

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGÍA

*“Estudio de la Amenaza de Inestabilidad de Laderas y
Desarrollo de un Escenario Preliminar de la Afectación de la
Infraestructura Vital. Microcuenca del Río Purires, Provincia de
Cartago, Costa Rica”*

TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN GEOLOGÍA

Carrillo Carrillo, Syra

Carrillo Gómez, Maureen

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

2005



**CUANDO DICES: ...
"NO PUEDO RESOLVER LAS COSAS ..."**


**DIOS TE DICE:
"YO DIRIJO TUS PASOS"**

Prov. 3:5-6

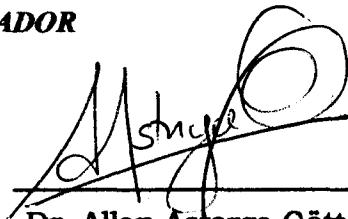
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGÍA

***Tesis 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***

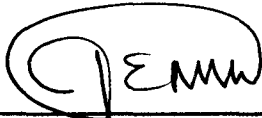
TRIBUNAL EXAMINADOR



Lic. Giovanni Peraldo Huertas
Director Tesis



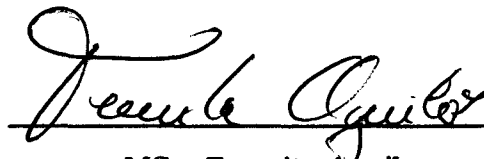
Dr. Allan Astorga Gättgens
Codirector Tesis



MSc. Julio Madrigal Mora
Codirector Tesis



Dr. Jorge Laguna Morales
Lector

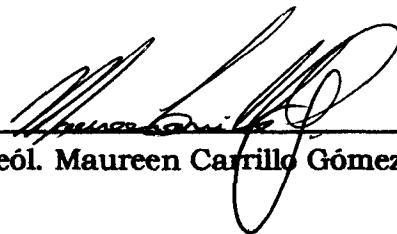


MSc. Teresita Aguilar
Directora
Escuela Centroamericana de Geología

Sustentantes



Geól. Syra Carrillo Carrillo



Geól. Maureen Carrillo Gómez

**A DIOS, Y
A QUIENES DEBEMOS TODO LO QUE SOMOS:
NUESTRAS RESPECTIVAS FAMILIAS**

AGRADECIMIENTOS

Mencionar a todas y cada una de las personas que nos han ayudado en el desarrollo de este Proyecto de investigación, se torna una labor imposible de realizar. Por lo tanto estimado lector, espero nos comprenda si su nombre no aparece en este documento, pero nuestra gratitud le acompañará siempre.

En primer lugar, deseamos agradecer a Dios Todopoderoso que nos dio la vida y fuerza para llegar hasta donde nos encontramos. Luego a nuestros familiares, que con su amor reflejado en el apoyo, paciencia y comprensión, han logrado hacer de nosotras las personas que hoy somos.

A nuestro Tribunal Asesor y todos aquellos otros que aún no estando en él, han sabido tenernos paciencia durante los años que tardó esta investigación, en especial al Dr. Sergio Mora C., MSc Elena Badilla y Lic Jonathan Chinchilla, quienes de una manera desinteresada, nos brindaron su tiempo, conocimiento, consejos y apoyo moral desde la concepción del proyecto hasta su presentación final.

A los miembros de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, en especial al MSc. Luis Diego Morales y MSc. Lidier Esquivel, a ellos dos, gracias por creer en este Proyecto.

Al personal del Instituto Meteorológico Nacional, en especial al Lic. Juan Carlos Fallas y Max Mena, por sus valiosos aportes.

Amistades podemos tener en cualquier parte, pero amigos verdaderos, son muy escasos. Por ello, queremos dar las gracias a Viviana Ramos, Jeannette Arauz, Adrian Villegas, Joaquín Barrantes, Gilberth Torres, Javier Alvarado, etc., espero que sepan que sin su granito de arena, no lo hubiéramos logrado y a la vez, con su apoyo nos han demostrado lo valioso que resulta una amistad sincera.

Tabla de Contenido

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO I | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 JUSTIFICACIÓN | 1 |
| 1.2 OBJETIVOS | 1 |
| 1.3 ÁREA DE ESTUDIO | 2 |
| 1.4 ACCESO | 6 |
| 1.5 METODOLOGÍA | 6 |
| 1.6 ASPECTOS ESTADÍSTICOS CANTONALES | 10 |
| 1.7 ANTECEDENTES | 13 |
| CAPÍTULO II | 14 |
| DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO | 14 |
| 2.1 ANTECEDENTES GEOLÓGICOS | 14 |
| 2.1.1 Geología Regional | 15 |
| 2.1.2 Geología Local | 16 |
| 2.1.3 Estructuras Geológicas | 26 |
| 2.2 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS | 32 |
| 2.2.1 Fisiografía | 32 |
| 2.2.2 Clasificación de Pendientes) | 34 |
| 2.2.3 Unidades Geomorfológicas | 36 |
| 2.3 ASPECTOS GEOTECNICOS | 46 |
| 2.3.1 Marco Teórico | 46 |
| 2.3.2 Caracterización Físico-Mecánica de los Suelos | 50 |
| 2.3.3 Caracterización de los suelos y su relación con las unidades litológicas originales | 50 |
| 2.4 USO DE LA TIERRA | 57 |
| 2.4.1 Uso actual del suelo en la microcuenca del Río Purires | 60 |
| 2.5 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS | 62 |
| 2.5.1 Pluviosidad | 64 |
| 2.5.2 Temperatura | 64 |
| 2.5.3 Heliofanía | 65 |
| 2.5.4 Humedad Relativa | 66 |

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO III..... | 67 |
| DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD NATURAL..... | 67 |
| 3.1 FACTORES DE SUSCEPTIBILIDAD NATURAL | 67 |
| 3.1.1 Evaluación del efecto de la topografía..... | 69 |
| 3.1.2 Evaluación del Índice de la Litología, L:..... | 72 |
| 3.1.3 Evaluación del Índice de Humedad del Suelo, H | 75 |
| 3.2 RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD NATURAL..... | 79 |
| 3.2.1 Metodología | 79 |
| CAPÍTULO IV..... | 82 |
| DETERMINACIÓN DE LA AMENAZA NATURAL..... | 82 |
| 4.1 VALORACIÓN DE LOS FACTORES NATURALES DE DISPARO..... | 82 |
| 4.1.1 Factor Intensidad de la Lluvia, LI..... | 83 |
| 4.1.2 Factor Intensidad Sísmica, S | 89 |
| 4.2 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS FACTORES NATURALES DE DISPARO | 91 |
| 4.2.1 Potencial generador de deslizamientos por la Intensidad de Lluvias, PDLI..... | 92 |
| 4.2.2 Potencial generador de deslizamientos por la Intensidad Sísmica, PDS | 94 |
| 4.2.3 Determinación del Potencial Generador de Deslizamientos | 99 |
| 4.3 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA AMENAZA EN LAS LÍNEAS VITALES..... | 101 |
| 4.3.1 Líneas Vitales a Evaluar..... | 103 |
| 4.3.2 Interpretación de Mapas | 103 |
| 4.4 EL RIESGO ACEPTABLE COMO UN FACTOR DE DESARROLLO SOCIAL..... | 107 |
| CAPÍTULO V..... | 110 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 110 |
| 5.1 CONCLUSIONES..... | 110 |
| 5.2 RECOMENDACIONES..... | 112 |
| CAPÍTULO VI..... | 114 |
| BIBLIOGRAFÍA | 114 |

INDICE DE CUADROS

CAPÍTULO 1: Introducción

| | |
|---|----|
| Cuadro N°1.1: Información Básica Cantón de Cartago..... | 10 |
| Cuadro N°1.2: Aspectos Generales Cantón de Cartago..... | 10 |
| Cuadro N°1.3: Información Básica Cantón de El Guarco..... | 11 |
| Cuadro N°1.4: Aspectos Generales Cantón de El Guarco..... | 12 |

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO (MICROCUEENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PURIRES)

| | |
|--|----|
| Cuadro N°2.1: Datos de Planos de Fallas..... | 29 |
| Cuadro N°2.2: Datos de Buzamientos..... | 31 |
| Cuadro N°2.3: Ensayos realizados y resumen de resultados, Ensayos de Geotecnia..... | 52 |
| Cuadro N°2.4: Capacidad Teórica del Uso de la Tierra, Microcuenca del Río Purires..... | 59 |
| Cuadro N°2.5: Uso actual del suelo de la Microcuenca del Río Purires..... | 60 |

CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA INESTABILIDAD DE LADERAS, MICROCUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PURIRES

| | |
|--|----|
| Cuadro N°3.1: Clasificación del Índice de Relieve Relativo, Rr..... | 70 |
| Cuadro N°3.2: Clasificación del Índice de la Litología, L..... | 73 |
| Cuadro N°3.3: Clasificación de los Promedios Mensuales Máximos (sobre todo el registro) de la Precipitación (Mora & Vahrson, 1993)..... | 75 |
| Cuadro N°3.4: Clasificación del Factor Humedad, Hum (Mora & Vahrson, 1993)..... | 76 |
| Cuadro N°3.5: Clasificación del Índice de la Humedad del Suelo, w_n Valorando los datos de campo..... | 78 |
| Cuadro N°3.6: Determinación de la Susceptibilidad Natural a la Inestabilidad de Laderas..... | 79 |

CAPÍTULO IV: DETERMINACIÓN DE LA AMENAZA NATURAL A LA INESTABILIDAD DE LADERAS, MICROCUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PURIRES

| | |
|--|----|
| Cuadro N°4.1: Valoración del Factor Intensidad de la Precipitación Ll, para la Estación Meteorológica Linda Vista, IMN..... | 84 |
| Cuadro N°4.2: Valoración del Factor Intensidad de la Precipitación Ll, para la Estación Meteorológica Tablón, SENARA..... | 84 |

| | |
|--|------------|
| Cuadro N°4.3: Valoración del Factor Intensidad de la Precipitación LI, para la Estación Meteorológica Coris, SENARA..... | 84 |
| Cuadro N°4.4: Caracterización de la Influencia de la Lluvia..... | 87 |
| Cuadro N°4.5: Calificación del Factor Sismicidad para Tr = 100 años..... | 89 |
| Cuadro N°4.6: Eventos Sísmicos Históricos que ha sido reporta si intensidad dentro del área de estudio (Fuente: RSN, ICE-UCR, 2004)..... | 89 |
| Cuadro N°4.7: Valoración del Potencial Generador de Deslizamientos del Factor Intensidad de la Lluvia..... | 92 |
| Cuadro N°4.8: Valoración del Potencial Generador de Deslizamientos del Factor Intensidad Sísmica más común (V MM)..... | 95 |
| Cuadro N°4.9: Valoración del Potencial Generador de Deslizamientos del Factor Intensidad Sísmica (VIII MM)..... | 97 |
| Cuadro N°4.10: Valoración de la Amenaza por Inestabilidad de Laderas mediante la evaluación de lluvias y la intensidad sísmica V MM..... | 99 |
| Cuadro N°4.11: Valoración de la Amenaza por Inestabilidad de Laderas mediante la evaluación de lluvias y la intensidad sísmica VIII MM..... | 101 |

INDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO N°1: INTRODUCCIÓN

| | |
|---|----|
| Figura N°1.1: Mapa de Ubicación dentro de la Cuenca del Río Reventazón-Parismina..... | 3 |
| Figura N° 1.2: Mapa de Ubicación, Microcuenca del Río Purires..... | 4 |
| Figura N° 1.3: División Territorial Administrativa..... | 5 |
| Figura N° 1.4: Red Vial y Poblados..... | 7 |
| Figura N° 1.5: Estimación por sexo, de la población para el cantón de Cartago según distrito, para los años 2000, 2004 y 2005..... | 11 |
| Figura N° 1.6: Estimación por sexo, de la población para el cantón de El Guarco según distrito, para los años 2000, 2004 y 2005..... | 12 |

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO (MICROCUECA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PURIRES)

| | |
|--|----|
| Figura N°2.1: Cuadro Sinóptico (Parte de la Cuenca Candelaria)..... | 17 |
| Figura N°2.2: Mapa Geológico Local..... | 18 |
| Figura N°2.3: Perfil Geológico..... | 19 |
| Figura N°2.4: Afloramiento de Monzogabro sano..... | 24 |
| Figura N°2.5: Aluvión del Río Purires..... | 26 |
| Figura N°2.6: Calizas de la Formación San Miguel diaclasadas..... | 30 |
| Figura N°2.7: Mapa de Drenaje..... | 33 |
| Figura N°2.8: Mapa de Pendientes en Grados..... | 35 |
| Figura N°2.9: Mapa Geomorfológico..... | 37 |
| Figura N°2.10: Reptación típica de la zona de Tablón..... | 39 |
| Figura N°2.11: Laderas inestables (control de campo)..... | 40 |
| Figura N°2.12: Hundimiento en la Ruta Nacional N°228..... | 42 |
| Figura N°2.13: Daños ocasionados por el deslizamiento de Tablón en el año 1999..... | 42 |
| Figura N°2.14: Vista frontal del deslizamiento de Guatuso..... | 44 |
| Figura N°2.15: Terraza del Río Purires..... | 45 |

Figura N°2.16: Perfil típico del suelo residual..... 48

Figura N°2.17: Mapa de suelos y sitios de muestreo geotécnico..... 51

Figura N°2.18: Afloramiento de Monzogabro..... 54

Figura N°2.19: Capacidad de Uso de la Tierra..... 58

Figura N°2.20: Mapa de Uso del Suelo..... 61

Figura N°2.21: Ubicación de las Estaciones Meteorológicas..... 63

Figura N°2.22: Promedios mensuales de Lluvia para todo el Registro..... 64

Figura N°2.23: Valores Promedio de Temperatura Mensual, Estación
Meteorológica Linda Vista, IMN..... 65

Figura N°2.24: Promedio Mensual de horas de sol diarias Estación
Meteorológica Linda Vista, IMN..... 65

Figura N°2.25: Valor promedio mensual de la Humedad Relativa del aire,
Estación Meteorológica Linda Vista, IMN..... 66

**CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA INESTABILIDAD DE
LADERAS, MICROCUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PURIRES**

Figura N°3.1: Mapa del Factor del Relieve Relativo..... 71

Figura N°3.2: Mapa del Factor Litológico..... 74

Figura N°3.3: Mapa del Factor Humedad..... 77

Figura N°3.4: Mapa de Susceptibilidad Natural..... 80

**CAPÍTULO IV: DETERMINACIÓN DE LA AMENAZA NATURAL A LA INESTABILIDAD DE
LADERAS, MICROCUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PURIRES**

Figura N°4.1: Análisis de Frecuencia Distribución Gumbel,
Estación Meteorológica Linda Vista, IMN..... 85

Figura N°4.2: Análisis de Frecuencia Distribución Gumbel,
Estación Meteorológica Tablón, SENARA..... 86

Figura N°4.3: Intensidad de la Lluvia (Polígonos de Thiessen)..... 88

Figura N°4.4: Mapa de Amenaza, Factor Intensidad Lluvia como
único Factor de Disparo..... 93

| | |
|---|------------|
| Figura N°4.5: Mapa de Amenaza, Factor Intensidad Sísmica V como único Factor de Disparo..... | 96 |
| Figura N°4.6: Mapa de Amenaza, Factor Intensidad Sísmica VIII como único Factor de Disparo..... | 98 |
| Figura N°4.7: Mapa de Amenaza, Factores de Disparo: Lluvia + Intensidad Sísmica V..... | 100 |
| Figura N°4.8: Mapa de Amenaza, Factores de Disparo: Lluvia + Intensidad Sísmica VIII..... | 102 |
| Figura N°4.9a: Mapa de Amenaza y Líneas Vitales, Factores de Disparo: Lluvia + Intensidad Sísmica VIII..... | 105 |
| Figura N°4.9b: Mapa de Amenaza y Caminos Principales, Factores de Disparo: Lluvia + Intensidad Sísmica VIII..... | 106 |

INDICE DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

| | |
|------------------------------------|---|
| A | Area |
| AM | Acueducto Metropolitano |
| AR | Acueducto Rural |
| AyA | Acueductos y Alcantarillados |
| CNE | Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias |
| DEM | Modelo de Elevación Digital |
| ECG | Escuela Centroamericana de Geología |
| Ha | Hectárea |
| ICE | Instituto Costarricense de Electricidad |
| IGN | Instituto Geográfico Nacional |
| IMN | Instituto Meteorológico Nacional |
| Km | Kilómetros |
| L.T. | Línea de Transmisión |
| MAG | Ministerio de Agricultura y Ganadería |
| MINAE | Ministerio de Ambiente y Energía |
| MM | Escala de Intensidad Sísmica Mercali Modificada |
| Queb. | Quebrada |
| RN | Red Nacional |
| RSN | Red Sismológica Nacional |
| SENARA | Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento |
| SICORSA | Sílice de Costa Rica S.A. |
| SIG | Sistema de Información Geográfico |
| UCR | Universidad de Costa Rica |
| Δh_{max} | Mayor diferencia de elevación |

Estudio de la Amenaza de Inestabilidad de laderas y Desarrollo de un Escenario Preliminar de la Vulnerabilidad de la Infraestructura Vital, Microcuenca del Río Purires, Provincia de Cartago, Costa Rica

Tesis de Licenciatura-Universidad de Costa Rica-San José, Costa Rica

M. Carrillo & S. Carrillo, 2005

190 hojas, 34 figuras, 34 referencias

RESUMEN

El área de investigación posee 76.12 km² y corresponde a la Microcuenca del Río Purires, perteneciente a la Cuenca Reventazón-Parismina. Se ubica aproximadamente a 10 km al SW de la ciudad de Cartago y forma parte de los cantones de El Guarco y Cartago (Central), ambos de la provincia de Cartago.

En los últimos años, en esta microcuenca, los procesos de inestabilidad de laderas se han incrementado principalmente por la influencia de disturbios meteorológicos y de la actividad antrópica.

Lo anterior, ha motivado la realización de una investigación que permita evaluar, a una escala adecuada (1:25000), la amenaza de inestabilidad de laderas, además de proveer un escenario preliminar de su efecto en las líneas vitales (acueductos, líneas de transmisión, poblados, red vial) ofreciendo de esta manera, a la comunidad y a los tomadores de decisiones, las bases para establecer un programa de medidas preventivas y de mitigación ante situaciones adversas futuras.

Es importante indicar que son muy pocos los sectores de esta microcuenca que cuentan con mapas geológicos previos, por lo que se hizo necesario realizar una cartografía geológica y geotécnica en toda el área de investigación.

Para cumplir con los objetivos propuestos se aplicó el método *Mora-Vahrson (1993)*, en la determinación de la Amenaza por Inestabilidad de Laderas. De esta forma se dispone de una metodología rápida, sencilla y poco costosa, que permite, a partir de la información básica, contar con datos cartográficos extensivos que indiquen las áreas con mayor tendencia a generar la amenaza de inestabilidad de laderas. De esta forma, los mapas obtenidos permiten identificar preliminarmente los tramos de la infraestructura vital que están expuestos a niveles altos de dicha amenaza.

De la información obtenida en el trabajo de campo se lograron identificar cuatro unidades de roca correspondientes a las Formaciones San Miguel y Coris, así como las Unidades Volcánicas Informales (pertenecientes al Grupo Aguacate) y a los Depósitos Inconsolidados del Cuaternario. Estos tipos de rocas generan diferentes tipos de suelos, tal es el caso del sector montañoso del área de estudio el cual se encuentra cubierto principalmente, por suelos residuales generados de la meteorización de las litologías pertenecientes a las Formación Coris y las Unidades El Guarco y La Carpintera y, en menor proporción, por suelos formados a partir de la meteorización de la Unidad de Monzogabro. En las partes de baja pendiente se encuentra el suelo transportado, rico en materia orgánica, que ha sido generado por los sedimentos acarreados por los ríos y los movimientos en masa.

En el sector sur del área de estudio, la litología se presenta más meteorizada, hay mayores pendientes y el drenaje es más denso y caudaloso. Esta es el área donde se presenta la mayor inestabilidad de laderas, siendo evidente, mediante los diferentes niveles de reptación, flujos de lodo, detrito y deslizamientos compuestos. De los resultados obtenidos se observa que los tramos de los acueductos (rurales y metropolitano) y la línea de transmisión se encuentran sobre las áreas de mayor amenaza a deslizamientos. Los acueductos rurales de Higuito, Tobosi y Guatuso poseen tramos ubicados en sectores de alta amenaza a deslizamientos, así mismo, la línea de transmisión, en su tramo Tobosi, Higuito, Guatuso, atraviesa muchas áreas cuyo grado de amenaza va desde moderado hasta muy alto. En las partes altas, al sur del área de estudio, los caminos atraviesan zonas de mediano a muy alto grado de amenaza.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 JUSTIFICACIÓN

Costa Rica está expuesta a múltiples procesos naturales que se transforman en amenaza para la población, destacan las inundaciones, sismos, volcanes, deslizamientos, avalanchas, entre otros. El acelerado crecimiento de la población, unido al inadecuado uso, intervención y explotación del medio físico, involucra acciones que requieren ser controladas, de manera tal que se contribuya a disminuir los efectos de los desastres, no solamente relacionados con procesos naturales, sino también con los socio-ambientales.

