equis. Este hecho es principalmente mencionado por las personas mayores de 40 años (40-91 años).

Un 7% considera que el último evento que afectó a la comunidad corresponde con el deslizamiento de San Pablo, hace unos 15 años. Se destaca que sólo los vecinos de San Pablo mantienen este registro en su memoria histórica, mientras tanto las personas más cercanas al centro de Tres Equis no mencionan este hecho.

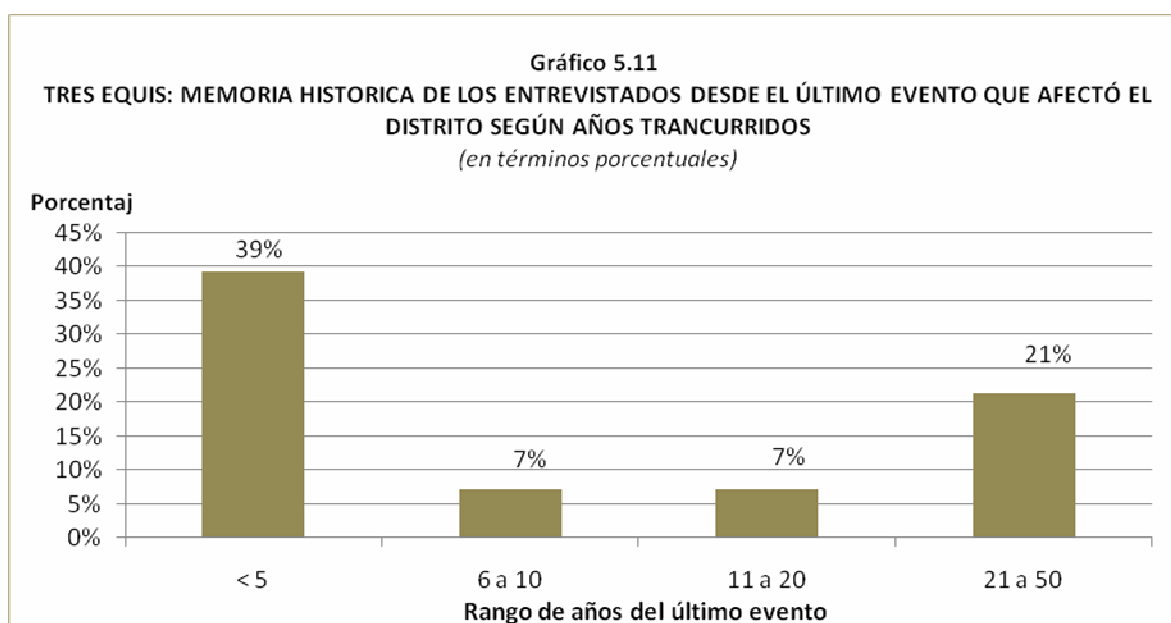


GRÁFICO 5.11. MEMORIA HISTÓRICA DE LOS ENTREVISTADOS CON RELACIÓN AL TIEMPO TRANCURRIDO DESDE EL ÚLTIMO EVENTO QUE AFECTÓ A LA COMUNIDAD.

- ¿Ha observado en el distrito de Tres Equis daños generados por deslizamiento?

Ante la consulta sobre la observación de daños generados por deslizamientos, se tiene que el 89% del total de entrevistados manifiesta haber observado algún tipo de daño generado por un evento natural que asocian de forma mayoritaria con las grietas; el restante 11% considera que no se observan daños generados por deslizamientos en el distrito de Tres Equis (**gráfico 5.12**).

Gráfico 5.12
TRES EQUIS: PERCEPCIÓN DE LOS ENTREVISTADOS SOBRE LA OCURRENCIA DE DAÑOS GENERADOS POR DESLIZAMIENTOS
 (En términos porcentuales)

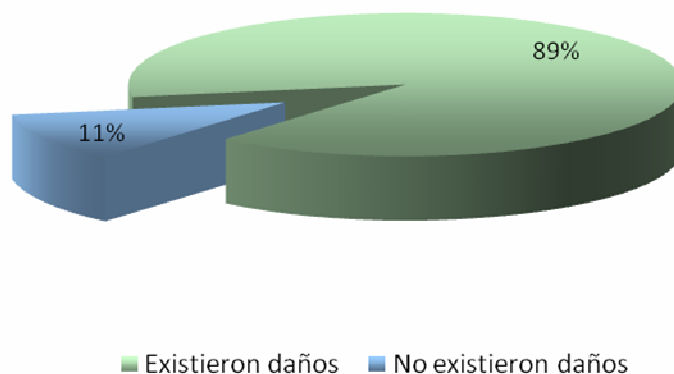


GRÁFICO 5.12. PERCEPCIÓN DE LOS ENTREVISTADOS SOBRE LA OCURRENCIA DE DAÑOS GENERADOS POR DESLIZAMIENTOS.

- ¿Qué tipo de daños asociados al terreno ha observado en el distrito de Tres Equis?

El 29% del total de entrevistados respondió observar algún tipo de daño en el terreno, siendo las grietas los daños más evidentes; le siguen las grietas en paredes y pisos con un 28%, daños en las calles con un 26%, tuberías de aguas reventadas con un 7% y un 6% mencionó el colapso parcial de viviendas. En la categoría de otros se mencionan a los daños en servicios eléctricos (**gráfico 5.13**).

Gráfico 5.13
TRES EQUIS: TIPO DE DAÑOS EN EL TERRENO OBSERVADOS EN DISTRITO SEGÚN FRECUENCIA DE MENCIÓN
 (en términos porcentuales)

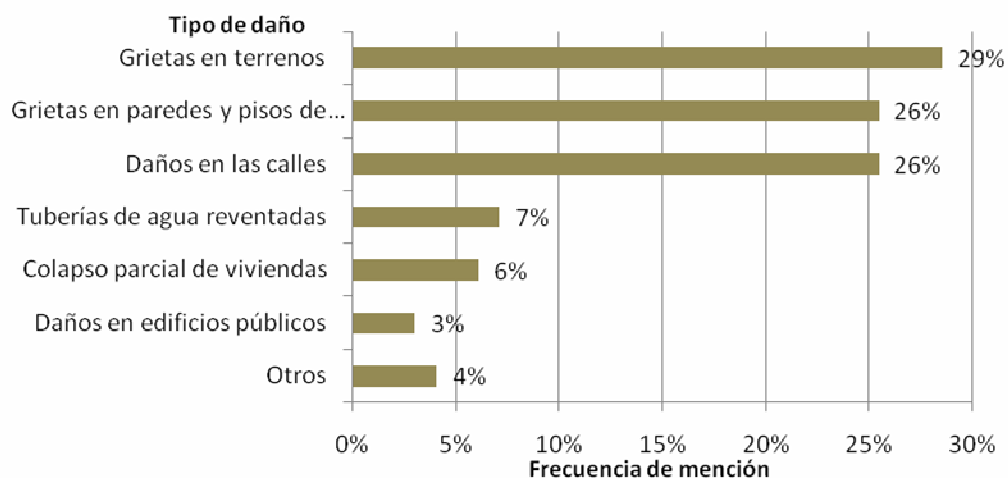


GRÁFICO 5.13. TIPO DE DAÑOS EN EL TERRENO OBSERVADOS EN EL DISTRITO DE TRES EQUIS

- ¿Considera que Tres Equis está organizado para atender un eventual desastre?, ¿cuáles dificultades enfrenta la comunidad para organizarse?

El 86% del total de los entrevistados respondió que la comunidad no está organizada para atender eventuales desastres, mientras que un 7% del total de entrevistados mencionó que sí están organizados y un 7% respondió no saber del tema (**gráfico 5. 14**).

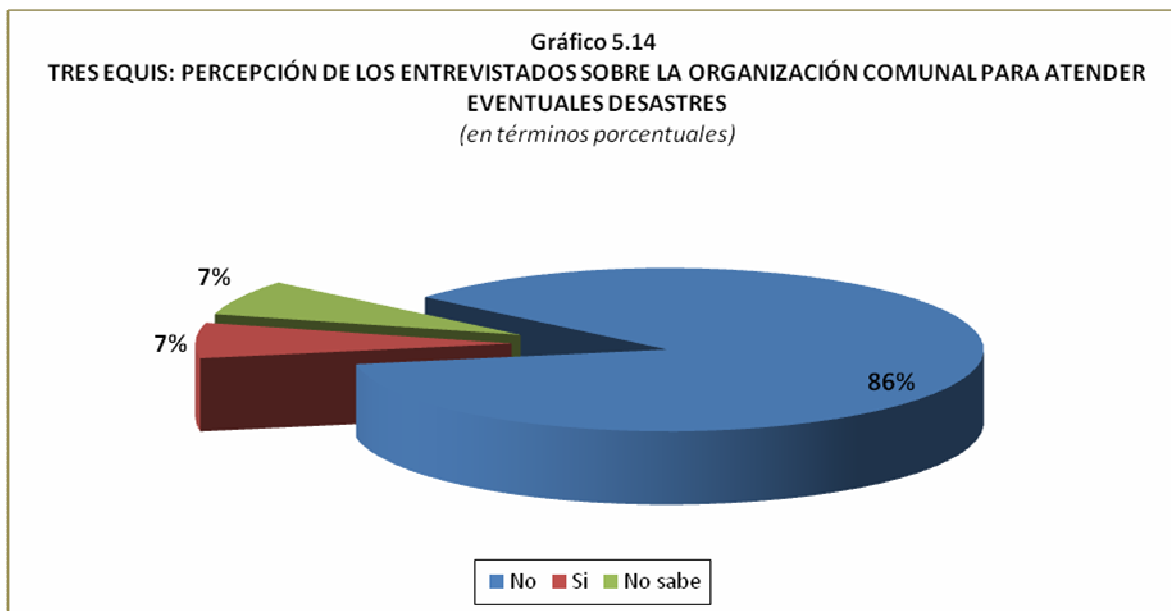


GRÁFICO 5.14. PERCEPCIÓN DE LOS ENTREVISTADOS SOBRE LA ORGANIZACIÓN COMUNAL PARA ATENDER EVENTUALES DESASTRES.

Como complemento a la consulta sobre la organización comunal para la atención de eventuales desastres, se indagó sobre las dificultades que enfrenta la población para formar una organización comunal que brinde apoyo en este tipo de temas. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: el 22% del total de las respuestas brindadas considera la falta de capacitación en el tema como obstáculo para formar agrupaciones, el 18% de los entrevistados considera que falta comunicación entre las organizaciones de desarrollo y la comunidad, un 15% mencionó que la comunidad es segura y nunca va a ocurrir un desastre, un 12% manifiesta que las personas no están interesadas y un porcentaje similar manifiesta que la población carece de iniciativa (**gráfico 5.15**).

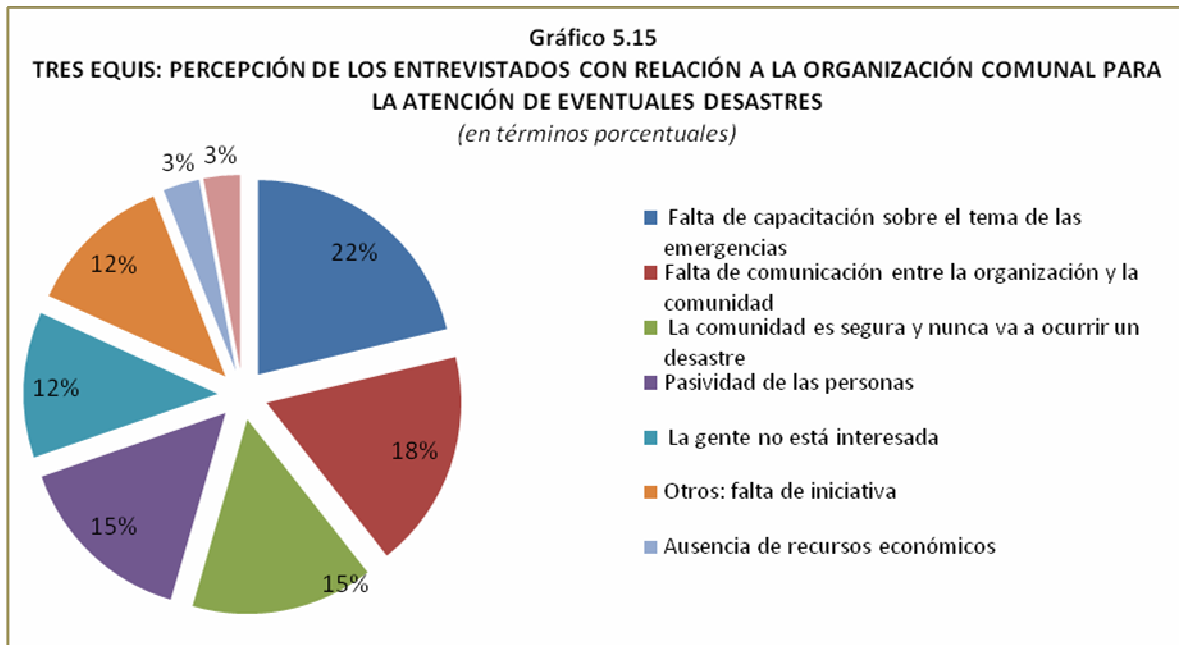


GRÁFICO 5.15. PERCEPCIÓN DE LOS ENTREVISTADOS CON RELACIÓN A LA ORGANIZACIÓN COMUNAL PARA LA ATENCIÓN DE EVENTUALES DESASTRES.

- *Ha recibido capacitación en el tema de los peligros naturales, ¿quién brindó la capacitación?*

Sobre las capacitaciones recibidas por parte de las personas entrevistadas, se tiene que un 82% de ellas considera que no ha recibido ningún tipo de capacitación en este tema, mientras que el restante 18% considera que sí, según se observa en el **gráfico 5.16**. Las capacitaciones en este tipo de temas han sido brindadas por el ICE en el marco de la divulgación ambiental para proyectos hidroeléctricos en la cuenca del río Pacuare, la CNE en el área de capacitación para los docentes, el Comité Local de Emergencias de Turrialba (CLE) con motivo de la reactivación del volcán Turrialba y la Cruz Roja de Turrialba en materia de primeros auxilios.

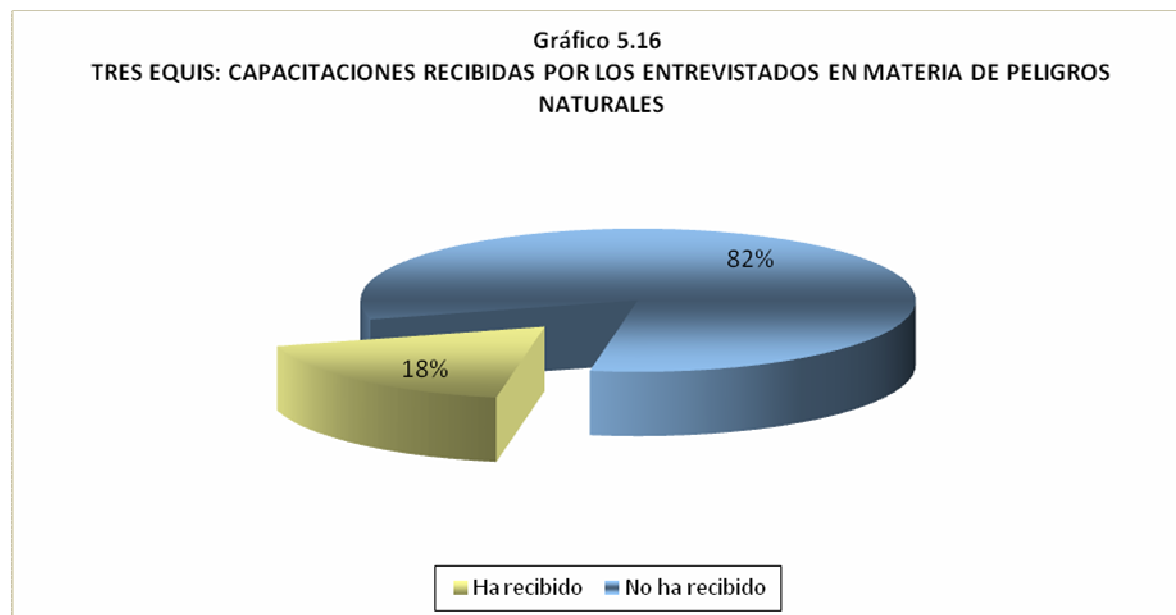


GRÁFICO 5.16. CAPACITACIONES RECIBIDAS POR LOS ENTREVISTADOS EN MATERIA DE PELIGROS NATURALES.

- *Conocimiento sobre instituciones encargadas de la atención de emergencias.*
Ante la consulta sobre el conocimiento de instituciones encargadas de la atención de emergencias, el 54% del total de los entrevistados menciona que no conoce sobre las instituciones a cargo del tema, mientras que el restante 46% afirma conocer instituciones encargadas de las atenciones de emergencias y mencionan a la Municipalidad y a la CNE como las instituciones rectoras en este tipo de eventos. **Gráfico 5.17.**

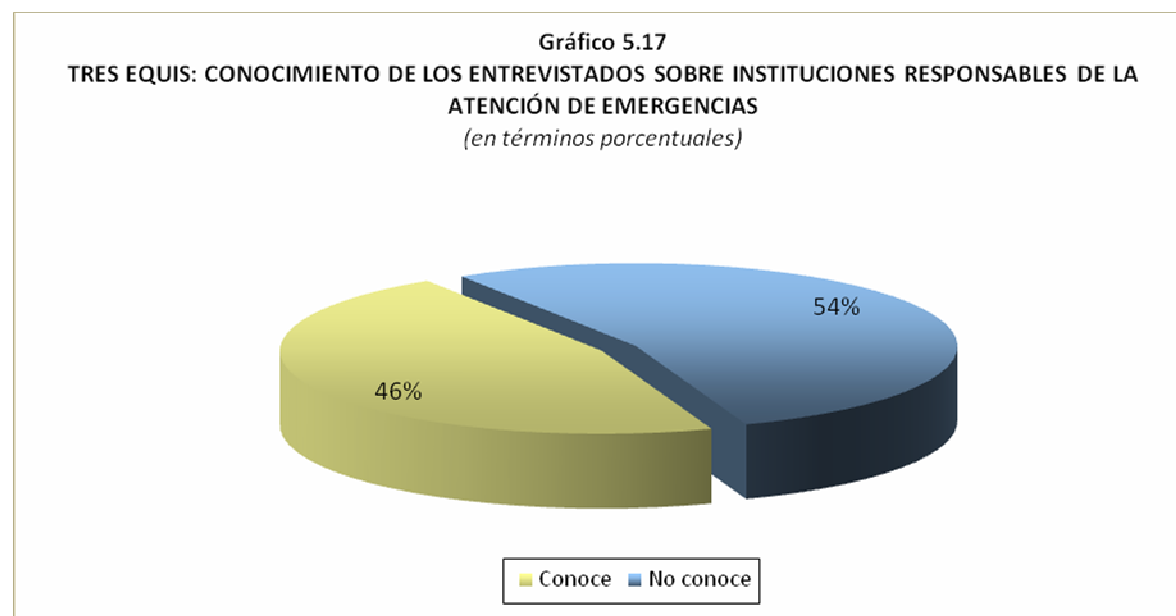


GRÁFICO 5.17. CONOCIMIENTO DE LOS ENTREVISTADOS SOBRE INSTITUCIONES RESPONSABLES DE LA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS.

- *Percepción con relación al desempeño municipal en el tema de los desastres.*

Con el objetivo de conocer el pensamiento de la población con relación al desempeño municipal en el tema de los desastres, se tiene que el 57% del total de los entrevistados consideran que la acción municipal en este tema es mala, para un 14% las acciones del municipio son inexistentes, un 7% considera la labor municipal como regular y un 4% como moderada. En cuanto a los aspectos positivos, se tiene que el 14% del total de los entrevistados consideró que el desempeño fue adecuado, mencionando la gestión que realizó el municipio durante la atención de la emergencia por el terremoto de Limón, mientras que un 4% considera que la acción municipal en el tema de los desastres es efectiva (gráfico 5.18).

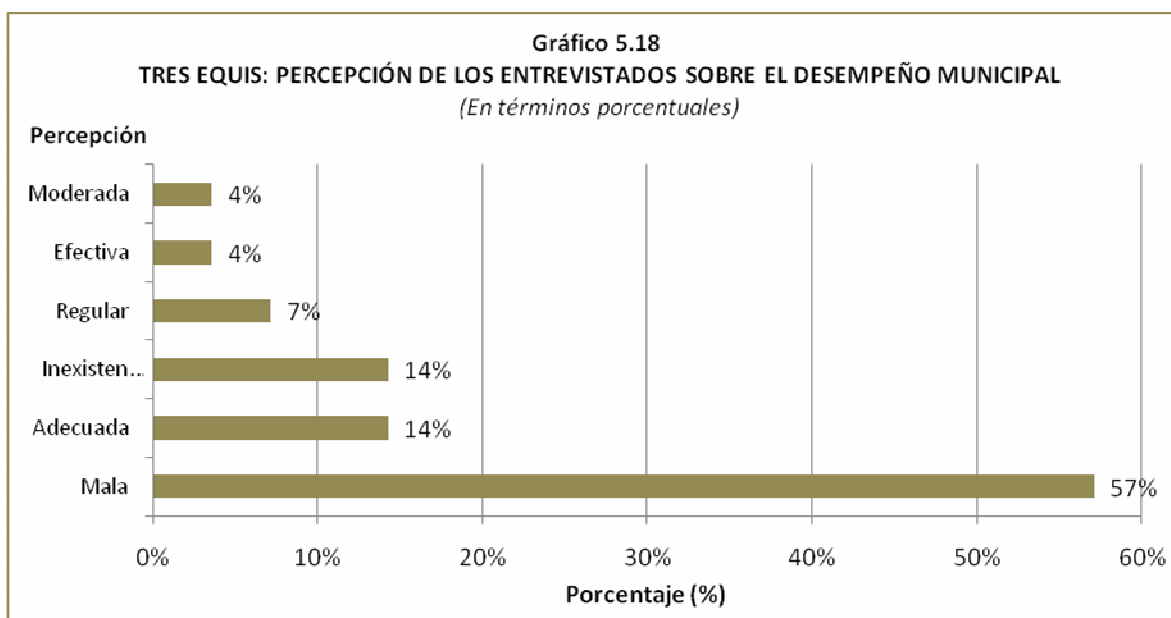


GRÁFICO 5.18. PERCEPCIÓN DE LOS ENTREVISTADOS SOBRE EL DESEMPEÑO MUNICIPAL

- *Síntesis de resultados sobre la percepción hacia el deslizamiento, según los datos estadísticos y pensamiento popular*

El tema de los deslizamientos es abordado por la población como eventos que ocurren en zonas con pendientes fuertes, en otros sitios del país e incluso en otros barrios del distrito como en el poblado de San Pablo, pero no en el centro de Tres Equis; para la mayoría de las personas entrevistadas el centro de Tres Equis sólo presenta daños leves generados por “grietas que no son parte de un deslizamiento”.

Según los entrevistados, el término deslizamiento ha sido introducido a la comunidad por geólogos de instituciones como la CNE, quienes han dejado plasmado informes sobre la problemática del deslizamiento en Tres Equis.

La población entrevistada expresa que la existencia de las grietas no representa una amenaza significativa, puesto que a la fecha no han causado daños relevantes como la pérdida de vidas humanas; las grietas constituyen un elemento topográfico más que genera distorsión en el terreno y afecta la calidad de las obras civiles, ya sea vías públicas o viviendas, pero no un elemento que sea sinónimo de un eventual desastre que pueda afectar a la comunidad. Además, los daños son puntuales a lo largo de las grietas, pero no se extienden más allá de la abertura que generan.

La organización comunal para la atención de emergencias no constituye un objetivo primordial para la población, ya que los daños no son relevantes. Además, existe el pensamiento popular de que la comunidad de Tres Equis es segura y no van a ocurrir eventos significativos en el corto plazo.

La percepción sobre el desempeño municipal viene definida por la problemática con los permisos de construcción, ya que la población no recibe información clara y concisa sobre las restricciones a las construcciones de viviendas. Adicionalmente, se califica la labor municipal en aspectos de mantenimiento vial y obras complementarias, considerando que la inversión en el distrito es poca o prácticamente nula.

5.2. Implementación del taller de percepción

Para el taller de percepción se aplicó la metodología propuesta por Peraldo (2004): *“Metodología para la caracterización y análisis de mapas de percepción”* (**Anexo G**), donde se sugiere integrar lo cualitativo con criterios cuantitativos, a partir del análisis de los mapas de percepción elaborados por la comunidad. Este autor fundamenta su método en la observación de los mapas de percepción realizados por vecinos de la comunidad, mediante la comparación de la realidad perceptiva con la realidad física de los mapas oficiales, fotos aéreas y del conocimiento previo del área por parte del investigador. Siguiendo esta metodología serán tomados en consideración para el análisis geográfico de los mapas de percepción: el espacio y los contenidos, que corresponden al conjunto de elementos geográficos que se integran en el territorio representado por los participantes del taller.

El taller de percepción se realizó en el salón comunal de Tres Equis, el cual contó con la participación de ocho personas de la comunidad, entre ellos miembros de la Asociación de Desarrollo Integral de Tres Equis y de San Pablo, quienes desarrollaron en grupos los mapas de percepción, para luego exponer ante los asistentes su visión sobre los peligros naturales a los que se ven expuestas las comunidades de San Pablo y Tres Equis.

Todos los bocetos realizados sobre la comunidad y sus peligros potenciales fueron contruidos a partir de elementos comunes que incluyen: indicación de puntos cardinales,

vías públicas, viviendas, áreas y edificios públicos (escuelas, colegio), intersecciones principales, lagunas, acequias y quebradas.

El **cuadro 5.1** resume los resultados de la calificación de los mapas de percepción obtenidos según la metodología propuesta por Peraldo (2004). De estos mapas se extrae que los participantes del taller reflejan un amplio conocimiento sobre el entorno en el que se desarrollan y las condiciones naturales que lo han modificado o pueden modificar, obteniéndose una calificación media de 80% del total de 100%.

Cuadro 5.1. Calificación de los mapas de percepción, según metodología propuesta por Peraldo (2004)

Parámetros	Grupo 1 San Pablo	Grupo 2 Tres Equis	Grupo 3 Tres Equis	Porcentaje (%)
Integración	4	4	4	100
Secuencialidad	3	3	3	75
Distorsión lineal	3	3	3	75
Distorsión poligonal	3	3	3	75
Densificación	4	4	4	100
Concentración	4	4	4	100
Orientación	3	4	4	92
Toponimia	1	1	1	25
Totales	25	26	26	80

5.2.1. Descripción de los mapas de percepción

- Grupo 01 Poblado San Pablo

El grupo 01 está representado por miembros de la comunidad de San Pablo, quienes realizaron un mapa sobre la percepción del entorno del poblado de San Pablo y los potenciales peligros (**figura 5.1.**). Este material se complementó con retoques gráficos digitales y leyendas que resultaron de la exposición durante el taller, para una mejor comprensión.