El área de estudio ha sido afectada a lo largo de los años por una fuerte actividad sísmica, cuyos efectos aunados a los diferentes disturbios meteorológicos, han creado inestabilidad en las laderas. Además, el uso inadecuado de la tierra en varios sectores del área de estudio, ha contribuido a la paulatina degradación del suelo y al aumento de la inestabilidad de las laderas.

A raíz de lo expuesto, se hace necesario la realización de un estudio técnico que sirva como insumo para la toma de decisiones políticas, en relación al ordenamiento territorial, por parte de las entidades encargadas del desarrollo socioeconómico y para establecer un programa de medidas preventivas ante futuras situaciones de inestabilidad de laderas.

Esta Investigación es producto de la cooperación entre la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) y la Escuela Centroamericana de Geología (ECG) de la Universidad de Costa Rica.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Principal

Evaluar la amenaza por inestabilidad de laderas en la microcuenca hidrográfica del Río Purires y determinar, a través de un escenario preliminar, el grado de afectación de la infraestructura vital (acueductos, líneas de transmisión, red vial, poblados), mediante su sobreposición en las áreas de amenaza obtenidas, ofreciendo de esta manera, a la comunidad y a los tomadores de decisiones, las herramientas bases para establecer un programa de medidas preventivas y de mitigación ante situaciones adversas.

1.2.2 Secundarios / Específicos

1. Aplicar el Método Mora-Vahrson (1993), en la evaluación de la Amenaza por Inestabilidad de laderas, fundamentado en la información geológica del área.
2. Determinar, con base en el mapa de Amenaza por Inestabilidad de Laderas, el grado de afectación de la infraestructura vital (red vial, acueductos, líneas de transmisión, poblados)
3. Suministrar la información correspondiente a las Municipalidades y a la CNE, para que los resultados de esta investigación, puedan ser utilizados como herramienta base en el desarrollo de un Plan Regulador para la microcuenca del Río Purires, cuya metodología se podría extender luego a los cantones correspondientes.

1.3 ÁREA DE ESTUDIO

El colector principal del área de estudio es el Río Purires y conforma la microcuenca de estudio (Fig. 1.1) que fluye en dirección Oeste-Este hasta desembocar en el Río Reventado, el cual pertenece a la Cuenca del Río Reventazón-Parismina que drena a la Vertiente Atlántica. Los afluentes más importantes de la microcuenca del Río Purires son el Río Coris, la Quebrada Barahona, la Quebrada Lajas, El Río Cabrera y las quebradas Víbora, Cucaracha, Molejones y Cascajal.


Esta microcuenca hidrográfica, posee un área aproximada de 76,12 km² y se ubica aproximadamente entre las Coordenadas Lambert 197000 – 209000 Norte y 532000 – 544000 Oeste, parte de la Hojas Cartográficas Istarú 3445 IV, Tapantí 3445 III, Abra 3345 I y Carraigres 3345 II, escala 1: 50 000, editadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) (Fig.1.2).

Se localiza, aproximadamente, 10 km al suroeste de la ciudad de Cartago y forma parte de los cantones de El Guarco y Cartago. Dentro de ella se ubican los distritos de Tejar, San Isidro, Tobosi y Patio de Agua pertenecientes al cantón de El Guarco, y los distritos de Agua Caliente, Quebradilla, Guadalupe y San Nicolás pertenecientes al cantón de Cartago (Fig. 1.3).

Adicionalmente, es importante indicar que un sector de la Zona Protectora La Carpintera, se ubica dentro del área de la cuenca.

Figura N° 1.1 MAPA DE UBICACIÓN

Cuenca del Río Reventazón-Parismina

-  Cuenca del Río Reventazón-Parismina
-  Microcuenca del Río Purires (Area de Tesis)

Parte de la Carta Aeronáutica de la República de Costa Rica

0 10 20 30 Km
Escala 1: 687 500

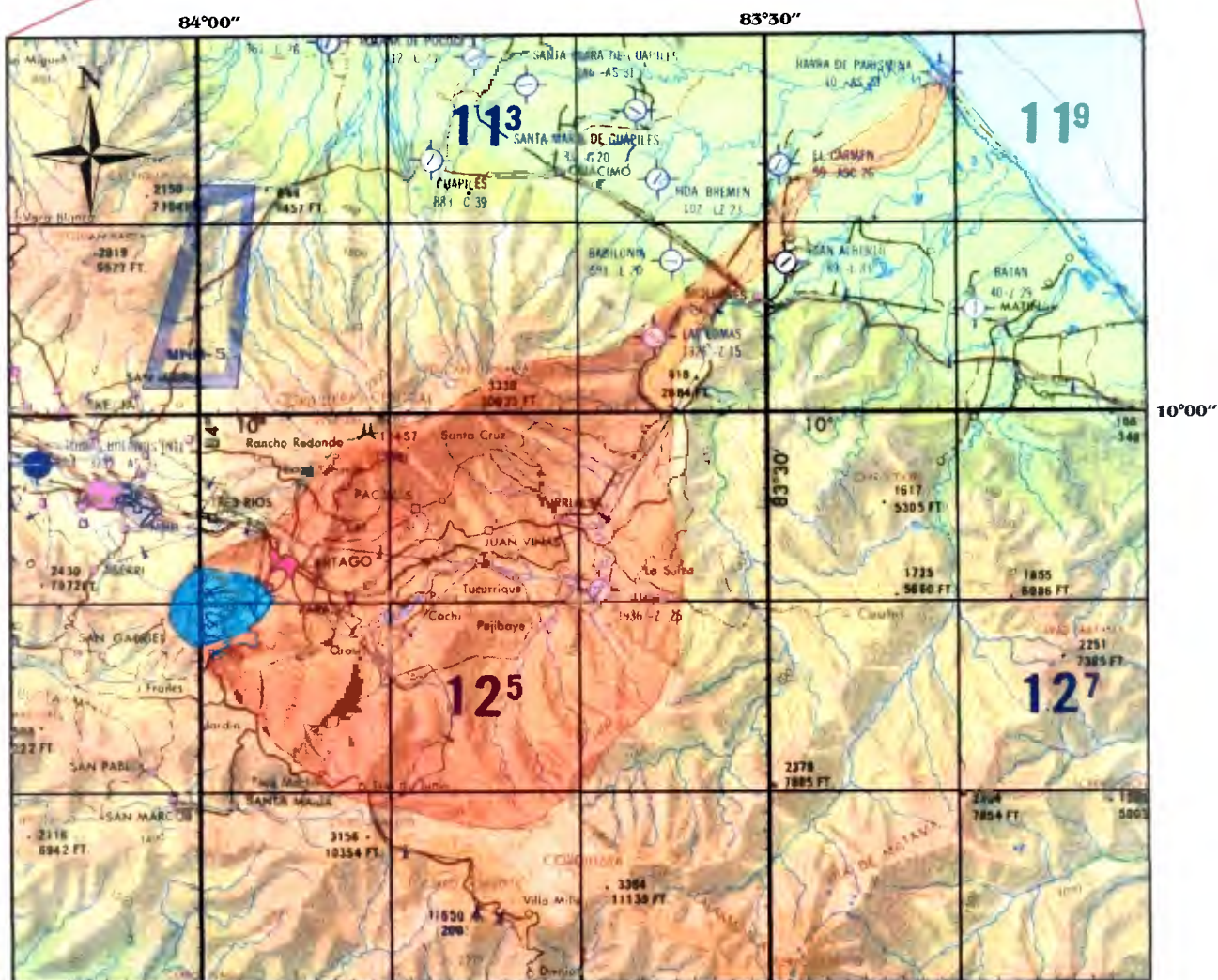
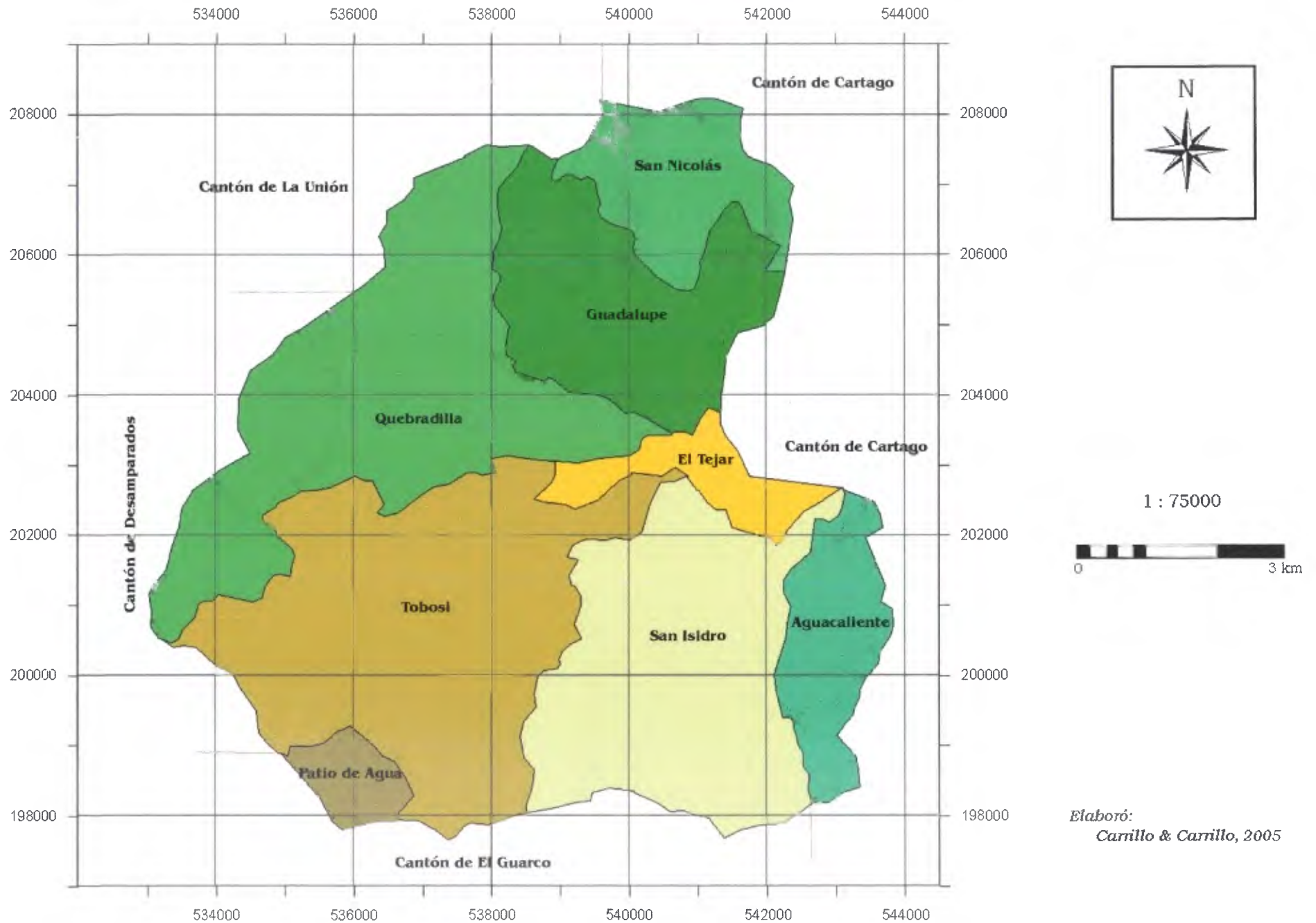


Figura N° 1.3 DIVISIÓN TERRITORIAL ADMINISTRATIVA



Elaboró:
Carrillo & Carrillo, 2005

Figura N° 1.2 MAPA DE UBICACIÓN

Microcuenca del Río Purires

Cuenca del Río Purires (Area de Tesis)
Parte de las Hojas Cartográficas Istarú, Abra
Caralgres y Tapantí

0 1 2 3 Km
Escala 1: 80 000



1.4 ACCESO

La red vial, dentro de la microcuenca del Río Purires, está constituida por dos rutas nacionales (RN-2 y RN-228), así como una gran cantidad de caminos vecinales, algunos de asfalto y otros de lastre; en estos últimos se puede ingresar en vehículos de doble tracción en la época de verano. Las trochas son utilizadas por motociclistas y permiten acceder a gran parte del área (Fig. 1.4).

El área de estudio se encuentra localizada principalmente al oeste de la carretera Interamericana Sur (RN-2), en el sector comprendido entre Taras y La Cangreja. La ruta nacional 228 comunica los poblados de Quebradilla, Tablón y Copalchí, permitiendo el acceso al sector SW del área de estudio. Ambas se encuentran asfaltadas, por lo que permiten el tránsito de cualquier tipo de vehículos durante todo el año.

Así mismo, los principales poblados se encuentran comunicados por caminos vecinales asfaltados (Guatuso, Higuito, Barrancas, Purires, Tobosi, Bermejo, Coris, Patio de Agua), permitiendo el tránsito durante el año. Para ingresar a las zonas montañosas del sector sur (Patio de Agua-Alto Cangreja) y oeste (Quebradillas-Bermejo), existen varios caminos vecinales en lastre y tierra, de regular a mal estado, no transitables aún por vehículos de doble tracción en época lluviosa.

1.5 METODOLOGÍA

1.5.1 Consideraciones sobre la escala

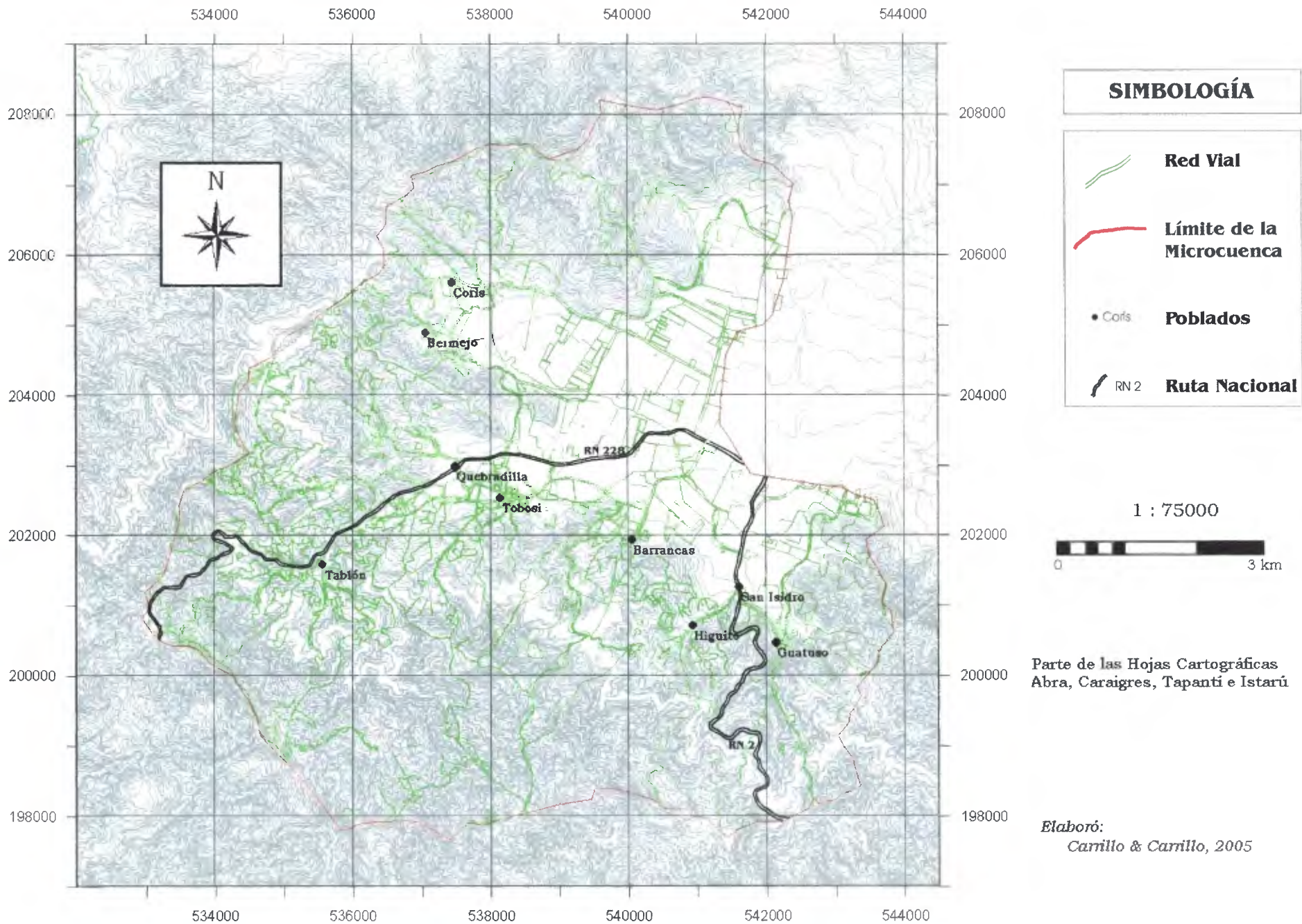
Los mapas generados en esta investigación, su calidad y escala; dependen básicamente de la información básica con la que se trabaja. Debido a la información básica utilizada (mapas topográficos escala 1:25 000) y el tamaño del área de estudio, este proyecto se incluye dentro de la categoría de microzonificación, tal como lo define Garro (2002).

1.5.2 Método Mora-Vahrson (1993)

Este método determina “a priori” la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos, los cuales son: factores de susceptibilidad y de disparo, cada factor define un índice de influencia para determinado sitio y al combinarse, de acuerdo a un peso específico, se obtiene un valor relativo de la amenaza.

Debe tomarse en cuenta que lo que se desea es una indicación racional de áreas relativamente extensas que motiven la ejecución de investigaciones de detalle. No se pretende alcanzar de golpe los

Figura N° 1.4 RED VIAL Y POBLADOS



diagnósticos definitivos, en particular por el hecho de que las variedades y tipos de situaciones conducen también a diversas formas y grados de desarrollo de los deslizamientos. (Mora & Vahrson, 1993)

Para la determinación del **grado de amenaza por inestabilidad de laderas**, se utilizan cinco indicadores morfodinámicos diferenciados en dos categorías principales, los cuales se describen mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Amenaza} = \text{Susceptibilidad} * \text{Factor de Disparo} \quad (1)$$

Factores de Susceptibilidad: Aquellos que intrínsecamente forman parte de las propiedades y comportamiento del medio. Constituyen los elementos pasivos.

Factores de Disparo: Son los que inducen desde el exterior hacia un comportamiento dinámico activo.

La metodología propone la combinación de estos parámetros y factores los cuales se obtienen mediante la observación de los indicadores morfodinámicos y su distribución espacio-temporal. La combinación resulta del análisis integrado de los elementos pasivos y de disparo.

El grado de susceptibilidad de laderas se compone de los siguientes parámetros:

$$\text{Susceptibilidad} = \text{Índice Relieve Relativo} * \text{Litología} * \text{Humedad} \quad (2)$$

- **Índice de Relieve Relativo:** analiza la rugosidad del terreno e involucra el concepto de pendiente de ladera. Se obtiene mediante la relación de la máxima diferencia de elevación entre el área. El valor del parámetro y su calificativo se obtienen mediante la evaluación de las condiciones locales.
- **Litología:** juega un papel preponderante en el comportamiento dinámico de la ladera. Por tanto se realizará un mapeo geológico a escala 1: 25 000, cuyo objetivo principal es el evaluar las características naturales que influyen en la inestabilidad de laderas. El valor del parámetro y su calificativo se obtienen mediante la evaluación de las condiciones locales.
- **Humedad del Suelo:** para esta determinación se recurre a los promedios mensuales de la precipitación, efectuando un balance hídrico simplificado. El valor del parámetro y su calificativo se obtienen mediante la evaluación de las condiciones locales.

Con el fin de mejorar la resolución local del método, es posible ajustar los valores a los parámetros utilizados. Esto permite lograr una mejor aproximación de la realidad, principalmente en áreas

pequeñas y/o donde la información existente permita un mayor detalle, tal como lo establece la metodología.

Con el objeto de aplicar los procesos de cálculo automático, se han definido varias clases de índices de influencia para cada uno de los parámetros evaluados. Para ello, se ha hecho un análisis estadístico por medio de un histograma de distribución normal. Se advierte sobre la conveniencia de realizar el mismo ejercicio en cada región estudiada, para efectos de considerar las condiciones locales y la escala utilizada. (Mora & Vahrson, 1993).

El factor de disparo se compone de los siguientes parámetros:

$$\text{Disparo} = \text{Sismicidad} + \text{Lluvia} \quad (3)$$

- **Sismicidad:** analiza las intensidades reportadas para varios eventos sísmicos importantes que han producido afectaciones directas o indirectas en el área de estudio, haciendo una correlación entre el valor de la intensidad y el parámetro a utilizar.
- **Intensidad de las lluvias:** los cálculos se realizarán con la información existente en el registro de datos de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro del área de estudio. Basados en esta información (facilitada por el IMN y SENARA) se determinan para todo el registro, la serie de valores máximos diarios anuales. De esta forma, se realiza la valoración del factor Intensidad ya sea mediante el cálculo del promedio aritmético o por la aplicación del método Gumbel. Los cálculos se realizan para un período de retorno de 100 años.

Para determinar el grado de amenaza, es posible considerar todos los elementos descritos en las fórmulas presentadas previamente ó, analizar de forma separada el efecto de cada uno de los factores de disparo ante la susceptibilidad natural.

Finalmente, teniendo establecido los diferentes niveles de amenaza, se estima el efecto de la amenaza ante la inestabilidad de laderas, en relación a las líneas de la infraestructura vital (acueductos, líneas de transmisión eléctrica, red vial) mediante la recopilación de la información básica. La información obtenida mediante esta investigación será facilitada a las municipalidades respectivas mediante una presentación en coordinación con la CNE y entrega de la versión digital de la misma.

1.6 ASPECTOS ESTADÍSTICOS CANTONALES

En la teoría de la gestión del riesgo, los eventos naturales se encuentran intrínsecamente relacionados a la presencia humana. De esta forma, a continuación se presenta un resumen de las estadísticas oficiales de la población existente en los cantones y distritos comprendidos dentro de la cuenca.

1.6.1 Cantón : Cartago

Cuadro 1.1 Información Básica Cantón de Cartago

| <i>ASPECTO</i> | | <i>INFORMACIÓN</i> |
|------------------------|-------|--|
| Provincia | | Cartago |
| Creación | | Decreto No. 167 del 7 de diciembre de 1848 |
| Toponimia | | NUEVA CARTAGO (Juan Vásquez de Coronado) En relación a la antigua Cartago (Pen/Africa) |
| Límite Cantonal | Este | Paraíso y Oreamuno |
| | Oeste | La Unión y Desamparados |
| | Norte | Vásquez de Coronado |
| | Sur | El Guarco y Paraíso |

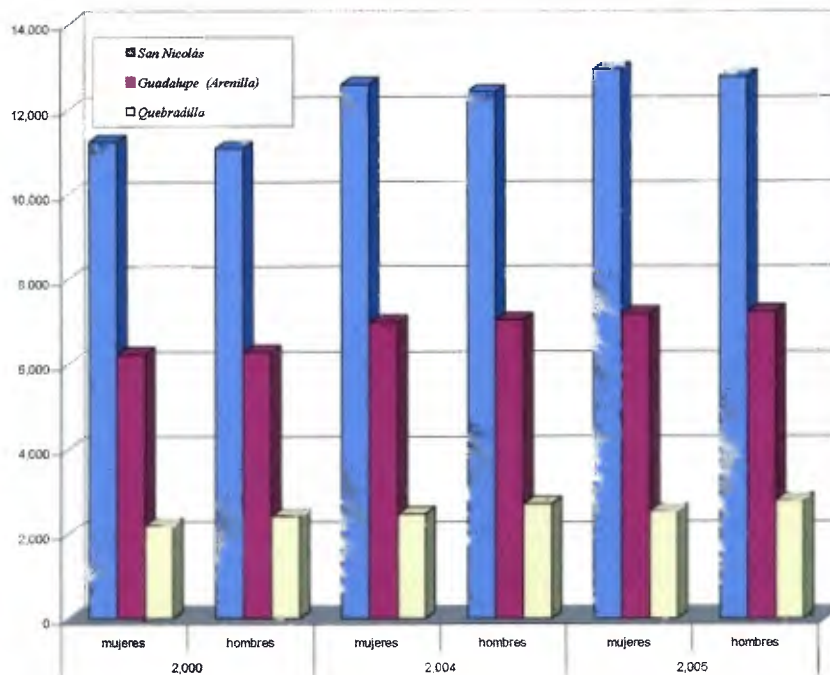
Fuente: Censo, 2000 Estadística y Censos

Cuadro 1.2 Aspectos Generales del Cantón de Cartago

| CARACTERÍSTICA | VALOR | CARACTERÍSTICA | VALOR |
|--|--------|-----------------------------------|-------|
| % Analfabetismo | 4.90 | Promedio de personas por vivienda | 5.10 |
| Area Km ² | 284.51 | % Población económicamente activa | 33.50 |
| % Urbanismo | 41.72 | Total Empresas Industriales | 241 |
| % Ruralismo | 58.27 | Total trabajadores Industriales | 2,929 |
| Habitantes por Km ² | 424.50 | Kms carreteras pavimentadas | 109 |
| Total de viviendas en el Cantón | 23,674 | Kms carreteras sin pavimento | 351 |
| Principales actividades: Servicios, Agrícola (hortalizas-legumbre verduras, frutas), Ganadería (leche), comercio, industrias. | | | |

Fuente: Censo, 2000 Estadística y Censos

Figura N°1.5 Estimación por sexo, de la población para el cantón de Cartago según distrito, para los años 2000, 2004 y 2005 (Fuente: Censo, 2000 Estadística y Censos)



Conforme las estimaciones presentadas en el Censo 2000, para los vecinos de los distritos San Nicolás, Guadalupe y Quebradillas; se estima un crecimiento muy pequeño para el año 2005. Lo cual contribuye ínfimamente al desarrollo de nueva infraestructura.

1.6.2 Cantón : El Guarco

Cuadro 1.3 Información Básica del Cantón de El Guarco

| ASPECTO | | INFORMACIÓN |
|-----------|---------------------|--|
| Provincia | | Cartago |
| Creación | | Decreto No. 195 del 26 de julio de 1939 |
| Toponimia | | En honor a GUARCO, señor cacique de Purapura Cacique principal del Señorío del Guarco (Ibarra, 1990) |
| Límite | Este, Oeste y Norte | Cartago |
| Cantonal | Sur | Dota |

Fuente: Censo, 2000 Estadística y Censos

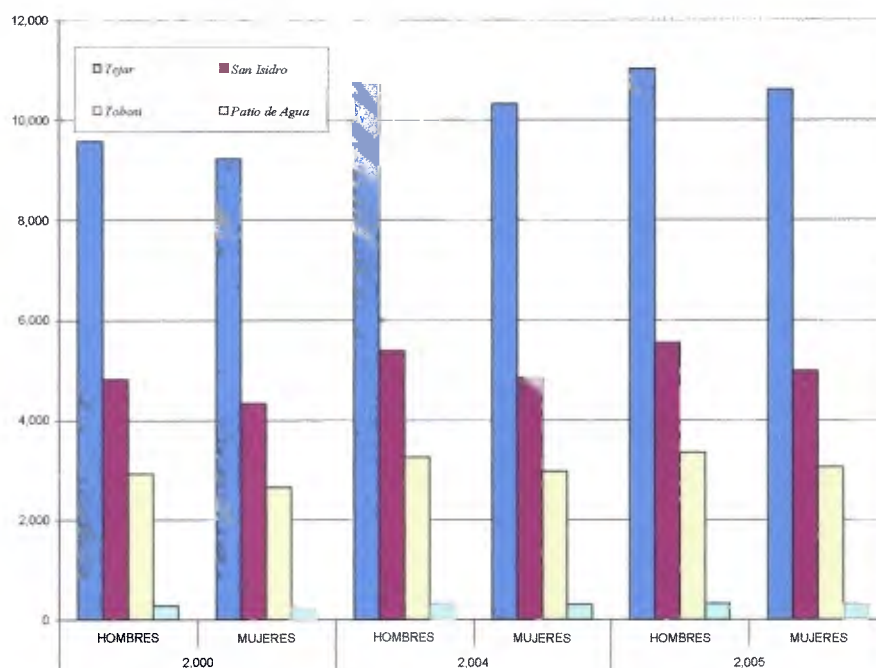
Cuadro 1.4 Aspectos Generales del Cantón de El Guarco

| CARACTERÍSTICA | VALOR | CARACTERÍSTICA | VALOR |
|---------------------------------|--------|-----------------------------------|-------|
| % Analfabetismo | 7.60 | Promedio de personas por vivienda | 5.90 |
| Area Km ² | 167.69 | % Población económicamente activa | 33.20 |
| % Urbanismo | 40.27 | Total Empresas Industriales | 22 |
| % Ruralismo | 59.72 | Total trabajadores Industriales | 304 |
| Habitantes por Km ² | 184.80 | Kms carreteras pavimentadas | 60 |
| Total de viviendas en el Cantón | 5,232 | Kms carreteras sin pavimento | 173 |

Principales actividades: Agrícolas (café, hortalizas, legumbres, frutas, flores, helechos), Ganadera (leche), Industrial (Zona Franca Industrial) y Servicios

Fuente: Censo, 2000 Estadística y Censos

Figura N° 1.6 Estimación por sexo de la población para el cantón de El Guarco según distrito, para los años 2000, 2004 y 2005 (Fuente: Censo, 2000 Estadística y Censos)



En relación a la estimación del crecimiento de la población del cantón de El Guarco, las estadísticas presentan un decrecimiento de ella. Esta tendencia provoca una menor inversión en la ampliación de servicios y mejoras a la red vial existente.

1.7 ANTECEDENTES

En investigaciones realizadas por otros autores en el área de estudio y en sus alrededores, tales como Denyer & Arias (1991), Carballo, M. (1977 y 1978), Fischer & Franco (1979), Krushensky, R. (1970), entre otros, se han basado, principalmente, en reconocimientos geológicos a gran escala, estructurales e hidrogeológicos.

Hasta la fecha, no se ha realizado ningún estudio integral sobre la amenaza de inestabilidad de laderas en la cuenca del Río Purires. No obstante, en el departamento de Prevención-CNE, (1999), ante la atención de emergencias se han emitido algunos informes técnicos puntuales de evaluaciones de inestabilidad de laderas, principalmente en el sector de Tablón.

El deslizamiento de Tablón presenta evidencias de actividad por más de 70 años, el cual registró su mayor tasa de movimiento en 1997, debido a la erosión de la base de la ladera por parte del Río Purires, provocando el hundimiento de 30 metros de carretera. La socavación continuó en el frente del deslizamiento en el invierno de 1999, generando destrucción de 200 metros de la RN 228 y afectando 20 casas de habitación. (Peraldo & Badilla, s.f)

Garro (2002), mediante la aplicación de la metodología denominada “Proceso de Jerarquía Analítica”, desarrolló mapas de amenazas naturales combinadas para la infraestructura civil en los alrededores de las ciudades de Cartago y Paraíso, a escala 1:25 000, e incorpora parte del área de estudio.

La metodología Mora & Vahrson se encuentra ampliamente publicada en varias revistas e idiomas (inglés, francés, portugués, alemán, italiano, japonés, Thai y árabe) y fue homologado por la ISSMFE-(TC4), mostrando su utilidad y precisión en muchas partes de centro y Sudamérica, así como en Europa y Asia. (S. Mora, com. escrita 2005).

CAPÍTULO II
DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO
(MICROCUEENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PURIRES)

2.1 ANTECEDENTES GEOLÓGICOS

En el área de trabajo y sus alrededores, se han realizado varios estudios geológicos, todos a escalas de poco detalle: Malavassi & Suárez (1953) en los cerros de La Carpintera; Castillo (1969) en el mapa básico Abra; Krushensky (1970) en la Hoja Cartográfica Istarú; Berrangé (1977) realizó un reconocimiento geológico de la Hoja Cartográfica Tapantí. Todos estos trabajos incluyen parte de la cuenca de estudio.

Otros trabajos que se han tomado en cuenta como una base geológica preliminar para este investigación han sido las campañas geológicas de Carballo, M., (1977) y Castro, J., (1977). En su tesis de licenciatura Carballo, M., (1978) redefinió la Formación San Miguel mediante un estudio paleontológico. Otros autores que han trabajado en la Formación San Miguel son: Hill (1898), quien describe por primera vez las calizas aflorantes al Sur del Valle Central, y las denomina San Miguel Bed, así también han trabajado en esta formación Romanes (1912), Fernández y Madrigal (1960).

Por otra parte, han sido varios los autores que han trabajado en el estudio y levantamiento geológico de la Formación Coris, entre ellos destacan: Castillo (1969), quien le asigna a la formación el nombre de Coris; sin embargo, los trabajos sobre esta unidad se iniciaron en 1912 con Romanes. Otros autores que han trabajado en esta formación geológica son Schaufelberger (1931), Dóndoli y Torres (1954), Fernández y Madrigal (1960), Franco (1978), Fischer y Franco (1979), Obando et al. (1991), entre otros.

Muchos otros autores han trabajado en el levantamiento geológico del Grupo Aguacate tal y como lo mencionan Denyer y Arias (1991), sin embargo, son pocos los que han trabajado directamente en el área de estudio. El mapa más reciente, donde se incluye parte de la cuenca del Río Purires, corresponde al trabajo realizado por Denyer y Arias, (1991) a escala 1:50 000

2.1.1 Geología Regional

En la parte central del país, desarrollada entre la Cordillera de Talamanca y la Cordillera Volcánica Central, se aprecia la estructura morfotectónica del Valle Central. Su basamento consiste de sedimentos marinos levemente plegados. Su cobertura más reciente comprende coladas de barro, rocas volcánicas parcialmente diferenciadas, sedimentos lacustres y depósitos aluviales (Carballo, 1978).

Según Denyer & Arias, (1991), el área de estudio forma parte de la cuenca sedimentaria denominada Candelaria, la cual inicia su depositación a partir del Eoceno Superior hasta el Mioceno Superior, con un espesor sedimentario de más de 4500 metros y termina colmatándose con rocas volcánicas. En el límite Mioceno Plioceno, una compresión deforma estas rocas y a partir de este momento hay emersión completa y la geología es dominada por rocas ígneas y depósitos coluvio-aluviales.

Esta cuenca sedimentaria está conformada por depósitos marinos de plataforma carbonatada, plataforma silicoclástica, zona de transición marino-continental y sedimentos continentales. El origen de las unidades ígneas se atribuye a depósitos piroclásticos de edad Mioceno Superior Cuspidal y a derrames lávicos basálticos-andesíticos fisurales e hipoabisales con orientación E-W de edad Plio-Pleistoceno (Denyer y Arias, 1991).

Desde el punto de vista sedimentológico, la secuencia sedimentaria que aflora en la zona de estudio, inició su depositación en un ambiente marino somero, distante de la costa, a escasa profundidad y con períodos de rápida sedimentación, representado por la Formación San Miguel (Carballo & Fischer, 1978), pasando a un ambiente que varía desde litoral hasta continental; con un fuerte aporte de material proveniente de la intensa actividad volcánica, este ambiente está representado por la Formación Coris (Fischer & Franco, 1979). Estos sedimentos fueron cubiertos por depósitos volcánicos asociados a un vulcanismo terciario (Grupo Aguacate) y finalmente depósitos cuaternarios.

De acuerdo con Astorga *et al.*, (1991) "A finales del Eoceno y principios del Oligoceno, el arco de islas de Costa Rica es segmentado, por un sistema de fallas de "strike-slip" tipo sinistral generando una cuenca de "Pull-apart", en la parte central del país. La rotación del segmento sur durante el Oligoceno genera un levantamiento del segmento norte que queda sujeto a erosión, mientras que en el segmento sur la sedimentación turbidítica clástica continúa y culmina hacia el Mioceno Inferior. Las cuencas transtensivas de la región central de Costa Rica comienzan a ser rellenadas por sedimentación clástica marina." Estos controles tectónicos locales que afectaron el arco de islas, son los que dieron origen a las cuencas que Astorga *et al.*, (1991) denomina de segunda generación.

En el Anexo I y en la Figura 2.1, se describen, de forma muy breve, las principales características que diversos autores han publicado con relación a las formaciones geológicas aflorantes en el área de estudio

2.1.2 Geología Local

De la información obtenida en el trabajo de campo se lograron identificar dos formaciones geológicas correspondientes a las Formaciones San Miguel y Coris, y dos unidades de roca: Unidades Volcánicas Informales (pertenecientes al Grupo Aguacate) y los Depósitos Inconsolidados del Cuaternario.

Por correlación con los trabajos realizados por otros autores, se puede decir que las formaciones geológicas antes mencionadas, así como las unidades volcánicas y los depósitos Cuaternarios abarcan un período de sedimentación y depositación entre el Mioceno Inferior y el Pleistoceno (Fig. 2.1, Anexo I).

A continuación, se describen las litologías que afloran en la zona de estudio, las cuales han sido correlacionadas con formaciones geológicas regionales. Se describen de la más antigua a la más joven, utilizando criterios estratigráficos. (Figs. 2.2 y 2.3)

Formación San Miguel

Aflora en el sector de Bermejo y Quebradilla, siendo observada principalmente en los tajos artesanales que se ubican en las partes altas de los cerros. En ciertos sectores, se identificaron bloques de tamaños decimétricos a métricos. Aunque no quedan claras las relaciones estratigráficas entre las formaciones San Miguel y Coris, debido a las características observadas, se considera que se relacionan estratigráficamente porque San Miguel se dispone en forma de lente dentro de la Formación Coris con un rumbo predominante NW-SE.

Las rocas observadas en los tajos artesanales, corresponden a calizas de color gris en superficie sana y de color beige en superficie meteorizada. Contiene abundantes moldes de bivalvos (*Pecten*) de diámetros menores a 15 centímetros medidos en su eje más largo. Presenta además, una matriz del tipo arena fina calcárea de color gris claro.