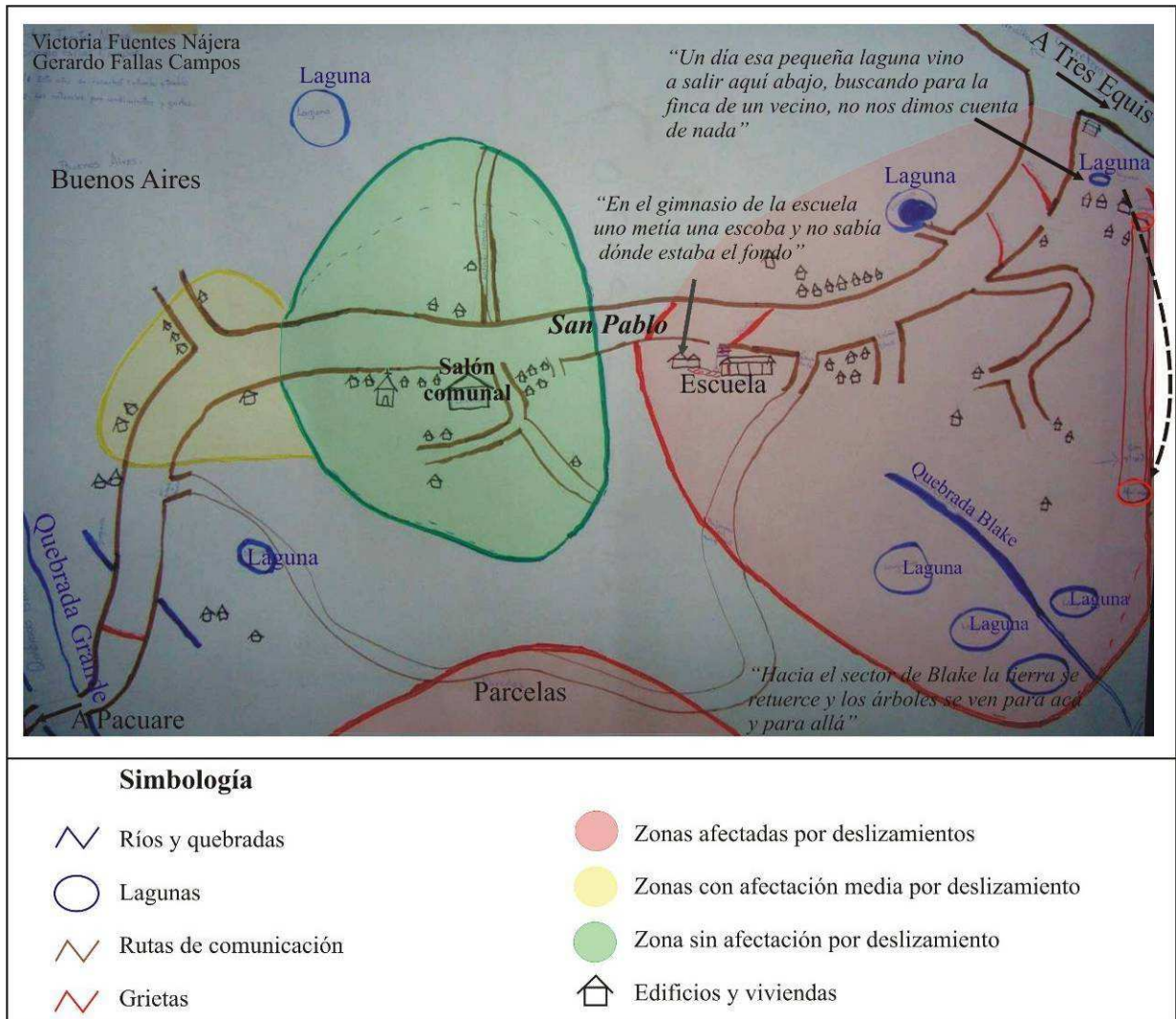


FIGURA 5.1. MAPA DE PERCEPCIÓN ELABORADO POR MIEMBROS DE LA COMUNIDAD DE SAN PABLO Y RETOCADO DIGITALMENTE PARA MAYOR COMPRENSIÓN, GRUPO 1

Las líneas en color café corresponden con las vías de comunicación, en color azul con los sistemas fluviales (acequias, quebradas y lagunas), en color rojo las zonas afectadas por grietas (deslizamiento), en color verde las áreas sin afectación por grietas y en color amarillo las áreas de afectación intermedia.

Los participantes describen que desde la intersección entre la ruta nacional y el camino que lleva a San Pablo, hasta el sector donde se ubica la escuela, las viviendas, la carretera y el acueducto, son afectados severamente por grietas; incluso esta zona presentaba mayor población años atrás, pero debido a los daños en el terreno las personas han abandonado las propiedades.

Describen que las lagunas ubicadas en niveles topográficos mayores a los sectores donde se ubican las viviendas, tienden a desbordarse durante las épocas de fuertes lluvias y afectan

las viviendas ubicadas en niveles topográficos más bajos. Mencionan como evento relevante que años atrás la laguna ubicada al norte de la entrada a San Pablo se drenó y el agua salió por el sector de Blake; *“un día esa pequeña lagunita el agua se nos vino a salir aquí abajo, buscando para el lado de un vecino, no nos dimos cuenta de nada”* (**figura 5.1**). Además, mencionan que las casas que tiene acceso por la primera entrada a mano izquierda, presentan daños severos por el movimiento del terreno y que hacia el sector de Blake *“la tierra se retuerce y los árboles se ven para acá y para allá”*.

Un segundo sector afectado por las grietas es la escuela de San Pablo, donde una grieta ingresa desde la calle y atraviesa la escuela dañando aulas, el terreno y el gimnasio. Con relación a los daños en el gimnasio mencionan *“uno metía un palo de escoba y no sabía dónde estaba el fondo”*, mencionan que *“actualmente el piso lo repararon y ya las grietas no se ven”*. Indican que un aula fue destruida por el deslizamiento, años atrás.

Destacan que el sector más “seguro” es el centro de San Pablo, donde está la iglesia, porque allí no hay reportes de grietas. Después de este sector y camino hacia el poblado de Pacuare se presentan nuevamente los daños por grietas, *“allí si hay daños frecuentes en la carretera y en el puente de la quebrada, el terreno se observa como en gradas”*.

Señalan que hacia el trapiche, buscando la quebrada Grande, también hay severos daños en el terreno por las grietas (**figura 5.1**).

Este grupo considera que son consientes del problema que tiene el poblado de San Pablo y que la problemática de las grietas no tiene solución, pero el estado debería de dar permisos de construcción en las áreas donde no hay grietas, pero construcciones en madera.

- Grupo 02 Poblado Tres Equis

El grupo 02 está conformado por miembros de la comunidad de Tres Equis, quienes elaboraron el mapa de percepción sobre el centro del poblado (**figura 5.2**). A manera de resumen, se puede afirmar que las personas consideran que las grietas no son un deslizamiento.

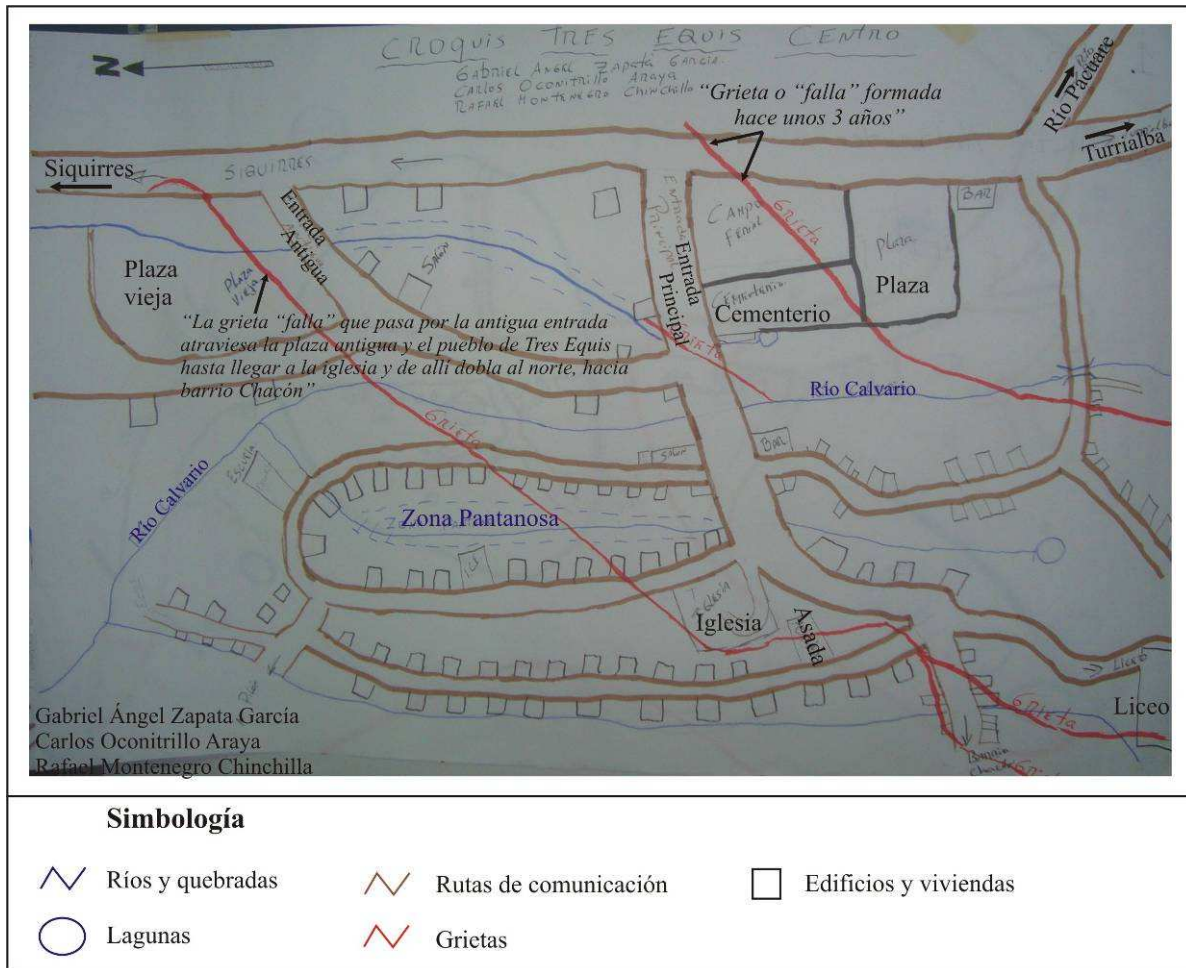


FIGURA 5.2. MAPA DE PERCEPCIÓN ELABORADO POR MIEMBROS DE LA COMUNIDAD DE TRES EQUIS Y RETOCADO DIGITALMENTE PARA MAYOR COMPRENSIÓN, GRUPO 2.

Las líneas en color café corresponden con las vías de comunicación, en color azul con los sistemas fluviales (acequias, quebradas, lagunas y nacientes), en color rojo las zonas afectadas por grietas, en color negro las viviendas y espacios públicos (plaza, cementerio, iglesia católica, ASADA, escuela, plaza vieja).

Este grupo utiliza el término "falla" para referirse a las grietas, menciona que las "fallas" que pasan por la calle principal en el acceso a Tres Equis se hicieron hace unos tres años. Indican que la "falla" que pasa por la antigua entrada a Tres Equis atraviesa la antigua plaza y el pueblo de Tres Equis hasta llegar a la iglesia y de allí dobla al norte pasando por el local de la ASADA y luego se dirige con un rumbo similar hacia barrio Chacón y posiblemente se extiende hasta Chitaría. Mencionan que la grieta de la entrada principal no se observa dónde termina. Respecto a las grietas consideran que: "ya uno está acostumbrado a verlas y no le toma mucha importancia, pero sí, depende de dónde están van a afectar casas... En Tres Equis los riesgos son las grietas, pero no tenemos ningún

deslizamiento, no tenemos ningún peligro en cuanto a depósitos de aguas, solamente tenemos este depósito de agua que es como un pantano que cuando llueve mucho se llena”, haciendo referencia al sector donde indicaron “zona pantanosa” en el mapa de percepción. Señalan que la quebrada que está a la entrada de Tres Equis crece cuando llueve mucho.

Como conclusión general, los participantes del taller consideran que no hay solución para las grietas, sólo no construir sobre ellas para que las viviendas no sean dañadas. Las construcciones pueden ser en madera.

Grupo 03 Poblado Tres Equis

El grupo 03 está conformado por miembros de la comunidad de Tres Equis, quienes al igual que el grupo 2 elaboraron un mapa de percepción sobre el centro del poblado de Tres Equis (**figura 5.3**). A manera de resumen, este grupo consideran que: *las grietas no atraviesan las acequias ni quebradas porque estas no se desfondan*, y así lo expresan en el mapa de percepción.

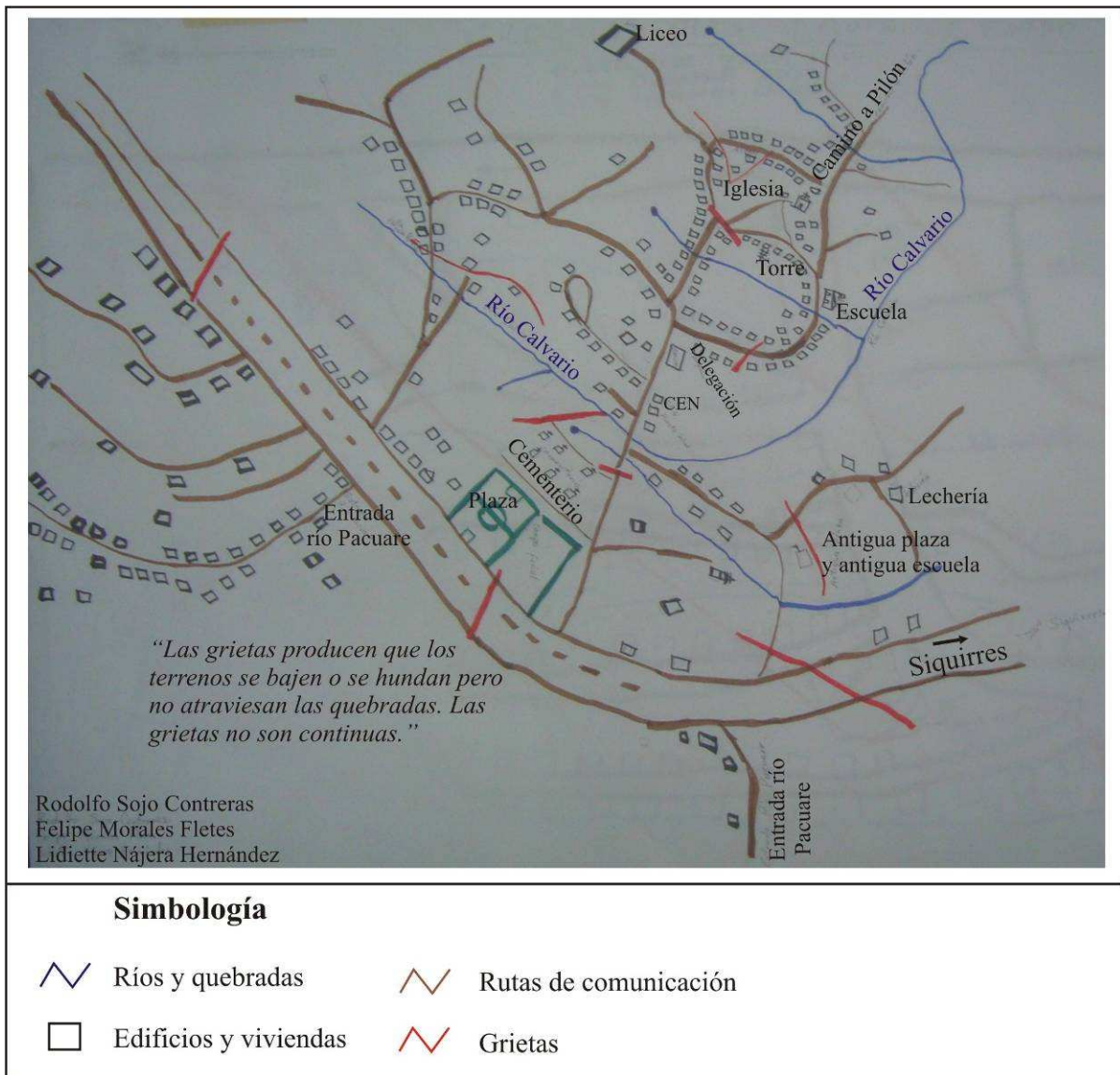


FIGURA 5.3. MAPA DE PERCEPCIÓN ELABORADO POR MIEMBROS DE LA COMUNIDAD DE TRES EQUIS Y RETOCADO DIGITALMENTE PARA MAYOR COMPRENSIÓN, GRUPO 3

Las líneas en color café corresponden con las vías de comunicación, en color azul con los sistemas fluviales (acequias, quebradas, lagunas y nacientes), en color rojo las zonas afectadas por grietas, en color negro las viviendas y espacios públicos (cementerio, iglesia católica, ASADA, escuela), en color verde la plaza actual.

La exposición sobre el mapa de percepción la inician mencionando que la problemática por deslizamiento se observa únicamente en el poblado de San Pablo. En cuanto a las grietas, reiteran que estas no atraviesan las quebradas, “que los terrenos se bajen o se hundan pero las grietas no atraviesan las quebradas”. Mencionan que los daños en la iglesia católica se

deben a que una parte de la iglesia se construyó sobre un relleno y no a las grietas que hay en Tres Equis.

Indican que en el sector de San Juanillo se observan daños producidos por las grietas en viviendas y en la carretera. Establecen que hacia el sector de San Martín “*nunca ha pasado nada, que no hay daños por grietas en esa zona*”.

Consideran que las grietas no son un problema para Tres Equis, ni son un deslizamiento, que se puede construir viviendas fuera de las grietas para que las casas no sean dañadas.

Expresan que “antes llovía 15 a 22 días y no pasaba nada, *“de repente comenzaron ha apear la montaña y todo comenzó a desbarrancarse*”. Comentan que *después de las lluvias cuando el terreno se seca y sale el sol, ya uno sabe que el terreno se empieza a bajar*.

Como conclusión general del taller de percepción, se tiene que hay una marcada coincidencia entre los resultados de las entrevistas realizadas y la percepción del espacio plasmada por los participantes, al establecer que las grietas no son un peligro para la comunidad y no están relacionadas con un deslizamiento. No obstante, coinciden en que el poblado de San Pablo sí está expuesto a deslizamientos.

5.3. Inventario de daños en infraestructura civil para el centro de Tres Equis

Se contempla en este apartado las estructuras civiles (viviendas, acueductos y vías públicas) ubicadas en la zona urbana de Tres Equis, que presentan daños por el deslizamiento correspondiente con el bloque identificado como Tres Equis-Chitaría en la figura 3.42. Adicionalmente, se destaca los daños que pueden generarse en la línea de conducción eléctrica del ICE y el poliducto de RECOPE, ambos ubicados en la base de este bloque de deslizamiento.

5.3.1 Daños reportados en viviendas

De un total de 310 viviendas inventariadas en el área urbana, se tiene que el 82% correspondiente con 254 viviendas, no presenta daños asociados con desplazamientos diferenciales del terreno, mientras que un 18% (56 viviendas) presentan algún tipo de daño relacionado con el deslizamiento del terreno, según se observa en el **gráfico 5.19** y en las **figuras 5.4 y 5.5**.

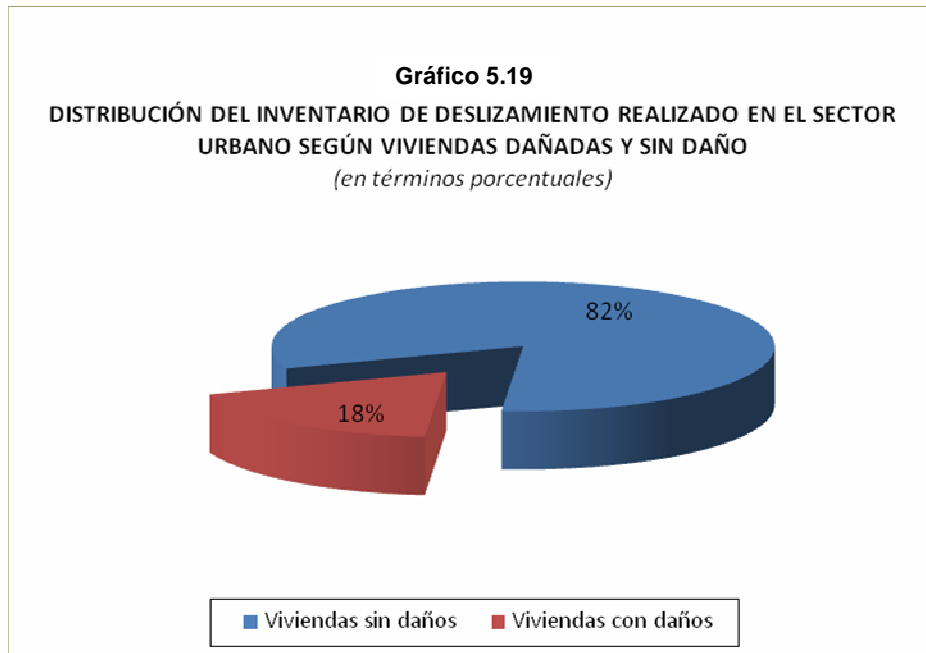


GRÁFICO 5.19. DISTRIBUCIÓN DEL INVENTARIO DE DESLIZAMIENTO REALIZADO EN EL SECTOR URBANO DE TRES EQUIS, VIVIENDAS DAÑADAS Y SIN DAÑOS

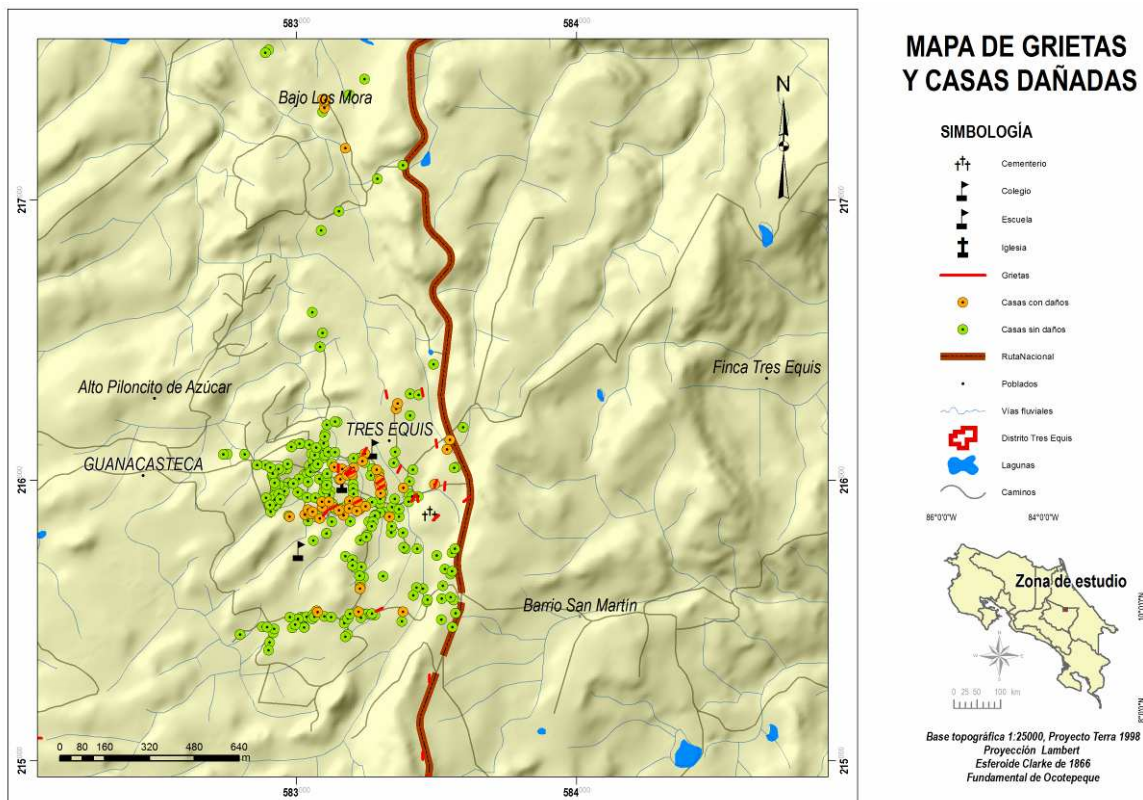


FIGURA 5.4. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL INVENTARIO DE INFRAESTRUCTURA HABITACIONAL REALIZADO EN EL SECTOR URBANO DEL DISTRITO DE TRES EQUIS.

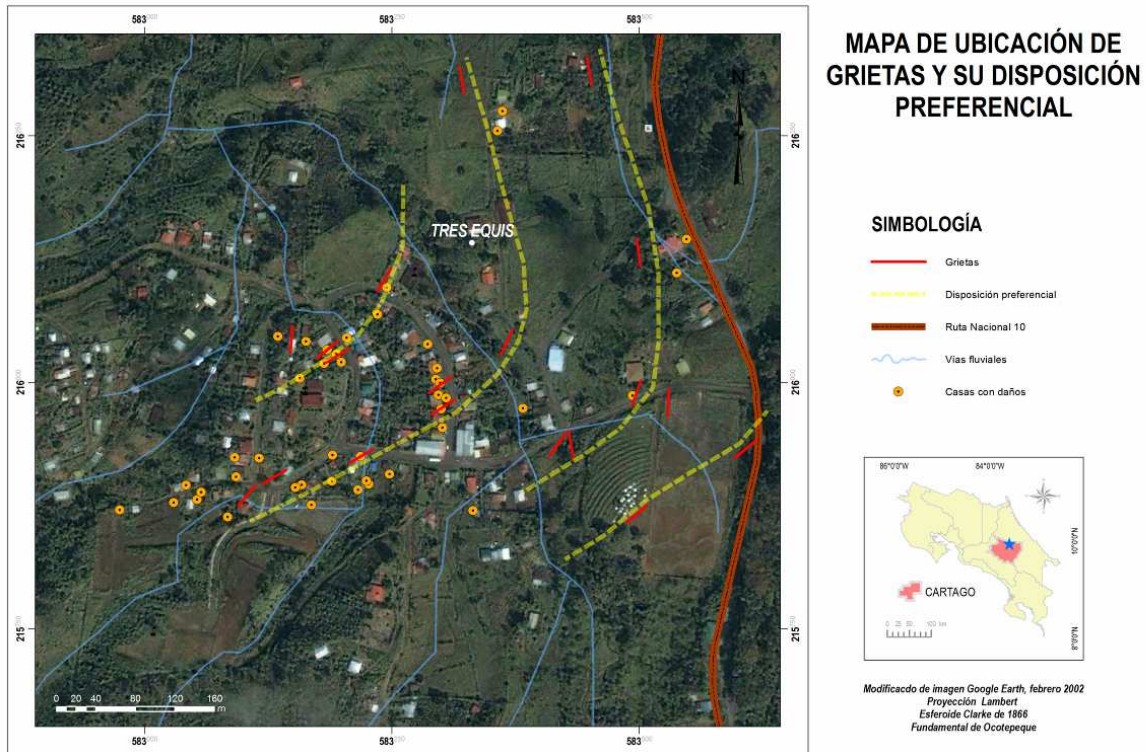


FIGURA 5.5. DETALLE DEL SECTOR URBANO DEL DISTRITO DE TRES EQUIS, CON LA UBICACIÓN DE GRIETAS, SU DISPOSICIÓN PREFERENCIAL Y CASAS CON DAÑOS

El análisis de los daños en viviendas, según el material de construcción, deja entre ver que las viviendas en madera representan el mayor número de estructuras con daños generados por los desplazamientos diferenciales. Esto se debe a que el material de construcción que predomina en el distrito de Tres Equis es la madera y no necesariamente refleja que sea un material con mayor vulnerabilidad a los desplazamientos del terreno (**cuadro 5.2** y **gráfico 5.20**).

Cuadro 5.2. Clasificación de los materiales utilizados en la construcción de las viviendas inventariadas en la zona urbana de Tres Equis.