Figura N°2.1

**CORRELACIÓN DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS
EN EL ÁREA DE ESTUDIO**

**Parte de la Cuenca Sedimentaria Candelaria
(Valle Central)**

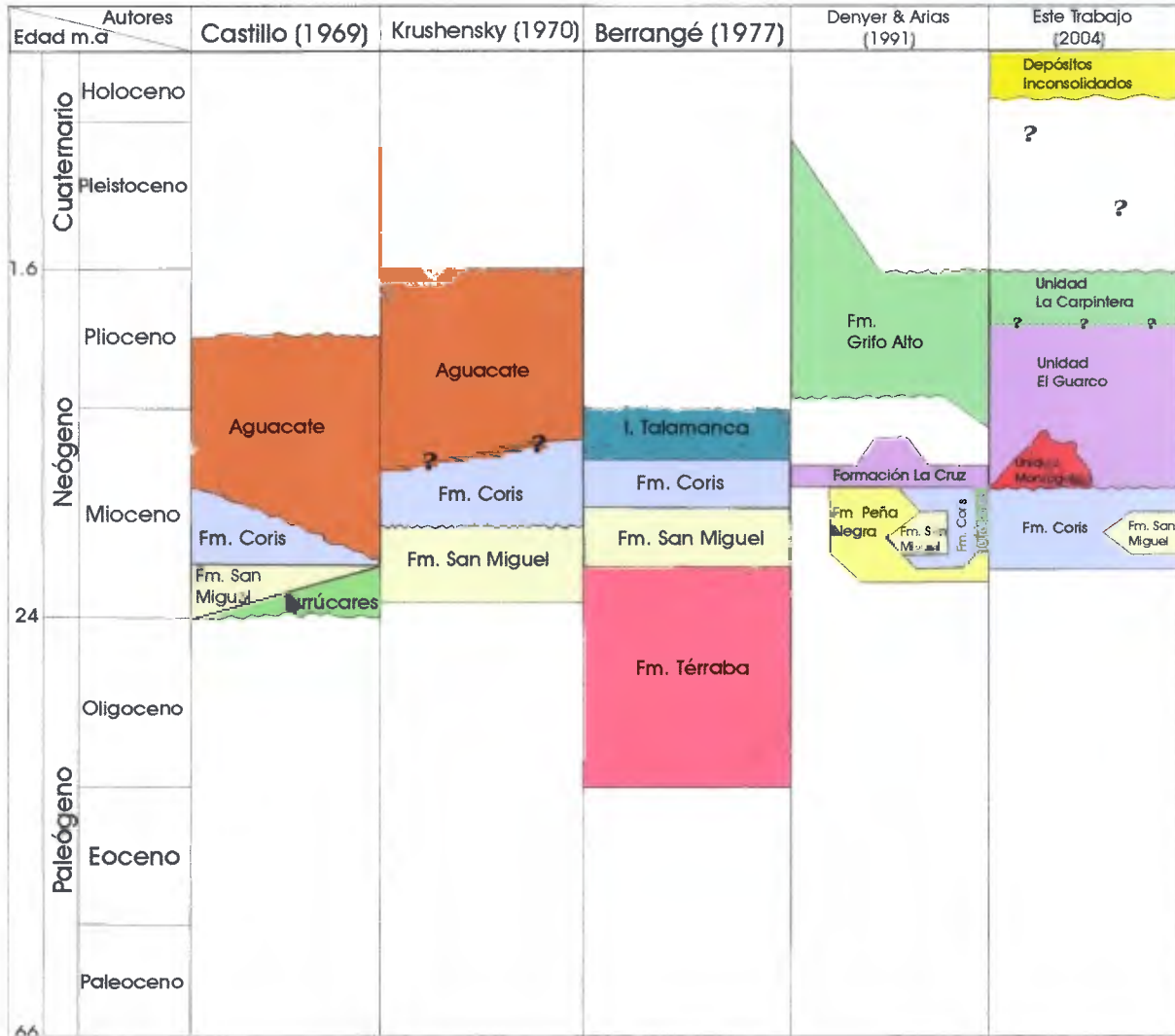


Figura N°2.2 MAPA GEOLÓGICO

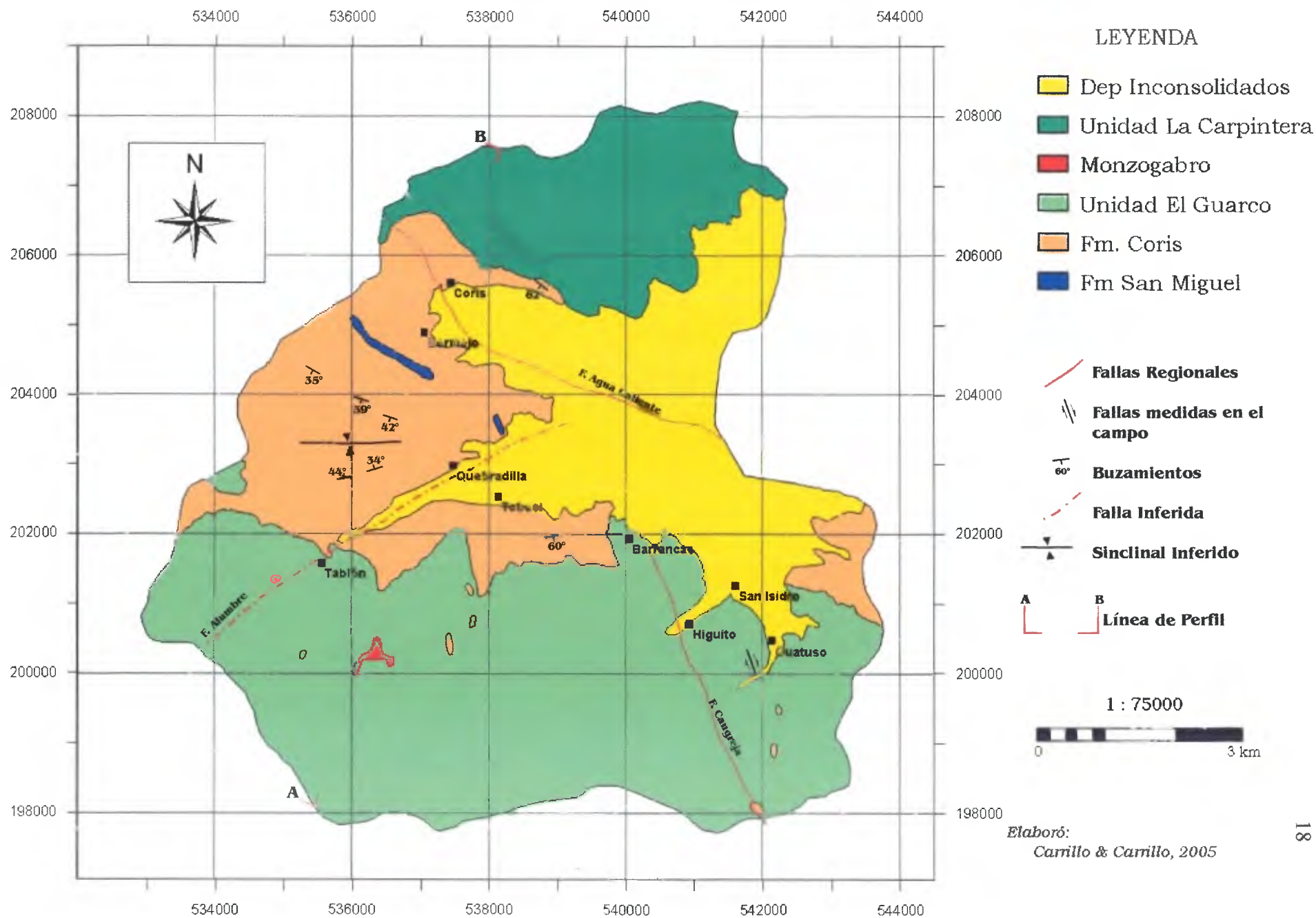
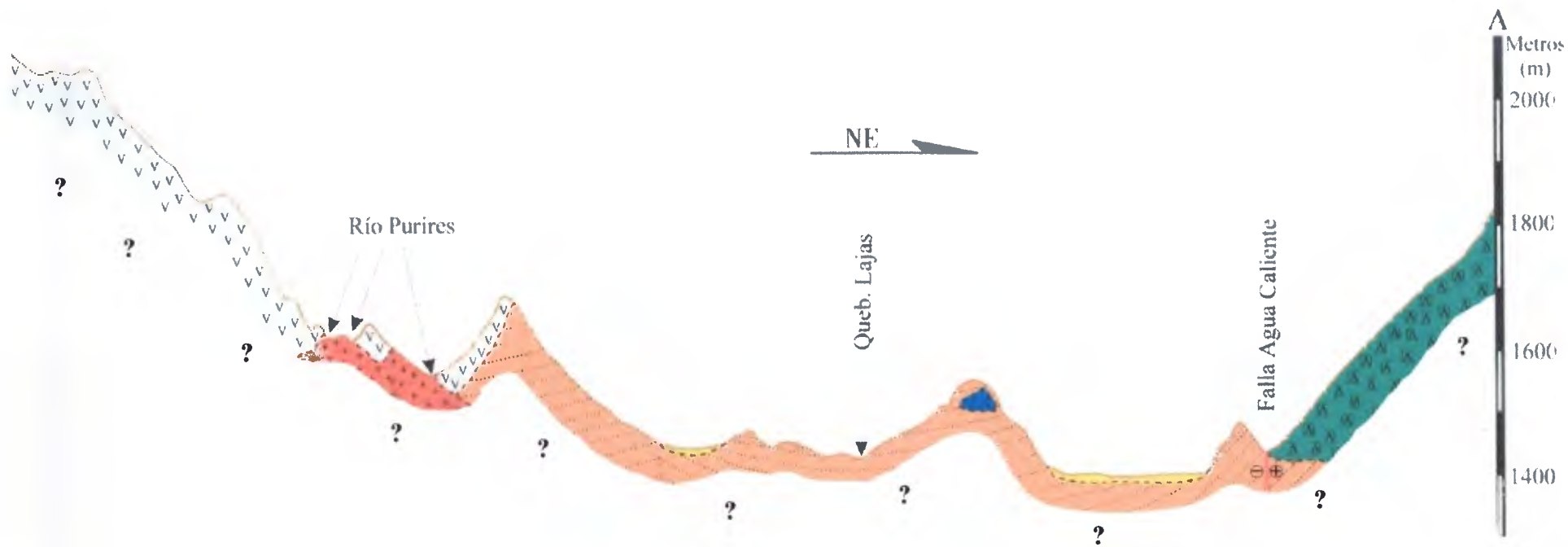








Fig. 2.3 PERFIL GEOLÓGICO INTERPRETATIVO






Escala vertical 1:10000

Escala Horizontal 1:50000

LEYENDA

-  UNIDAD DE DEPÓSITOS RECIENTES
-  UNIDAD VOLCÁNICA LA CARPINTERA
-  UNIDAD INFORMAL MONZOGABRO
-  UNIDAD VOLCÁNICA EL GUARCO
-  FORMACIÓN SAN MIGUEL
-  FORMACIÓN CORIS

SIMBOLOGÍA

-  FALLA DESPLAZAMIENTO RUMBO SINISTRAL
-  CONTACTO GEOLÓGICO INFERIDO
-  FALLA INFERIDA

Realizó:
Carrillo & Carrillo, 2005

Microscópicamente, se define como una Packstone con fragmentos de balanidios y bivalvos según la descripción de *Dunham* y como una Biomicrita Esqueletada según clasificación de *Folk*. (Ver Anexo II, muestra SD-9).

Los afloramientos observados en este tipo de roca se caracterizan por ser masivos y muy fracturados, situación que aprovechan los vecinos del lugar para extraer la roca artesanalmente. En medidas realizadas en el campo, específicamente en el tajo ubicado en las coordenadas 203.650N-538.100W, Hoja Cartográfica Istarú, se observaron 3 tipos de familias de fracturas, cuyas direcciones de buzamiento predominantes fueron Noreste, Oeste franco y Suroeste. La familia de fracturas predominante es la que buza hacia el Noreste. La mayoría de estas fracturas están rellenas de arcilla, alcanzan longitudes superiores a los 5 metros y la mayoría están espaciadas una de otra 50 cm a 1 m, en promedio.

Los mejores afloramientos se observan en los tajos ubicados en Bermejo y Quebradilla cuya extracción de la roca es para la producción de cal y cemento. También se usa como roca ornamental. Debido a la alta dureza que presenta la roca, es necesario, en algunas ocasiones, el uso de explosivos para su extracción. Se le ha asignado una edad de Mioceno Inferior-Mioceno Medio (Denyer & Arias, 1991)

Formación Coris

Aflora principalmente en el sector oeste de la zona de estudio, en los alrededores de los poblados de Coris, Bermejo y Quebradilla, además se le observa en el sector este, cerca de Guatuso. Su mejor exposición se localiza en el tajo perteneciente a la empresa Sílice de Costa Rica S.A (SICORSA), ubicado en Coris y es en este sitio, donde se observan la mayoría de las facies y subfacies asociadas a esta formación.

Del trabajo de campo realizado, se definieron dos facies:

a. ***Facies de areniscas***: Dentro de esta facies se distinguen tres subfacies a saber:

Subfacies de areniscas de grano fino a medio: Observadas únicamente en el tajo propiedad de la empresa Sílice de Costa Rica. Las muestras de este tipo de arena fueron analizadas en un microestereoscopio con un aumento máximo de 5X .

Consiste principalmente de arenitas cuarzosas varicolores con un tamaño de grano fino a medio, con selección de moderada a buena, compuesta esencialmente de cuarzo lechoso, piriboles y pocos feldespatos. El contacto entre los granos es longitudinal y puntual. Los granos son subangulares a subredondeados y el cemento es silíceo.

Contiene poca matriz, la cual está compuesta principalmente de cuarzo de grano fino, arcillas y óxidos de hierro que manchan las caras del grano de cuarzo. En esta subfacies se observan minerales metálicos como la magnetita y minerales de alteración como goetita, causantes de la oxidación en la superficie y de las bandas de óxidos de hierro de color rojizo y lila.

La oxidación presente en las rocas de esta subfacies se presenta principalmente en la matriz y en los granos de cuarzo en forma de una delgada película de oxidación (SICORSA, 1999, Informe Inédito).

No presenta estructuras sedimentarias definidas ni fósiles, aunque ocasionalmente se han observado algunas huellas de bioturbación, con estructuras rellenas de arenisca cuarzosa. Este es el tipo de arena que es utilizada para la fabricación de vidrio, debido al poco contenido de matriz arcillosa y de hierro que contaminan el cuarzo. (SICORSA, 1999, Informe Inédito).

Subfacies de areniscas de grano muy fino a fino: Aflora en todos los sectores dentro del área de estudio, por lo tanto, es la subfacies predominante.

En observaciones realizadas a través del microestereoscopio, es posible describir la roca como una arenisca de color café claro, con un tamaño de grano muy fino a fino, bien seleccionada y granos subangulares. Está compuesta de cuarzo, minerales pesados y líticos. Los granos están en contacto longitudinal, puntual y flotante, contiene mucha matriz de grano muy fino de cuarzo y arcillas. Esta arena se caracteriza por ser muy cohesiva.

Esta facies se caracteriza por contener abundantes moldes de bivalvos de tamaños milimétricos. En sección delgada (muestra SD8), se describe como una Arenita Lítica con Cuarzo (Ver Anexo II).

Subfacies de arenisca guijarrosa: Aflorante en la Quebrada Lajas, ubicada en Quebradilla, específicamente en las coordenadas 204.300N-535.850W de la Hoja Cartográfica Abra. Corresponde a una arenisca guijarrosa de color verde azulado. Los fragmentos son de areniscas finas y lodolitas, poseen formas que varían de subangulares a subredondeados y están en contacto flotante en una matriz de arena media. La estratificación observable corresponde a paquetes centimétricos (20 cm como máximo), poco fracturada. En este sitio las capas presentan una dirección de buzamiento S30-50W/25-32°

b. Facies de Lutita y Carbón: Se caracteriza por tener forma lenticular, esto debido a que en el tajo de SICORSA, único sitio donde fue observada, se nota claramente un aumento en el espesor aparente (medido en superficie) en dirección este – oeste.

Las lutitas son de color gris oscuro en superficie fresca y de color blanco con manchas rojas y amarillas en superficie meteorizada y es la litología que predomina en esta facies.

Los carbones están mezclados con las lutitas y representan un 30% del total de esta facies. Los mismos, se caracterizan por estar muy plegados y por ser muy deleznable.

Esta facies contiene abundante xilópalos de tamaños muy variados, alcanzando tamaños decimétricos, algunos de color negro y otros gris y abundantes ichnofósiles del tipo *Thalassinoides* en forma de tubo

A la Formación Coris se le atribuye una edad Mioceno Medio- Superior (Fischer & Franco, 1979).

Unidades Volcánicas Informales

Se distinguen tres unidades claramente diferenciadas, las cuales afloran en los Cerros de la Carpintera y en el sector sur del área de estudio. Debido al grado de meteorización que predomina en la zona, no es posible diferenciar entre Grifo Alto y La Cruz. Por esta razón, se realiza la siguiente clasificación, basada en diferencias de meteorización y a partir de los pocos afloramientos de roca sana:

➤ Unidad Informal La Carpintera

Como su nombre lo indica, esta unidad se ubica en el sector norte del área de estudio, específicamente en los Cerros de La Carpintera. El material que aflora en este sitio consiste básicamente de lavas andesíticas masivas de color gris claro cuando están sanas y moradas en su estado de meteorización. Presentan textura afanítica-porfirítica con fenocristales de plagioclasa. Microscópicamente, estas rocas se describen como lavas andesíticas muy propilitizadas con textura hipocristalina porfirítica y matriz hialopilitica, (ver Anexo II, muestra SD-6).

Se le atribuye una edad Mioceno Superior-Pleistoceno (Denyer & Arias, 1991) por la semejanza de esta unidad con lo descrito para el Grupo Aguacate.

➤ **Unidad Informal El Guarco**

Comprende dos litologías diferenciadas en el campo, en los pocos afloramientos de roca sana, estas corresponden a:

- *Lavas*: Afloran en las cercanías de Tablón, Tobosi y Barrancas. Son pocos los sitios donde la lava expuesta está sana. La mejor exposición se da en la parte alta del Río Purires. En otros afloramientos esta unidad se observa muy meteorizada, con plagioclasas arcillitizadas y de tono varicolor.

Macroscópicamente, corresponden con lavas andesíticas masivas, con textura afanítica y afanítica-porfirítica, estas últimas con fenocristales de piriboles y plagioclasas. Son de color gris claro a oscuro cuando están sanas y varicolor cuando están meteorizadas. En algunos sitios, la roca presenta pátinas de manganeso.

En sección delgada, cuya muestra fue tomada en las cercanías de Palo Blanco, la roca se clasifica como andesita basáltica con olivino con textura hipocristalina porfirítica (ver Anexo II, muestras SD-3). Este material predomina en el área de estudio.

En algunos sectores, principalmente en Tablón, se observó que esta roca meteoriza con una estructura esferoidal, dando un aspecto muy engañoso de “clastos” dentro de una matriz pardo-arenosa.

Se le atribuye una edad Mioceno Superior-Pleistoceno (Denyer & Arias, 1991) por la semejanza de estas unidades con lo descrito para el Grupo Aguacate.

- *Ignimbrita*: Afloran en las cercanías de Higuito y San Isidro del Tejar, a lo largo de la Carretera Interamericana y en Guatuso del Tejar, específicamente en el sector sureste de la zona de estudio. Consiste de Ignimbritas de color lila cuando está meteorizada y varicolor (morado, blanco, anaranjado) cuando presenta alteración hidrotermal, esta alteración se observó únicamente en el camino que conduce al Alto Cangreja en el sector de Higuito del Tejar. Sobre este mismo camino la roca se observa recristalizada y en otros casos arcillitizada. Presenta clastos de pómez de forma angular, con tamaños que varían de milimétricos a centimétricos, alcanzando tamaños máximos de 3 cm de diámetro medidos en el eje más largo. En algunos casos se observó una estructura fluidal y fiames.

Microscópicamente se describe como una ignimbrita con textura hialina porfirítica a hipocristalina porfirítica. (ver Anexo II, muestra SD-4 y SD-5).

Estas rocas son utilizadas como material para construcción. Se le atribuye una edad Mioceno Superior-Pleistoceno (Denyer & Arias, 1991) por la semejanza de estas unidades con lo descrito para el Grupo Aguacate.

➤ **Unidad Informal Monzogabro**

Macroscópicamente es una roca plutónica de grano grueso, con una tonalidad gris verdoso. Textura holocristalina-hipidiomórfica. Se encuentran afectados por la meteorización tipo arenitización y por un lajamiento con un espesor promedio de 5 –10 cm.



Figura N° 2.4 Afloramiento sano de Monzogabro, nótese el diaclasamiento de la unidad con rumbo noreste – suroeste (coordenadas 200.300N-536.150W, hoja Carraigres)

Microscópicamente se define como un Monzogabro con Augita Uralitizada, con textura holocristalina hipidiomórfica granular, compuesta por plagioclasas (An 62), ortosa, cuarzo, augitas, uralita, biotita, magnetita, apatito y epidota. (Ver Anexo II, muestra SD-2).

Se le atribuye una edad Plioceno por su semejanza con lo descrito por Kussmaul, S. en Denyer & Kussmaul, 2000, para el Intrusivo de Escazú.

Depósitos Inconsolidados del Cuaternario

➤ Coluvios

Esta unidad está ampliamente distribuida dentro de la microcuenca y agrupa todos los materiales removidos por los deslizamientos y aquellos que son producto de la erosión causada por procesos geológicos externos, así como los depositados al pie de monte por gravedad.

La composición del coluvio es heterogénea y varía de acuerdo a los sitios de afloramiento, sin embargo, predominan los flujos de bloques de lava andesítica, pertenecientes a la Unidad Informal El Guarco descrita anteriormente, incluidos en una matriz areno-arcillosa. Generalmente, en todos los casos, abunda más la matriz que los bloques. En promedio, los coluvios descritos se han caracterizado por presentar espesores no mayores a los 5 metros y por tener, en su mayoría, 70% de matriz y 30% de bloques de diversos tamaños (centimétricos a decimétricos). Los mismos varían de angulares a subangulares y se observan, en su mayoría, muy meteorizados.

Esta unidad predomina en los sectores de Tablón, Quebradilla y Tobosi, pero se observan algunos otros en Coris y Bermejo compuestos principalmente por areniscas.

➤ Aluviones

Los depósitos aluviales se encuentran ampliamente distribuidos en la zona de estudio, principalmente, en el sector central donde se generan llanuras aluviales a lo largo del Río Purires, y en algunas quebradas importantes (Cucaracha y Mollejones), donde fue difícil ubicar afloramientos de roca debido al espeso aluvión depositado.

Estos aluviones están constituidos por bloques centimétricos hasta métricos de composición diversa: areniscas, lavas, intrusivos, brechas volcánicas, etc.

Los depósitos más finos (arenas y gravas), se ubican en las partes bajas y son transportados, principalmente, por el Río Purires y el Río Coris.

Estos depósitos se caracterizan por ser caóticos. En ninguno de los sitios se observaron bloques imbricados, además sobreyacen discordantemente las formaciones descritas anteriormente.



Figura N°2.5 Aluvión del Río Purires (coordenadas 200.550N-536.300W, hoja Caraigres)

2.1.3 Estructuras Geológicas

Se han desarrollado investigaciones regionales de carácter estructural y sismológico, que incluyen el área de investigación, tal es el caso de Arias & Denyer (1991) en su trabajo “Estructura Geológica de la región comprendida en las hojas topográficas Abra, Caraigres, Candelaria y Río Grande” y Fernández & Montero (2002) los cuales realizaron un estudio de sismicidad y fallamiento en un sector comprendido entre Cartago y San José.

Regional: El Valle Central se muestra afectado por plegamientos, fallamientos y basculamientos provocados por una compresión de Sur a Norte que actuó desde el Cretácico hasta el presente. El basculamiento de la cuenca Candelaria ocurrió en el límite Mioceno – Plioceno, entre las fallas NW Jaris y Candelaria y fallas NE como la Delicias. Los mismos esfuerzos originaron fallas inversas E-W de alto ángulo y fallas transtensionales N-S (Arias & Denyer, 1991).

Posteriormente, a la gran compresión Mio-Pliocena se produjo el rejuvenecimiento de la subducción, con la consecuente migración del arco magmático hacia el NE, hasta su posición actual, representada por la Cordillera Volcánica Central (Arias & Denyer, 1991).

Según Fernández & Montero (2002), después de analizar la sismicidad y el fallamiento neotectónico del sector del Valle Central comprendido entre San José y Cartago, concluyeron que la sismicidad mejor definida se encuentra en la zona de San Miguel – Patarrá, la cual se asocia a la falla Agua Caliente. Esta falla fue la que originó el terremoto de Cartago del 4 de mayo de 1910 (Montero & Miyamura, 1981 en Fernández y Montero, 2002) y de acuerdo con su longitud, representa la principal amenaza sísmica para la Gran Área Metropolitana.

En Denyer *et al.*, (2003), se indica la presencia en el área de estudio de dos fallas del Cuaternario: La falla Cangreja y la Falla Agua Caliente y de dos fallas paleo-tectónicas: la falla Alumbre y la falla Patio de Agua.

Local: El ambiente tectónico es complejo, cuyas rocas se encuentran afectadas por fases de deformación frágil evidenciadas en el campo por tres fallas importantes como lo son la Falla de Agua Caliente y la Falla Cangreja, de rumbo NW-SE y la Falla Alumbre, con rumbo NE-SW, además de fallas de menor importancia, pero que igualmente evidencian una alta actividad sísmica en esta zona.