	Viviendas	Materiales livianos			Materiales mixtos			Materiales rígidos	
		Madera	Fibroce-mento	Zinc	Madera y Fibroce-mento	Zócalo y madera	Zócalo y fibroce-mento	Prefabricada	Concreto
Viviendas sin daños	254	75	25	3	11	13	8	72	45
Viviendas con daños	56	20	2		1	8	1	10	14

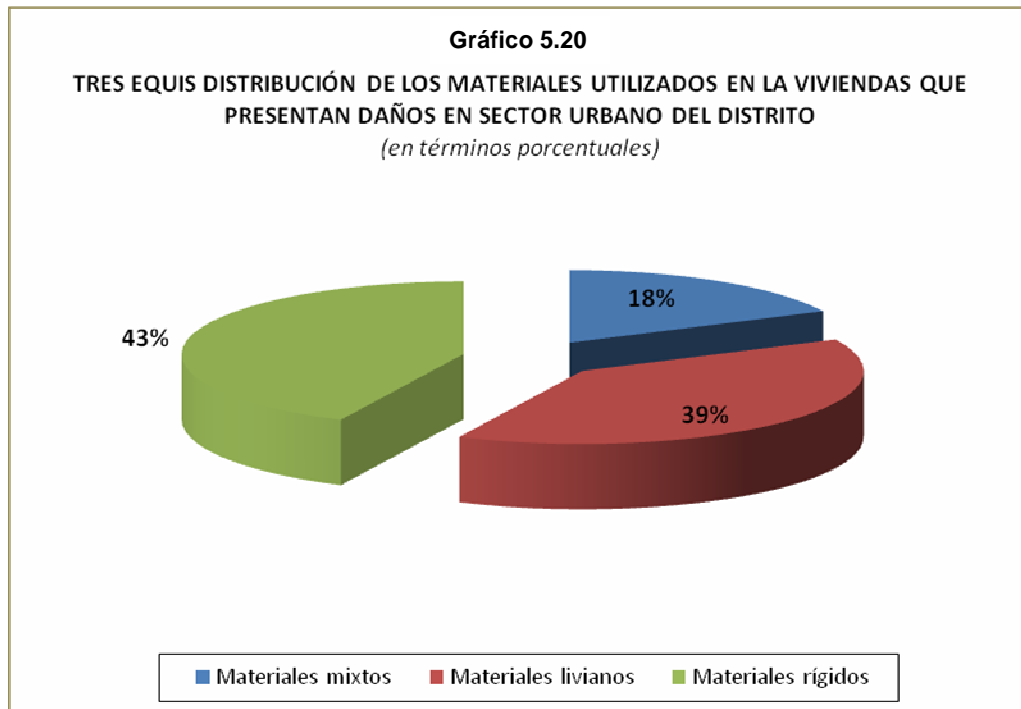


GRÁFICO 5.20. DISTRIBUCIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LAS VIVIENDAS QUE PRESENTAN DAÑOS EN EL SECTOR URBANO DE TRES EQUIS.

A partir de las entrevistas realizadas a diferentes miembros de la comunidad, complementado con la búsqueda de información histórica sobre el poblado de Tres Equis, se tiene que las viviendas que iniciaron el pueblo fueron construidas en madera, los módulos prefabricados fueron encargados a la empresa Bojan y los techos fueron encargados a la empresa Asfaltex (*La Nación* domingo 30 enero 1972), (**Figura 5.6**).



FIGURA 5.6. INICIOS DEL POBLADO DE TRES EQUIS ENTRE LOS AÑOS 1971-1972, CONSTRUCCIONES REALIZADAS CON MÓDULOS PREFABRICADOS EN MADERA.

LA VISTA CORRESPONDE AL SECTOR DONDE ACTUALMENTE SE UBICA EL MEGASUPER.
COORDENADAS: 215888N- 583367E, FUENTE: SR. MARIO ALBERTO QUIRÓS.

- *Descripción de daños observados en viviendas construidas en madera*

Los daños observados en las viviendas construidas con madera incluyen: deformación en columnas aisladas, deformación de columnas ubicadas en las esquinas, leve deformación de marcos en ventanas y puertas, inclinación de las bases de la vivienda; en este caso las familias optan por sustituir la mayor parte de las bases inclinadas con nuevas estructuras. En el caso de los desplazamientos verticales del terreno, se reemplazan las basas antiguas con basas que presenten mayor longitud; es frecuente observar que las viviendas se inclinan como un bloque completo y no por segmentos.

Todas las viviendas construidas sobre grietas generadas por el movimiento diferencial del deslizamiento, presentan algún tipo de deformación asociados con grietas de tensión.

Los **figuras 5.7, 5.8 y 5.9** representan los daños más frecuentes observados en las estructuras construidas en madera.

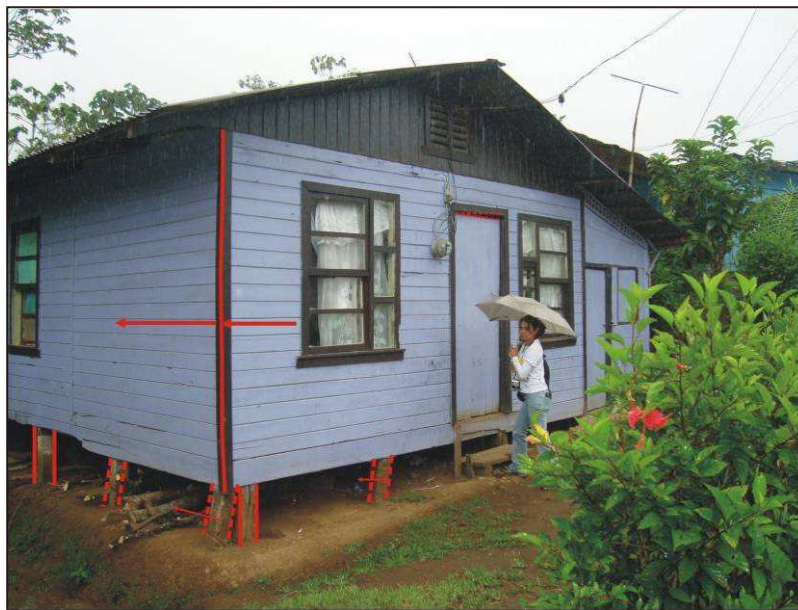


FIGURA 5.7. VIVIENDA UBICADA EN EL CENTRO DE TRES EQUIS ENTRE LA FUERZA PÚBLICA Y LA ESCUELA LA GUARIA.

SE OBSERVA LA DEFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA CONSTRUIDA EN MADERA, LA DEFORMACIÓN ES GENERADA POR GRIETAS DE TENSIÓN. LAS BASES DEFORMADAS SE VAN REEMPLAZANDO CON NUEVAS BASES. COORDENADAS: 216245N – 583318E.



FIGURA 5.8. VIVIENDA UBICADA EN EL SECTOR DE BAJO LOS MORA. SE OBSERVA LA DEFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA CONSTRUIDA EN MADERA, LA DEFORMACIÓN ES GENERADA POR EL DESPLAZAMIENTO VERTICAL DEL TERRENO. LAS BASAS DEFORMADAS HAN SIDO REEMPLAZADAS POR NUEVAS BASAS. COORDENADAS: 217576N-583121E.



FIGURA 5.9. VIVIENDA UBICADA A LA ENTRADA DE TRES EQUIS. PRESENTA EVIDENCIAS DE LEVE DEFORMACIÓN GENERADA POR EL DESPLAZAMIENTO DEL TERRENO. COORDENADAS: 216236N-583512E.

- *Descripción de daños observados en viviendas construidas en mampostería y prefabricado*

Los daños observados en infraestructura construida en mampostería incluyen grietas de tensión en paredes, columnas y en elementos no estructurales como pisos. En el caso del gimnasio de la escuela de San Pablo, se observó separación en paredes y pisos entre los 5 a 10 cm. El sitio donde se construyó la escuela y el gimnasio de San Pablo es afectado por tres sistemas de fracturas que generan desplazamientos laterales del terreno y afectación de la infraestructura construida sobre las grietas activas (**figuras 5.10 y 5.11**).



FIGURA 5.10. GIMNASIO DE LA ESCUELA SAN PABLO AFECTADO POR GRIETAS DE TENSIÓN CON DESPLAZAMIENTOS ENTRE LOS 5 A 10CM, MARZO 2011. COORDENADAS: 213618N-583446E

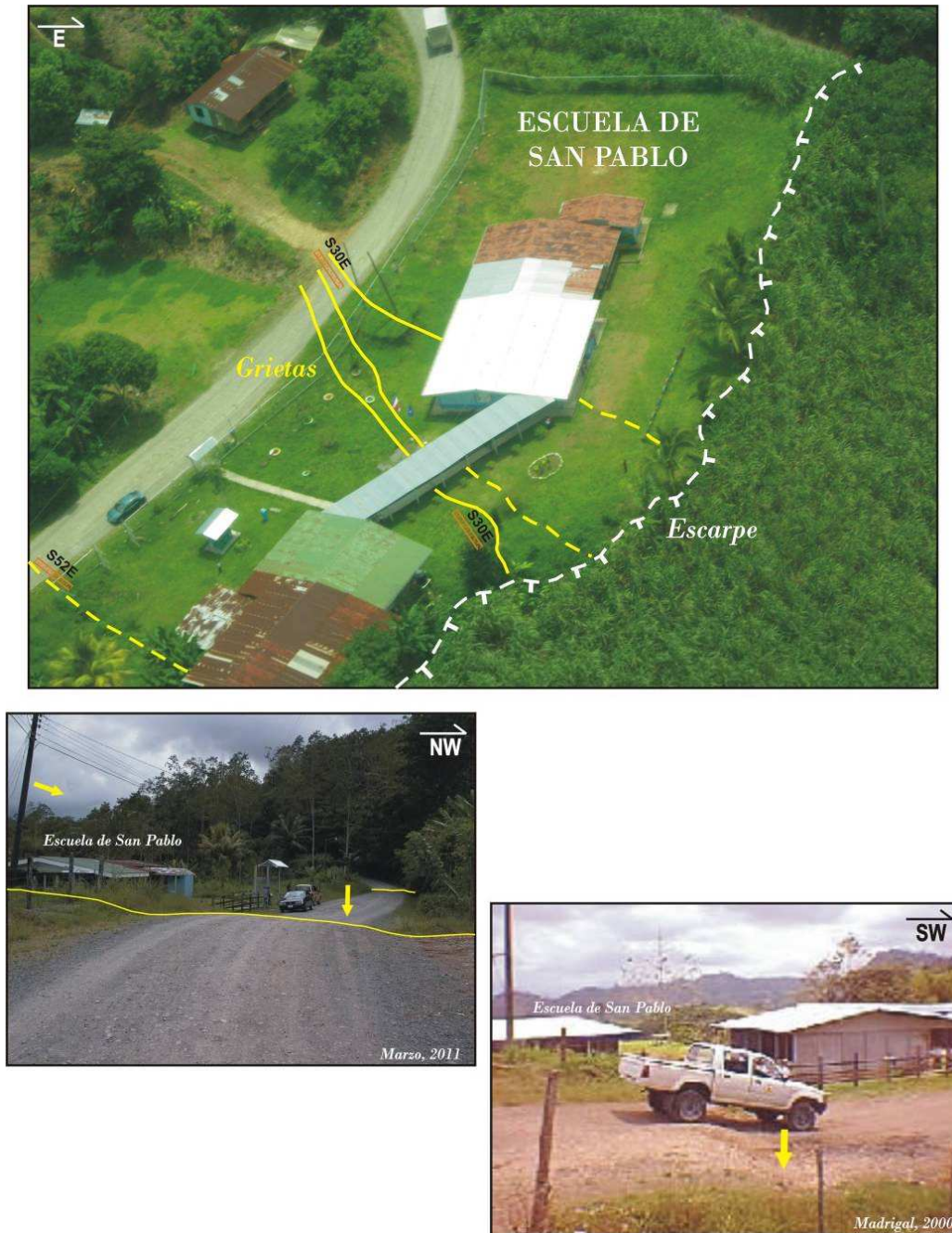


FIGURA 5.11. VISTA DE LOS SISTEMAS DE GRIETAS QUE ATRAVIESAN LA ESCUELA DE SAN PABLO Y EL ESCARPE DE DESLIZAMIENTO UBICADO AL ESTE DEL CENTRO EDUCATIVO.
COORDENADAS 213618N-583446E

Los daños en estructuras modulares como las construcciones prefabricadas, son similares a los daños observados en las construcciones en mampostería; se observa separación de los elementos no estructurales como el piso, entre los 5 a 15cm. Adicionalmente, los esfuerzos de tensión inducidos por los movimientos diferenciales del terreno generan separación entre los elementos verticales, lo que puede inducir el colapso de las paredes o bien aberturas

importantes que debilitan estructuralmente la unidad de forma global. Las viviendas prefabricadas que presentan daños se ubican sobre grietas activas en los deslizamientos descritos en esta investigación (**figura 5.12**).

La ubicación de infraestructura sobre grietas activas y la rigidez de los materiales de construcción utilizados en los sistemas de construcción de mampostería y prefabricados, dificultan la implementación de medidas correctivas o sustitución de elementos dañados.



FIGURA 5.12. DAÑOS OBSERVADOS EN VIVIENDA PREFABRICADA CONSTRUIDA SOBRE GRIETA ACTIVA DE DESLIZAMIENTO.

COORDENADAS: 215774N – 583393E

5.3.2 Descripción de daños observados en infraestructura vial

Los daños en infraestructura vial se concentran al pie del escarpe longitudinal Amistad – Guadalupe, observado en el mapa inventario de deslizamientos (**figura 3.42**); la afectación se genera tanto hacia el bloque de deslizamiento denominado Tres Equis – Chitaría como hacia el bloque Pacuare.

Las grietas observadas en la ruta No.10 se concentran entre el poblado de Chitaría y Tres Equis, son grietas abiertas con desplazamientos verticales que dañan la ruta asfaltada mediante los desplazamientos relativos del terreno. Al menos en las grietas observadas al sur de la entrada principal al poblado de Tres Equis, es necesario disminuir la velocidad en los vehículos, ya que el desplazamiento vertical puede alcanzar unos 0,15 m (**figuras 5.13 y 5.14**).

Hacia el bloque de deslizamiento Pacuare, las vías de comunicación son en lastre y la afectación por grietas se observa como flexiones en la carretera; los daños más representativos se ubican frente a la escuela de San Pablo, como se representó en la **figura 5.8**.

Los daños en infraestructura vial también se observan en los sub-bloques de deslizamientos denominados Tres Equis, Flor, Quebrada Grande y Calvario.

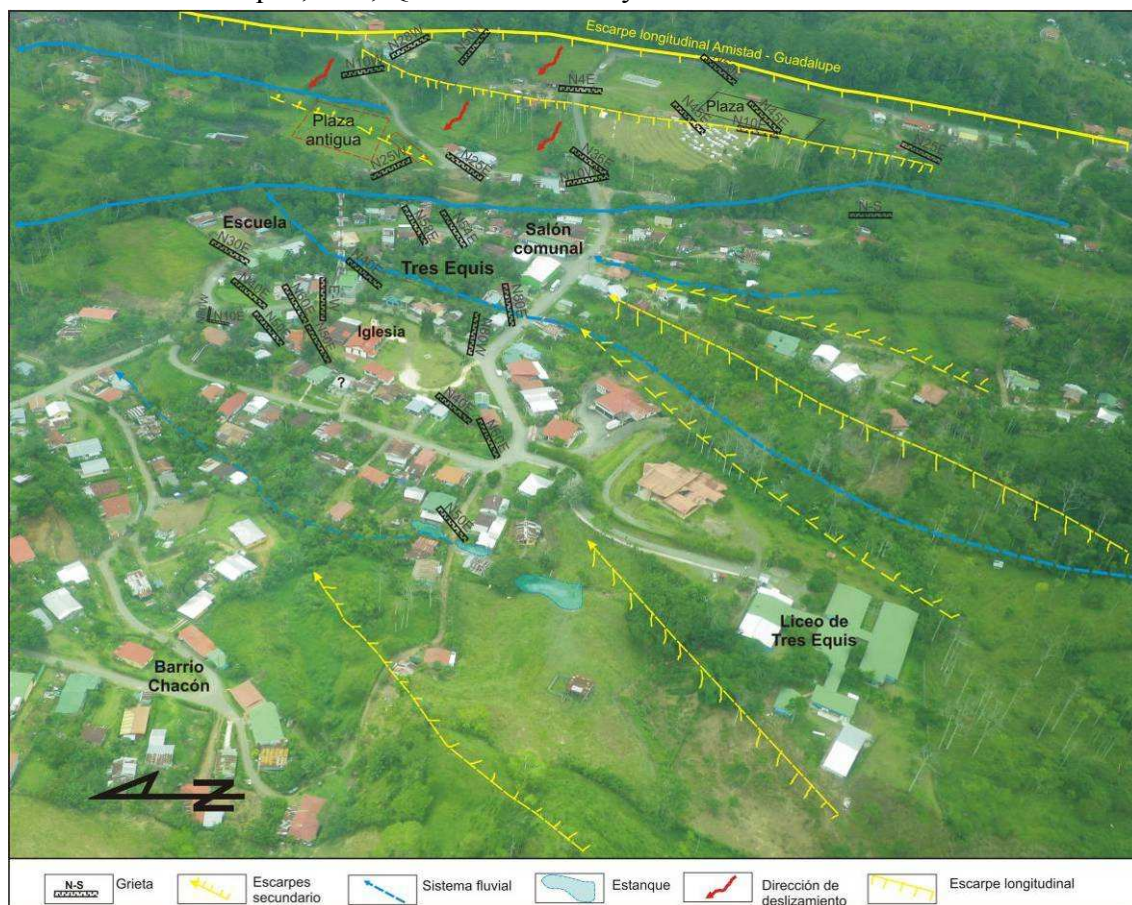


FIGURA 5.13. UBICACIÓN DE LAS GRIETAS Y ESCARPES QUE ATRAVIESAN LA COMUNIDAD DE TRES EQUIS, PRESENTAN UN RUMBO PREFERENCIAL NE.



FIGURA 5.14. DAÑOS EN CARRETERAS POR GRIETAS DE DESLIZAMIENTO, SECTOR ENTRE LA ESCUELA Y LA FUERZA PÚBLICA DE TRES EQUIS. LAS GRIETAS DE DISTENSIÓN PRESENTAN UN RUMBO N58E. COORDENADAS: 216226N-583322E.

5.3.3 Descripción de daños observados en acueducto

Los daños observados en el acueducto se limitan a los sitios en los que la tubería atraviesa las áreas activas del deslizamiento. Los daños inician con una flexión de la tubería hasta alcanzar el límite elástico del material (PVC), generando una ruptura. Los daños por rupturas son reparados con añadidos de tubería que se ven expuestos a la afectación por el movimiento continuo del terreno (**figuras 5.15 y 5.16**).

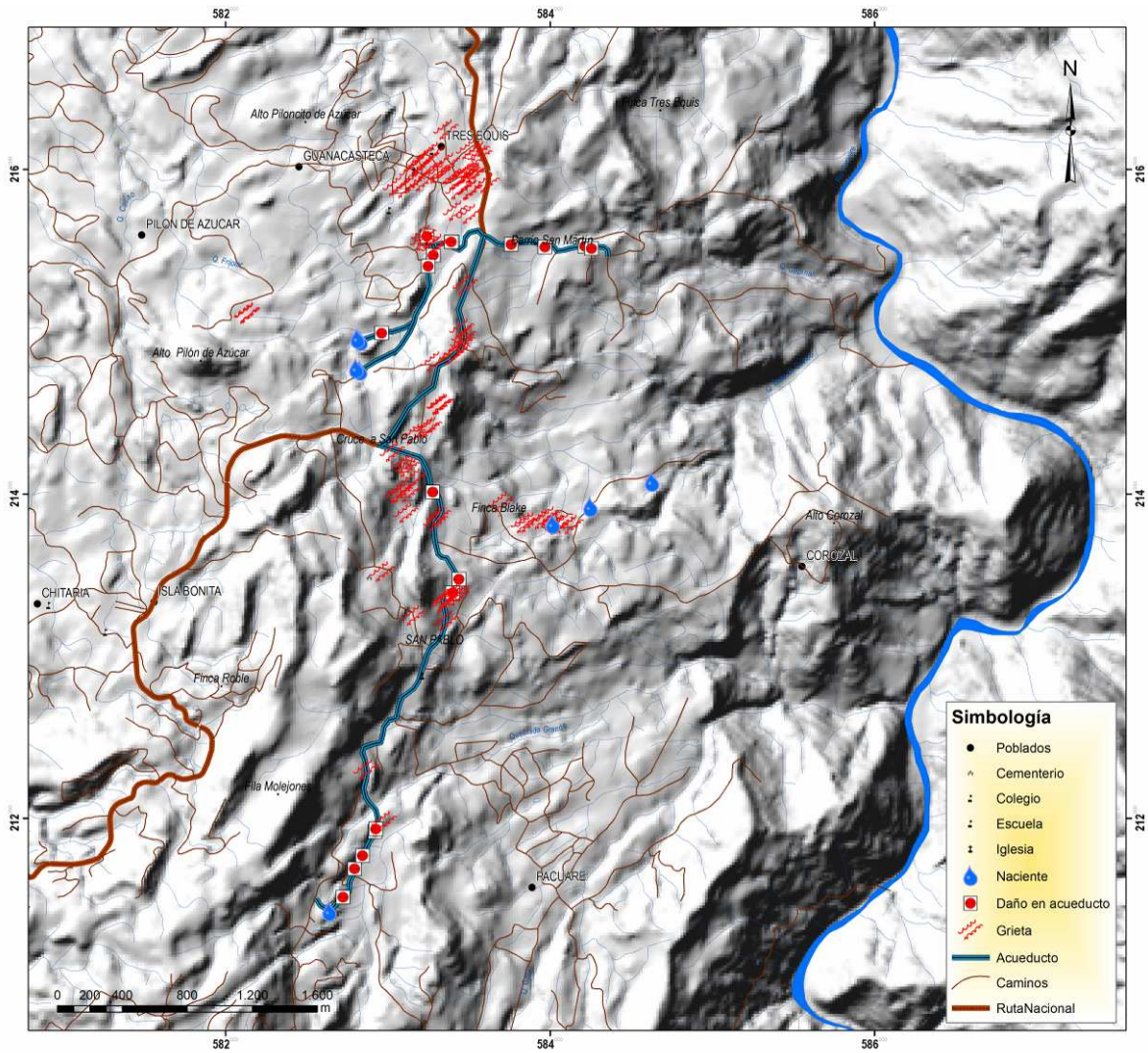


FIGURA 5.15. MAPA INVENTARIO DE DAÑOS POR DESLIZAMIENTOS EN EL ACUEDUCTO DE TRES EQUIS



Daños en las tuberías de la ASADA de Tres Equis por agrietamientos y desplazamientos



Sector de Barrio San Juanillo

FIGURA 5.16. DAÑOS GENERADOS POR GRIETAS ACTIVAS DE DESLIZAMIENTO SOBRE LA TUBERÍA DE AGUA POTABLE, SECTOR DE BARRIO SAN JUANILLO. COORDENADAS 215806N-583409E.

5.3.4 Descripción de daños en espacios públicos

Las grietas generadas por el deslizamiento han generado daños en centros deportivos, como la destrucción de la antigua plaza de deportes, daños en la antigua escuela y actualmente daños en la nueva plaza y cementerio de Tres Equis (**figuras 5.17, 5.18 y 5.19**). Los daños consisten en afectación del terreno con grietas abiertas y desplazamientos verticales que en el caso de la antigua plaza, pueden alcanzar el metro de altura. Se observan agrietamientos en algunos nichos del cementerio, generados por el desplazamiento diferencial del terreno.

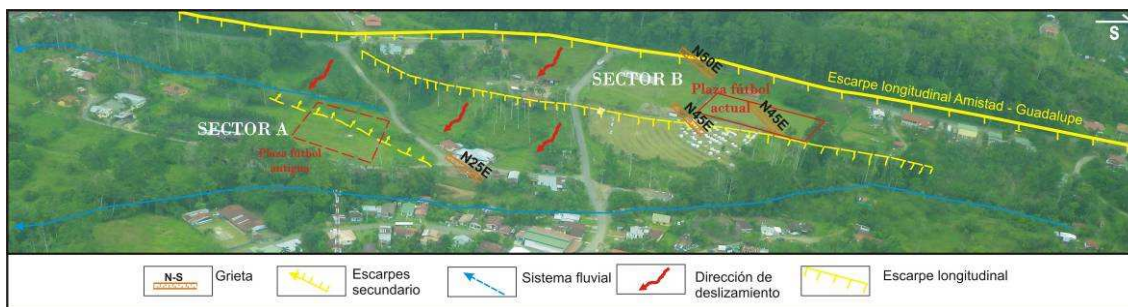


FIGURA. 5.17. VISTA AÉREA DE GRIETAS ACTIVAS QUE ATRAVIESAN LA ANTIGUA PLAZA (SECTOR A) Y LA NUEVA PLAZA DE TRES EQUIS (SECTOR B)

SECTOR A: Plaza de fútbol antigua



Grieta y escarpe con rumbo N20E en antigua plaza de fútbol.
Desplazamiento vertical de 1 m



Fotos: Julio Madrigal, 2003

FIGURA 5.18. GRIETAS GENERADAS POR DESLIZAMIENTO EN LA ANTIGUA PLAZA DE TRES EQUIS, LA CUAL QUEDÓ INHABILITADA POSTERIOR AL TERREMOTO DE LIMÓN. EL PRIMER DESPLAZAMIENTO SE REPORTÓ EN EL AÑO 1975, JUNTO CON LA AFECTACIÓN DE LA ANTIGUA ESCUELA. COORDENADAS: 216292N – 583386E

SECTOR B: Plaza de fútbol actual y cementerio de Tres Equis



FIGURA 5.19. GRIETAS GENERADAS POR DESLIZAMIENTO GENERAN DAÑOS EN LA RUTA NO.10, EN LA PLAZA NUEVA Y EN EL CEMENTERIO DE TRES EQUIS.

5.3.5 Otras obras civiles vulnerables a los deslizamientos

Adicional a las obras que presentan daños por el deslizamiento y se describieron con anterioridad, se tiene que la infraestructura utilizada para la transmisión eléctrica y el poliducto que atraviesan el bloque de deslizamiento Tres Equis – Chitaría, son vulnerables a los diferentes deslizamientos estudiados.

En el caso de las líneas de transmisión eléctrica se tiene que algunas torres se construyeron al borde de escarpes laterales de deslizamiento, donde se presenta un intenso proceso erosivo (**figura 5.20**).

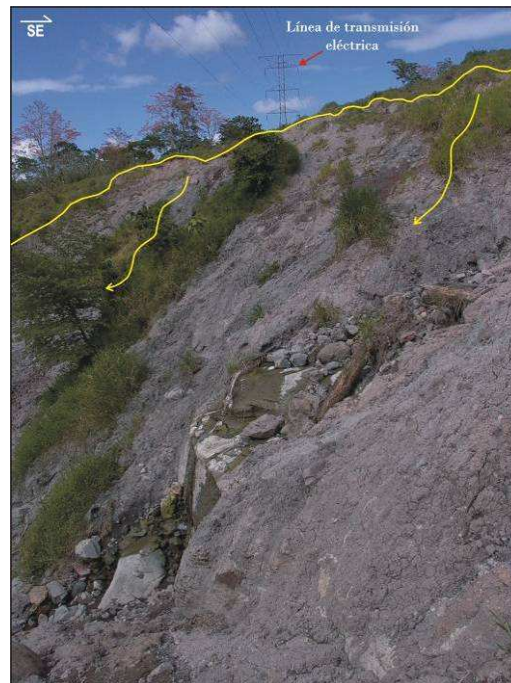


FIGURA 5.20. UBICACIÓN DE TORRE DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA SOBRE LA CORONA LATERAL DEL DESLIZAMIENTO EN EL SUB-BLOQUE CALVARIO. COORDENADAS: 219070N – 581778E

Al igual que la línea de transmisión eléctrica, se tiene que algunos sectores del poliducto de RECOPE se ubican sobre escarpes laterales de deslizamiento, en zonas de erosión fluvial y sobre bloques activos con intenso proceso de reptación, observándose deformaciones en la tubería del poliducto (**figura 5.21**)



FIGURA 5.21. VISTA DEL POLIDUCTO EN DIFERENTES TRAMOS AFECTADOS POR MOVIMIENTOS EN MASA. FOTO A: POLIDUCTO ATRAVESADO POR UN ESCARPE DE DESLIZAMIENTO, COORDENADAS: 216627N-579355E. FOTO B: POLIDUCTO UBICADO EN ZONA ACTIVA DE DESLIZAMIENTO, COORDENADAS 218453N-580358E Y FOTO C.: POLIDUCTO CONSTRUIDO SOBRE QUEBRADA CON PROCESOS DE EROSIÓN FLUVIAL ACTIVOS, COORDENADAS 216681N-579415E.

VI. CONCLUSIONES

En función de los temas analizados en esta presente investigación, se llega a las siguientes conclusiones:

- Respecto a la configuración geológica del área de estudio

El distrito de Tres Equis se asienta sobre depósitos sedimentarios marinos y fluviales de edad Paleoceno al Plioceno que incluye las formaciones denominadas Tuis, Senosri, Uscari, Río Banano y Suretka, sobreyacidos discordantemente por depósitos volcanogénicos del Plioceno correspondientes con la Fm. Doán.

Se determinó que la Fm Uscari (incompetente) desplaza a la Fm Doán (competente) que la sobreyace. Este arreglo estratigráfico corresponde con el parámetro que condiciona la formación de los diferentes deslizamientos identificados en el área de estudio.

El arreglo estratigráfico no sólo predispone la ocurrencia de los movimientos en masa sino que está directamente involucrado en el tipo de falla y comportamiento de la masa deslizada, observándose movimientos de laderas clasificados como: desplazamiento lateral (*lateral spreads*) y también deslizamientos complejos que pueden incluir a lo interno deslizamientos rotacionales, flujos de detritos y de lodo. Peraldo et al. (2012) le llaman a procesos similares en la margen izquierda del río Reventazón en el sector de San Antonio de Pascua como "remoción compleja".

- Respecto a la caracterización geomorfológica y el análisis de la geodinámica externa en el entorno circunscrito al distrito de Tres Equis

De acuerdo con la caracterización de los patrones de drenaje se reconocieron 19 microcuencas que drenan hacia los colectores principales; 9 de ellas hacia el río Reventazón y 10 hacia el río Pacuare. Los patrones de drenaje predominantes son subparalelo, contorsionado y subdendrítico con la particularidad de que son modificados por la activa geodinámica externa.

Mediante el estudio del origen de las formas, siguiendo los criterios establecidos por van Zuidan (1986), se estableció para el área de estudio las siguientes unidades geomorfológicas: unidad denudacional, unidad estructural-denudacional y unidad fluvial.

Las formas de origen denudacional se distinguen por formar lomas elongadas con alturas entre los 50-80 m sobre el nivel del terreno intercaladas con depresiones topográficas donde es frecuente la formación de estanques. En las formas de origen estructural-denudacional destacan el escarpe principal denominado longitudinal Amistad-Guadalupe y otros escarpes que limitan los sub-bloques de deslizamiento. En la unidad de origen fluvial predominan las terrazas fluviales en el río Cacao y Reventazón y un abanico aluvial activo en la quebrada Mata de Guineo.

- Sobre el análisis geomorfológico realizado para el inventario de deslizamientos

De acuerdo con la caracterización geomorfológica, fotogeológica y análisis de campo para el área de estudio se reconocieron dos grandes bloques de deslizamiento denominados: Tres Equis – Chitaría con una superficie de 32 km² y bloque Pacuare con una superficie de 28 km².

Estos bloques están limitados entre sí por el escarpe denominado en este estudio como escarpe longitudinal Amistad-Guadalupe al que se le determinó una longitud de 11,94 km. Este escarpe no sólo define el límite de las masas en movimiento sino que podría estar relacionado con la presencia de una falla neotectónica identificada por Linkimer (2003) como Falla Tres Equis.

Los bloques Tres Equis – Chitaría y Pacuare se dividieron en 13 sub-bloques de deslizamiento. La segregación de los bloques se basó en la morfología y continuidad de los escarpes que conforman los límites entre sub-bloques de deslizamiento, así como otros componentes como escarpes secundarios y alineamientos menores, movimientos relativos del terreno, disposición de grietas transversales y grietas longitudinales. Todos los sub-bloques fueron incorporados en el inventario de deslizamientos.

- Referente al análisis geomorfológico del bloque de deslizamiento Tres Equis - Chitaría

El bloque Tres Equis-Chitaría está compuesto por los siguientes 7 sub-bloques: Tres Equis, Calvario, Flor, Reventazón-Camacho, Molejones, Chitaría y Quebrada Camacho. Este bloque presenta una cobertura litológica constituida predominantemente por flujos piroclásticos de la Fm. Doán que sobreyacen discontinuamente a las intercalaciones de areniscas finas y lutitas de la Fm. Uscari.

El bloque de deslizamiento Tres Equis-Chitaría se clasificó como desplazamiento lateral (*lateral spreads*). Esta clasificación se basó en que la Fm. Doán conformada por litologías coherentes y más competentes en cuanto a calidad de macizo rocoso se refiere, se desplazan sobre un material más blando (Fm. Uscari) que actúa como un plano arcilloso.

Las microcuencas demarcadas en este bloque presentan patrones de drenaje modificados por la geodinámica externa. Destaca el patrón de drenaje contorsionado presente en la microcuenca del río Calvario, evidenciado en la base del escarpe del deslizamiento denominado sub-bloque Tres Equis, donde se presenta un marcado cambio de rumbo de sureste a noreste observado en los alrededores del poblado de Tres Equis. De igual forma destaca el patrón lagunar de la microcuenca denominada Lagunas Chitaría, el cual es producto de las barreras topográficas que generan los desplazamientos laterales en la base del cerro Alto Pílon Azúcar.

En general se tiene que en el distrito de Tres Equis predominan las pendientes fuertes (16,1-35°) abarcando un 36,4% del área, seguido por un 30,9% con pendientes moderadas (8,1-16°), un 20,4% con pendientes bajas (2,1-8°), un 6,7% con pendientes muy bajas (0-2°) y un 5,6% con pendientes muy fuertes (36-55°). Se determinó que las pendientes topográficas en el bloque de deslizamiento Tres Equis - Chitaría tienden a ser inferiores a los 16°. No obstante, en las áreas de mayor desarrollo urbano (poblado de Tres Equis) se presentan pendientes topográficas inferiores a los 5° clasificadas según van Zuidan (1986) como pendientes bajas.

La caracterización del sub-bloque de deslizamiento identificado como Tres Equis evidenció que las grietas de deslizamiento no muestran un único rumbo preferencial sino que varían siguiendo el contorno o morfología del escarpe longitudinal y se limitan al pie de éste; los segmentos de las grietas son visibles por al menos una decena de metros.

- Referente al análisis geomorfológico del bloque de deslizamiento Pacuare

El bloque Pacuare exhibe mayor interacción litológica representada por una cobertura de flujos piroclásticos de la Fm. Doán que sobreyacen depósitos sedimentarios de las formaciones Tuis, Senosri, Uscari y Río Banano.

Para el bloque Pacuare se reconocieron los siguientes 6 sub-bloques de deslizamiento: Amistad-San Martín, Quebrada Sartén-Danta, San Pablo, Guadalupe, Quebrada Grande y Corozal.

El movimiento de ladera observado en el bloque Pacuare se clasificó como un deslizamiento complejo, que incluye a lo interno deslizamientos rotacionales, flujos de detritos y lodo.

Dentro del bloque Pacuare se determinó que el sub-bloque San Pablo presenta los mayores movimientos diferenciales del terreno formándose escarpes con diferencias de altura entre 20 y 40 m entre la base y la corona, con una longitud máxima de 500 m de largo.

Mediante el análisis histórico de eventos sísmicos y meteorológicos contra los periodos de mayor actividad registrados para los sub-bloques Tres Equis y San Pablo, se estableció que ambos eventos conforman los principales factores que desencadenan movimientos en masa.

- Referente a la evaluación de la susceptibilidad a la inestabilidad de laderas y caracterización geotécnica del área de estudio

Del análisis geotécnico realizado en diferentes sitios del distrito y de muestreos de las campañas geológicas de 1995 y 1996 se concluye que en el área los suelos residuales predominantes son los provenientes de la Formación Doán donde su constituyente principal corresponde con limos elásticos (MH) de plasticidad alta y con cantidad importante de limos elásticos (MV) de plasticidad muy alta. De la Formación Uscari su constituyente

principal corresponde con arenas pobremente gradadas (SP) con contenidos variables de arcilla y grava especialmente hacia el río Pacuare y hacia el río Reventazón con algo de arcillas gruesas con arena (CH) de plasticidad alta y limos elásticos arenosos (ME) de plasticidad extremadamente alta. Los suelos residuales provenientes de la Formación Senosri su constituyente principal corresponde con limos elásticos arenosos (MV) de plasticidad muy alta y con cantidad importante de limos elástico arenosos (MH) de plasticidad alta. Los suelos residuales provenientes de la Formación Río Banano (en una única muestra realizada) corresponden con limos elásticos arenosos (MH) de plasticidad alta.

El análisis de susceptibilidad a deslizamientos permitió confirmar que los factores desencadenantes (sismos y precipitaciones) pueden actuar de forma independiente o conjunta, asignándose por tanto a las condiciones geotécnicas, geomorfológicos y al arreglo litológico el valor más significativo en cuanto al análisis de inestabilidad de ladera se refiere.

Para el área analizada se estableció que el método MVM no determina la susceptibilidad para las zonas de baja pendiente. Este parámetro se consideró poco relevante, principalmente para el sub-bloque Tres Equis, ya que es el factor litológico (control estratigráfico) el desencadenante de los procesos de remoción observados.

Entre los resultados obtenidos del modelo MVM se muestra que los centros de población de Tres Equis, Flor, Alto June, Pílon de Azúcar y Pacuare se desarrollan sobre zonas de muy baja a baja susceptibilidad. Guanacasteca, Chitaría, Barrio San Martín y San Pablo lo hacen sobre zonas de baja a moderada, mientras que las áreas con susceptibilidad alta a muy alta se desarrollan preferencialmente hacia el extremo este del distrito, específicamente sobre las laderas que drenan directamente hacia el río Pacuare, entre ellas los cursos medios a inferior de las microcuencas de quebradas Capinal, Mata de Guineo, Danta y Sartén. También se denotaron con alta susceptibilidad los márgenes del curso bajo del río Chitaría-Camacho. Los terrenos con mayor susceptibilidad a deslizamiento se ubican sobre el bloque Pacuare.

Mediante la aplicación del método MVM se determinó que un 9,8% del área en el distrito de Tres Equis se clasifica de susceptibilidad muy baja a deslizamiento, un 17,8% como de baja susceptibilidad, 46% como moderada, un 22,6% como alta y un 3,9% como muy alta

Para afinar los resultados obtenidos aplicando el método MVM se utilizó una variación, que consistió en reemplazar el parámetro de pendiente por un parámetro geomorfológico. Los resultados de esta variación reflejan coherentemente la realidad de las zonas de inestabilidad, incluyéndose acá la comunidad de Tres Equis, Chitaría, Flor y Pílon de Azúcar, Alto June, Pílon y Sol dentro del rango de alta susceptibilidad, mientras que San Pablo, Pacuare, San Martín, finca

Blake y río Chitaría con muy alta susceptibilidad. A diferencia del método MVM como tal no se utilizó el parámetro de pendiente, reforzándose la componente geomorfológica con mayor peso al definir las zonas de susceptibilidad y a la vez quitando el poco peso que resulta la baja pendiente en zonas visiblemente inestables.

Es necesario aclarar que los mapas generados mediante el método MVM o modificado no debe ser utilizado cómo única herramienta para la clasificación de la peligrosidad de los bloques de deslizamientos, así como para la elaboración de mapas de ordenamiento territorial; debido a las siguientes condiciones: 1. la escala de trabajo no es adecuada para una correcta modelación de la susceptibilidad al deslizamiento y 2. La zona de estudio presenta evidencias de una activa geodinámica externa por lo que se requiere un seguimiento continuo de la evolución de los desplazamientos del terreno.

Estudios de difracción de rayos X realizados en la Fm. Uscari específicamente en lutitas y areniscas finas aflorantes hacia el sector cercano a la margen derecha del río Reventazón, se determinó presencia de montmorillonita e illita, minerales arcillosos con características expansivas. Con base en los resultados de porcentaje de finos y límite líquido respectivos se realizó una estimación de expansividad de media a alta correspondiente con un grado III dada por Vallejo (2002), esto unido a observaciones de campo muestran que esta expansividad contribuye en el mecanismo de los movimientos en masa.

- Referente a los elementos vulnerables y análisis de la percepción social sobre los deslizamientos

El estudio de los elementos vulnerables estableció que la población y la infraestructura civil que comprende el acueducto, líneas de transmisión eléctrica, viviendas, edificaciones públicas, poliducto y la red vial son elementos expuestos a la geodinámica externa y presentan afectación por los movimientos relativos del terreno.

Por medio del análisis estadístico realizado para conocer la percepción social sobre peligros naturales se determinó que un elevado porcentaje de las personas entrevistadas ha escuchado sobre deslizamientos que afectan otras áreas del país o del distrito, eximiendo al centro de Tres Equis de la afectación por este tipo de eventos y señalando al poblado de San Pablo como el sector que sí puede ser afectado por estos eventos.

Se desprende de las encuestas realizadas que los entrevistados presentan una marcada separación entre el manejo teórico y el conocimiento práctico de los deslizamientos. La mayoría de los entrevistados no posee la capacidad de relacionar la aparición de grietas en el terreno con un deslizamiento producto de dos condiciones: primero existe un concepto arraigado que los deslizamientos ocurren exclusivamente en las áreas donde predominan las pendientes fuertes o zonas de montaña; la segunda apreciación va ligada a la primera en el sentido de que las pendientes suaves presentes en el sector de la ciudadela de Tres Equis no propician la ocurrencia de ese tipo de eventos.

Mediante el taller de percepción realizado con diferentes miembros de la comunidad de Tres Equis se logró distinguir que los participantes mantienen un adecuado conocimiento sobre el espacio físico en el que se desarrollan y delimitan con claridad las grietas que atraviesan el pueblo. Sin embargo, expresan mantener dudas sobre la continuidad tanto longitudinal como lateral de las grietas que se observan en el terreno. Concluyen que las grietas son elementos naturales que no constituyen un riesgo para la comunidad, siempre y cuando no existan construcciones sobre ellas y expresan que no hay solución para detener la formación de grietas. No se asocia la aparición de grietas y la formación de un deslizamiento.

Sobre la metodología de investigación implementada se destaca la importancia de la integración de aspectos sociales (percepción del riesgo) en conjunto con el análisis geológico para la caracterización de los deslizamientos ya que los datos aportados mediante los mapas de percepción elaborados por diferentes miembros de la comunidad, junto con los registros de movimientos relevantes del terreno, fechados según la memoria histórica de los entrevistados, son herramientas que afinan el conocimiento sobre la evolución de las masas inestables.

La integración de la información aportada por los diferentes miembros de la comunidad al análisis del inventario de deslizamientos en el distrito de Tres Equis permitió obtener los siguientes resultados: fechar varios desplazamientos en los bloques de deslizamientos identificados, obtener datos sobre los factores desencadenantes, obtener un registro sobre los daños históricos generados a la infraestructura civil y delimitar los sitios que presentaron movimientos relativos del terreno en las últimas tres décadas.

VII. RECOMENDACIONES

Con base en el estudio realizado se proponen las siguientes recomendaciones que giran en torno a tres ejes de acción:

- ✓ El planteamiento de políticas estratégicas para la adecuada planificación urbana del distrito, donde se incluya la variable de gestión del riesgo.
- ✓ La investigación complementaria para la caracterización detallada de los deslizamientos descritos.
- ✓ La participación comunitaria en los procesos de conocimiento y monitoreo permanente de los deslizamientos.

Planteamiento de políticas estratégicas en la gestión del riesgo para el desarrollo urbano del distrito.

- ✓ Es recomendable que la CNE como ente rector en materia de prevención del riesgo brinde adecuada orientación para el establecimiento de una política efectiva de uso de la tierra y del ordenamiento territorial. Es aconsejable que esta política sienta sus bases en la integración del marco legal que sustenta la planificación urbana y uso del suelo, en conjunto con el conocimiento de los factores del medio físico que intervienen en la actividad de los deslizamientos ya sean geológicos, meteorológicos y topográficos, vinculando los posibles escenarios de evolución del deslizamiento y sus efectos sobre la población.
- ✓ Es necesario que esta política esté en revisión constante y permitan modificaciones mediante las cuales se incorporen o descarten nuevas áreas de riesgo inminente, basadas en el conocimiento sobre la evolución y comportamiento de las masas inestables.
- ✓ El municipio, como gobierno local, debe ser una institución activa en el tema de la gestión del riesgo. Debe fomentar una adecuada planificación y ordenamiento territorial independientemente de los límites entre distritos, basándose en el concepto de cuenca hidrográfica como unidad base para el ordenamiento territorial.
- ✓ Es recomendable que las políticas de ordenamiento territorial que realice el municipio incluyan en su planteamiento los objetivos y estrategias que serán abordadas en el corto, mediano y largo plazo para la reducción de daños generados por situaciones de riesgo, desastre y peligro inminente.
- ✓ Se recomienda dar a conocer este documento al Comité Asesor Técnico de Geotecnia de la CNE.

- ✓ Solicitar al Ministerio de Educación Pública la reubicación de la escuela de de San Pablo.

Investigación complementaria para el monitoreo y caracterización detallada de los deslizamientos

- ✓ La auscultación de los deslizamientos delimitados en este estudio puede completarse con estudios adicionales como lo son: la prospección geofísica, levantamiento topográfico a escalas 1:10 000 o de mayor detalle, medición geodésica continua de los movimientos entre bloques con el fin de crear modelos de movimiento mediante vectores, interpretación de fotografías aéreas a escala 1:20000 o mayor detalle, mayor número de muestreos y análisis mediante difracción de rayos X de otros sectores donde aflora la Fm. Uscari para la identificación de tipos de arcillas y determinación de su grado de expansividad, elaboración de trincheras, realizar más muestreos geotécnicos especialmente en suelos residuales de las formaciones Uscari, Tuis y Río Banano y ampliación de estudios geotécnicos especializados.
- ✓ Suárez (2006) menciona que entre los métodos geofísicos disponibles para el estudio de deslizamientos se tiene el método de detección del ruido no audible (método acústico). Este método permite monitorear ondas elásticas naturales que emite el terreno a causa de la deformación producida por los esfuerzos, ya que previamente a una falla y durante un tiempo considerable el terreno emite una serie de ruidos no audibles, los cuales revelan la inminencia de una falla con mayor rapidez que un inclinómetro. El método consiste en detectar los sonidos de baja intensidad, producidos por los movimientos de las masas de tierra dentro del deslizamiento. Se le utiliza para determinar la inminencia de ocurrencia de un movimiento y se le ha implementado en otros países para auscultar taludes en minas a cielo abierto. Por lo tanto, es recomendable ahondar en el estudio de este método y analizar la posibilidad de implementarlo para auscultar los deslizamientos descritos.
- ✓ Es recomendable que deslizamientos como los descritos en el distrito de Tres Equis mantengan una adecuada red de inclinómetros y pluviómetros, los cuales permitirán caracterizar de forma cuantitativa la evolución del deslizamiento, para efectos preventivos.
- ✓ Se considera necesario que el LIS incluya al distrito de Tres Equis en su red de acelerógrafos, lo cual permitirá medir in situ las intensidades sísmicas reportadas para diferentes sismos que ocurran en el país y establecer relaciones más certeras con los movimientos del terreno que puedan generarse en respuesta a un evento sísmico.

- ✓ Integrar los resultados del presente estudio en la elaboración de un mapa para el uso de la tierra en el distrito de Tres Equis.
- ✓ Según los daños presentes en el terreno se ofrece de forma preliminar la siguiente guía para la categorización de la peligrosidad, así como las limitantes y potencialidades del terreno (cuadro 7.1), enfatizando en la necesidad de continuar el estudio a una escala 1: 10 000 o de mayor detalle sobre los deslizamientos definidos en esta investigación:

Cuadro 7.1. Guía para categorización de la peligrosidad por deslizamiento

Categoría	Características observadas	Limitantes y potencialidades
<p>Categoría 1</p> <p>Terrenos con pendiente baja.</p> <p>Evidencia morfológica de movimientos en áreas con características litológicas, geotécnicas y morfológicas similares a las áreas inestables estudiadas.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Terrenos con pendiente baja < 8°. 2. Presencia de lagunas alineadas. 3. Existencia de geofórmulas que pueden asociarse con grietas. 4. El patrón de drenaje puede estar levemente modificado por la geodinámica externa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere previa evaluación de campo por parte de un experto en deslizamientos. - Construcción de vivienda con materiales livianos (madera, fibrocemento, entre otros). - Es recomendable construcción sobre lomas siempre y cuando el terreno seleccionado no presente registro histórico de agrietamiento. - Las construcciones sobre grietas serán inminente dañadas, independientemente del material de construcción utilizado. - No son terrenos idóneos para el desarrollo de fraccionamiento residencial de alta densidad. - Se pueden permitir proyectos de parcelamiento agrícola y forestal, con fines agrícolas, pecuarios y forestales. Además, se permiten los desarrollos turísticos con infraestructura liviana y no densa, siempre y cuando el terreno destinado a este uso lo permita. - Evitar construcciones en áreas topográficamente deprimidas, ya que el agua tiende a estancarse en estos sectores.
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Terrenos con pendiente media entre los 8,1° -16°. 2. Presencia de lagunas y grietas alineadas son frecuentes. 3. Se presentan escarpes secundarios con desplazamientos verticales menores a 5 m de altura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere previa evaluación de campo por parte de un experto en deslizamientos. - Posible construcción de vivienda con materiales livianos (madera, fibrocemento, entre otros). - Las construcciones sobre grietas serán inminente dañadas, independientemente del material de construcción a utilizar.

<p>Categoría 2</p> <p>Terrenos con pendiente moderada.</p> <p>Evidencia de movimientos generados por la presencia esporádica de agrietamientos</p>	<p>4. En vistas panorámicas el terreno puede observarse moderadamente escarpado.</p> <p>5. El patrón de drenaje está dominado por la geodinámica externa.</p>	<p>- Evitar construcciones en áreas topográficamente deprimidas, ya que el agua tiende a estancarse en estos sectores.</p> <p>- Es posible la construcción sobre zonas alomadas sin antecedentes de grietas o movimientos diferenciales asociados con el deslizamiento.</p> <p>- No son terrenos idóneos para el desarrollo de proyectos urbanísticos de media y alta densidad.</p> <p>- Se pueden permitir proyectos de parcelamiento agrícola y forestal, con fines agrícolas, pecuarios y forestales</p>
<p>Categoría 3</p> <p>Terrenos con pendiente fuerte.</p> <p>Fuertes evidencias morfológicas y de agrietamientos profusos de movimientos severos</p>	<p>1. Terrenos con pendiente fuerte 16,1-35°.</p> <p>2. Es frecuente la presencia de lagunas y grietas alineadas.</p> <p>3. Se presentan escarpes secundarios con desplazamientos verticales métricos.</p> <p>4. En vistas panorámicas el terreno se observa fuertemente escarpado.</p> <p>5. El patrón de drenaje está dominado por la geodinámica externa.</p>	<p>- No es recomendable la construcción de infraestructura.</p> <p>- Las construcciones serán inminente afectadas y destruidas independientemente del material utilizado para la construcción.</p> <p>- Únicamente se puede permitir el uso de la tierra con fines forestales.</p>

Participación comunitaria en el proceso de monitoreo permanente para los deslizamientos

- ✓ Se recomienda ampliar el trabajo de percepción realizado en este estudio abordando el tema de la vulnerabilidad social desde la perspectiva de las ciencias sociales, mediante la sensibilización hacia la población sobre el tema de la inestabilidad de laderas y la problemática de desarrollo socioeconómico en varias áreas del distrito.
- ✓ Se recomienda elaborar talleres de percepción para las otras comunidades que se ubican dentro de los deslizamientos delimitados en el presente estudio.
- ✓ Es recomendable realizar talleres de capacitación sobre deslizamientos para los docentes que laboran en los diferentes centros educativos ubicados dentro de los deslizamientos del presente estudio.

- ✓ Es recomendable elaborar talleres comunitarios donde se aborde el tema de los deslizamientos, sus causas, evolución y medidas correctivas para un adecuado desarrollo de la población entorno a las amenazas naturales presentes en el distrito.
- ✓ Presentar los resultados de esta investigación a la comunidad del distrito de Tres Equis, especialmente a la ciudadela.
- ✓ Fomentar la participación comunitaria mediante el monitoreo de las áreas actualmente activas así como de futuras áreas que presenten agrietamientos. Para ello se propone la implementación de un medidor convencional de las grietas que atraviesan el poblado de Tres Equis. Un sistema común es la colocación de unos elementos en madera o en metal a cada lado de la grieta, unidos por un elemento que permita la medición de las deformaciones según se representa en la **figura 7.1**. Adicionalmente se pueden implementar pluviómetros caseros para mantener un dato que permita relacionar las precipitaciones in situ contra los movimientos del terreno. Ambas herramientas de monitoreo podrán extenderse a otros poblados ubicados sobre las masas inestables.
- ✓ Se debe capacitar a la población sobre este tipo de artefactos de medición, con el fin de que la comunidad se integre en los estudios de los deslizamientos que los afectan. De esta forma se esperaría que los resultados integrados (científicos, técnicos, vecinos capacitados productores de información) sean mayormente aceptados por la comunidad.

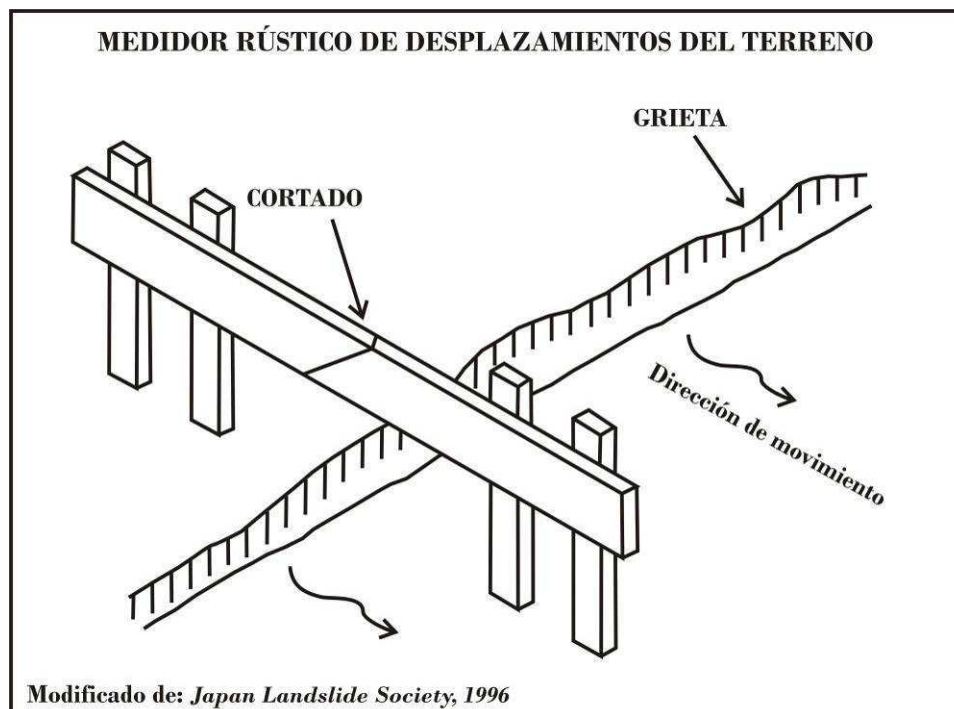


FIGURA 7.1. EJEMPLO DE MEDIDOR RÚSTICO PARA DETECCIÓN DE DESLIZAMIENTOS DEL TERRENO, EL CUAL PUEDE SER CONSTRUIDO EN ÁREAS COMUNALES O EN TERRENOS DE MIEMBROS VOLUNTARIOS EN EL POBLADO DE TRES EQUIS.