Con base en criterios fotogeológicos, geomorfológicos y de patrones de drenaje se determinaron alineamientos con un rumbo preferencial NE–SW.

En cuanto a la actividad tectónica reciente, es necesario indicar que en la región localizada al sur de Cartago y específicamente en el Cantón de El Guarco, se presenta un sistema de alineamientos y fallas sugestivas de actividad tectónica reciente, tal como se anota en el mapa tectónico elaborado en el Proyecto MIRVIS (1988-1989) escala 1:50 000 y el elaborado por Montero (1993) escala 1:200 000.

El estudio MIRVYS (1988- 1989) establece una zona de deformación de 150 a 200 metros de ancho a partir de la traza de la falla, que corresponde a la zona susceptible de ser sometida a esfuerzos cortantes, subsidencia, levantamiento u otro tipo de deformación del terreno, que puede presentarse asociado al proceso de ruptura superficial de las fallas, localizadas dentro del Valle Central, Cartago y alrededores.

Descripción de estructuras

La definición de las diferentes estructuras tiene su base en los datos obtenidos en el campo, no obstante, también fueron utilizados criterios fotogeológicos y morfológicos para determinar posibles trazas de fallas (alineamientos) que no fueron observadas en superficie por encontrarse cubiertas por suelo, todo esto con el fin de tener la mayor información que pueda indicar la deformación a la que han sido sometidas las rocas en esta zona.

Los rasgos estructurales más importantes que se localizan en la zona de interés son:

Fallas

- **Fallas cartografiadas por otros autores**

1. Falla Agua Caliente

Para esta falla se han propuesto diferentes trazas, esto se debe a que la falla tiene una expresión geomorfológica débil en algunos sectores, además tiene una forma sinuosa con rumbo variable entre NW, EW y WNW en sus sectores oeste, central y este, respectivamente (Fernández & Montero, 2002).

Geomorfológicamente, esta falla se caracteriza por el alineamiento de promontorios truncados, contraescarpes en depósitos recientes, contrastes de vegetación en zonas planas, alineamientos de valles lineales y de fuentes termales y mineralizaciones sulfurosas, lomos y sillas de falla. La falla es de movimiento sinistral y tiene una zona transtensiva en el sector entre Quebrada Honda y Bermejo. Asimismo, existe una transpresión local en el sector de Tejar (Montero et al, 1991, en Fernández & Montero, 2002).

2. Falla Cangreja

Tiene un rumbo NW y una extensión de 6 km. Al noroeste se inicia cerca de Barrancas, al este de Tobosi y al sureste termina al este del poblado de Cangreja. Se encuentra comprendida entre las fallas Agua Caliente y Navarro. Geomorfológicamente se caracteriza por su trazo rectilíneo, lo cual indica que es de inclinación vertical a subvertical. Además, muestra valles lineales, sillas de falla, trincheras de falla, escarpes facetados y bermas de falla (Fernández & Montero, 2002).

3. Falla Guarco

Fernández & Pacheco (1998), hacen mención de la Falla Guarco ubicada dentro de la zona de estudio, cerca de Tobosi, la cual forma parte de un sistema de fallas de rumbo noroeste, el cual incluye las fallas Coris (Falla Agua Caliente), Higuito, Aserri, Granadilla, Paracito-Rancho Redondo y Coronado. La buena correlación entre epicentros y las fallas Guarco y Coris (Agua Caliente), deduce que tales fallas están activas.

4. Falla Alumbre

Arias & Denyer (1991), mencionan la existencia de esta falla al sur de la provincia de San José y es cartografiada en la hoja Carraigres, desde la intersección con la Falla Jaris, en Monterrey de Aserri, hasta el poblado de Tablón con un rumbo NE-SW, alcanzando una extensión aproximada de 14 km.

Esta falla fue cartografiada de forma inferida desde Río Conejo hasta Tablón. En el área de estudio, es trazada por la Quebrada Fierro, al suroeste de Tablón. Debido a que el material volcánico se presenta muy meteorizado, no se observaron evidencias acerca de la existencia de esta falla en este sector.

- **Fallas observadas en el campo:**

Corresponde a una zona de falla que aflora en un tajo ubicado cerca de la carretera Interamericana, específicamente en las Coordenadas Lambert 200.200N-541.850W de la Hoja Cartográfica Tapantí. Estas fallas cortan rocas meteorizadas correspondientes a la Unidad Informal del Guarco descrita anteriormente. Uno de los planos de falla medidos corresponde a una falla de tipo transtensional (falla de rumbo con componente vertical). Se observó además, una zona de roca triturada (cataclastita), espejos de falla y minerales de alteración como la zeolita.

Algunos de los planos medidos en el campo indican los siguientes rumbos y direcciones de inclinación:

CUADRO N°2.1 DATOS DE PLANOS DE FALLA

| RUMBO DE LA FALLA | DIRECCIÓN DE INCLINACIÓN |
|-------------------|--------------------------|
| N20°W | S70°W/78° |
| N35°W | N55°E/88° |
| N80°E | N10°W/85° |

Diaclasas:

Cabe destacar que las diaclasas fueron medidas únicamente en las Formaciones San Miguel y Coris. El estudio de diaclasas en la Formación Coris se basó en Alvarado (2002).

- **Formación San Miguel:** Se realizaron medidas de diaclasas en un tajo ubicado en las Coordenadas Lambert 203.650N- 538.100W, Hoja Cartográfica Istarú. Se observaron 3 tipos de familias de fracturas, cuyas direcciones de buzamiento predominantes fueron Noreste, Oeste franco y Suroeste. La familia de fracturas predominante es la que buza hacia el Noreste. La mayoría de estas fracturas están rellenas de arcilla, alcanzan longitudes superiores a los 5 metros y la mayoría están espaciadas 50 cm a 1 m, en promedio.

- **Formación Coris:** En Alvarado (2002), se presenta un análisis estructural en la Formación Coris, específicamente, en el tajo propiedad de la empresa Sílice de Costa Rica S.A (SICORSA). En dicho estudio se describen fracturas abiertas y con rellenos de arcilla. El rumbo promedio de las principales fracturas es N30°E.



Figura N°2.6 Calizas de la Formación San Miguel diaclasadas
(coordenadas 203.550N-538.100W, hoja Istarú)

Alineamientos Fotogeológicos:

Fueron trazados con base a la morfología y al drenaje del área. Una de las mejores evidencias al trazar estos alineamientos es lo rectilíneo del drenaje en el sector suroeste del área de estudio, principalmente del Río Purires. Su rumbo preferencial es hacia el NE.

Buzamientos:

La única formación geológica que presenta buzamientos en el área de estudio es la Formación Coris. Los datos fueron tomados principalmente en Barrancas y en Quebradilla. Los buzamientos son hacia el SW y NW, los ángulos de buzamiento no sobrepasan, en general, los 50° y en promedio son de alrededor de 35°.

CUADRO N° 2.2 DATOS DE BUZAMIENTOS

| DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | ANGULO DE INCLINACIÓN |
|--------------------------------|------------------------------|
| S18W | 39 ⁰ |
| S16W | 44 ⁰ |
| S12W | 35 ⁰ |
| S18W | 42 ⁰ |
| S30W | 35 ⁰ |
| S32W | 32 ⁰ |
| S39W | 29 ⁰ |
| S23W | 24 ⁰ |
| N10W | 44 ⁰ |
| N16W | 34 ⁰ |

En el sector de Quebradilla se observa la Formación Coris buzando hacia el NW y hacia el SE, dando la apariencia de un pliegue sinclinal. Esta es la única evidencia que fue posible obtener en el trabajo de campo. Denyer & Arias (1991), ubicaron cerca del sector de Patarrá y Quebrada Honda pliegues sinclinales y anticlinales en la formación Coris, de tamaños similares a lo observado en el área de trabajo.

2.2 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

El relieve terrestre se encuentra en constante evolución ya que, mientras las fuerzas constructivas crean en el interior de la tierra las formas estructurales, éstas son atacadas desde el exterior por los agentes del modelado terrestre los cuales dan lugar a las nuevas formas y modifican las ya existentes. Las formas del relieve que se presentan actualmente son el resultado del modelado que éste ha sufrido a consecuencia de la acción de procesos geológicos de diversa naturaleza e intensidad, entre los cuales los más importantes son la denudación que incluye meteorización, erosión, y el transporte (Salazar, 1995).

En el área de estudio predominan las formas denudacionales y de depositación, debido a la gran inestabilidad que presenta la zona como causa de la elevada precipitación y la existencia de pendientes fuertes, además de los suelos y zonas de meteorización y alteración hidrotermal.

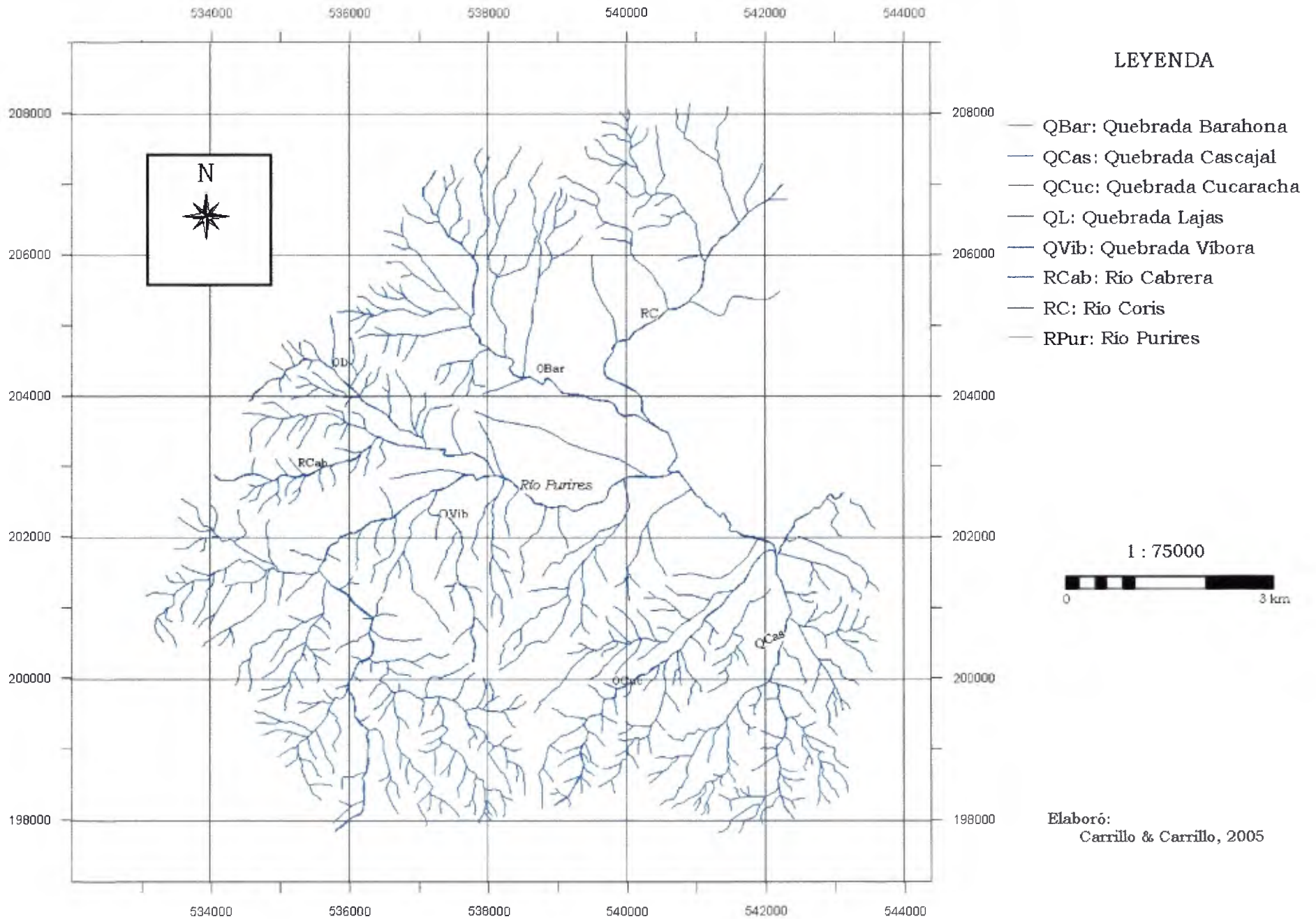
Las unidades descritas en esta sección han sido determinadas principalmente de acuerdo a sus características morfológicas mediante la revisión de fotografías aéreas, mapas topográficos, cálculos de pendientes y tendencias en el sistema de drenaje. Mediante el conocimiento de la litología del área, se hizo un análisis de su morfogénesis.

2.2.1 Fisiografía

La mayor parte del sistema fluvial de los cantones El Guarco y Cartago pertenece a la subvertiente Caribe, siendo la cuenca del Río Reventazón – Parismina la principal.

El colector principal del área de estudio es el Río Purires que nace en los cerros de Patio de Agua y fluye en dirección de sur a norte hasta Tablón y de Oeste-Este, aproximadamente, desde Tablón hasta su confluencia con el Río Reventado para dar origen al Río Aguacaliente, el cual pertenece a la cuenca del Río Reventazón que drena la Vertiente Atlántica. Los afluentes más importantes del Río Purires son identificados en la Figura 2.7. La cuenca posee un área aproximada de 76,12 km², su largo máximo es de 8,5km y su ancho máximo es de 8km, aproximadamente. Desde la naciente hasta el poblado de Tablón, el Río Purires presenta una pendiente promedio de 21°, las laderas adyacentes se caracterizan por presentar pendientes superiores a 35°. A partir de este punto, el río baja su pendiente (8° aproximadamente) y pierde su poder de transporte, depositando los materiales que ha erosionado aguas arriba. En el sector de Tablón, el río está socavando sus márgenes ocasionando la inestabilidad de las laderas, estas laderas tienen la forma típica para los climas tropicales: contornos suaves, perfil convexo en la cima y cóncavo hacia el pie. Dentro del área cartografiada, la morfología incluye unidades de diversas génesis, encontrándose formas de origen fluvial y denudacional, principalmente.

Figura N°2.7 MAPA DE DRENAJE



2.2.2 Clasificación de Pendientes (Fig. 2.8)

Fueron definidos tres tipos de pendientes, pendiente fuerte, pendiente media y pendiente suave.

1. Pendiente Suave

Predominan las pendientes bajas, con valores entre 0 y 10%, ángulos promedio de 8° y un valor promedio de relieve relativo de 18. Naturalmente los ríos desarrollan un drenaje dicotómico; de valles poco profundos casi limitados al cauce principal. En época lluviosa, son constantes los desbordamientos y aumento de la erosión en sus márgenes.

Es importante mencionar que algunos de los cursos de agua han sido desviados de su trayectoria original y canalizados, por algunas de las empresas que laboran en este sitio con el fin de abastecer de agua toda la propiedad.

En esta unidad se desarrolla la Zona Industrial de Cartago, así como las principales plantaciones de helechos y flores del área. Así mismo, en ella también se encuentra una serie de nacientes de aguas termales, asociadas a la traza de la Falla Aguacaliente.

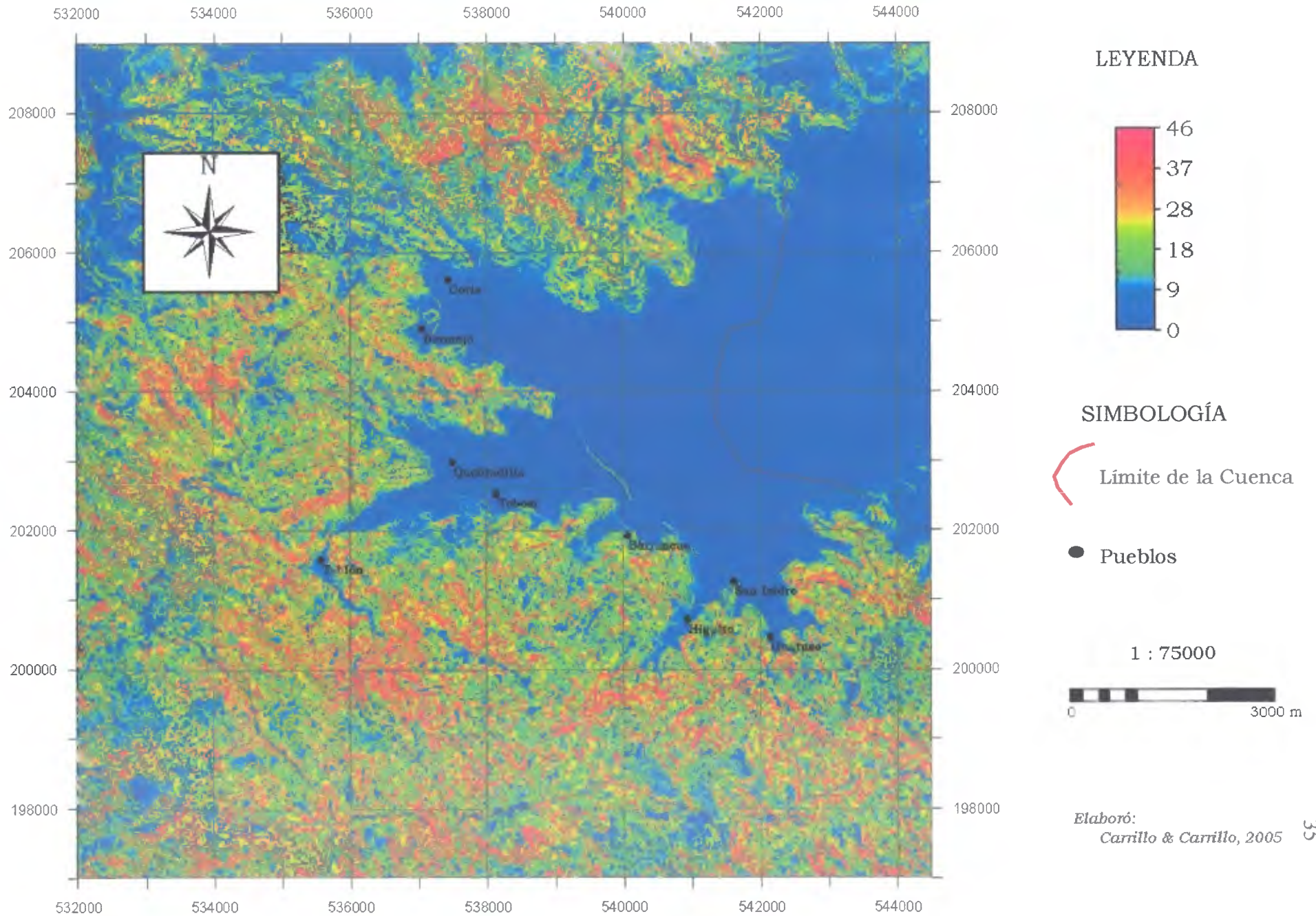
2. Pendiente Media

Esta unidad se caracteriza por presentar colinas redondeadas y valles poco profundos con amplias crestas. Las laderas poseen un ángulo promedio de 23°, un porcentaje de pendiente del 51% y un valor promedio del relieve relativo de 35. Naturalmente los drenajes son del tipo dendrítico – subdendrítico. Esta pendiente se asocia a los sectores donde el espesor de suelo es superior a 50 cm. No existe una clara diferencia entre las formas originadas de materiales volcánicos o sedimentarios.

3. Pendiente Fuerte

Caracterizada por valles profundos y crestas angostas, las pendientes presentan ángulos superiores a 35°, porcentajes mayores o iguales a 77% y un relieve relativo superior a 53. El drenaje desarrollado es dendrítico - subdendrítico. Esta unidad se asocia a los sectores donde la roca se encuentra aflorante y/o el espesor de suelo es menor a 50 cm.

Figura N°2.8 MAPA DE PENDIENTES EN GRADOS



2.2.3 Unidades Geomorfológicas

La definición de unidades geomorfológicas se realizó tomando en cuenta la morfología, la pendiente, la génesis de las formas, la litología, las estructuras y correlacionando los análisis fotogeológicos con lo observado en el campo.

Se cartografiaron 9 unidades geomorfológicas en el área de estudio, clasificadas de acuerdo a formas de origen denudacional y fluvial. (Fig. 2.9)

➤ Formas de Origen Denudacional

Las formas de origen denudacional deben su morfología a la acción de los agentes erosivos. Son las formas predominantes en el área de estudio.

1. Laderas y colinas denudacionales en rocas de la Unidad Informal La Carpintera (**LCDLCarp**)

El drenaje en esta zona es poco desarrollado, las laderas son de suave a moderadamente escarpadas, de mediana a severamente disectadas. La topografía es ondulada a redondeada.

Presenta alturas máximas de entre 1700 y 1800 m.s.n.m. El patrón de drenaje característico es el de tipo sub-dendrítico. Los valles de las quebradas son poco profundos y con poco caudal, además recorren poca distancia.

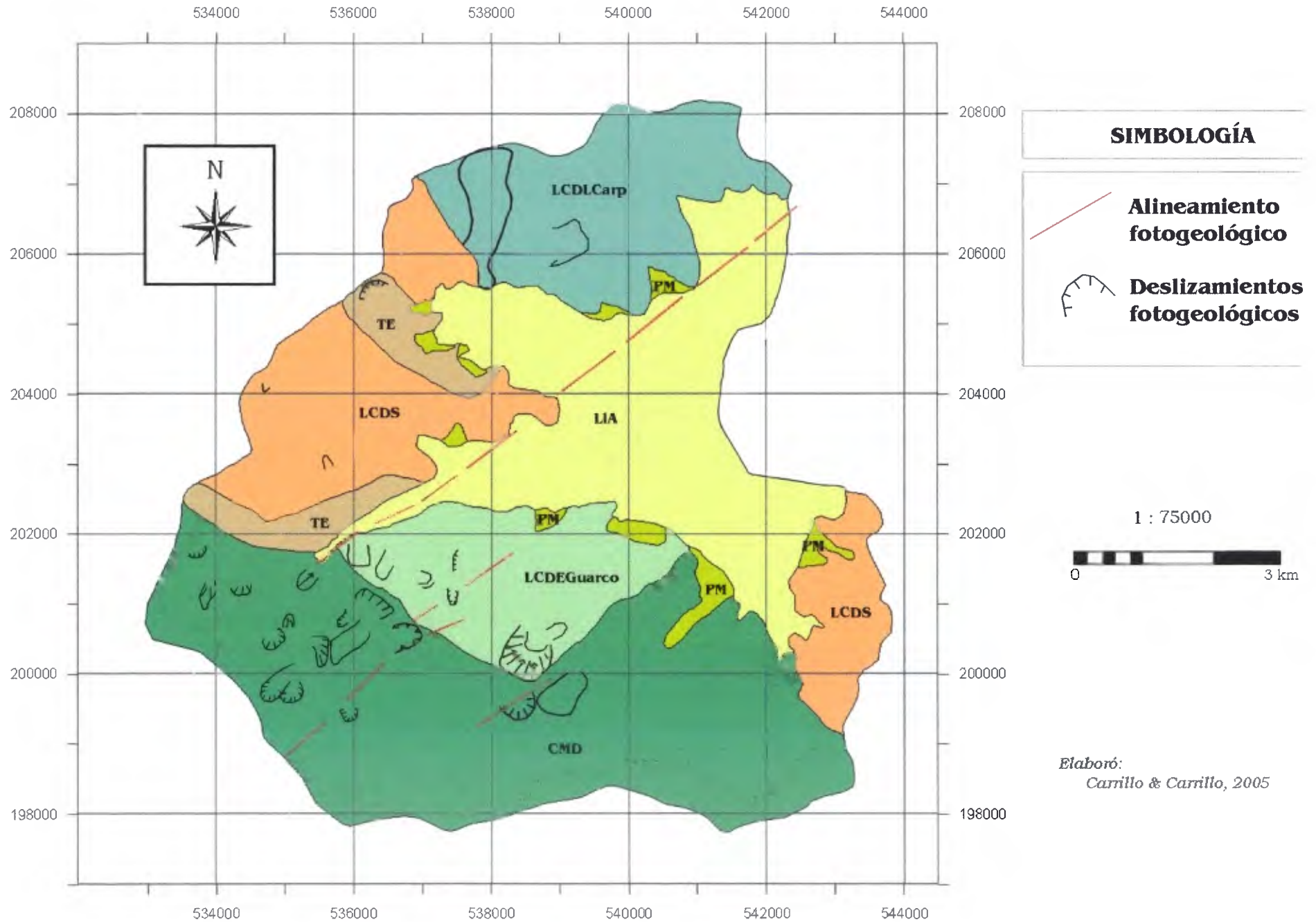
2. Laderas y colinas denudacionales en rocas de la Unidad Informal El Guarco (**LCDEGuarco**)

Los ríos y quebradas de esta unidad se caracterizan por ser tributarios primarios del Río Purires. Las laderas son de suave a moderadamente escarpadas cuyas pendientes varían de moderadas a fuertes, de mediana a severamente disectadas.

Esta unidad está conformada predominantemente por rocas de la Unidad Informal El Guarco, solo en un pequeño sector cerca de Tobosi afloran las areniscas de la Formación Coris.

Presenta alturas máximas de entre 1700 y 1800 m.s.n.m. El patrón de drenaje característico es el de tipo sub-dendrítico. Los valles de las quebradas son poco profundos y con poco caudal, además recorren poca distancia.

Figura N°2.9 MAPA GEOMORFOLÓGICO



3. Laderas y colinas denudacionales en rocas sedimentarias (LCDS)

Se ubica principalmente en el sector de Coris, Bermejo, Quebradilla y Guatuso, o sea, en el sector oeste y este del área de estudio. Las laderas son de suave a moderadamente escarpadas con pendientes predominantemente moderadas (menores a 23°). La topografía es ondulada y presenta un drenaje del tipo dendrítico.

El tipo de roca sobre el cual se desarrolla esta topografía se relaciona con las areniscas de la Formación Coris y las calizas de la Formación San Miguel. Presenta alturas máximas de entre 1600 y 1700 m.s.n.m.

4. Colinas y Montañas denudacionales (CMD)

Corresponde con el sector suroeste y sureste del área de estudio, específicamente en la parte alta del Río Purires en Tablón y en las cuencas de las Quebradas Cucaracha, Pedregal y Mollejones, en San Isidro del Tejar. Presenta pendientes fuertemente escarpadas, con ángulos superiores a los 35° , de moderada a severamente disectada.

Esta unidad está conformada por rocas ígneas, básicamente por las rocas que conforman la Unidad Informal El Guarco descrita en el capítulo correspondiente a la Geología Local de este trabajo.

El drenaje característico de esta zona es el de tipo dendrítico, con cauces profundos y caudales superiores a los de las otras unidades, la longitud de los ríos es mayor en esta zona y la vegetación de las laderas es más espesa que en el resto de la zona. Presenta alturas máximas de entre 2000 y 2100 m.s.n.m

Es sobre esta unidad donde se ubica la mayor parte de zonas inestables representada por deslizamiento, flujos de detritos y/o reptación intensa.

5. Taludes de Erosión (TE)

Se ubica en el sector oeste del área de estudio, específicamente en Bermejo y Tablón. Presenta pendientes fuertes con ángulos superiores a los 35° . El drenaje es poco desarrollado y corresponde con quebradas o riachuelos intermitentes.

Está conformada por rocas sedimentarias pertenecientes a la Formación Coris. Es una zona bastante estable, ya que, a pesar de su alta pendiente, no se observa caída de bloques, deslizamientos o reptación.

6. Piedemonte (PM)

Constituido por los depósitos coluviales que fueron transportados y depositados por la gravedad debido al cambio de la pendiente. Presenta pendientes menores a los 10°.

La composición del coluvio es muy heterogénea y varía de acuerdo con los sitios de afloramiento, sin embargo, predominan los flujos de bloques de lava andesítica, pertenecientes a las unidades informales La Carpintera y El Guarco descritas anteriormente, incluidos en una matriz areno-arcillosa.

7. Áreas severamente afectadas por movimientos en masa (Deslizamientos y reptación)

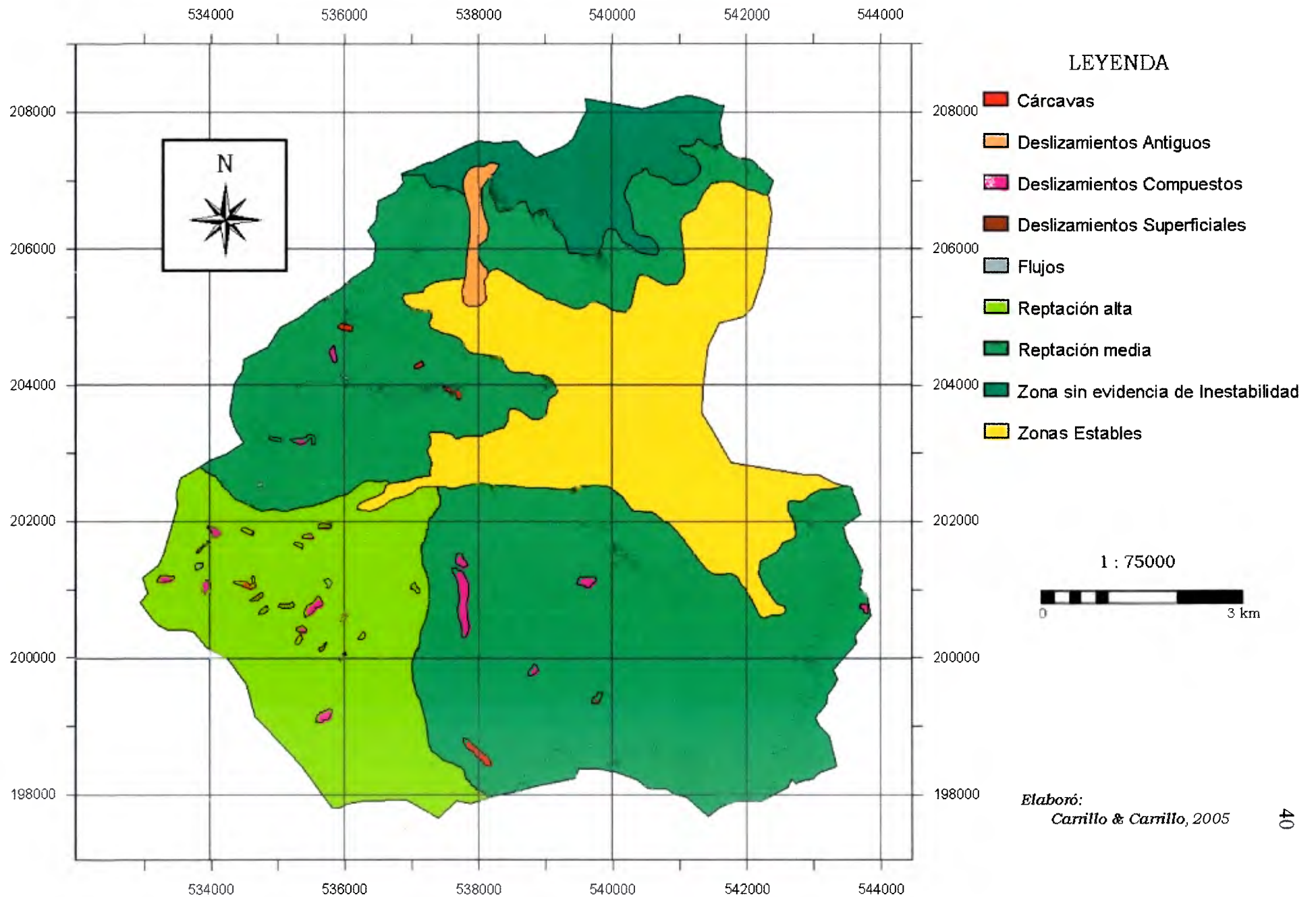
El sector sur del área de estudio, entre los poblados de Tablón, Tobosi y Barrancas, es donde se ubican las laderas más inestables de la zona. (Figs. 2.10 y 2.11).

El sector de Tablón se caracteriza por presentar laderas afectadas por una fuerte reptación y pequeños flujos de detritos muy superficiales.



Figura N°2.10 Reptación típica en la zona de Tablón
(coordenadas 200.450N-536.200W, hoja Carraigres)

Figura N°2.11 LADERAS INESTABLES (CONTROL DE CAMPO)



Elaboró:
Carrillo & Carrillo, 2005

El drenaje en esta zona es muy abundante, con pendientes fuertes, la roca aflorante está muy meteorizada y los espesores de suelo no sobrepasan los 50 cm, se muestra además, una evidente intervención antrópica. En Tobosi y Barrancas, por el contrario, se presentan deslizamientos más pronunciados, de mayor profundidad y extensión, hay poca reptación y se ubican en laderas de moderada pendiente.

Es importante mencionar que a través de fotografías aéreas se ubicaron posibles cicatrices o huellas de deslizamientos antiguos que actualmente, por comprobación de campo, no muestran ningún indicio de movimiento.

Deslizamientos más importantes del área de estudio:

1. Deslizamiento de Tablón

El Deslizamiento Tablón se ubica en las Coordenadas Lambert 201.930N-535.655W, margen izquierda del Río Purires, Hoja Cartográfica Abra, Cantón de El Guarco.

Este deslizamiento es de tipo rotacional, su dirección de movimiento es hacia el sureste y mide aproximadamente 200 m de largo por 200 de ancho. El material deslizado corresponde al coluvio que se ubica al piedemonte conformado principalmente por rocas de la Formación Coris. El efecto directo del desplazamiento de material provocó el:

- Cambio de línea de la fibra óptica
- Hundimiento de 100 metros de la ruta nacional 228
- Daños en la tubería de agua potable.
- Daño total y/o parcial en 17 viviendas

Actualmente existen 8 viviendas habitadas y 6 abandonadas por destrucción parcial o total.



Figura N° 2.12 Hundimiento en la Ruta Nacional N° 228
(coordenadas 201.800N-535.600W, hoja Abra)



Figura N°2.13 Daños ocasionados por el deslizamiento de Tablón en el año 1999
(coordenadas 201.800N-535.600W, hoja Abra)

2. Deslizamiento de la Quebrada Víbora

Se ubica a lo largo de toda la Quebrada Víbora, ubicada al sur del distrito de Tobosi, donde ambas márgenes de la quebrada se presentan muy inestables, iniciando desde la naciente y llegando hasta el centro poblacional. Algunas de las grietas medidas indican aberturas de 20 cm y 30 cm de profundidad en promedio.

La litología movilizada es principalmente la perteneciente a la Unidad Volcánica Informal El Guarco y algunos bloques de la Unidad Informal Monzogabro.

El deslizamiento, en esta quebrada, se inició aproximadamente en octubre de 1997 y hasta la fecha, se ha reportado el daño total de una casa de habitación, ubicada en la parte alta de la misma cuenca. (Mario Enrique Fuentes Alvarado, comunicación personal, habitante de esta zona). La comunidad que sería afectada por un eventual disparo de este deslizamiento es el centro de Tobosi.

3. Deslizamiento Bodocal

Se ubica en las Coordenadas Lambert 201.612N/537.316W de la Hoja Cartográfica Tapantí, distrito de Tobosi, Barrio La Cruz.

La litología afectada por este deslizamiento corresponde a la Unidad Informal El Guarco. Según lo comentado por la familia Vega Romero, este deslizamiento se activó en el año 1999, y desde ese año, ha retrocedido en forma lenta pero constante. Esta zona está cubierta principalmente por pasto y presenta una pendiente moderada.

4. Deslizamiento de Barrancas

Se ubica en las Coordenadas Lambert 201.341N/539.776W de la Hoja Cartográfica Tapantí, en el sitio homónimo.

Corresponde a un deslizamiento activo dentro de una estructura mayor que es aproximadamente, dos veces más grande que el deslizamiento activo. Según comentarios realizados por habitantes del área, el deslizamiento se inició en el año 1968, aproximadamente, debido a un fuerte temporal. Este deslizamiento es profundo y se mueve en dirección noroeste. Algunas de sus grietas presentan 3 metros de abertura por 1.60 de profundidad y es el tipo traslacional con componente rotacional.

El mandador de la finca menciona que los árboles han ido bajando progresivamente y en posición vertical, no se observaron árboles inclinados, pero si muchas grietas de abertura considerable, también indica que los movimientos principales se han dado en época de invierno. En la parte inferior del deslizamiento se observó una laguna de unos 4 m de diámetro.

Históricamente, no se han reportado daños causados por el desplazamiento de materiales hacia el sector de Barrancas. En caso de un disparo o un aumento progresivo de la corona del deslizamiento, posiblemente la comunidad más afectada es Barrancas

Los materiales que están siendo afectados por este deslizamiento son los materiales volcánicos de la Unidad Informal El Guarco.

5. Deslizamiento de Guatuso

Se ubica en las Coordenadas Lambert 201.150N/543.650W de la Hoja Cartográfica Tapantí, en el sector denominado Guatuso del Tejar.

Este deslizamiento no afecta ningún centro poblacional ni caminos principales, únicamente se ve afectado el camino que comunica Sabana con el Río Navarrito y fincas aledañas, igualmente, a través de él se puede llegar hasta el centro de Guatuso como ruta alterna.

La litología afectada por este deslizamiento corresponde a la Formación Coris. Se mueve en dirección E-SE y es del tipo rotacional.



Figura N°2.14 Vista frontal del Deslizamiento de Guatuso
(coordenadas 201.150N/543.650W, hoja Tapantí)

➤ Formas de origen Fluvial

Son formas originadas por la depositación de sedimentos de los ríos, poseen pendiente baja y topografía plana.

1. Llanura aluvial (LIA)

Se ubica en el sector central del área de estudio, a lo largo de los Ríos Purires y Coris. Son depósitos aluviales con topografía plana, casi horizontal, con pendientes suaves (menores a 8°). Presenta un drenaje del tipo dicotómico.

Se compone principalmente de cantos de formas redondeadas a subredondeadas y de moderada esfericidad, de tamaños centimétricos a decimétricos constituidos principalmente de areniscas, lutitas, lavas, intrusivos, dentro de una matriz de arena media a gruesa.

Esta zona ha sido aprovechada para la siembra de helechos y flores para exportación, así como para la industria, como lo son lecherías, porquerizas, fábrica de alimento para animales, Gerber, y se ubica también la Zona Industrial de Cartago.

2. Terrazas

Es un escalón que se encuentra paralelo a la longitud del Río Purires. Se ubica a ambos márgenes del río y corresponde a una topografía casi horizontal a suavemente inclinada. Se presenta de leve a moderadamente disectada. No sobrepasa los 5 metros de alto.



Figura N°2.15 Terraza sobre el Río Purires
(coordenadas 201.800N-535.600W, hoja Abra)

2.3 ASPECTOS GEOTECNICOS

En este apartado se realizará una descripción de las características físico-mecánicas de los suelos que se desarrollan en el área de estudio. Las muestras fueron tomadas en suelos generados por las diferentes litologías aflorantes en la zona, tomando como base el levantamiento geológico y el desarrollo del suelo residual observado directamente en el campo. En total se recolectaron 18 muestras a las cuales se les realizaron las siguientes pruebas de laboratorio: análisis granulométrico, peso unitario, límites de Atterberg y Corte Directo.

Las determinaciones de los suelos se basan en la norma D2487-92 para la clasificación de los suelos con propósitos de ingeniería, de la American Society for Testing and Materials (ASTM, 1993), el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y la Carta de Plasticidad de la British Standards Institution (BSI, 1975).

2.3.1 Marco Teórico

Los suelos tienen su origen a partir de la meteorización de los macizos rocosos que constituyen la roca madre, sometida a la acción ambiental disgregadora de la erosión.

Definición de suelo

A continuación se presenta la siguiente definición de suelo y perfil de meteorización del suelo residual, las cuales serán utilizadas en esta investigación (modif. de Mora, S., 1985)

Es la capa superficial de la corteza terrestre, que está formada por los sedimentos no consolidados, provenientes del transporte (suelos depositados) o formados por la meteorización "*in situ*" de las rocas (suelos residuales). Puede definirse como un agregado de granos minerales que pueden ser separados por acciones mecánicas simples o ligeras (deleznar con la mano, inmersión en agua y agitación, etc.) En contraposición, las rocas están formadas por agregados minerales ligados entre sí por fuerzas de cohesión fuertes y permanentes, que pueden ser vencidas sólo por acciones mecánicas importantes.

Perfil del Suelo Residual

El perfil de meteorización se forma a partir de procesos de desintegración y meteorización de la estructura original del macizo rocoso, que disgregan mecánicamente la roca, ya sea por procesos físicos, químicos o biológicos, generando una secuencia transicional de horizontes, con diferentes propiedades físico-mecánicas. Sobreyace la roca original no meteorizada, generando lo que se denomina suelo residual.

Los perfiles de meteorización (Fig. 2.16) pueden diferir considerablemente, debido a las variaciones locales en la estructura de la roca, condiciones topográficas y climáticas, velocidad de erosión, condiciones del agua subterránea - superficial y a la actividad biológica que actúan en el sector. Sin embargo, casi siempre se componen de al menos los siguientes tres horizontes característicos:

Horizonte I. Suelo Residual

Horizonte IA, zona de eluviación: Es el horizonte superficial. Esta es la zona que ha sido empobrecida por la infiltración del agua. A menudo se desarrollan texturas arenosas. Su parte superior es generalmente rica en materia orgánica.

Horizonte IB, zona de depositación: Originado por los materiales que han sido transportados desde el horizonte IA, por efecto del agua. Es generalmente de color oscuro, rico en minerales, con tamaños de grano dentro del margen de las arcillas y limos. Se encuentra alterado hasta tal punto que existe muy poca indicación del material materno y ninguna estructura original de la masa rocosa. Algunas veces puede llegar a enriquecerse de silicio, hierro y aluminio; además, puede resultar ser cementado o ser susceptible a un endurecimiento irreversible. Debido al transporte de minerales en suspensión o solución desde el horizonte IA, se produce una depositación de minerales secundarios y al hecho de estar sujeto a variaciones estacionales, en este horizonte es común la variación de las propiedades físicas y mecánicas.