VIII. REFERENCIAS

AGUILAR, T., 1993: Paleoecología del Alto Guayacán, Formación Uscari Mioceno, Provincia de Limón, Costa Rica. -Rev. Geol. de América Central, 16: 51-60.

AGUILAR, A. T., 1997: Parches arrecifales de Jesús María (Oligoceno–Mioceno Inferior): una de las primeras comunidades del actual Caribe de Costa Rica. –61 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis de M.Sc.].

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1993: Soil and rock; dimension stone, geosynthetics. Section 4: Construction. – Annual book of ASTM standart, 04: 08.

ALVARADO, G.E. & PÉREZ, W., 1999: The Doán Formation (Plioceno) of Costa Rica: an overview on its description, origin, lateral equivalents, and further implications on the closing of the Central America seaway. –Sixth international congress on Pacific Neogene stratigraphy and IGCP–355. San José: 150–167.

ALVARADO, G. E., BARQUERO, R. & CLIMENT, A., 1998: Informe sismológico y neotectónico actualizado para la etapa de factibilidad del P. H. Pacuare. –47 págs. ICE, San José [Inf. interno].

ALVARADO, G.E., VEGA, E., CHAVES, J. & VÁSQUEZ, M., 2004: Los grandes deslizamientos (volcánicos y no volcánicos) de tipo *debris avalanche* en Costa Rica. –Rev. Geol. Amér. Central, 30: 83–99.

BIENIAWSKI, Z.T. 1989: Engineering rock mass classifications. – 251 págs. Ed. John Wiley & Sons, New York.

BOSCHINI, I., 1989: Incidencia de las fuentes sísmicas en la región Caribe de Costa Rica. –97 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis de Lic.].

BOTTAZZI, G., FERNÁNDEZ, J. A. & BARBOZA, G., 1994: Sedimentología e historia tectono–sedimentaria de la cuenca Limón Sur. –Profil 7: 351–391.

BOWLES, J., 1982: Propiedades geofísicas de los suelos. – Editorial McGraw-Hill Latinoamerica S.A. Bogotá. 490p.

CAMACHO, D., CHAVES, J. & MURILLO, D., 2004: Diagnóstico de la susceptibilidad al deslizamiento e inundación, análisis del contexto sísmico y reconocimiento de peligros volcánicos para el cantón de Montes de Oca: una contribución al Plan Regulador del Municipio.- 106 págs. + anexos. Univ. De Costa Rica, San José [Sem. de Graduación].

CAMPOS, L., 1987: Geología de la Fila Asunción y zonas aledañas, Atlántico Central de Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Escuela Centroamericana de Geología, U.C.R.

CARRILLO, S. & ALFARO, A., 1995: Correlación Litoestratigráfica de las márgenes del río Pacuare, en el sector de casa de máquinas, Proyectos Hidroeléctricos Pacuare y Guayabo. -74 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Campaña Geológica].

CERVANTES, J, F., 1988: Proyecto hidroeléctrico Siquirres, informe de avance 3: estudio geológico geotécnico de la zona del embalse. –64 págs. ICE, San José [Inf. interno].

CERVANTES, J, F., 1989: Base geológica para los análisis geotécnicos del proyecto hidroeléctrico Siquirres, provincia de Limón, Costa Rica –105 págs. Univ. de Costa Rica, San José, [Tesis de Lic.].

CERVANTES, J. F. & SOTO, G. J., 1988: Sedimentación y volcanismo tras-arco Plio-Cuaternarios en el área de Siquirres. –Ciencia y Tecnología, 12 (1–2): 19–26.

CHAVARRIA, L., 1996: Estudio geológico geotécnico del corredor Turrialba-Siquirres, sección Río Torito-Laguna Bonilla poliducto de Recope, Provincia de Cartago, Costa Rica. -72 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Campaña Geológica].

CLIMENT, A, & MOYA, A., 2009: Registros acelerográficos obtenidos durante el terremoto de Cinchona del 8 de enero de 2009, Costa Rica. –12 págs. X Congreso Nacional de Geotecnia.

DENYER, P., MONTERO, W. & ALVARADO, G.E., 2003: Atlas tectónico de Costa Rica. – Editorial de la Universidad de Costa Rica, 81 págs.

DENYER, P. & ALVARADO, G.A., 2007: Mapa Geológico de Costa Rica.- Escala 1:400 000, Oficializado por la Dirección de Geología y Minas. Librería Francesa, San José, Costa Rica.

DENYER, P., MONTERO, W. & ALVARADO, G.E., 2009: Atlas tectónico de Costa Rica. – Editorial de la Universidad de Costa Rica, 2ª ed., 55 págs.

DESINVENTAR.ORG. 1993: Sistema de inventario de efectos de desastres, Costa Rica. - <http://www.desinventar.org/es/database#> [Consulta: 17 octubre del 2012].

DONDOLI, C. & TORRES, J. A., 1954: Estudio geagrónomico de la región oriental de la meseta Central. –180 págs. Ministerio de Agricultura e Industria, San José.

FERNÁNDEZ, J. A., 1987: Geología de la hoja topográfica Tucurrique 1:50 000, IGNCR, 3445I. –205 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis de Lic.].

GÓMEZ, M., 2004: Elementos de estadística descriptiva.- 564 págs. Ed. UNED, San José.

GONDA, N. & POMMIER, D., 2006: Prevención y resolución de conflictos en torno a la tierra y los recursos naturales: manual práctico de mapeo comunitario y uso del GPS para organizaciones locales de desarrollo [2ª ed.]. – 90 págs. Unión Europea, Managua.

GONZALEZ DE VALLEJO, L.I., FERRER, M., ORTUÑO, L. & OTEO, C., 2002: Ingeniería geológica. – 744 págs. Ed. Pearson Educación, Madrid.

HERNANDEZ, G., 2005: Atlas climatológico. – <http://www.una.ac.cr/geocrad/mapas/index.html>. - [Consulta: 12 de agosto del 2012].

HORTON, R.R., 1945: Erosional development of streams and ther drainage basing: hydro-physical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin 56, 275-370.

IMN, 1988: Año del Centenario, 1888-1988. Catastro de las Series de Precipitaciones Medidas en Costa Rica.- 445 págs. MINAE. San José, Costa Rica.

INEC, 2007C01., Población estimada cerrada según provincia, cantón y distrito al 31 de diciembre de cada año 1997 – 2007. – <http://www.inec.go.cr/>

JONES, D. & HASSON, P.F., 1985. Hystory and development of the Marine Invertebrate Faunas separated by the Central American Isthmus. - En: The Great American Biotic Interchange, Stehli & Webb (eds). Plenum Press, Nueva York, pp 325-355.

LAURITO, C.A., 1996: El género *Isistius* (Squalidae) en el Alto de Guayacán, Formación Uscari (Mioceno Superior–Plioceno Inferior), provincia de Limón, Costa Rica. –Rev. Geol. Amér. Central, 19/20: 87–92.

LINKIMER, L., 2003: Neotectónica del extremo oriental del Cinturón Deforma del Centro de Costa Rica. – 114 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].

LINKIMER, L. & AGUILAR, T., 2000: Estratigrafía Sedimentaria. - En: Denyer, P. Kussmaul, S. (eds): Geología de Costa Rica. 515 págs. Ed. Tecnológica de Costa Rica. Cartago.

LINKIMER, L. & ALVARADO, G.E., 2002: Geología de Turrialba, una historia de 60 millones de años. - 68 págs. Instituto Costarricense de Electricidad, San José [Inf. interno].

LÓPEZ, A., 1999: Neo-and paleostress partitioning in the SW corner of the Caribbean plate and its fault reactivation potential. - 294 págs. Eberhard-Karls-Universität, Tübingen [Tesis Ph.D].

MADRIGAL, C., 1985: Estudio geológico-geotécnico de pre-factibilidad del proyecto hidroeléctrico Guayabo, Turrialba, Cartago, Costa Rica. -129 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis de Lic.].

MADRIGAL, J., 2001: Inspecciones de terrenos y deslizamiento inactivo en la comunidad de Tres Equis. Informe técnico DPM-INF-003-2001. - 11 págs. CNE [Inf. interno].

MADRIGAL, J., 2006: Regulaciones en el uso de la Tierra, efectos por agrietamiento en el terreno e infraestructura. Informe técnico DPM-INF-864-2006. - 20 págs. CNE [Inf. interno].

MÉNDEZ, J., SOTO, G.J., ZAMORA, N., VARGAS, A., SJÖBOHM, L., BONILLA, E., BARAHONA, D., SOLÍS, L., KYCL, P. & BAROÑ, I., 2009: Geología de los deslizamientos provocados por el terremoto de Cinchona, Costa Rica (MW 6,2; 8 de enero del 2009) en la ruta 126 (Varablanca - San Miguel). -24 págs. X Congreso Nacional de Geotecnia.

MONTES, N., 2007: Clasificación de los suelos a partir de sus propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas y la relación con el potencial de infiltración en el Sector Occidental del Cantón de Grecia, Alajuela. -97 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis de Lic.].

MONTERO, W., 2001: Neotectónica de la región central de Costa Rica: frontera oeste de la microplaca de Panamá. -Rev. Geol. Amér. Central, 24: 29-56.

MORA, S. & MORA, R., 1994: Los deslizamientos causados por el terremoto de Limón: factores de control y comparación con otros eventos en Costa Rica. -Rev. Geol. Amér. Central, Vol. Espec. Terremoto de Limón: 139-152.

MORA, R., 1998: Propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas de suelos de origen volcánico, en sitios seleccionados del Valle Central, Costa Rica. -Rev. Geol. de América Central, 21: 81-98.

MORA, R., 2004: Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, provincia de San José, Costa Rica. 17 págs. FUNDEVI 0960 [Inf. Interno].

MORA, R., 2008: Exploración geotécnica del terreno propiedad de la Asociación Administrativa del asentamiento Neda, San Pablo, Tres Equis, Turrialba, Cartago. – 8 págs. FUNDEVI 0960 [Inf. Interno].

MORA, S. & VAHRSON, W., 1992: Determinación a priori de la Amenaza de Deslizamientos sobre grandes áreas, utilizando Indicadores Morfodinámicos. –Revista Tecnología ICE, Vol. 3, N°1:32-42.

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 (CEPREDENAC) [Escala 1:285 700].

MORA, R., CHAVES, J. & VÁZQUEZ, M., 2002: Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento: Resultados obtenidos para la península de Papagayo mediante la modificación del método Mora & Vahrson (Mora, R. et al., 1992). – III Curso Internacional sobre Microzonificación y su Aplicación en la Mitigación de Desastres. Lima, Perú. 38-46.

MORÁGUEZ, A., s.f.: ¿Cómo seleccionar el tamaño de una muestra para una investigación educacional?. - <http://www.monografias.com/trabajos42/seleccion-muestra/seleccion-muestra.shtml> [Consulta: 04 de julio del 2010].

MORALES, L.D., & AGUILAR, A., 1993: Mapa de amenaza sísmica de la Gran Área Metropolitana. – En: DENYER, P. & KUSSMAUL, S. (eds.): Atlas Geológico Gran Área Metropolitana. Ed. Tecnológica de Costa Rica, Cartago.

MOYA, A., 2006: Terremoto de Cartago, 4 de mayo de 1910-2010. - <http://www.inii.ucr.ac.cr/lis>. [Consulta: 03 de diciembre del 2012].

MOYA, A., 2012: Simulaciones numéricas para sismos fuertes de Costa Rica. – 28 págs. Universidad de Costa Rica. [LIS. Inf. interno].

MOORE, J. G., CLAGUE, D.A., HOLCOMB, R.T., LIPMAN, P.W., NORMARK, W.R. & TORRESAS, M.E., 1989: Prodigious submarine landslides on the hawaiian ridge. J. Geophys. Res. 94 (B12), 17465-17484.

OLSSON A. A., 1922: The Miocene of northern Costa Rica, Part 1. –*Bulletins of American Paleontology*, 9 (39): 309.

PERALDO, G., & ROJAS, E., 1998: La deslizable historia del ferrocarril al Caribe de Costa Rica. – *Anuario de Estudios Centroamericanos*, UCR. 24(1-2): 97-28.

PERALDO, G., 2004: La novedad de lo constante: el proceso del desastre y su relación con la gestión territorial. Caso del distrito de Rivas, Pérez Zeledón, Costa Rica. -195 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis de maestría].

PÉREZ, W., 1996: Estudio geológico y de amenazas naturales, corredor Turrialba–Siquirres, poliducto RECOPE, Sector Laguna Bonilla–Guayacán. –71 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Inf. Campaña geológica].

PIZARRO, D., 1993: Los pozos profundos perforados en Costa Rica: aspectos biológicos y bioestratigráficos. –*Rev. Geol. Amér. Central*, 15: 81–85.

ROJAS, M., 1996: Estudio geológico-geotécnico del corredor Turrialba-Siquirres, sección Alto Guayacán-Siquirres del Poliducto Recope, Costa Rica. -67 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Campaña Geológica].

RIVIER, F., 1973: Contribución estratigráfica sobre la geología de la cuenca de Limón, zona de Turrialba, Costa Rica. –*Publicaciones geológicas del ICAITI*, 4: 149–159.

TREJOS, J. & MOYA, E., 2004: Introducción a la estadística descriptiva. - https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=gmail&attid=0.1&thid=13d17899b734c319&mt=application/pdf&url=https://mail.google.com/mail/u/0/?ui%3D2%26ik%3D95130d7ea7%26view%3Datt%26th%3D13d17899b734c319%26attid%3D0.1%26disp%3Dsafe%26realatid%3Df_hdnbf5g60%26zw&sig=AHIEtbTf_w1sAw9o3LZ98tMgHX8DIQvcYw

SÁENZ, L. F., 1985: Estudio geofísico para la factibilidad del proyecto hidroeléctrico Angostura. –74 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].

SCHMIDT, V. 2006: Proyecto de investigación: Redefinición de la escala de intensidad Mercalli Modificada para Costa Rica, No. 731-A5-093. – 7 págs. LIS [Inf. interno].

SEGURA, G., 2009: Análisis mediante aplicaciones SIG de la susceptibilidad al deslizamiento en el corredor Siquirres-Turrialba como factor de riesgo del poliducto de RECOPE. –74 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].

SEYFRIED H, SPRECHMANN P. 1985: Acerca de la formación del Puente-Istmo Centroamericano Meridional, con énfasis en el desarrollo acaecido desde el Campaniense al Eoceno Volume 2. p 63-87.

SEISDEDOS, J., 2009: Los grandes paleo-desplazamientos de Güimar y la Oratava (Tenerife): Análisis geológico, mecanismos de inestabilidad y modelización geomecánica. - 512 págs. Univ. Complutense de Madrid, España [Tesis de doctorado].

SIBAJA, G., 1996: Estudio geológico–geotécnico del corredor Turrialba–Siquirres, poliducto de Recope, Sección Turrialba–Río Torito. –88 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Inf. Campaña geológica].

SJÖBOHM, L., 2005: Deslizamientos y laderas inestables en el distrito de Tres Equis. Informe Técnico DPM-INF-0931-2005. – 7 págs. CNE [Inf. interno].

SOULAS, J.P., 1992: Tectónica activa y consideraciones geotécnicas conexas para los proyectos hidroeléctricos Siquirres, Guayabo, Angostura y Pacuare. – 21 págs. ICE [Inf. Interno]

STRAHLER, A. 1964: Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. – En: CHOW, V. (ed.). Handbook of applied hydrology. - Ed. Mc. Graw-Hill, New York, 439-476.

SUAREZ, J., 2006: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. - <http://www.erosion.com.co/index.php>

THE JAPAN LANDSLIDE SOCIETY, 1996: Landslides in Japan. - <http://www.tuat.ac.jp/~sabo/lj/ljap3.htm> [Simple Method to Measure Movements, Fig. 19]

TRIFUNAC, M.D. & BRADY, A.G., 1975: On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of the recorded ground motion. - Bulletin of the Seismological Society of America, 65: 139-162.

TURNER, K. & SCHUSTER, R., (Eds). – Landslides Investigation and Mitigation. – Special Report 247, Transportation Research Board National Research Council. National Academy Press. Washington, D.C.

UMAÑA, J.E. & MASSETA, G., 1969: Geología detallada de la zona comprendida entre Río Villegas y Río Humo, Proyecto Tapantí. -Inst. Costarricense de Electricidad. Reporte interno, N° 16112, 7 pp.

VAN ZUIDAM, R.A., 1986: Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. Smits Publishers, The Hague. 442 pp.

VARNES, D.J., 1978: Slope movement types and processes. Special report 176: Landslides: Analysis and control (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.11-33.

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.

VAHRSON, W. G. & DERCKSEN, P., 1990: Intensidades críticas de lluvia para el diseño de obras de conservación de suelos en Costa Rica". - Agronomía-Costarricense. 14: 141-150.

WALD, D.J., V. QUINTORIANO, T.H. HEATON, H. KANAMORI, C.W. SCRIVNER, & C.B WORDEN (1999). Relationship between peak ground acceleration, peak ground velocity, and Modified Mercalli intensity in California. Earthquake Spectra, 15: 557-564.

ANEXO A

Descripción petrográfica de rocas: volcániclaística y sedimentaria

Petrografía realizada por: Geólogas Dione Barahona, Joanna Méndez y Linda Sjöbohm

Código de muestra: Doán

Procedencia: cercanías cerro Alto June. Tres Equis, Turrialba

Coordenadas: 581650 E / 216450 N

Formación geológica: Doán

Nombre macroscópico: Roca volcániclaística / Flujo piroclástico

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Nombre microscópico: Toba lítica

Textura general: Fragmentaria, con un arreglo caótico y de aspecto brechoso. Hipocristalina porfirítica con fenocristales principalmente de plagioclasa, augita, opacos y clastos líticos en una matriz con textura intersertal.

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

Fenocristales (67%)

-Plagioclasa: aproximadamente 5%. Cristales idiomórficos a hipidiomórficos, con tamaño máx. 1,1 x 0,5 mm; dentro de un clasto lítico es 1,4 x 0,37 mm. Con zonación continua y algunos cristales con textura cribosa.

-Augita: aproximadamente 4,5%. Cristales hipidiomórficos, con tamaño máx. 1,05 x 0,8 mm; dentro de un clasto lítico es 1,25 x 1,07 mm. Con zonación discontinua y pocas con zonación tipo reloj de arena.

-Clastos líticos: aproximadamente 40%. Cristales hipidiomórficos, con tamaño máx. 2,7 cm. De composición volcánica tipo andesítica la mayoría aunque con variaciones texturales. Se observa en la matriz diferencias en los contenidos de óxidos de Fe.

-Opacos: aproximadamente 3%. Diámetro máx. 0,33 mm.

-Olivino: aproximadamente 1% como fenocristal, hipidiomórficos a xenomórficos, con diámetro máx. 1,25 mm. Principalmente se encuentran dentro de clastos líticos y con diámetro máximo de 1,07 mm. Se presentan con diferentes grados de alteración desde sanos, iddingsitizados hasta fantasmas.

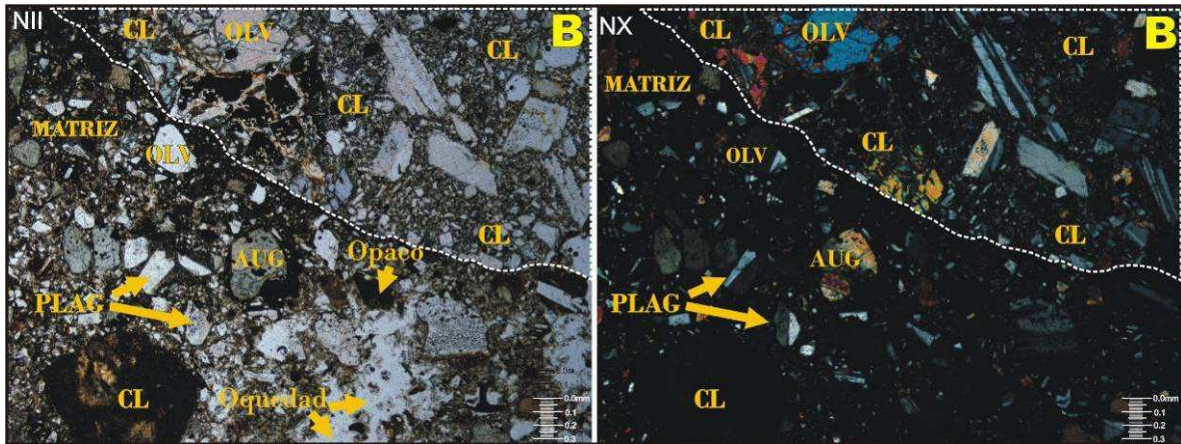
-Oquedades: aproximadamente 13%. Diámetro máx. 4,25 mm. En este porcentaje se incluyen las oquedades formadas posiblemente por caída de pómez durante la elaboración de la sección y no se descarta también por caída de algún otro componente.

-Minerales accesorios: biotita parda-rojiza con tamaño máx. 0,5 x 0,4 mm (<1%). Hornblenda parda (<1%) como fenocristal con tamaño máx. 0,53 x 0,4 mm. Se observó principalmente dentro de un clasto lítico con tamaño máximo de 2,7 x 1,8 mm.

-Minerales de alteración: opacita, óxidos de hierro.

Matriz (33%)

Textura intersertal compuesta por poco vidrio sin embargo se observa coloración café posiblemente por alteración del vidrio a filosilicatos. También microlitos de plagioclasa, piroxenos, opacos e impregnaciones de óxidos de hierro.



Código de muestra: TC-2

Procedencia: Tajo Corozal

Coordenadas: 585952 E / 213717 N

Formación geológica: Senosri

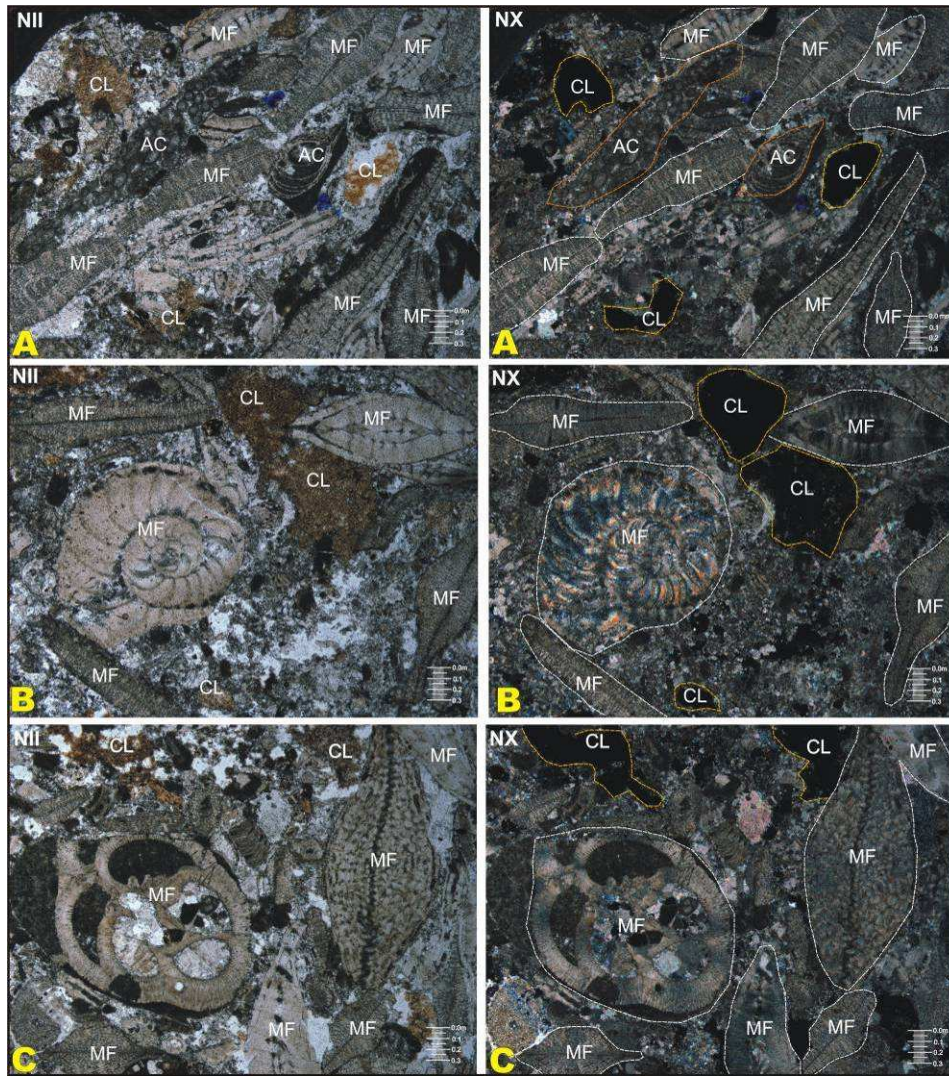
Nombre macroscópico: Caliza

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Clasificación de Folk (1962): Biomicrita

Clasificación Dunham (1962): Packstone bioclástico con foraminíferos

Compuesta por: numulites, discocyclinas, globigerinas, amphisteginas, fragmentos de algas coralinas con apariencia reticulada y algas con estructura panal de abeja. El espacio intergranular es ocupado por micrita.



TC-2: DETALLE MICROSCÓPICO DE CALIZAS DE LA FM. SENOSRI (FOTOGRAFÍAS A, B Y C).

COORDENADAS: 585952 E / 213717 N. LAS DE LA IZQUIERDA ESTÁN TOMADAS A NÍCOLES PARALELOS Y LAS DE LA DERECHA A NÍCOLES CRUZADOS.

MF: MACROFORAMINÍFERO, CL: CLASTO LÍTICO Y AC: ALGA CORALINA

ANEXO B

Clases de pendientes según la clasificación de van Zuidan (1986)

Clase de pendiente		Condiciones del terreno	Color sugerido
Grados	Porcentaje		
0 - 2	0 - 2	Planicie sin denudación apreciable	Verde oscuro
2 - 4	2 - 7	Pendiente muy baja, peligro de erosión	Verde claro
4 - 8	7 - 15	Pendiente baja, peligro severo de erosión	Amarillo
8 - 16	15 - 30	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro severo de erosión	Naranja
16 - 35	30 - 70	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos	Rojo claro
35 - 55	70 - 140	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible	Rojo oscuro
>55	>140	Pendiente extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales severos (caída de rocas), cobertura vegetal limitada	Morado

ANEXO C

Velocidad de los movimientos. Tomado de: Varnes & Cruden (1996)

Clase	Descripción	Velocidad (mm/seg)	Desplazamiento	Poder destructor
7	Extremadamente rápidos	5×10^3	5 m/seg	Edificios destruidos por el impacto o el material desplazado, muchos muertos, escape improbable.
6	Muy rápido	5×10^1	3 m/seg	Escape posible, estructuras, propiedades y quipos destruidos.
5	Rápido	5×10^{-1}	1,8 m/h	Algunas estructuras temporales y poco sensitivas pueden mantenerse temporalmente.
4	Moderado	5×10^{-3}	13 m/mes	Construcciones remediales pueden llevarse a cabo durante el movimiento. Algunas estructuras sensitivas pueden mantenerse con mantenimiento frecuente.
3	Lento	5×10^{-5}	1,6 m /año	Algunas estructuras permanentes no son dañadas por el movimiento.
2	Muy lento	5×10^{-7}	16 mm/año	
1	Extremadamente lento			Imperceptible sin instrumentos.