Horizonte IC, Saprolito: en él se aprecian como “fantasmas” las estructuras originales de la roca, pero a pesar de ser éstas evidentes, el material se tipifica más como un suelo que como una roca. Entre estas estructuras se incluyen diaclasas, fallas y minerales que contienen orientaciones idénticas a las de sus posiciones relativas originales. El material, con la apariencia de una roca dura, posee la consistencia de un suelo y se comporta en muchos aspectos como tal. No obstante, la persistencia de las estructuras heredadas de la roca madre resultan en planos de debilidad, los

| CLASIFICACIÓN | ZONA | PERFIL TÍPICO | CARACTERÍSTICAS |
|--|--|---------------|---|
| (Comunes los suelos transportados y el humus) I SUELO RESIDUAL | IA HORIZONTE A | | Suelo superficial, raíces, materia orgánica. Desarrollo un horizonte de lixiviación y aluviación, puede presentar porosidad. |
| | IB HORIZONTE B | | Usualmente rico en arcilla, también contiene acumulaciones de Fe, Al, Si, por lo que puede ser cementado. Ausentes las estructuras heredadas |
| | IC HORIZONTE C (SAPROLITO) | | Presenta estructuras heredadas, predomina el material limo-arenoso. Menos del 10% de núcleos de la roca madre. |
| II ROCA METEORIZADA | II A ZONA DE TRANSICIÓN (REGOLITO) | | Altamente variable, desde materiales tipificados como roca hasta el suelo. Predomina la arena de grano fino a grueso, con un promedio entre 10 a 95% de núcleos de roca, conforme la profundidad aumenta. Es común la meteorización esferoidal. |
| | II B ROCA PARCIALMENTE METEORIZADA | | Se tipifica como roca, varía de blando a duro, la meteorización es predominante alrededor de las diaclasas. Alteración de algunos minerales menos resistentes. Se mantienen las estructuras originales de la roca, con evidencias de los movimientos. |
| ROCA SANA | | | Los óxidos ferroginosos son inexistentes o solo presentes en las diaclasas. Los feldespatos y micas no están meteorizados. |

Modificado de Mora, 1983

Fig. 2.16 PERFIL TÍPICO DEL SUELO RESIDUAL

cuales son mucho más continuos y numerosos que en la mayoría de los suelos transportados. Los limos arcillosos y las arenas limosas son predominantes.

Con el propósito de distinguirla de las capas de roca meteorizada descritos posteriormente, la zona IC puede también definirse cuando posee un contenido de núcleos de la roca madre de menos de 10% de su volumen. Un núcleo de roca es el término usado para describir un fragmento rocoso no meteorizado o parcialmente meteorizado, es decir, el remanente de un bloque de la roca madre.

Horizonte II. Roca Meteorizada

Horizonte IIA, zona de transición: Se le conoce también como “regolito” y es la transición del saprolito a la roca meteorizada. Este horizonte se caracteriza por los amplios límites de las propiedades fisico-mecánicas de sus componentes. Éstas varían desde materiales tipificados como suelos, hasta aquellos con núcleos tipificados como materiales rocosos. Estos núcleos de roca comprenden proporciones de 10 a 95% del volumen de la transición. La meteorización ocurre más rápidamente a lo largo de las diaclasas y fallas preexistentes y a lo largo de unidades litológicas que son más susceptibles al ataque de los agentes meteóricos. El suelo que rodea los núcleos de roca es usualmente arenoso de grano medio a grueso, con cierto contenido de finos. Este horizonte es generalmente permeable y los perforadores notan a menudo pérdidas de agua cuando la atraviesan.

Horizonte IIB, Roca parcialmente meteorizada: La roca contenida en este horizonte presenta una notable decoloración y algo de alteración a lo largo de las diaclasas. La alteración de los feldespatos y las micas ya ha comenzado, en algunos casos, de manera muy acusada. A medida que la alteración avanza, la roca se degrada de su estado original, presenta menor resistencia al corte y módulo de elasticidad, pero mayor permeabilidad.

Horizonte III. Roca Fresca

Roca Sana: Los feldespatos y las micas se presentan inalterados y las diaclasas exhiben muy poca o ninguna oxidación que pudiera ser atribuida a procesos de meteorización. El lecho de la roca no meteorizada puede ser, sin embargo, una masa de roca intensamente diaclasada. En todo caso, se considera, que el término “no meteorizada” es relativo, pues estaría en función de los intereses del profesional que lo usará para sus fines particulares.

2.3.2 Caracterización Físico-Mecánica de los Suelos

Las propiedades físicas de los suelos son aquellas que se utilizan para la clasificación, identificación y definición del estado del suelo. Entre ellas tenemos dimensión, distribución, naturaleza y peso específico de los granos, propiedades químicas, mineralógicas y de plasticidad, peso específico, porosidad, entre otros (MORA, 1996).

Las características mecánicas del suelo se observan a partir del comportamiento que presentan dichos suelos al ser sometidos a esfuerzos. Entre los parámetros mecánicos tenemos, resistencia a la compresión y al corte, variaciones de volumen, entre otros (MORA, 1996).

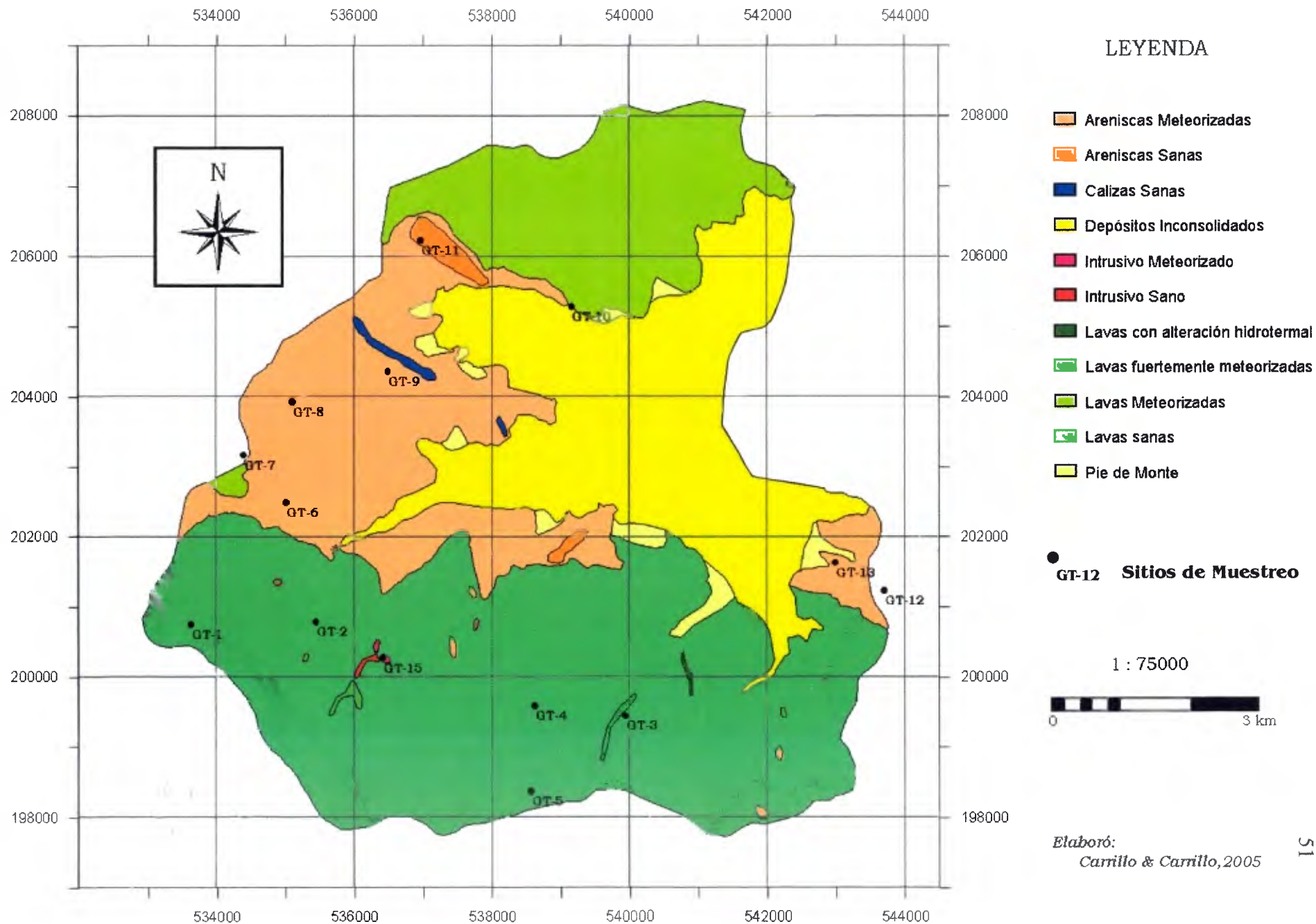
Para fines de este trabajo se realizaron las siguientes ensayos de laboratorio y campo: Análisis granulométrico, Límites de Atterberg, Corte directo, Contenido de humedad, gravedad específica, peso unitario, permeabilidad (Método Kostiakov).

2.3.3 Caracterización de los suelos y su relación con las unidades litológicas originales

En este apartado se presentan las descripciones y clasificaciones de los suelos identificados dentro del área de estudio, basadas en los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas (Fig. 2.17). La ubicación de los sitios de recolección de muestras y los resultados para cada una de los diferentes análisis se presentan en el Cuadro N°2.3. El Anexo III, muestra los resultados y cálculos de laboratorio para cada uno de los sitios ensayados.

En general, es posible indicar que el sector montañoso del área de estudio, se encuentra cubierto principalmente, por suelos residuales, generados de la meteorización de las litologías pertenecientes a la Formación Coris y las Unidades El Guarco y La Carpintera. En menor proporción, se constituyen por el suelo formado a partir de la meteorización de la Unidad de Monzogabro. Predominando en las áreas de baja pendiente, se encuentra el suelo transportado, rico en materia orgánica que ha sido generado por los sedimentos acarreados por los ríos y los movimientos en masa.

Figura N°2.17 MAPA DE SUELOS Y SITIOS DE MUESTREO GEOTÉCNICO



CUADRO 2.3
ENSAYOS REALIZADOS Y RESUMEN DE RESULTADOS, ENSAYOS DE GEOTECNIA

| MUESTRA | UBICACIÓN GEOGRÁFICA | | PROFUNDIDAD [m] | CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA SUCS | CONTENIDO HUMEDAD NATURAL [%] | LÍMITES DE CONSISTENCIA [%] | | | PESO UNITARIO [kN/m ³] | | GRAVEDAD ESPECÍFICA | COHESIÓN [KPa] | ÁNGULO DE FRICCIÓN [°] | PERMEABILIDAD NATURAL [cm/s] |
|---------|----------------------|------------|-----------------|---|-------------------------------|-----------------------------|----------|-----------------------|------------------------------------|--------|---------------------|----------------|------------------------|------------------------------|
| | LATITUD | LONGITUD | | | | LÍQUIDO | PLÁSTICO | ÍNDICE DE PLASTICIDAD | SECO | HÚMEDO | | | | |
| GT-1 | 200748.340 | 533639.400 | 1.2 | LIMO ELÁSTICO CON ARENA (MH), DE ALTA PLASTICIDAD | 38.18 | 68.50 | 47.30 | 21.20 | 13.00 | 17.16 | 2.70 | 4.97 | 24.40 | 5.00*10 ⁻⁶ |
| GT-2 | 200781.890 | 535446.150 | 2.0 | ARCILLA LIGERA ARENOSA (CI), DE PLASTICIDAD INTERMEDIA | 29.02 | 38.50 | 17.90 | 20.60 | 12.15 | 12.80 | 2.66 | 0.07 | 33.10 | 8.33*10 ⁻⁶ |
| GT-3 | 199439.480 | 539948.450 | 1.5 | LIMO ELÁSTICO ARENOSO (MH), DE ALTA PLASTICIDAD | 38.41 | 50.60 | 28.80 | 21.80 | 11.99 | 16.71 | 2.77 | 0.00 | 39.50 | 1.67*10 ⁻⁶ |
| GT-4 | 199583.260 | 538625.730 | 1.0 | ARCILLA LIGERA ARENOSA (CI), DE PLASTICIDAD INTERMEDIA | 36.13 | 49.40 | 26.20 | 23.20 | *** | *** | 2.69 | 7.58 | 31.70 | 5.00*10 ⁻⁵ |
| GT-5 | 198370.770 | 538582.600 | 0.6 | LIMO ELÁSTICO CON ARENA (MH), DE ALTA PLASTICIDAD | 42.97 | 56.20 | 37.60 | 18.60 | *** | *** | 2.68 | *** | *** | *** |
| GT-6 | 202489.450 | 535029.630 | 1.5 | LIMO ELÁSTICO CON ARENA (MH), DE ALTA PLASTICIDAD | 23.28 | 56.10 | 17.30 | 38.80 | *** | *** | 2.70 | *** | *** | *** |
| GT-7 | 203160.390 | 534401.820 | 2.5 | LIMO ELÁSTICO CON ARENA (MH), DE ALTA PLASTICIDAD | 45.78 | 58.50 | 21.50 | 37.00 | *** | *** | 2.69 | *** | *** | *** |
| GT-8 | 203920.580 | 535110.960 | 2.0 | ARENA ARCILLOSA CON GRAVA (SC), DE PLASTICIDAD INTERMEDIA | 22.91 | 43.50 | 21.50 | 22.00 | *** | *** | 2.67 | *** | *** | *** |
| GT-9 | 204343.360 | 536487.120 | 1.2 | LIMO ELÁSTICO CON ARENA (MH), DE ALTA PLASTICIDAD | 34.98 | 67.90 | 41.80 | 26.10 | 10.07 | 15.78 | 2.68 | 0.00 | 36.74 | 1.33*10 ⁻⁴ |
| GT-10 | 205274.910 | 539166.090 | 0.4 | LIMO ELÁSTICO CON ARENA (MH), DE ALTA PLASTICIDAD | 26.61 | 57.20 | 32.40 | 24.80 | *** | *** | 2.71 | *** | *** | *** |
| GT-11 | 206214.230 | 536975.360 | 1.2 | ARENA LIMO-ARCILLOSA (SC-SM), SIN PLASTICIDAD | 8.33 | np | np | np | *** | *** | 2.64 | *** | *** | *** |
| GT-12 | 201223.570 | 543700.810 | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | IMPERMEABLE |
| GT-13 | 201626.140 | 543001.110 | 0.2 | ARENA LIMO-ARCILLOSA (SC-SM), SIN PLASTICIDAD | 19.74 | np | np | np | *** | *** | 2.65 | *** | *** | 3.33*10 ⁻⁶ |
| GT-14 | 207170.420 | 542263.800 | 0.6 | ARENA ARCILLOSA (SC), DE PLASTICIDAD INTERMEDIA | 18.64 | 41.90 | 22.70 | 19.20 | *** | *** | 2.69 | *** | *** | *** |
| GT-15 | 200266.040 | 536418.780 | 2.0 | ARENA BIEN GRADADA (SW) LIMO-ARCILLOSA, SIN PLASTICIDAD | 13.02 | np | np | np | *** | *** | 2.63 | *** | *** | *** |
| GT-16 | 198750.000 | 535600.000 | 4 | LIMO ELÁSTICO CON ARENA (MH), DE ALTA PLASTICIDAD | 57.77 | 64.2 | 39.8 | 24.40 | 9.28 | 14.64 | 2.7 | 3.22 | 30.7 | *** |
| GT-17 | 199550.000 | 541350.000 | 8 | LIMO ELÁSTICO (MH), DE ALTA PLASTICIDAD | 78.47 | 60.5 | 42.1 | 18.20 | 7.41 | 13.23 | 2.68 | 9.66 | 27.7 | *** |

Notas: *** no realizado
 np no presenta

1. Depósitos Recientes

Aluviones: constituidos por bloques métricos de formas angulares-redondeadas dispersos en una matriz areno-gravosa. La composición de los fragmentos es semejante a la descrita para las unidades litológicas aflorantes, en la cuenca respectiva. Sus espesores visibles no sobrepasan los 2 m. En la Unidad de Llanura Aluvial, estos depósitos se encuentran principalmente en el Río Purires.

Materiales Coluviales: originados por efectos de la remoción en masa (deslizamientos, flujos de detritos, reptación, abanicos coluviales, etc), mantienen la misma descripción física que el suelo residual respectivo, así mismo la composición de los bloques es semejante a la descrita para las unidades litológicas aflorantes. Sin embargo, la estructura y las características de resistencia al corte son de carácter residual, por lo que no han sido evaluadas. En la Unidad de Llanura Aluvial, el suelo predominante se caracteriza por un color café parduzco, compuesto principalmente por limos arenosos y arcillas arenosas. Son ricos en materia orgánica y su origen se asocia a los depósitos favorecidos por inundaciones. Su espesor promedio es de 4 metros, con base en información de la estratigrafía de pozos. Sobre ellos se desarrolla una intensa actividad agrícola-industrial de exportación (helechos, flores) y en menor proporción la actividad ganadera e industrial (Zona Industrial de Cartago).

2. Suelo Residual del Monzogabro

Los afloramientos de la roca original son muy localizados. Su perfil típico presenta principalmente el desarrollo de los horizontes IC y IIA. Granulométricamente, son clasificados como arenas bien gradadas, con un porcentaje de finos menor al 10% (Muestra GT-15). Es un suelo gris claro, fácilmente deleznable, constituido principalmente por cuarzo, feldespatos y biotita, minerales resistentes al proceso de arenización que ha afectado al monzogabro.



Figura N° 2.18 Suelo residual del Monzogabro
(coordenadas 200.250N-536.100W, hoja Carraigres)

Este suelo posee un máximo espesor visible de 4 metros y con base en las características granulométricas determinadas, posee una alta permeabilidad aparente.

3. Suelo Residual de la Formación Coris

Este suelo residual está ampliamente distribuido en el sector NW del área de investigación. Presenta todos los horizontes característicos de la meteorización residual de las rocas. Es importante hacer notar, que debido a su origen a partir de una roca sedimentaria, presenta variaciones laterales producto de las características de las facies locales. A continuación se presenta la descripción general de los horizontes observados, así como su respectiva caracterización geotécnica:

- **Horizonte IA:** es la zona donde se desarrollan las raíces de la vegetación. De distribución irregular, en algunos lugares posee unos 20 cm de espesor y en otros sitios está ausente. Debido a esta poca continuidad no se han realizado ensayos de caracterización geomecánica para este horizonte. Posee un color pardo amarillento oscuro y una textura areno arcillosa.
- **Horizonte IB:** de color pardo rojizo con diversas tonalidades que varían en relación directa con el contenido de humedad. Al igual que el horizonte anterior, su distribución es irregular, por lo que no ha sido caracterizado geomecánicamente, siendo característica la granulometría areno arcillosa. El máximo espesor observado es de 30 cm. En él se evidencian procesos de reptación, debido

principalmente a las inadecuadas prácticas de uso del suelo así como a las pendientes donde se localiza.

- **Horizonte IC:** posee una amplia extensión, siendo el material característico del suelo meteorizado de la formación Coris. Se aprecian las diaclasas, estratificación, pátinas de oxidación, etc; como estructuras fantasmas de la roca original. Su color es pardo amarillento, con tonalidades variables dependiendo del contenido de humedad. Las muestras GT-8, GT-9, GT-12 y GT-13, describen sus características geotécnicas. El espesor máximo observable es de 5 metros. En general, es de indicar que posee una baja plasticidad y una textura de arena fina con algo de arcillas y limos. Su permeabilidad es mala encontrándose en el rango de $10^{-4} - 10^{-6}$ cm/s. Su ángulo de fricción promedio es de 35° y no posee cohesión real; sin embargo, la humedad y el contacto de los planos de estratificación generan una cohesión aparente. Es importante resaltar que las zonas de inestabilidad que se presentan en estos materiales, son asociadas principalmente a las pendientes (favorables al deslizamiento), a los cortes de camino inapropiados, así como a las inadecuadas prácticas de uso del suelo.
- **Horizonte IIA:** es la transición a la roca parcialmente meteorizada, sus límites son difíciles de establecer y se caracteriza principalmente por un desarrollo de la meteorización a partir de las zonas de debilidad (diaclasas, estratificación, etc) de la roca original. El espesor máximo visible es de 2 metros. Los bloques de roca son centimétricos y tanto la roca como el sector meteorizado presentan las mismas características granulométricas (SC-SM), debido principalmente a la resistencia de los granos de cuarzo, principal componente de la Formación Coris. La muestra GT-11 es su principal exponente.

4. Suelo Residual de las Unidades Volcánicas Informales

Unidad La Carpintera

Se distribuye en el sector Norte de la cuenca hidrográfica. Presenta poco desarrollado su perfil de meteorización, siendo su exposición como ventanas. Debido a limitantes del acceso a las propiedades privadas, no fue posible desarrollar un mayor muestreo en este sector. El perfil de suelo observado, se caracteriza de la siguiente manera:

- **Horizonte IB:** de color café oscuro. Su distribución es irregular, su muestreo solo ha sido posible en el corte del camino público (muestra GT-10), por lo que se describen puntualmente sus características. El máximo espesor observado es de 1,0 m. Se caracteriza por una textura limo

arenosa, con alta plasticidad, una gravedad específica de 2,71 y un bajo potencial al cambio de volumen.