ANEXO D

1) Disco compacto que contiene hojas electrónicas con datos geotécnicos completos y gráficos respectivos



2) Rangos de valores de gravedad específica para diferentes suelos. Tomado de: Bowles (1982)

Suelo	Gravedad específica
Arena	2,65 – 2,68
Grava	2,65 – 2,68
Arcilla (inorgánica)	2,68 – 2,72
Arcilla (orgánica)	2,62 – 2,66
Limo	2,65 – 2,68

ANEXO E

Análisis de Difractometría Rayos X para arcillas (Campo Geotérmico Miravalles, ICE)



1 de febrero del 2013

Geól (a) Dione Barahona

Asunto:

Identificación difractométrica de muestras con código Uscari

Estimada señorita:

Introducción

Para analizar el contenido de las muestras Uscari se llevaron a cabo dos tipos de procesos: el primero consistió en barridos de roca total y el segundo fue por centrifugación para separar los minerales más livianos.

Metodología

La preparación de las muestras para el barrido de roca total consistió en: secarlas a 45°C, pulverizarlas en un mortero de porcelana y colocarlas en un portamuestras. Seguidamente fueron barridas en el difractómetro de rayos X para obtener el difractograma correspondiente.

En el caso de la muestra Uscari 2 Calvario se realizó un segundo difractograma luego de calentar la muestra a 550°C por una hora, esto se llevo a cabo para deshidratar la montmorillonita y resaltar la illita que está presente en un bajo porcentaje.

Para reconocer los minerales arcillosos se procedió a tomar parte del material secado, triturarlo en un mortero de porcelana, ponerlo un vaso de precipitado y agregarle 100 ml de agua, luego se pusieron en un vibrador ultrasónico a 60Hz por 20 min, posteriormente se centrifugaron a 1200 r.p.m., esto con el fin decantar los componentes más pesados y dejar la arcilla en suspensión. Sin embargo, en este caso la arcilla no separó por este medio, por lo que se procedió a tomar la parte más fina del material y colocarla en los respectivos portamuestras para luego realizar los barridos. Para el caso de las arcillas se realizaron dos barridos de cada muestra, uno a la muestra seca y otro a la muestra humedecida con etilenglicol (glicolada).

Una vez obtenidos los difractogramas se utilizó el programa EVA para identificar los componentes.

Equipo utilizado

Para preparar las muestras se utilizaron:

Mortero y pistilo de porcelana.

Plantilla calentable marca Universal, modelo 23070.

Lavado ultrasónico (vibrador ultrasónico) marca Branson, modelo 8210R-DTH

Máquina centrifugadora marca Labnet, modelo Hermle Z200A

Para Barrer de las muestras se usó:

Difractómetro marca Bruker, modelo d4 ENDEAVOR.

El análisis de los difractogramas se realizó utilizando El programa EVA con la base de datos PDF 2, versión 2003.

Resultados

En los barridos realizados de roca total se identificaron: montmorillonita, illita/montmorillonita, illita, cuarzo, calcita, anortita sódica, andesina, nimita y hematita como se observa en la tabla 1 y las figuras 1 a 4.

En los barridos realizados a las muestras por el método de separación de arcillas se determinaron: montmorillonita, illita/montmorillonita (5% de illita), nimita, cuarzo y calcita como se observa en la tabla 2 y las figuras 5 a 7.

Tabla 1. Minerales identificados en análisis de roca total de las muestras Uscari	
Código	Minerales identificados
Uscari 1 Burrocar 1	Montmorillonita, cuarzo, calcita, anortita sódica y hematita
Uscari 1 Burrocar 2	Montmorillonita, cuarzo, calcita, andesina y hematita
Uscari 2 Calvario	illita/montmorillonita (5% de illita), nimita, cuarzo, calcita y andesina
Uscari 2 Calvario (calentada a 550°C)	illita, cuarzo, calcita y andesina

Tabla 2. Minerales identificados en análisis de las muestras Uscari por el método de separación de arcillas

Código	Minerales identificados
Uscari 1 Burrocar 1	montmorillonita, cuarzo y calcita
Uscari 1 Burrocar 2	montmorillonita, cuarzo y calcita
Uscari 2 Calvario	illita/montmorillonita (5% de illita), nimita, cuarzo y calcita

Atentamente,

Lic. Eduardo Vega

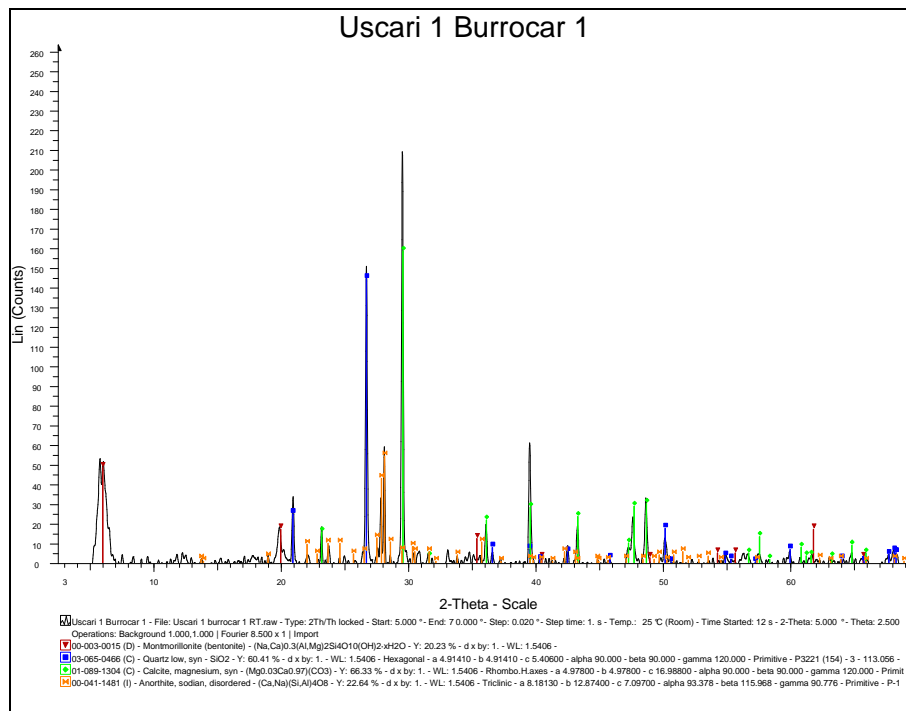


Figura 1. Difractograma de roca total de la muestra Uscari 1 burrocar 1 donde se identificaron: Montmorillonita, cuarzo, calcita, anortita sódica y hematita.

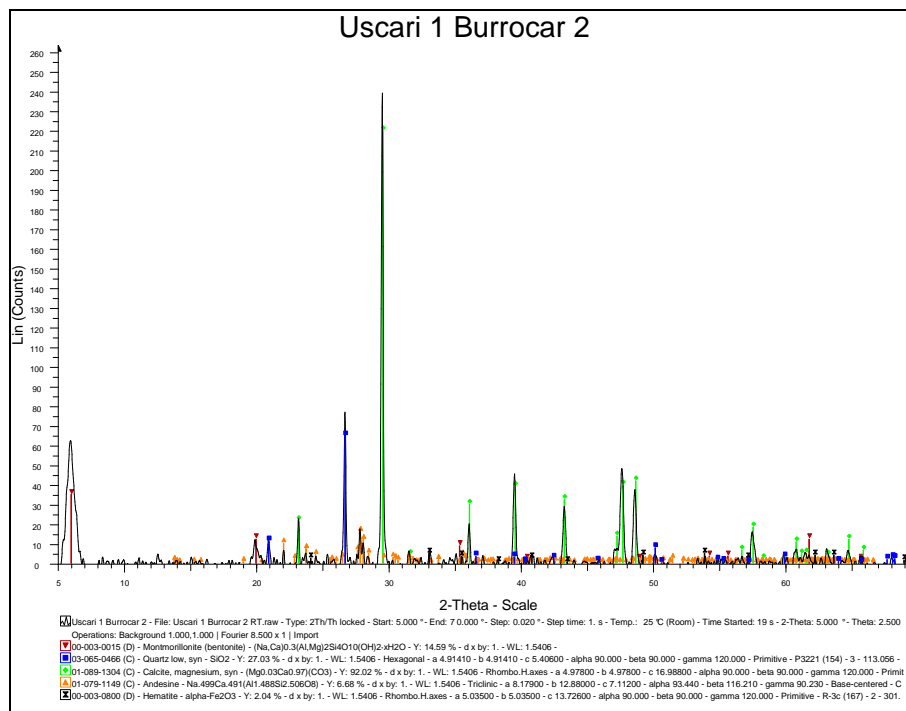


Figura 2. Difractograma de roca total de la muestra Uscari 1 burrocar 2 donde se identificaron: Montmorillonita, cuarzo, calcita, andesina y hematita.

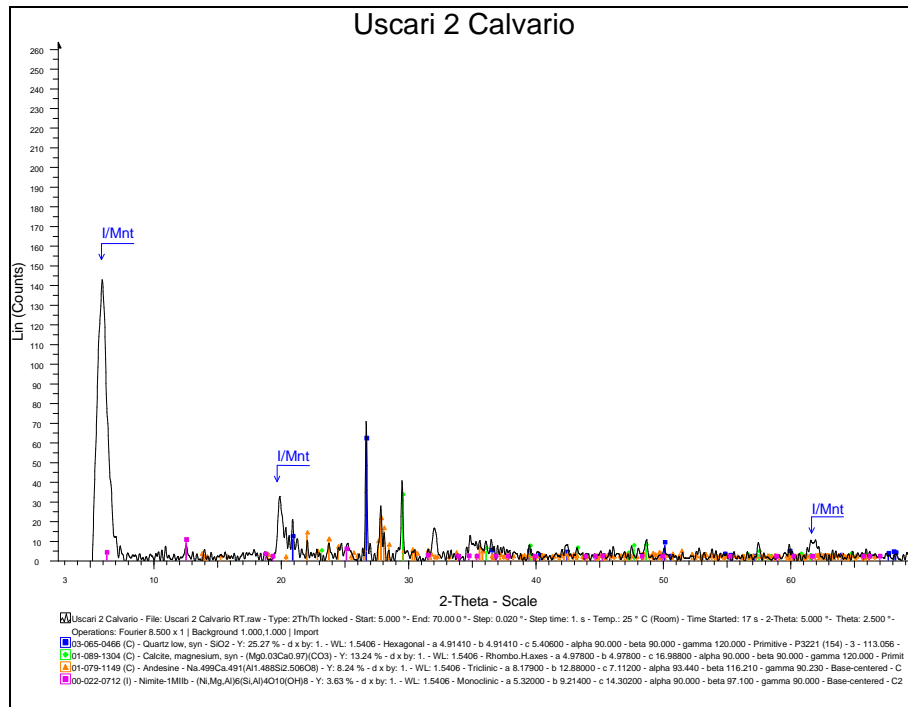


Figura 3. Difractograma de roca total de la muestra Uscari 2 Calvario donde se identificaron: illita/montmorillonita (I/Mnt), nimita, cuarzo, calcita y andesina.

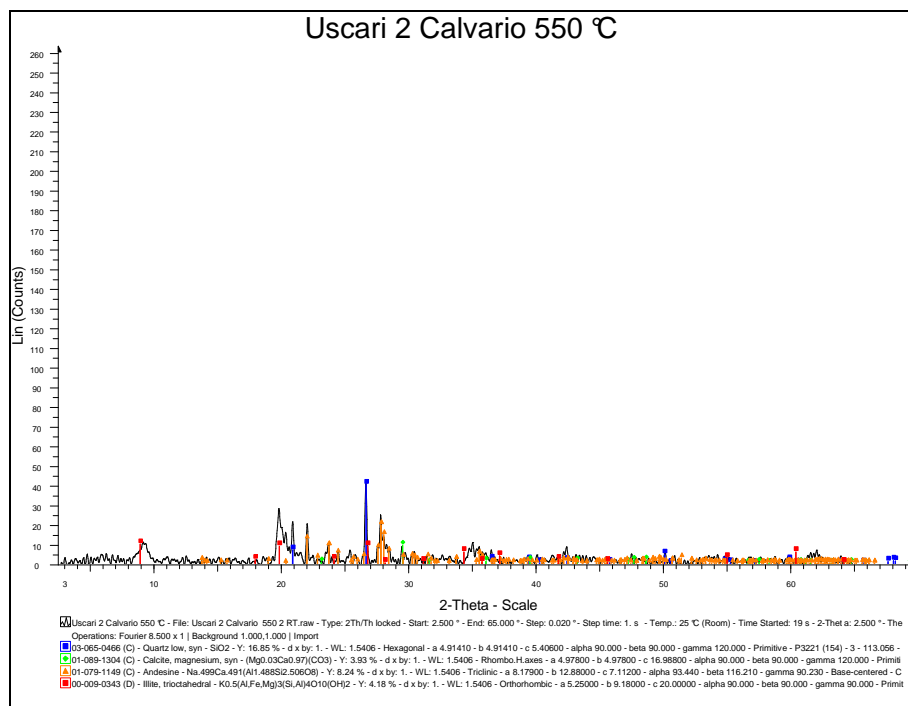


Figura 4. Difractograma de roca total de la muestra Uscari 2 Calvario luego de calentarla a 550°C, donde se identificaron: illita, cuarzo, calcita y andesina.

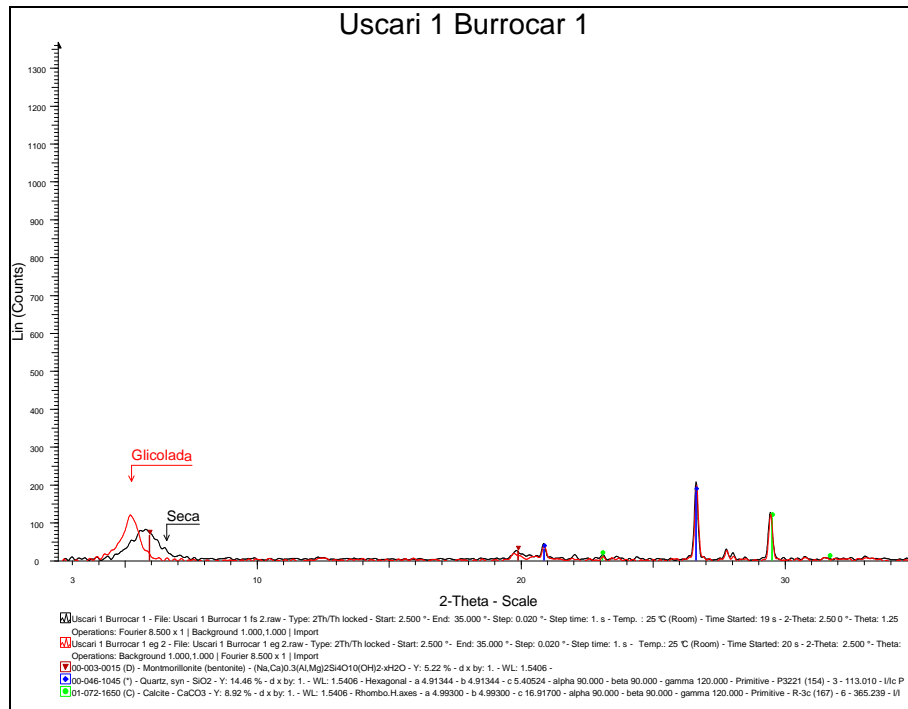


Figura 5. Difractograma de la muestra Uscari 1 Burrocar 1 luego de la centrifugación a 1200 r.p.m. donde se identificaron: montmorillonita, cuarzo y calcita.

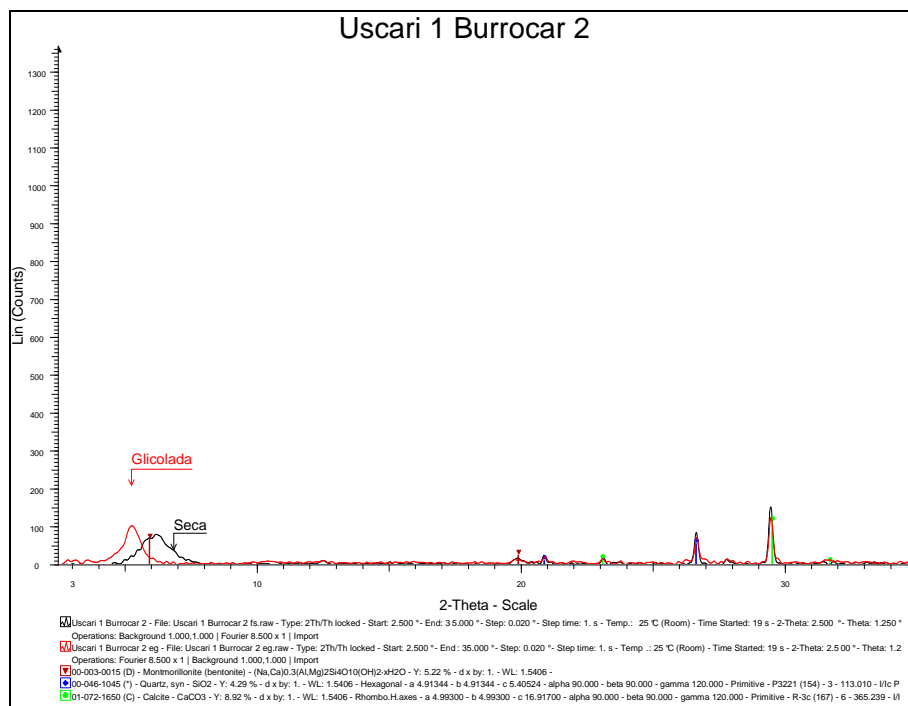


Figura 6. Difractograma de la muestra Uscari 1 Burrocar 2 luego de la centrifugación a 1200 r.p.m. donde se identificaron: montmorillonita, cuarzo y calcita.

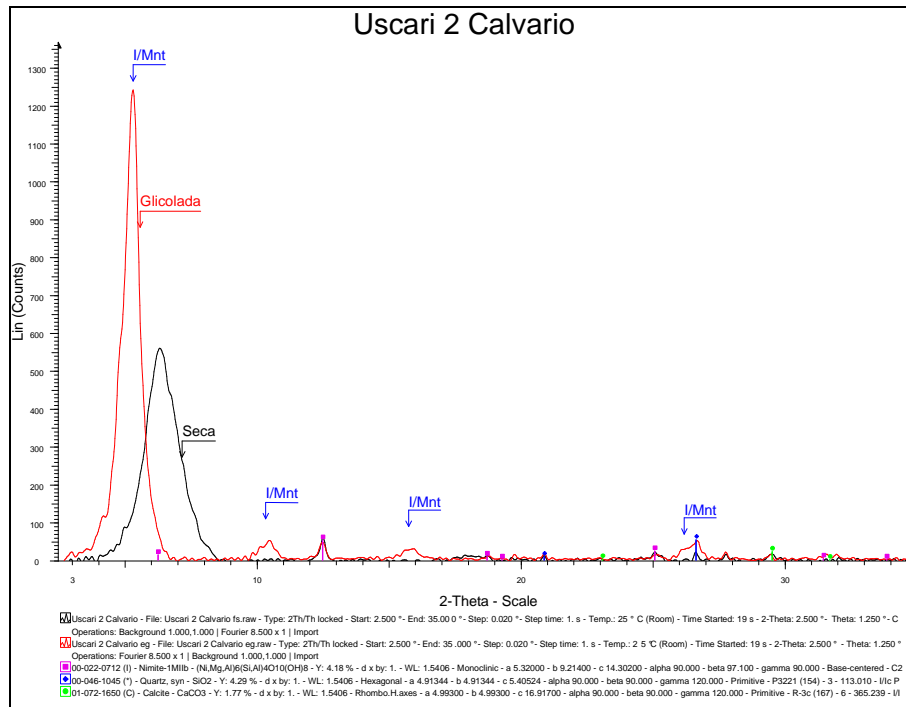


Figura 7. Difractograma de la muestra Uscari 2 Calvario luego de la centrifugación a 1200 r.p.m. donde se identificaron: la mezcla de capas illita/montmorillonita (I/Mnt), donde la illita está en un porcentaje de 5%, nimita, cuarzo y calcita.

ANEXO F

Datos meteorológicos para la estación Pacuare (Instituto Meteorológico Nacional)

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
1966	287,5	298,7	49,4	166,8	275,0	307,5	193,7	203,7	348,9	275,8	395,2	505,8	3308,0
1967	115,1	26,3	62,9	269,6	190,2	427,0	246,8	389,3	493,6	311,1	256,6	93,9	2882,4
1968	139,3	176,4	165,3	76,3	423,0	376,5	332,4	237,9	504,7	251,5	272,6	213,8	2918,2
1969	60,9	38,2	50,9	109,6	220,2	541,9	213,0	482,3	374,2	409,9	664,2	288,8	3454,1
1970	324,1	339,3	74,0	771,8	276,2	149,1	360,4	281,8	200,5	159,7	633,3	1156,1	4726,3
1973	134,4	71,8	0,5	62,7	279,0	395,7	248,3	380,0	264,8	383,9	356,0	540,7	3117,8
1974	165,2	80,0	10,2	91,7	398,6	278,9	262,5	361,5	307,1	197,3	286,1	456,1	2895,2
1975	91,4	10,4	14,7	20,2	120,5	235,9	323,7	327,5	422,6	473,7	496,1	464,0	3000,7
1976	190,2	562	14,9	103,9	271,1	552,3	502,9	131,4	301,5	171,0	424,4	174,7	2894,5
1980	106,0	145,5	13,7	102,6	260,5	266,2	128,1	205,5	369,3	241,0	365,0	615,3	2818,7
1981	144,3	148,8	70,5	272,7	288,8	482,1	167,0	344,9	241,1	282,6	653,5	191,6	3287,9
1984	232,7	162,3	57,6	8,9	229,2	177,0	335,5	476,9	347,2	247,2	244,1	294,0	2812,6
P.media	143,5	100,5	69,7	137,2	246,7	291,3	248,0	282,8	32,0	303,9	326,4	280,4	2755,4

ANEXO G

1) Encuesta aplicada a la población de Tres Equis



Universidad de Costa Rica
Escuela Centroamericana de Geología
Encuesta aplicada en la comunidad de Tres Equis
Proyecto de Graduación de Licenciatura en Geología

Percepción del Medio Físico Circunscrito al Distrito de Tres Equis					
Ubicación geográfica					
Provincia	Cartago	Cantón	Turrialba	Distrito	Tres Equis
Barrio: Dirección exacta:					
1. Ocupación:		Coordenada N	Coordenada W	Hoja cartográfica 1:50000	
2. Edad:		Tucurrique			
3. Nivel educativo		Primaria () Secundaria ()	Universitaria ()	Primaria	Secundaria Universidad
4. Sexo:		Femenino () Masculino ()		incompleta ()	incompleta ()
5. ¿Hace cuántos años vive en Tres Equis?: menos de 5 años () 5-10 años () 11-20 años () 21-40 años () más de 50 años () Toda la vida (¿cuántos años?) ()					
6. ¿Cuál es la principal actividad económica del distrito de Tres Equis?: Agricultura () Ganadería () Industria () Comercio () Turismo () Agroproducción () Otra actividad ()					
7. Desde que vive en Tres Equis, ¿cuáles peligros naturales o humanos han afectado a la comunidad?:					
1. Ninguno ()		3. Erupción ()	5. Huracán ()	7. Flujos de lodo ()	
2. Terremotos ()		4. Deslizamiento ()	6. Inundación ()	8. Otros ()	
8. A su parecer, ¿cuál puede ser el origen de los desastres?:					
1. Causas naturales ()		3. Causas humanas ()	5. Otros ()		
2. Castigo divino ()		4. Consecuencia del destino ()			
9. A su entender, ¿conoce o ha escuchado hablar sobre los deslizamientos de tierra?: Sí () No ()					
10. ¿Qué ha escuchado sobre deslizamientos de tierra?:					
11. A su parecer, ¿cuál o cuáles eventos considera que son la causa de los deslizamientos en Tres Equis?:					
Fuertes lluvias () Temblores () Tala de árboles () Construcción de viviendas () Otros ()					
Vena volcánica () Acción del hombre ()					
12. ¿Usted recuerda cuándo ocurrió el último desastre que afectó a la comunidad?: Sí () No ()					
Mes () Año () Menos 5 años () 6-10 años () 11-20 años () 21-50 años ()					
¿Qué tipo de desastre fue?					
13. ¿Ha observado en el distrito de Tres Equis daños generados por deslizamientos?: Sí () No () No observa ()					
14. ¿Qué tipo de daños asociados al terreno ha observado en el distrito de Tres Equis?					
1. Grietas en paredes y en pisos ()		6. Grietas en los terrenos ()	11. Heridos ()	16. Evacuación ()	
2. Colapso total de viviendas ()		7. Daños en las calles ()	12. Incomunicación ()	17. Otros ()	
3. Colapso parcial de viviendas ()		8. Tuberías de agua reventadas ()	13. Falta de medicinas ()	18. Ninguno ()	
4. Pérdidas agrícolas ()		9. Cables eléctricos reventados ()	14. Falta de alimentos ()		
5. Daños en edificios públicos ()		10. Interrupción del fluido eléctrico ()	15. Enfermedades ()		
15. ¿Considera que Tres Equis está organizada para enfrentar un eventual desastre? Sí () No ()					
16. En caso de no estar organizado, ¿Cuáles dificultades enfrenta la comunidad para organizarse?					
1. La pasividad de las personas ()		5. La comunidad es segura y nunca va a ocurrir un desastre ()			
2. Ausencia de recursos económicos ()		6. Falta de capacitación sobre el tema de emergencias ()			
3. Migración de personas a otras comunidades ()		7. Falta de comunicación entre las instituciones encargadas del tema y la comunidad ()			
4. La gente no está interesada ()					
16. ¿Ha recibido capacitaciones en el tema de los peligros naturales?			Sí ()	No ()	
17. ¿Recuerda quién brindó la capacitación?:					
18. ¿Conoce instituciones nacionales encargadas de la atención de emergencias?					
Sí () No () Por Ejemplo:					
19. ¿Cuál es su percepción con relación al desempeño de la Municipalidad en el tema de los desastres?:					
1. Efectiva ()		3. Moderada ()	5. Mala ()		
2. Adecuada ()		4. Regular ()	6. Inexistente ()		
Preguntas abiertas para conocer la percepción popular del entorno de Tres Equis					
1. ¿Puede contarnos sobre los inicios del pueblo o cómo se fundó Tres Equis? Lo vivió o le han contado?					
2. ¿Podría describirnos algunos de los eventos naturales que han afectado al distrito de Tres Equis y han quedado en sus recuerdos?					
3. ¿En el distrito de Tres Equis, dónde ocurren con mayor frecuencia los daños al terreno o viviendas?					
4. ¿Considera que el problema de los deslizamientos puede tener solución? ¿Qué recomendaría?					

2) Entrevistas seleccionadas de pobladores de Tres Equis

Nombre: Mario Alberto Quirós Saborio

Edad: 42 años

Oficio: Oficial de seguridad privado

Lugar de residencia: Centro de Tres Equis (ciudadela)

Puede contarnos sobre los inicios del pueblo, o cómo se fundó Tres Equis, si lo vivió o se lo han contado.

Me han contado que a principios era una sola finca de la familia Abarca, frente a la iglesia eran unos soampos y le llamaban la maternidad, por allí de 1969 cuando pasó el desastre en Bajo Pacuare (se agrietó todo el terreno) y por medio de don Miguel Montenegro, la Cruz Roja y La Nación, compraron una parte de la finca de don Delfín Abarca y metieron al pueblito de Bajo Pacuare en la finca. Tuvieron que meter empedrado para hacer el drenaje, a la mayoría le dieron casa prefabricada y todos colaboraron. Las casas prefabricadas eran de madera curada y el techo de cartón comprimido con petróleo color negro, las paredes eran muy duras.

Sobre el nombre se debe a que donde está el súper había un ceibo, cuando empezaron a trazar la carretera Turrialba-Siquirres vinieron los ingenieros y marcaban 1X, luego volvieron y marcaron otra X y después marcaron otra X más como guía para el trazo de la ruta y para las direcciones daban como referencia el ceibo con 3X.

Podría describirnos algunos de los eventos naturales que han afectado al distrito de Tres Equis y han quedado en sus recuerdos.

Como en el año de 1980 comenzaron las grietas que dañaron la escuela antigua y como 6 casitas. Las grietas sobre la ruta 10 aparecieron como del 2001 para acá.

¿En el distrito de Tres Equis, dónde ocurren con mayor frecuencia los daños al terreno o viviendas?

En el centro y en San Pablo. Aquí en Tres Equis por la sub-estación del ICE, por el cementerio y por la casa verde que está diagonal a la iglesia católica.

¿Considera que el problema de los deslizamientos puede tener solución? ¿Qué recomienda?

Cambiar el sistema de construcción. Sobre una grieta no se debe construir pero en un lugar bien demarcado sí.

.....
Nombre: Emilce Fuentes

Edad: 68 años

Ocupación: Educadora y agricultora

Lugar de residencia: Antigua entrada a Tres Equis, frente a la ruta nacional No.10

¿Puede contarnos sobre los inicios del pueblo o cómo se fundó Tres Equis? ¿Lo vivió o le han contado?

Bueno esto eran dos fincas, la finca de don Delfín Abarca (cuando yo llegué verdad, era de don Delfín Abarca), una gran finca y la finca de don Senón Nájera, dos fincas muy grandes y después había otra que era la finca de los Odio en Pilón de Azúcar, digamos que eran tres fincas grandes, lo que era Pilón, Tres Equis y esta finca de los Nájera llegaba hasta San Pablo, parte de Pacuare, todo eso era de ellos, ya de allí para allá yo no conocí mucho, ya hablándole más del centro (“de Tres Equis”) eran digamos eso y luego había digamos una casa grande, unas casitas de peones en el Pilón, el centro de la población más grande era Pilón de Azúcar, (cuando yo vine ya se había hecho un camino) pero inicialmente la comunicación era por Peralta, por un burro car, bajaban y de ahí cogían el tren, así fue como llegó mi suegro y la familia Abarca aquí, pero el era muy visionario,

entonces empezó a hacer un camino, ahí al esfuerzo de él con un tractorcillo, parecía una caja de fósforos verdad, y con ese tractorcito empezó a hacer camino aquí de Tres Equis, buscando hay una seña aquí hay una calle vieja que pasa al lado bajito del cementerio, ahí se ve un camino y sale allá anticos del cruce, por ese camino llegué yo aquí y ese era el camino que él hizo y este camino poco a poco lo fue llevando y lo hicieron hasta Chitaría, la carretera digamos de Turrialba a Siquirres llegaba hasta el río Chitaría, allí no había puente era el río.

¿A su parecer, cuál puede ser el origen de los desastres?

Yo pienso que una falla, tiene que haber una falla que pasa por aquí porque se ve muy claro como la línea que lleva... diay yo no sé con qué se podrían asociar, yo digo que algo se mueve abajo para que se hagan esas grietas... bueno es que yo tuve que batallar cuando se vino un geólogo, tuvimos que, que hacerle campaña y defenderlo porque aquí llegó el geólogo, Julio, este famoso, geólogo del gobierno, Julio Madrigal y el estaba propuesto que Tres Equis era inhabitable, verdad, en declarar inhabitable, inclusive yo aquí lo tuve, era, el es así verdad y aquí sin embargo lo suavizamos y lo sentamos a almorzar verdad, porque, era algo verdad, seguro tenía miedo que lo convenciera y el habló con mi suegro que fue el, si fue fundador de este lugar y el llegó aquí y aquí nunca había habido problemas, nunca de años, si yo vine, tengo 51 años ya mi suegro tenía por lo menos 5 años de estar aquí cuando yo vine y el conocía todo y nunca aquí nunca había visto ningún problema, no se había visto ninguna grieta, claro que el vino y nada más dijo ah no, aquí esto se declara inhabitable, y no es tan fácil que el lugar donde usted viva, vea, vea los años que hacen de eso y todavía aquí lo podemos habitar, allí estamos batallando con las grietas, porque entonces fue cuando el habló de un deslizamiento, el dijo, no, es que aquí hay un deslizamiento y por eso yo, ya de allí supuse es un geólogo y dice que hay un deslizamiento y hay grietas de hecho que eso es, si yo le creo, lo que si creo, es que tampoco es así tanto como el cree que sea inhabitable y desde allí entonces yo quedé clara que hay un deslizamiento.

Hay un deslizamiento, pero no sé realmente porqué, yo decía aquí no, sólo esta parte, según yo verdad, era muy local, el me hizo ver que sí el deslizamiento mueve todo... yo soy pésima para las fechas el tiempo se me va tan rápido que no tengo idea, no recuerdo, eso puede haber pasado con Julio pues, bueno yo creo que eso fue ya a raíz del terremoto que ya si las grietas fueron más visibles y todo eso, si fue después del terremoto, el terremoto fue en el 91 creo el de Limón, tal vez eso con Julio yo te estoy hablando del 2000 dos mil algo, de que ya el se vino a ver, inclusive yo estaba trabajando en un proyecto de vivienda y eso nos afectó muchísimo porque de ahí, bueno ahora yo veo que dan bonos en Tres Equis, pero en ese tiempo yo no pude hacer nada. Después trajimos a otra geóloga, Linda, me parece, ¡hay como nos hizo sufrir!, yo tengo enemigos aquí en Tres Equis por Linda, porque ella vino y dijo, no y no y no, y desde entonces esta señora doña Miriam es enemiga mía, porque ella dice que yo no quise que le dieran el bono, inclusive a esta señora le alistaron un almuerzo y la traía el alcalde que era Marvín, Marvín la trajo y me dice no, llevemos a Linda por lo menos que nos autorice una parte a ver que se puede usar, por la idea de la gente, que la gente quería arreglar las casas y no las dejaban, entonces ella vino y dijo, no, nada y esa señora, claro, ya ahora por política y aunque se le caiga le dieron la casa pero ya cuando entra liberación ellos hacen lo que quieren por votos, pero en el tiempo de la Unidad tratamos de ser apegados a la Ley y si se dice no, es no y entonces ella totalmente furiosa conmigo, de hecho ahora que ha estado Liberación en estos dos períodos han hecho varias casas, las casas que usted ve nuevas, pero antes no se permitía una casa aquí, no había permiso y no se podía.

Ya uno porque está aquí, diay no tiene más que adaptarse, pero ponerse a construir sobre la grieta, yo no me explico, sabiendo que se mueve constantemente, no es que pasó y ya, es que se sigue moviendo. No me explico cómo será, seguro en el gobierno de liberación a Julio lo mandan a guardar, que no venga aquí, ni viene.

¿Qué ha escuchado sobre deslizamientos de tierra?:

Yo pienso que la tierra se mueve y al moverse causa vacíos de un lado y de otro y de allí lo que ya vemos son las grietas, eso es mi imaginación, no sé como mucho.....

¿Cuál o cuáles eventos considera que son la causa de los deslizamientos en Tres Equis?

Diay los temblores que ha habido, cada vez que tiembla yo hasta que me encojo y pienso ¡hay otra grieta!, Dios mío mi piso.

Bueno sí sucede, porque bueno yo pienso así, tiembla, y con la lluvia se mueve y cuando la tierra se seca, que aquí cuesta que se seque porque siempre llueve, este, como que se separa más, entonces yo pienso que allí sí, en la época seca, porque no es que inmediatamente que tiembla usted ve la grieta, no, no al tiempo, entonces si puede ser que cuando está más seco, de todas maneras el suelo se revienta cuando está seco, entonces yo si creo eso, porque yo recuerdo que cuando el terremoto, luego del terremoto vino una época de unas lluvias tremendas y esas lluvias yo me imagino que todas esas grietas se llenaron y todo estaba muy, muy, pero cuando ya se secó y ya se hicieron como más grandes las grietas y se puede asociar y que cuando está más seco se nota más.

Por ejemplo esta parte que esta aquí atrás, donde usted baja, eso hacía una laguna enorme, yo cuando hicieron una casita y dije hay santo Dios y sin embargo, la han visto el agua así a la par de la casa, se llena horrorosamente, bueno llovía mucho más, ahora llueve menos, yo no sé si será en todo lado pero aquí si llueve menos.

¿Usted recuerda cuándo ocurrió el último desastre que afectó a la comunidad?

Así como desastre, desastre no lo considero, pero cada vez que hay lluvias fuertes o muy, muy fuertes, yo recuerdo que una vez, aquí como por San Juanillo este barrio de arriba, el agua se salió y se llevó un puentecito y se dañó esta alcantarilla que hay en el puro centro, que está caída, ya eso puede ser unos tres o cuatro años que está así, como le digo, el tiempo me cuesta mucho precizarlo, porque se va tan rápido que diay digo yo fue el año pasado y resulta que hace 3 años verdad, pero eso sí, tiene varios años de estar caída esa alcantarilla, que fue cuando eso, que bajó mucho agua y le hizo mucho daño al río, eso en cuanto a inundaciones, después lo demás va y va, es un desastre, pero no se siente así como de una sola fecha, como se va moviendo poco a poco.

¿Qué tipo de daños asociados al terreno ha observado en el distrito de Tres Equis?

Yo pienso que sí, que lo más serio fue para el terremoto de Limón, por ejemplo aquí este galerón se calló y varias casas se vieron afectadas, es lo más desastroso que yo he visto de impacto, aquí dañó muchísimo y aquí no se sentían los temblores hasta ese tiempo.

¿Ha observado en el distrito de Tres Equis daños generados por deslizamientos?

Grietas en el terreno y cambio de nivel en el suelo.

Mire hasta el año...bueno, vea si era una comunidad bien, bien sana en ese sentido, que cuando pasó lo de Pacuare, lo del deslizamiento de Pacuare los trasladaron para acá, eso fue en el setenta, y no se qué, setenta y ocho o por allí, pero, pero desde el terremoto, de que pasó el terremoto de, bueno un poquito antes, es que no le puedo decir en que año, pero cuando empezó a moverse el terreno el deslizamiento que yo lo noté primera en la escuela, porque la escuela se empezó a dañar, verdad yo decía ay me mareé donde iba en un aula y me sentía y ese me mareé rapidito fue que ya era una grieta y rapidito fue que se empezó esa aula a desplaza, el piso, y en que le puedo decir yo, en términos de dos años hubo que quitar la escuela de que yo vi la grieta a que hubo que quitar la escuela porque ya corría peligro, fue como no más dos años.

...Estaba aquí frente a los pinos, ahí fue donde se hizo la primera escuela que era linda, una escuela bonita... yo cuando iniciamos la escuela, bueno yo inicié en un galerón y aquí estuve en otro galerón y de aquí ya nos fuimos al..., lo que no tengo muy claro yo, pero eso si es muy fácil de

buscar son los años, pero esa escuela, bueno no recuerdo pero en el gobierno de don, don Daniel Oduber1 (1974-1978) se le añadió y se hizo el comedor, eran cinco aulas y el comedor y se empezó a mover y mover y hubo que ver qué hacíamos, la idea fue trasladarla para ese..., a donde está. Don Delfin nos dio otro terreno allá y la quisimos trasladar, se trasladó lo que se pudo, era prefabricada ésta y se pudo trasladar algo para allá y entonces hubo que construir esa, yo no recuerdo bien el año que esa se construyó, fue en lo que terminaba el gobierno de don Rodrigo Carazo2 (1978-1982), al mismo tiempo que se construyó la escuela, y ya de allí fue de sufrir con grietas en esta comunidad y después del terremoto fue lo más serio, que ya siguió moviéndose y moviéndose, se activó esa falla, aquí tuvimos problemas serios en la casa para el terremoto, antes de eso nunca había habido problemas, pero si había en algunos lados en la comunidad, y esto que este piso después se cambió todo y vea ya está reventado, ahora el día que tembló fuerte ya se reventó allí y hay grietas allá, entonces, este, hasta ese tiempo no, bueno es que yo no recuerdo bien, con solo saber el año que se construyó aquella escuela, pues dos años antes comenzaron los problemas. Y de allí no, inundaciones nada, ningún tipo de problema, las peñas nos ayudan, como el terreno es tan quebrado.

¿Considera que Tres Equis está organizada para enfrentar un eventual desastre?

Sinceramente no se ha necesitado porque no ha habido algo así, porque aún cuando pasó eso, lo del terremoto no fue nada de que hubiera que recurrir y cuando ha habido que acudir, pues la gente llega a ayudar sin parar, pero sí hace falta.

¿Cuál es su percepción con relación al desempeño de la Municipalidad en el tema de los desastres?

Bueno la última vez que hubo algo los vi muy activos, no sé por el lado de Tuis, no sé por estos lados, es que aquí nunca hemos podido ni que nos tapen los huecos, pero últimamente si los he visto más activos a nivel de cantón.

.....

Nombre: Sandra Gamboa Nájera

Edad: 43 años

Ocupación: Oficial de policía

Lugar de residencia: Chitaría

Puede contarnos sobre los inicios del pueblo, o cómo se fundó Tres Equis, si lo vivió o se lo han contado.

No sé el año de fundación, mamá cuenta que en por allí de 1950 Peralta era la comunidad más próspera y Pilón de Azúcar, de Tres Equis a Peralta se iba caminando. Luego Peralta y Pilón decrecieron y Tres Equis creció mucho por las familias de la Flor, Pilón de Azúcar y Pacuare que se vinieron para Tres Equis. Los de Pacuare vinieron por temblores y hundimientos en el terreno, ellos se vinieron por miedo. Luego el cierre del ferrocarril favoreció el crecimiento económico de la población ya que la ruta 10 (Turrialba – Siquirres) era la ruta de principal comunicación con Limón, el comercio creció con los carros y cabezales que pasaban por esta zona. En los noventas con la apertura de la ruta 32 la zona comenzó a caer económicamente, también la zona cafetalera se vio muy afectada por la roya del café, la mayoría de los cafetales desaparecieron y se experimentó con el plátano, la yuca, maíz, frijoles, arroz, ganado y lecherías. Hoy son el culantro coyote para exportación, banano orgánico y pequeñas hortalizas los principales productos agrícolas.

Podría describirnos algunos de los eventos naturales que han afectado al distrito de Tres Equis y han quedado en sus recuerdos.

Mi papá me cuenta de un evento hace como 20 años, él cuenta que la lluvia era torrencial y se habían salido los ríos, hubo caída de árboles y deslizamientos.

¿En el distrito de Tres Equis, dónde ocurren con mayor frecuencia los daño al terreno o viviendas?

Por el bar Los Pinos, por la zona de la antigua plaza, la zona de la entrada al colegio (donde hicieron un predio), en la entrada sobre la ruta 10 y en la entrada por el cementerio.

¿Considera que el problema de los deslizamientos puede tener solución? ¿Qué recomienda?

No tienen solución porque es un problema de placas (Cocos), no se puede hacer nada. En la comunidad hay que detectar los terrenos para no construir nada (ni casa, ni carretera, nada) porque eso es botar los recursos. Hay que tener conciencia de no invertir en un lugar donde puede ser afectado por un evento natural.



Nombre: Yorleny Montenegro Sojo
Edad: 37 años
Ocupación: Ama de casa
Lugar de residencia: Centro de Tres Equis (ciudadela)

Puede contarnos sobre los inicios del pueblo, o cómo se fundó Tres Equis, si lo vivió o se lo han contado.

Don Miguel Montenegro fue el fundador de Tres Equis, le han contado que el pueblo se inició con gente que vivía en Pacuare, se trajeron a la gente por los deslizamientos. Los lotes eran muy baratos y empezaron a vender terrenos.

El nombre del pueblo es por un ceibo que tenía XXX, debido a marcas que dejaron en el árbol los ingenieros que hacían caminos.

Podría describirnos algunos de los eventos naturales que han afectado al distrito de Tres Equis y han quedado en sus recuerdos.

Bueno antes se salía el riillo por la panadería, esa siempre se salía y cuando se salía pasaba dentro de la casa de una tía, pero fuera de allí no ha escuchado nada más. La quebrada detrás del Megasuper se sale pero no pasa a más porque no hay construcciones a la par.

¿En el distrito de Tres Equis, dónde ocurren con mayor frecuencia los daño al terreno o viviendas?

Por donde doña Miriam (primer entrada a la derecha en Tres Equis), la antigua plaza, donde estaba la antigua escuela, la grieta hacia el cementerio, y en la esquina de la casa verde (diagonal a la iglesia católica) también hay un hundimiento.

¿Considera que el problema de los deslizamientos puede tener solución? ¿Qué recomienda?

Sinceramente yo pienso que eso es cosa de la naturaleza, la naturaleza no es muy agresiva, las grietas no afectan mucho.



Nombre: Vilma Pereira Badilla
Edad: 58 años
Ocupación: Ama de casa
Lugar de residencia: Cruce San Pablo – ruta nacional No. 10

Podría describirnos algunos de los eventos naturales que han afectado al distrito de Tres Equis y han quedado en sus recuerdos.

Conozco dos versiones sobre el nombre del pueblo, una es por tres acequias que se juntan, y otra por tres cruces de caminos que llevan a otros sitios. Antes de reubicar a la población de Tres Equis había unas 15 casas.

En el distrito de Tres Equis, ¿Dónde ocurren con mayor frecuencia los daño al terreno o viviendas?

Entre Tres Equis y Pílon y en finca Blake.

¿Considera que el problema de los deslizamientos puede tener solución? ¿Qué recomienda?

No.

.....
Nombre: Victoria Fuentes Nájera

Edad: 47 años

Ocupación: Cocinera Escuela de San Pablo

Lugar de residencia: San Pablo

¿A su parecer, cuál puede ser el origen de los desastres?

Causas humanas. En cuanto a las grietas no tengo idea, bueno ni tanto, unas de las características creo que hay aquí es que hay muchas lagunas en las partes bajas, hemos notado que siempre que han habido mucho revolcadero en la tierra, después notamos que una laguna desapareció y luego apareció una más grande, como que una laguna se va para donde otra. Aquí lo que más hay son las grietas. Esos derrumbes que se vienen yo digo que es porque los suelos se desprotegen tanto, todo mundo vive chapeando y volando fuego.

¿Qué tipo de daños asociados al terreno ha observado en el distrito de Tres Equis?

Las calles se parten mucho, curiosamente ahora que pasó este último (lluvias en el mes de julio 2012) todo ha estado igual, no ha sido como otras veces apenas pasan las lluvias y empieza el calorcito, con el calorcito empieza a abrirse la tierra. Cuando llueve mucho todos estamos esperando las grietas, aquí es muy común sobre todo para este sector, donde yo vivo para este lado se ve y usted ve árboles para acá y para acá, están de pie pero están inclinados, caminar es muy peligroso porque el terreno esta escalonado. En las casas no son todas, después de esta vuelta para allá uno va y las casas están bien, por ejemplo en la iglesia en el salón comunal no hay daños, donde está la escuela si y para la entrada de San Pablo, hacia la chicharronera.

.....
Nombre: Joel Campos Cerdas

Edad: 32 años

Ocupación: Fontanero

Lugar de residencia: Centro de Tres Equis, Barrio San Juanillo

Puede contarnos sobre los inicios del pueblo, o cómo se fundó Tres Equis, si lo vivió o se lo han contado.

Fue cuando desapareció Pacuare, me han contado, en los años setenta y trasladaron al pueblo a Tres Equis. Dicen que el nombre de Tres Equis fue por unos monteadores que pusieron XXX en un palo como guía.

Podría describirnos algunos de los eventos naturales que han afectado al distrito de Tres Equis y han quedado en sus recuerdos.

El evento más significativo fue el que viví como a los 6 años cuando vivía cerca de la quebrada Mata de Guineo. Sentimos como si estuviera temblando, mi hermano dijo está temblando y mamá dijo que era la quebrada, inmediatamente alumbró para el piso y ya estaba toda la palizada y lodo. Pasamos la noche en un potrero entre la quebrada pequeña y la quebrada Mata de Guineo. Llovía cualquier cantidad.

¿En el distrito de Tres Equis, dónde ocurren con mayor frecuencia los daños al terreno o viviendas?

En San Pablo y en el centro de Tres Equis pero realmente estos últimos años no ha vuelto a moverse, ha estado como calmado, uno lo nota en las grietas, ve ahí por la plaza, esa grieta tiene tiempillo de no moverse. Donde se mueve es en la entrada a Tres Equis por la quebrada donde doña Nuria, la casa está bajando el cementerio antes de llegar a la quebrada, en el puro cruce.

¿Considera que el problema de los deslizamientos puede tener solución? ¿Qué recomienda?

No tienen solución, ¿Con qué amarramos el terreno?, está difícil.

.....
Nombre: Rafael Montenegro

Edad: 50 años

Ocupación: Pensionado

Lugar de residencia: Centro de Tres Equis (ciudadela)

Puede contarnos sobre los inicios del pueblo, o cómo se fundó Tres Equis, si lo vivió o se lo han contado.

El inicio del pueblo fue por el problema de lo de Bajo Pacuare, porque se inundó todo, el problema fue por Buenos Aires porque una laguna grande se fue por debajo del camino y el camino se fue agrietando todo. Don Miguel Montenegro Guillen (padre), empezó a hacer gestiones para ver dónde se compraba una finca y apareció el terreno de don Delfín Abarca, y lo compraron con el dinero que recolectó LA NACIÓN. Él fue el contacto con LA NACIÓN.

La construcción de las casas se hizo con la empresa Bujan y el techo era de cartón con asfalto, el poblado empezó con unas 40 casas.

Podría describirnos algunos de los eventos naturales que han afectado al distrito de Tres Equis y han quedado en sus recuerdos.

Las grietas se empezaron a ver, si no me equivoco después del terremoto de Limón de 1991. Tres Equis era un potrero cortado con tractor, en estos pastos se rellenó el sector donde le llamaban la maternidad, frente a la iglesia, allí puede haber unos 8 m de relleno.

¿En el distrito de Tres Equis, dónde ocurren con mayor frecuencia los daños al terreno o viviendas?

En San Pablo, La Flor, San Martín donde Octavio Jiménez el terreno está gradeado porque está sobre una laja igual que la quebrada Gata en Pacuare.

ANEXO H

Metodología para la caracterización y análisis de mapas de percepción (Peraldo, 2004)

Clasificación de la integración de espacio y contenidos

Clasificación	Caracterización	Valor
Integrado total	Óptima continuidad	4
Integrado parcial	Hay continuidad pero no hay contenidos secundarios	3
Integración parcial en subespacios	Los contenidos están distribuidos en conjuntos espaciales separados por vacíos de información	2
No integrado	No hay integración	1

Clasificación de la secuencialidad

Clasificación	Caracterización	Valor
Óptima	de 76% al 100%	4
Buena	de 51% a 75%	3
Moderada	de 26% a 50%	2
Mala	de 0% a 25%	1

Nivel de detalle en mapas de percepción

Nivel de detalle	Espacio representado	Dimensiones	Clasificación de Bolós (1992)
1 nivel	Edificios, plazas	Hasta 100 m ²	Nanogeocora
2 nivel	Caminos, fincas, plantas de centros poblacionales	De 100 a 1 km ²	Microgeocora
3 nivel	Valles de ríos secundarios, planicies, una colina	De 1 a 10 km ²	Geocora
4 nivel	Valles de ríos primarios, distritos, cantones	De 10 a 100 km ²	Mesogeocora

Clasificación de la distorsión para contenidos lineales

Comparación de irregularidades			Proporcionalidad de dimensiones		
Descripción	Valoración	Nivel	Descripción	Valoración	Nivel
Sin distorsión	100%-76%	4	Óptima	100%-76%	4
Poca distorsión	75%-51%	3	Moderada	75%-51%	3
Mucha distorsión	50%-26%	2	Baja	26%-50%	2
Completa	25%-0%	1	Sin proporcionalidad	25%-0%	1

Nota: Porcentajes deben ser extraídos de la comparación del contenido con los mapas oficiales y fotos aéreas.

Clasificación de la distorsión para contenidos poligonales

Comparación de irregularidades		Proporcionalidad de dimensiones		
Descripción	Nivel	Descripción	Valoración	Nivel
Sin distorsión	4	Óptima	100%-76%	4
Poca distorsión y espacio cerrado	3	Moderada	75%-51%	3
Mucha distorsión, espacio cerrado a abierto	2	Baja	26%-50%	2
Completa, espacio parcialmente abierto a abierto.	1	Sin proporcionalidad	25%-0%	1

Nota: Porcentajes deben ser extraídos de la comparación del contenido con los mapas oficiales y fotos aéreas.

Clasificación del parámetro densificación

Clasificación	Descripción	Valor
Óptima	100%-76%	4
Buena	75%-51%	3
Regular	50%-26%	2
Malo	25%-0%	1

Clasificación para la concentración

Categoría	Descripción	Valor
No hay	Se percibe la concentración real de los contenidos del área	4
Baja	Entre 0 a 25% del total de contenidos	3
Moderada	Entre 26 a 50%	2
Fuerte	Mayor del 50%	1

Clasificación de la orientación de los contenidos

Categoría	Descripción	Valor
Adecuada	100%-76%	4
Buena	75%-51%	3
Regular	50%-26%	2
Mala	25%-0%	1

Clasificación de toponimia

Valor	Descripción
3	Contribuye con más del 50% de nombres no oficiales del total de nombres usados en el mapa de percepción
2	Más del 25% al 50%.
1	0% al 25%

ANEXO I

Datos de búsqueda DESINVENTAR

Fecha Inicio	Tipo de evento	Nombre Geográfico	Sitio	Fuentes	Observaciones de efectos
09/04/1970	Inundación	Turrialba/La Suiza	Palmares de Moravia	La Nación	La fuente no identifica número exacto de viviendas afectadas
09/04/1970	Inundación	Turrialba/La Suiza	La Leona Canadá Suiza	La Nación	Fuente no identifica número de viviendas afectadas.
09/04/1970	Inundación	Turrialba/La Suiza		La Nación	Desbordados ríos Tuis y Danta. El agua está contaminada por ruptura del acueducto. Río Tuis y Danta.
09/04/1970	Inundación	Turrialba/La Suiza	Chirripó	La Nación	Fuente no identifica número exacto de viviendas inundadas.
09/04/1970	Inundación	Turrialba/La Suiza	Atirró	La Nación	Puente entre Atirro y Pejibaye destruido. Están incomunicados.
09/04/1970	Inundación	Turrialba/Peralta		La Nación	1 Familia fue arrasada por la corriente. Dos personas mueren: una señora de 1 año y medio y una mujer adulta mayor.
09/04/1970	Inundación	Turrialba/Peralta		La Nación	Dos puentes arrasados entre Peralta y Siquirres. La compañía ferroviaria pierde dos máquinas de tren (#30 y #39) y la vía férrea queda impactada.
16/11/1970	Deslizamiento	Turrialba/Peralta	Vía férrea entre Peralta y Siquirres (Limón)	La Nación	Deslizamiento de 300 metros sobre la vía férrea. Detenido transporte de pasajeros y de productos de exportación (banano)
03/12/1970	Deslizamiento	Turrialba/Peralta	Vía férrea entre Peralta y Siquirres (Limón)	La Nación	Nuevo derrumbe sobre la vía férrea debido a los daños sufridos por la vía. El servicio de tren quedó interrumpido por varios meses más.
05/12/1970	Inundación	Turrialba/Peralta		La Nación	
18/12/1970	Deslizamiento	Turrialba/Peralta	Pilón de Azúcar	La República	Fuente no identifica número de viviendas afectadas.

Análisis de la susceptibilidad a deslizamientos en el distrito de Tres Equis: una base para la gestión del riesgo y ordenamiento territorial. Turrialba, Costa Rica

Fecha Inicio	Tipo de evento	Nombre Geográfico	Sitio	Fuentes	Observaciones de efectos
18/12/1970	Deslizamiento	Turrialba/Tayutic	Bajo Pacuare	La República	Viviendas en peligro por deslizamiento. Las familias van a ser reubicadas en un proyecto de vivienda en Tres Equis en el distrito de Pavones. Familias fueron reubicadas en sus nuevas viviendas el 30 de enero 1972 en Tres Equis
18/12/1970	Deslizamiento	Turrialba/Turrialba		La Nación	Derrumbe en la carretera. Obstrucción paso.
10/04/1971	Deslizamiento	Turrialba/Peralta	Millas 46 y 47	La Nación	Obstrucción sobre la vía férrea con lodo y rocas. El tren no pudo avanzar sino hasta la mañana siguiente cuando las cuadrillas limpiaron la vía.
05/01/1972	Deslizamiento	Turrialba/Peralta	Piedras de Fuego	La Nación	Interrumpido servicio de tren debido a derrumbe sobre la vía férrea.
04/12/1974	Deslizamiento	Turrialba/Peralta	Piedras de Fuego	La Nación	Interrumpido paso entre Piedras de Fuego y Siquirres
04/12/1974	Deslizamiento	Turrialba/Peralta	Entre Turrialba y Siquirres	La Nación	
04/12/1974	Deslizamiento	Turrialba/TUIS	San Joaquín	La Nación	
17/01/1975	Inundación	Turrialba/Peralta	Pidra del Fuego	La Nación	Terraplén sobre vía férrea. Suspendido servicio de tren entre Turrialba y Siquirres.
23/11/1975	Lluvias	Turrialba/Turrialba		La Nación	Lluvias impactaron la planta de suministro de electricidad a Turrialba quedando la ciudad sin la misma.
13/12/1975	Deslizamiento	Turrialba/Peralta		La Nación	Derrumbe de 50 metros de ancho por 5 de largo. Interrumpido paso del tren.
01/08/1976	Deslizamiento	Turrialba/Peralta	Paso entre Turriabla y Siquirres	La Nación	Bloqueado paso por derrumbe.
15/09/1976	Deslizamiento	Turrialba/Turrialba	Chiz	La Nación	Suspendido paso del tren por obstrucción sobre vía férrea.
08/10/1986	Deslizamiento	Turrialba/Pavones		La Nación	
06/10/1987	Inundación	Turrialba/Turrialba	Barrios Aragón y Campabadal	La Nación	Las 8 personas corresponden a dos familias evacuadas.
27/01/1988	Deslizamiento	Turrialba		La Nación	Ver ficha adjunta No.24
04/09/1988	Deslizamiento	Turrialba	Vuelta Piedras de Fuego	La Nación	
14/12/1994	Inundación	Turrialba/Turrialba	Centro de Turrialba y Santa Rosa	La República	Se reportan once familias afectadas: cinco evacuadas y seis reubicadas
01/05/1995	Inundación	Turrialba/Tayutic		La Nación	

Análisis de la susceptibilidad a deslizamientos en el distrito de Tres Equis: una base para la gestión del riesgo y ordenamiento territorial. Turrialba, Costa Rica

Fecha Inicio	Tipo de evento	Nombre Geográfico	Sitio	Fuentes	Observaciones de efectos
11/02/1996	Deslizamiento	Turrialba/Pavones	La Angostura	La Nación	Terraplén de 30 metros de largo y 4 de alto cayó sobre un furgón un vehículos del Instituto Costarricense de Electricidad y una patrulla de la Policía de Tránsito. Quedó obstruido el paso hacia Siquirres.
03/05/1997	Deslizamiento	Turrialba/Turrialba	Turrialba-Siquirres; ruta Tres Equis	CNE	Interrumpido un carril por deslizamiento.
08/01/2000	Inundación	Turrialba/Peralta	Ruta 10	CNE	Dos hundimiento en la ruta 10. Cuatro viviendas en riesgo.
22/07/2000	Deslizamiento	Turrialba/Turrialba	Alto Victoria	CNE	Obstruido paso vehicular.
30/09/2000	Inundación	Turrialba/Tayutic	Platanillo	CNE	Obstrucción del puente.
08/07/2001	Deslizamiento	Turrialba	Paso ruta entre Turrialba Siquirres en Angostura	CNE	
11/07/2001	Deslizamiento	Turrialba/Pavones	La Angostura	CNE	50 metros de altura por 50 de ancho Deslizamiento sobre la carretera
18/07/2001	Deslizamiento	Turrialba/Pavones	Angostura ruta 10 en Alto Varal entre Turrialba y Siquirres	CNE	Deslizamiento cubre un carril
19/07/2001	Deslizamiento	Turrialba/Pavones	Angostura	CNE	
28/09/2001	Inundación	Turrialba/Turrialba	Santa Rosa	CNE	
05/05/2002	Deslizamiento	Turrialba/Pavones	Ruta 10 a la altura de Guayacán.	CNE	
06/05/2002	Inundación	Turrialba/Peralta		CNE La Nación	
23/11/2002	Deslizamiento	Turrialba/Turrialba	Ruta 10 La Angostura	CNE	
11/04/2007	Deslizamiento	Turrialba/Peralta	Tres Equis	CNE	DESLIZAMIENTO EN LA VIA PRINCIPAL ENTRE TURRIALBA Y SIQUIRRES (RUTA 10) AFECTA UNAS 3/4 PARTES DE LA VIA
13/06/2007	Lluvias	Turrialba/Pavones	Pavones	CNE	

ANEXO J

Datos históricos (La Nación y La República)

Para conocer información histórica de la zona, se revisaron detalles referentes a emergencias nacionales importantes por causa de temporales del atlántico que afectaron también de forma directa al distrito de Tres Equis. Se revisaron los periódicos correspondientes a:

- La Nación sábado 5 de diciembre 1970: "Declarada emergencia nacional por temporales del Atlántico"
- La Nación 18 de diciembre 1970: "Navidad sí...pero de la mano de nuestros hermanos en desgracia"
- La Nación 22 de diciembre de 1970: "Turrialba aspecto sombrío", "Familias evacuadas de Chitaría de Peralta"
- La Nación 23 de diciembre 1970: "Pacuare de Chitaría: se retuerce la tierra"
- La Nación domingo 30 de enero 1972: "La nueva población de Tres Equis"
- La Nación 6 de diciembre 1974: "Persiste temporal en área de Limón"
- La Nación 2 agosto 1976: "Más de 20 familias retiradas al desbordarse río Turrialba"

A continuación los más representativos:

La Nación sábado 5 de diciembre 1970

LA NACIÓN

San José, Costa Rica - Sábado 5 de diciembre de 1970 - Año XXIV - No. 7 878 - Precio (en colones) 100 (en dólares) 100



UNA ENORME EXTENSION DEL PAIS bajo el azote de violentos e inintermitidos aguaceros y fuertes vientos. La zona gris muestra el área afectada por el fuerte temporal que ha destruido fincas y propiedades en un área aproximada de 15 mil kilómetros cuadrados. Las zonas más oscuras señalan los lugares afectados por los desbordamientos de los ríos cuyo trazo aparece sombreado. Solo en el valle de La Estrella, casi todas las 21 enormes fincas bananeras están ahogadas. (Dibujo de Contreras).

Declarada emergencia nacional por temporales del Atlántico

El gobierno considera que la situación actual de la zona atlántica es grave. Dos helicópteros de la fuerza aérea norteamericana llegan hoy a prestar ayuda. Seguridad Pública moviliza fuerzas de auxilio. — Penuhurst inundado, la población evacuada a Cahuller. Siquirres, azotado por la lluvia. — Derrumbes. — Lavados. — Casas arrasadas por el agua.

Página 10

PROTECCIONISMO AFECTARA A LA INDUSTRIA TEXTIL

Aunque es pequeña nuestra participación en el mercado norteamericano, si llegan a aplicarse los cuotos de importación, nos perjudicará. Costa Rica tercer país que no podrá exportar más carne a los Estados Unidos en este año, por haber cubierto la cuota asignada.

Páginas: 20-22-24-25-28-30

Se estrelló bimotora y murieron seis

El avión de la Fuerza Aérea Nicaragüense AN-411 cayó en las faldas del volcán Turrialba. Muertos: doña Amelia Argeñal de Lacayo; Rori Lacayo y Maritza Lacayo y la tripulación: piloto, teniente Manuel Mayorga; subteniente Andrés Platt y alférez sargento Seraio Corrales. Por mal tiempo los cadáveres no fueron recogidos. La tarea de rescate se dejó para las primeras horas de la mañana de hoy.

Página 97

Entrevista Figueres-Prebisch

En un desayuno ayer que duró tres horas, analizaron el panorama político mundial. El Dr. Carlos Manuel Castillo y el Lic. Oscar Arias también participaron en las discusiones.

Página 2

ESPERAN INCREMENTO EN EXPORTACIONES

Con base en un estudio estadístico, el Banca Central estima como probable que en este año las exportaciones de productos manufacturados superen los 49.5 millones de dólares.

Página 97

Nacionalizar ciertas empresas extranjeras

Lo recomendó el Congreso de Integración, para las que manejan recursos centroamericanos y frenan el desarrollo económico de estos países.

Declarada emergencia nacional por temporales del Atlántico

El gobierno decretó ayer la emergencia nacional debido a los fuertes temporales en la zona atlántica del país.

EL DECRETO

JOSE FIGUERES FERRER
Presidente de la República y el Ministro de Gobernación, Policía, Justicia y Gracia

Considerando:

1º) Que el Poder Ejecutivo, en virtud de lo dispuesto por la ley número 4374 de 14 de agosto de 1969 puede, por decreto, declarar el estado de emergencia por calamidad pública previsto en el artículo 189 de la Constitución Política.

2º) Que la situación porque atraviesa la zona atlántica del país que actualmente está siendo azotada por las inclemencias del tiempo, lo que ha tomado sumamente grave la situación de las personas que residen por esos lugares y afecta notoriamente a la economía nacional.

3º) Que el Poder Ejecutivo tiene dentro de sus atribuciones legales, que resolver lo más rápidamente posible los problemas generados por la situación, por la que atraviesa la precitada región.

4º) Que las disposiciones contenidas en la ley anteriormente citada facilita, en gran parte, la solución del estado de emergencia porque atraviesa dicha zona.

POR TANTO,

DECRETAN:

Artículo 1º) — Decláranse zonas de emergencia nacional, todas las comprendidas en la re-

gión del atlántico, afectadas por las inclemencias del tiempo, para los efectos de la ley No. 4374 del 14 de agosto de 1969 y del artículo 189 de la Constitución Política.

Artículo 2º) Rige a partir de su publicación.

JOSE FIGUERES FERRER

El Ministro de Gobernación, Policía, Justicia y Gracia,

CARLOS MANUEL VICENTE
CANTO

SIXAOILA COMPLETAMENTE AISLADA

A las ocho de la noche informó el corresponsal Edgar Torres, que la situación en el área de Sixoila, una enorme extensión de territorio y muchas caseríos y fincas, se desconoce totalmente. No se tienen noticias, sino a avanzada hora de la noche. Lo único que se sabe con certeza era que el río Sixoila, uno de los más grandes del país, se había salido de sus cauces y que había inundado vastas extensiones de terreno. Nada más. Torres agregó que el 90 por ciento de las 41 fincas bananeras de La Estrella, pedregal inundadas y algunas de ellas fueron barridas por los aguas de los ríos que inundaron el valle. La mayoría de esas fincas son enormes plantaciones de banana. Las pérdidas son incalculables. Turres advirtió que a pesar de la venida de los elementos de San José, no se ha reportado ninguna víctima.

EVACUARON ENFERMOS DEL HOSPITAL.

El hospital de la Caja Costarricense del Seguro Social en la Fortuna de La Estrella, fue evacuado urgentemente. Las aguas de los ríos inundaron las instalaciones. El cuádril empezó a pasar por debajo de las camas. El personal médico y administrativo dispuso desalojar inmediatamente el hospital. Los enfermos fueron conducidos a varias instalaciones para empacar banana que se encuentran seguras en otros lugares.

HELICOPTEROS

Tanto el Ministerio de Seguridad Pública como el de Gobernación don Carlos Manuel Vicente, se interesaron por conseguir ayer los helicópteros.

Eso es el mensaje que el ministro Vicente envió al embajador nicaragüense ayer: Por el momento pidió le comunique, para los efectos consiguientes que se ha declarado zona de emergencia nacional a la zona atlántica azotada actualmente por las inclemencias del tiempo. Por ese motivo el goberador de Costa Rica, ratificando el pedimento formulado por el señor ministro de Seguridad Pública, le ruega intensificar sus buenos oficios para el suministro de helicópteros que construyeron en el terreno de porvenir que han quedado aislados en distintos puntos de ese lugar.

De inmediato el embajador Pleyer da la orden y hoy despegan los primeros dos helicópteros para trasladar en la emergencia

Nueva rotura en el poliducto de RECOPE

Una nueva rotura en el poliducto de la Refinería Costarricense de Petróleo se produjo ayer a las 8 de la mañana como consecuencia del fuerte temporal que azota a la región atlántica, según anunció ayer don Amancio Rojas, alto personal de la citada compañía.

Informó también que la rotura todavía al mediodía de ayer no había sido localizada. Es decir, se ignoraba en qué punto del largo trayecto del poliducto se produjo el daño que obligó a la compañía a interrumpir una vez más el bombeo de diesel, gasolina y café desde Moín.

La RECOPE, al registrar en sus aparatos el daño, de inmediato desplegó a varios de sus trabajadores hacia la zona con el objeto de que en bote, a pie o como sea localicen la

rotura y la reparen. El señor Rojas dijo que mediante informes obtenidos por la compañía se supo que algunos trabajadores de otras empresas habían visto en el lugar denominado Piedras de Fuego, cerca de Peralta, un pedazo de tubo colgando de un desplazamiento de tierras.

Finalmente, don Amancio Rojas informó que la RECOPE tiene existencias aproximadamente para cinco días a partir de ayer, ello debido a que con la reciente escasez que se produjo, las compañías distribuidoras han retirado miles de galones de diesel y gasolina de El Alto de Obispo. Dijo a día han estado retirando producto y ello no ha permitido mantener ninguna reserva superior a los cinco días.

Tras la pista de quienes causaron la muerte a un peatón hace días

José Joaquín Mora, de segundo apellido ignorado, de 29 años de edad, falleció en el hospital San Juan de Dios a causa de las lesiones que le causó un vehículo en las inmediaciones de San Rafael Abajo de Desamparados, lugar donde vivía.

Las autoridades y vecinos lo condujeron al hospital inmediatamente. Pero nada pudieron hacer los médicos puesto que las lesiones eran mortales.

El conductor que causó el atropello ganaba un camión liviano color rojo. Cuando atropelló a Mora, llevaba un moteado color amarillo que cubría la parte posterior. Se cree que cuando se produjo el accidente, el chófer y varios acompañantes iban ebrios.

Esa misma fecha —de ello hace varios días— alguien vio ese vehículo cerca de Salitral de Aserrí. Al parecer, varios desconocidos cambiaban una rueda y otros limpiaban la parte delantera. Existen sospechas de que lo que esa gente hacía, era borrar las huellas del accidente.

Por otra parte, al día siguiente, el mismo vehículo atropelló por varios cruces, estuvo dando vueltas en una población al sur de San José. Las autoridades creen que los delincuentes continuaron bebiendo después del accidente mortal. Las autoridades dijeron que tienen otras informaciones a las que se refirieron como "súbditas conexiones", las cuales no fueron reveladas por razones obvias.

4 — LA NACIÓN, martes 22 de diciembre de 1970

Turrialba aspecto sombrío

Gran angustia están viviendo las autoridades, cuerpos de emergencia y vecinos de Turrialba, por la situación que viven los habitantes de numerosas poblaciones de Turrialba, donde hay entre trescientas y cuatrocientas familias totalmente aisladas. Estas familias pueden sumar un total de entre dos y tres mil personas, la mayoría niños.

NO TIENEN ALIMENTOS

Se sabe positivamente que estas personas no tienen alimentos ni posibilidades de procurárselos: todas las carreteras, y caminos y otras vías de acceso rudimentarias, han sido destruidas por avalanchas, "lavados" y movimientos de tierra al extremo de que ni a caballo se puede entrar en esas poblaciones, entre las que están: Bonilla, Pascua, San Antonio, Santa Teresita, Peralta (centro) y otras. El jefe político de Turrialba, señor Rodolfo Sanabria, quien tiene una grave responsabilidad en estos momentos así como el Comité de Emergencia creado en Turrialba, informó que no se tiene noticias de otras poblaciones como Movavia de Chitripé, Pacuare, Bevé, Pacuare de San Joaquín, por la misma razón: no hay paso a ninguna parte.

ALIMENTOS EN EL ESTADIO

Ayer se preparó un cargamento de 200 quintales de alimentos básicos que fueron colocados en las instalaciones del estadio de Turrialba en espera de la llegada de helicópteros de la fuerza aérea de los Estados Unidos. Sin embargo estas naves, cuyos pilotos hicieron varios intentos para entrar a Turrialba y a las zonas afectadas, no pudieron hacerlo debido a que la visibilidad es nula, llueve constantemente y los vientos son muy fuertes. Sin embargo, el peligro que los pilotos consideraron mayor es el de la neblina y la lluvia.

HAMBRE Y ENFERMEDADES

Los dramáticos relatos que hacen autoridades de varias de las poblaciones afectadas que han salido juzgando la vida, son escalofriantes. En el caso de Bonilla, un caserío de Peralta, el agente de policía señor Ricardo Aguilar Romero, dijo que la gente padece hambre ya, que hay muchos enfermos y que si no se les llevan alimentos, ropas y medicinas, teme que pueda haber muertos. Así lo dijo francamente. Declaró que su familia quedó en el lugar y que salió para dar la voz de alarma. El único negocio donde había alimentos, se lo llevó el río Bonilla. Era de Carlos Ramírez Mata. El mismo río arrastró parte de la agencia de policía. Allí hay 48 familias con 300 personas aisladas.

UNICA VIA DE ABASTECIMIENTO: POR AIRE

Se estudiaron todas las posibilidades, dentro de la angustiada tensión que viven los cuerpos que intentan el salvamento, y se llegó a la conclusión de que la única vía para abastecer a las poblaciones aisladas, es por el aire. Se espera que los helicópteros puedan volar hoy.

MÁS AYUDA

Se hizo notar que aunque se han conseguido alimentos básicos y alguna ayuda extra, es imprescindible que desde esta capital se envíen inmediatamente alimentos y ropas. Especialmente se quiere leche en polvo y alimentos para niños.



ARRIESGAN LA VIDA — El camino que conduce a Pacuare de Chitarré o Peralta, cambió de curso o desapareció (arriba). Este es el último lugar al que llegaron los envíos de LA NACIÓN. Miembros de la Cruz Roja, Bomberos, Guardia Civil, Resguardo Fiscal y voluntarios, siguieron adelante en su misión de salvar vidas. Nuestro compañero Manuel Zúñiga, (tercero de izquierda a derecha), ve cómo avanzan en su peligrosa misión. (Foto Aguilar).

FAMILIAS EVACUADAS DE CHITARRIA DE PERALTA

A causa de las amenazas de derrumbes, numerosas familias fueron evacuadas de Chitarría de Peralta a Favones, entre ellas Albertina Calderón y dieciséis hijos, así como las familias de Gerardo Montero, Nicolás García, Daniel Cordero, Daniel García, María Muñoz y Mayela Montes de Oca. A la hora de recibir esta información (10 p.m.) llovía torrencialmente en esa zona.

CASAS DESTRUIDAS — Varias casas fueron desalojadas ayer en Turrialba por la destrucción que causó en sus cimientos el río Colorado durante la madrugada. (Foto Aguilar).

La Nación 23 de diciembre 1970



10 — LA NACION, miércoles 23 de diciembre de 1970

IGLESIA SE HUNDE. — La iglesia de Pacuare de Chitaría se hunde lentamente. El presbítero don Juan Rojas observa las peligrosas grietas que han afectado una área considerable de esta población turrialbeña. — (Foto Miguel Salguero).

DENTRO DE LA IGLESIA. — El padre Rojas muestra a los señores Alvaro Fuentes, Carlos León y Alfredo Faredes, y a un grupo de vecinos de Pacuare, el estado de peligrosidad en que se encuentra la iglesia. El hundimiento de la zona ha hecho inhabitables a la mayoría de viviendas. — (Foto Miguel Salguero).

Helicópteros reparten alimentos:

Pacuare de Chitaría: se retuerce la tierra

La tierra, cuya corteza muestra cientos de requiebrajuras, se retuerce en el pueblo de Pacuare de Chitaría, jurisdicción de Pavones, Turrialba. Caminos



EMBAJADOR NORTEAMERICANO. — El embajador norteamericano, Mr. Walter Ploese, quien efectuó una gira de inspección por la zona afectada. — (Foto Velásquez).

corridos por enormes hundimientos, casas inclinadas —algunas a punto de caer—, fincas que se van desmoronando como si fuesen empujadas desde el interior por un extraño fenómeno: éstas son, a grades rasgos, las características que el redactor pudo observar en la población mencionada.

UN PUEBLO CASI DESIERTO

En vista de la grave situación, los vecinos de Pacuare han abandonado sus viviendas. En el propio centro sólo queda una familia; en las zonas aledañas también vimos varias casas habitadas. Pero la gran mayoría de los vecinos se ha trasladado a lugares seguros, como Pavones. En nuestra edición de ayer se dieron detalles de este fenómeno que ha puesto en peligro una área considerable de ayer a hoy, según palabras de nuestro corresponsal en Turrialba, Rafael Ángel Velásquez, quien acompañó al redactor Manuel Zúñiga y al fotógrafo Sr. Aguilar para cubrir la información anterior, el camino descendió en algunos trechos más de una vara en menos de 24 horas. Los vecinos aseguran que día tras día el hundimiento se acentúa.

AYUDA

Hoy se presentaron en Pacuare los señores Alvaro Fuentes, gerente de la Cooperativa de Pacuare y de la Unión Regional de Cooperativas de la Zona Atlántica, y el Sr. Carlos León miembro de la Cooperativa Agrícola, para levantar un censo

de las familias afectadas, a fin de auxiliarlas con una partida de ₡ 20.000,00 que obsequió la Federación de Cooperativas de Cafetaleros. Asimismo se hicieron presentes funcionarios de Bienestar Social para tratar de llevar alguna ayuda a Pacuare.

HELICOPTEROS

Los dos helicópteros de la Zona del Canal comenzaron a repartir alimentos desde las primeras horas de la mañana. En un total de 15 vuelos a las poblaciones de Pacuare, Bonilla, San Isidro y Peralta, muy afectadas por los temporales, y que están aisladas desde hace varios días, las tripulaciones repartieron un total de 8.200 libras de alimentos, evacuaron a 5 personas y llevaron de regreso a sus hogares a 36 individuos que estaban incomunicados de sus pueblos. Defensa Civil autorizó al comité de emergencia de Turrialba a retirar ₡ 20.000,00 en alimentos, del comercio de la localidad.

EMBAJADOR

El señor embajador de los Estados Unidos, Mr. Walter Ploese, partió del aeropuerto La Sabana a las diez y treinta de la mañana, en helicóptero, para hacer un recorrido por la zona de Turrialba, con el fin de constatar personalmente la magnitud de la tragedia. El señor embajador se mostró muy preocupado por — los cuadros que pudo observar durante las dos horas que duró en la región afectada.



CASAS "EN EL AIRE". — Algunas casas de Pacuare se encuentran prácticamente "en el aire", pues sus bases han desaparecido tragadas por la tierra que se retuerce peligrosamente. Este vecino trata de contrarrestar la acción de la naturaleza al colocar varias piedras en un extremo de su habitación amenazada. — (Foto Miguel Salguero).



HUNDIMIENTOS Y LAVADOS. — "Allá pasaba la carretera", nos señaló un vecino. Los fuertes lavados y hundimientos se llevaron un gran trecho de la vía. Al otro lado de la quebrada Gata hay como seis familias sin alimentos", nos dijeron los vecinos de Pacuare. — (Foto Miguel Salguero).



EN EL TORRENTE. — El finquero de la región, Miguel Ángel Montenegro, en el momento de pasar un río cercano a Pacuare, con el agua. Los temporales han arrasado la mayoría de los puentes y la tierra flota por las aguas subterráneas que la minan, está agrietada por todas partes. Innumerables derrumbes se observan en los cerros vecinos. — (Foto Miguel Salguero).

La Nación 24 de diciembre 1970



NO HA HABIDO PANICO. — Pacuare de Chitarrá está agrietándose por todas partes. Pero la población no ha mostrado pánico; por el contrario, los campesinos demuestran gran presencia de ánimo, como puede verse en la fotografía, captada desde el campanario de la iglesia que se hunde lentamente. Sobre el terreno lleno de hendiduras, con las cercas inclinadas, los vecinos conversan acerca de sus problemas. "Que nos trasladan a un lugar seguro, pero cerca de aquí, pues queremos seguir cuidando nuestras finquitas". Estas palabras revelan la determinación de continuar apegados a su terreno. — (Foto Miguel Salguero).

La Nación domingo 30 de enero 1972

COMENTARIOS

La nueva población de Tres Equis

Hoy se celebrará un sencillo acto pero de gran significación en el lugar llamado Tres Equis, a veinte kilómetros de Turrialba, en la carretera rústica que une a San José con la ciudad de Limón.

Se trata de la inauguración oficial de la nueva población que está situada en un bello paraje y que consta de unas cuarenta casitas de diversos tipos y que cuenta con escuela, iglesia y un terreno para campos de juego.

En esa nueva población van a residir las familias cuyas casitas, que se encontraban situadas en las faldas de un cerro en los Bajos de Pacuare, quedaron unas destruidas y otras inhabitables, como consecuencia de fuertes temporales que azotaron el litoral del Atlántico y causaron daños cuantiosos. De la suscripción que abrió LA NACIÓN en aquella oportunidad y de una maratónica en la que cooperaron todos los medios informativos —periódicos, radios y televisoras— sobraron unos fondos después de haber repartido ropas, medicinas y alimentos a los damnificados; y el Comité Pro-Damnificados del Atlántico, nombrado por este periódico resolvió dedicar esos fondos sobrantes a la construcción de una población nueva en el lugar llamado Tres Equis.

Fue posible llevar a cabo ese propósito porque la idea encontró amplio apoyo. Primero en los muchos millares de personas que dieron sus contribuciones; después en algunas firmas comerciales como Asfaltex y Kativo, que regalaron la primera dos mil

laminas para techo y la segunda una considerable cantidad de pintura que ha permitido que las casitas, todas, estén pintadas de alegres colores y parezcan realmente un portal de Nochebuena cuando se miran a la distancia...

Hoy se celebrará una pequeña pero solemne ceremonia. La bendición del poblado, la entrega de las últimas casitas a los damnificados y un almuerzo campestre.

Han sido invitados a esa inauguración un grupo de personas que colaboraron en forma excepcional con el Comité Pro-Damnificados; colegas de prensa, radio y televisión, funcionarios del Ministerio de Transportes, del INVU, del SNAA y de la Municipalidad de Turrialba; que dieron asesoría técnica y ayuda en los trabajos de construcción del poblado.

Será una ceremonia sencilla y fraternal que, para nuestro periódico, tiene un especial significado: se trata de la materialización de una iniciativa que se hizo posible por esa generosidad sin límites del pueblo de Costa Rica que siempre se hace presente para ayudar en las buenas causas y de cooperación de entidades oficiales y particulares para el mismo fin de bien público.

Algo que tiene el emotivo significado de poner de relieve todo lo que puede hacerse en nuestro país cuando se logra coordinar la buena voluntad y la predisposición de nuestras gentes a participar en todo movimiento de solidaridad y ayuda a quienes lo necesitan.