- **Horizonte IIA:** es la transición a la roca meteorizada, sus límites son difíciles de establecer, siendo el espesor máximo visible de 2 metros. Se caracteriza principalmente por la presencia de bloques subredondeados de la roca original, envuelta en una matriz areno-arcillosa. Se observa en algunos casos meteorización esferoidal. No obstante estas características se observan esporádicamente al sur del área de estudio, son más comunes en el sector norte (Cerros de la Carpintera), la muestra que le representa (GT-14) fue tomada en este último sector. Posee una textura de arena arcillosa de plasticidad intermedia, color café claro y una gravedad específica de 2,69, debido a las condiciones del material y de los afloramientos, no fue posible extraer una muestra inalterada, para determinar sus características mecánicas.

Unidad El Guarco

Se distribuye ampliamente en el sector Sur de la cuenca hidrográfica. El perfil de meteorización, posee su mejor exposición en el sector de Tablón, tanto en la parte alta de la cuenca del río Purires como en los cortes de camino.

Los productos generados por la meteorización de las diferentes litologías que conforman este grupo, se encuentran dentro de un mismo rango de valores en relación a las características físico-mecánicas. Estos suelos se encuentran constituidos por un material arcillo arenoso, de baja permeabilidad y tonalidades varicolores. No obstante, en apariencia general y debido a los colores presentados, es posible confundirlo con los suelos generados por la formación Coris, la diferencia principal es que estos materiales no poseen granos de cuarzo.

A continuación se describe el perfil general del suelo residual asociado a este grupo litológico:

- **Horizonte IA:** es la zona donde se desarrollan las raíces de la vegetación. De distribución irregular, en algunos lugares posee unos 10 cm de espesor y en otros sitios está ausente. Debido a esta poca continuidad no se han realizado ensayos de caracterización geomecánica para este horizonte. Posee un color café oscuro y una textura limo-arcillosa. No se evidencia claramente un nivel enriquecido con materia orgánica
- **Horizonte IB:** de color café parduzco con diversas tonalidades que varían en relación directa con el contenido de humedad. Su distribución es irregular, por lo que solo ha sido caracterizado en la muestra GT-5 y parcialmente en las muestras GT-4, GT-7 y GT-10. El máximo espesor observado

es de 1,0 m. Se caracteriza por una textura limo arenosa, con alta plasticidad, una gravedad específica de 2,68 y un bajo potencial al cambio de volumen.

- **Horizonte IC:** debido a su amplia extensión, se considera que éste es el horizonte característico de esta unidad litológica. El máximo espesor visible es de 10 metros. Como estructuras fantasmas se aprecian diaclasas, pátinas de oxidación, recristalización, etc. Como característica general es varicolor, por lo que es fácilmente confundible con el suelo residual de la Formación Coris. Las muestras GT-1 y GT-6 le caracterizan, mientras que las muestras GT-4 y GT-7 le describen parcialmente sus características geotécnicas. En general, es de indicar que posee una textura de limo arenoso, con alta plasticidad. Su permeabilidad es mala encontrándose en el rango de 10^{-6} cm/s. El ángulo de fricción promedio es de 32° y una baja cohesión de 4 kPa, sin embargo, la humedad y el contacto de los planos de diaclasamiento generan una cohesión aparente más alta.

En el sector de Higuito del Tejar (GT-3), predominan los materiales hidrotermalizados, caracterizados por la muestra GT-3. Su textura es arcillosa arenosa, de baja plasticidad presenta un ángulo de fricción promedio de 33° y una cohesión muy baja (0,1 kPa). Su color es gris claro. Los efectos del hidrotermalismo endurecen la roca, por lo que los fenómenos de inestabilidad son localizados principalmente en los cortes de caminos.

2.4 USO DE LA TIERRA

La capacidad de uso de la tierra consiste en definir, para un terreno dado, el grado de intensidad de su uso con base en la calificación de las limitaciones del terreno para producir en forma sostenida cultivos, pastos y bosques sin deterioro del suelo y por períodos prolongados de tiempo. A continuación se presenta la información recopilada en relación a la capacidad del uso de la tierra (Fig. 2.19), para el área de estudio:

CUADRO 2.4

CAPACIDAD TEÓRICA DEL USO DE LA TIERRA, MICROCUENCA RÍO PURIRES. Ejemplos y explicación de la simbología de los mapas de capacidad de uso de la tierra (Fuente: MAG, 1995).

| CÓDIGO | LECTURA DE LA SIMBOLOGÍA |
|-----------------|---|
| A | Tierras aptas para cultivos y/o pastos |
| VF4ppi | Tierras aptas para manejo del bosque natural, con pendiente de 15 a 30% y limitantes de profundidad efectiva y pedregosidad |
| VF4tf | Tierras aptas para el manejo del bosque natural con pendiente de 15 a 30% y limitantes de textura y fertilidad |
| VI4tfzv | Tierras aptas para la producción forestal, frutales o café, con pendiente de 15 a 30% y limitantes de textura, fertilidad y zona de vida. |
| VI5n | Tierras aptas para la producción forestal, frutales o café, con pendiente de 30 a 50% y limitantes de neblina moderada. |
| VI4pizvn | Tierras aptas para la producción forestal, frutales o café, con pendiente de 15 a 30% y limitantes de pedregosidad, zona de vida y neblina. |
| VII5p | Tierras aptas para el manejo del bosque o regeneración natural, con pendiente de 30 a 50% y suelos limitado por profundidad efectiva. |
| VII6ppi | Tierras aptas para el manejo del bosque o regeneración natural, con pendiente de 50 a 75% y limitantes de profundidad efectiva y pedregosidad. |
| VII6nv | Tierras aptas para el manejo del bosque o regeneración natural, con pendiente de 50 a 75% y limitantes de neblina y viento. |
| VIII7znv | Tierras aptas para la preservación de flora y fauna, protección de áreas de recarga acuífera, reserva genética y belleza escénica, con pendiente de más de 75% y limitantes de zona de vida y neblina. |
| VIIIId | Tierras aptas para la preservación de flora y fauna, protección de áreas de recarga acuífera, reserva genética y belleza escénica, con pendiente menor a 3% y limitado por drenaje. |
| VIII7ept | Tierras aptas para la preservación de flora y fauna, protección de áreas de recarga acuífera, reserva genética y belleza escénica, con pendiente mayor a 75% y limitantes de erosión, profundidad efectiva y textura. |
| VF4pizvn | Tierras aptas para manejo de bosque natural, con pendiente de 15 a 30% y limitantes de pedregosidad, zona de vida y neblina. |
| VF4ept | Tierras aptas para manejo del bosque natural, con pendiente de 15 a 30% y limitantes de erosión, profundidad efectiva y textura. |
| VI5etps | Tierras aptas para la producción forestal, frutales o café, con pendiente de 30 a 50% y limitantes de erosión, textura, profundidad efectiva y periodo seco. |
| VI5v | Tierras aptas para la producción forestal, frutales o café, con pendiente de 30 a 50% y limitante de viento. |
| VI4ep | Tierras aptas para la producción forestal, frutales o café, con pendiente de 15 a 30% y limitantes de erosión y profundidad efectiva. |
| VII5etf | Tierras aptas para el manejo de bosque o regeneración natural, con pendiente de 30 a 50% y limitantes de erosión, textura y neblina. |
| VII5n | Tierras aptas para el manejo del bosque o regeneración natural, con pendiente de 30 a 50% y limitantes de neblina. |
| VIIIdr | Tierras aptas para el manejo del bosque o regeneración natural, con pendiente inferior a 3% y limitantes de drenaje y riesgo de inundación. |
| VIII5ppi | Tierras aptas para la preservación de flora y fauna, protección de áreas de recarga acuífera, reserva genética y belleza escénica, con pendiente de 30 a 50% y limitantes de profundidad efectiva y pedregosidad. |
| VIII7nv | Tierras aptas para la preservación de flora y fauna, protección de áreas de recarga acuífera, reserva genética y belleza escénica, con pendiente mayor a 75% y con limitantes por neblina y viento. |
| VIII6pt | Tierras aptas para la preservación de flora y fauna, protección de áreas de recarga acuífera, reserva genética y belleza escénica, con pendiente de 50 a 75% y limitantes de profundidad efectiva y textura. |

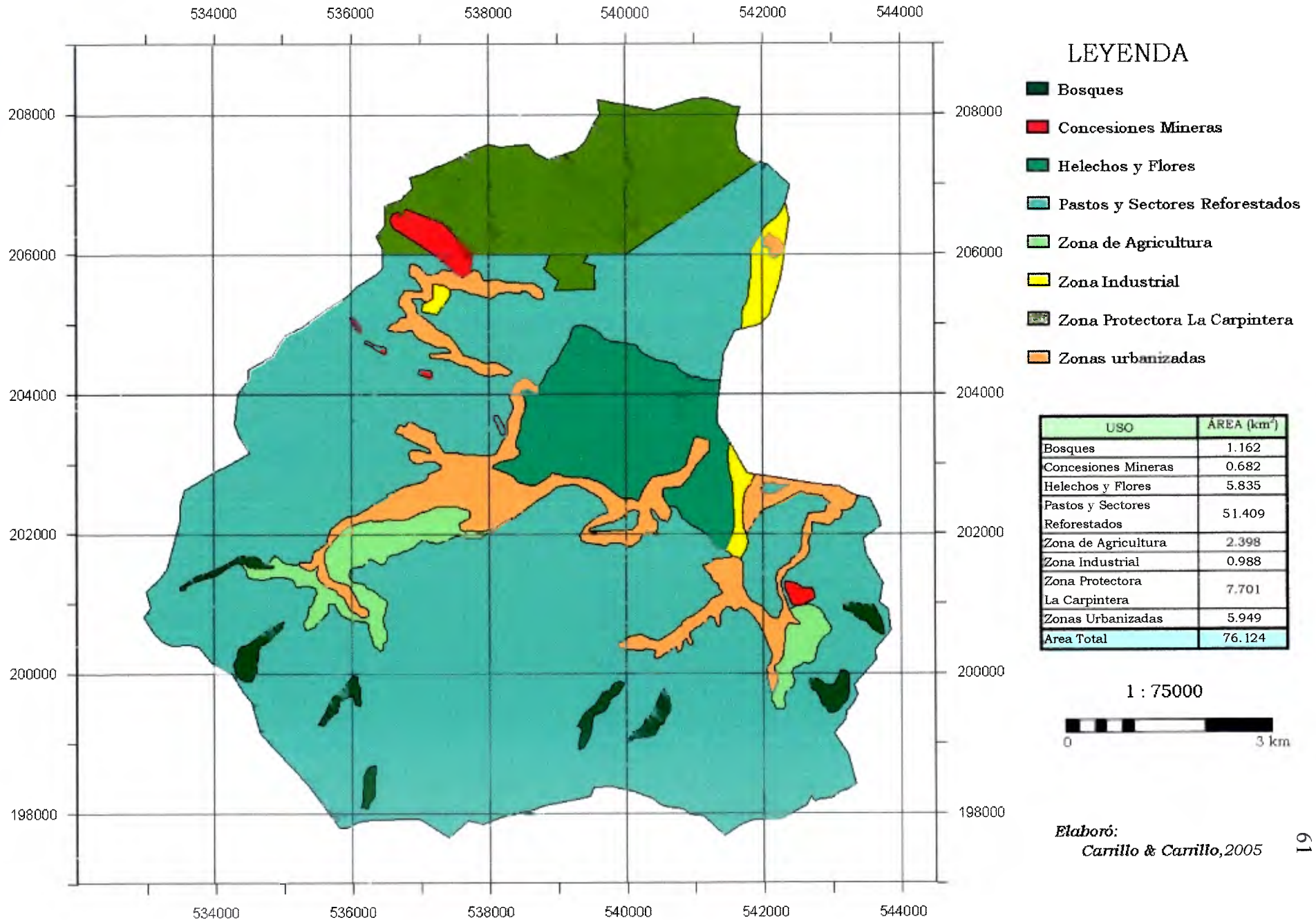
2.4.1 Uso actual del suelo en la microcuenca del Río Purires

El mapa de uso del suelo de la cuenca del río Purires se realizó basándose en interpretación fotogeológica y por comprobación de campo (Fig. 2.20).

CUADRO 2.5
USO ACTUAL DEL SUELO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PURIRES

| Superficie Microcuenca [km ²] | Nombre | Sectores | Uso actual |
|---|--------------------------------|---|--|
| 51,409 | Pastos y Sectores Reforestados | partes intermedias y bajas de las laderas de los cerros La Carpintera | árboles dispersos. Únicamente la finca de la señora Keyna Ramírez es utilizada para ganadería (205-206N/539-540W). |
| | | partes altas e intermedias de las laderas en Tablón, Tobosi, Barrancas y Guatuso | Árboles dispersos, ganadería, lecherías, porquerizas. |
| | | Alrededores de Coris, Bermejo y Quebradilla | |
| 7,701 | Zona Protectora La Carpintera | partes altas de los cerros La Carpintera | Zona Protectora La Carpintera (bosques secundarios y algunos parches de bosque primario) |
| 5,949 | Zonas urbanizadas | Poblados más importantes a la orilla de los caminos | Asentamientos humanos |
| 5,835 | Helechos y Flores | zonas planas | Sembradíos de plantaciones no tradicionales para exportación, |
| 2,398 | Agricultura | partes bajas de las laderas en Tablón, Tobosi, Barrancas y Guatuso | caña, legumbres, hortalizas |
| 1,162 | Bosques | sector sur del área, específicamente en las nacientes del río Purires, y la Quebrada Cucaracha y Pedregal | Bosques secundarios y algunos parches de bosque primario intervenidos |
| 0,988 | Zonas Industrial | Alrededores RN 2 | Zona Industrial de Cartago |
| 0,682 | Concesiones Mineras | Alrededores de Coris, Bermejo y Guatuso | Planta Beneficiadora de Arena Sílica [SICORSA], Tajo Guayabal, Tajos artesanales |

Figura N°2.20 MAPA DE USO DEL SUELO



Elaboró:
Carrillo & Carrillo, 2005

2.5 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS

El aumento de la presión de poros se desarrolla por el aumento de la humedad del suelo. Naturalmente, ésta humedad depende de las características físico-mecánicas de los suelos, así como de la cantidad de agua aportada por la naturaleza en forma de lluvia. El efecto de absorción del agua de lluvia en el suelo, depende entre otros factores de la intensidad y cantidad de lluvia, la radiación solar y la humedad. Es por esta razón que se realiza una revisión del clima del área de estudio, mediante la información aportada por tres estaciones meteorológicas (Fig. 2.21), cuyas características se presentan a continuación:

Estación Tablón-Guarco, Cartago

Latitud Norte: 9°50' Longitud Oeste: 84°01'

Altitud: 1670 metros

Período de registro: Lluvias: 1984 - 2001

Operada por: Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento SENARA,

Tipo: PV

Estación Coris-Guarco, Cartago

Latitud Norte: 9°51' Longitud Oeste: 83°59'

Altitud: 1410 metros

Período de registro: Lluvias: 1984 - 1991

Operada por: Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento SENARA,

Tipo: PV

Estación Linda Vista-Guarco, Cartago

Latitud Norte: 9°50' Longitud Oeste: 83°58'

Altitud: 1400 metros

Período de registro: Lluvias: 1951 – 2002

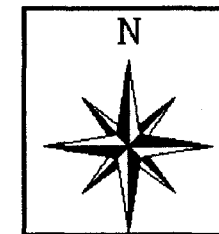
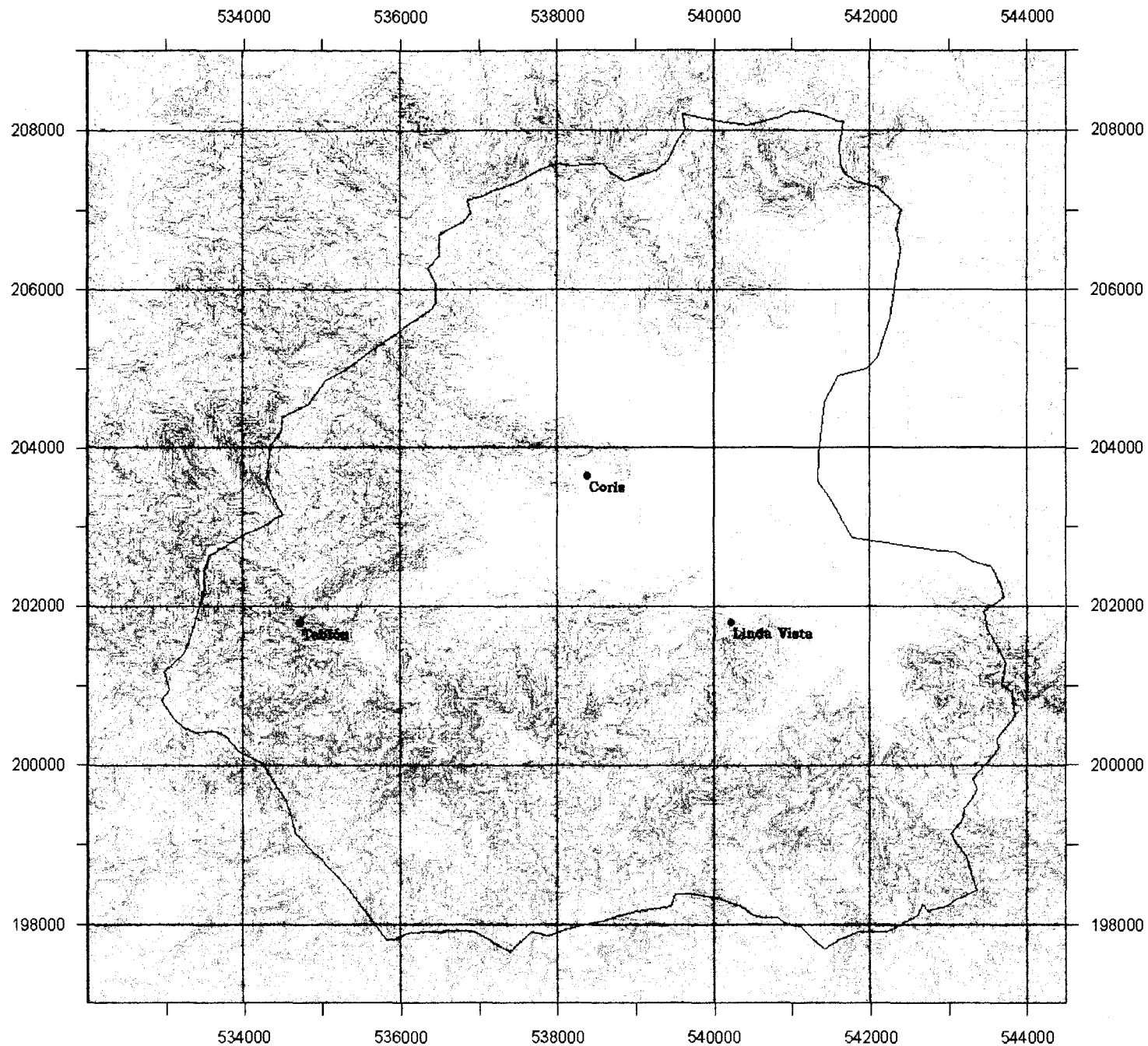
Brillo solar: 1988-1993

Temperatura: 1951-2002

Humedad relativa: 1993-2002

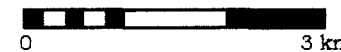
Operada por: Instituto Meteorológico Nacional, IMN-MINAE

Figura N°2.21 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS



**Fuente: Departamento de Gestión
de Información y Comercialización
Instituto Meteorológico Nacional
IMN
Ministerio de Ambiente y Energía
MINA E**

1 : 75000

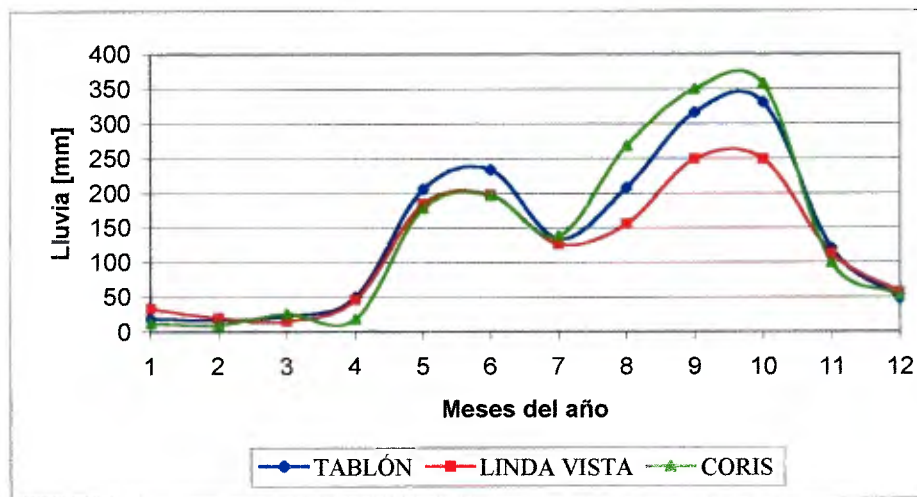


*Elaboró:
Carrillo & Carrillo, 2005*

2.5.1 Pluviosidad

La lluvia, es el único parámetro meteorológico registrado en las tres estaciones meteorológicas localizadas dentro del área de estudio (Fig. 2.22). Estableciendo una relación porcentual entre los datos existentes, es posible indicar que para el total del promedio anual de lluvias registrado en la microcuenca. La estación Linda Vista aporta el 30%, mientras que las estaciones de Tablón y Coris registran un aporte del 35% respectivamente.

FIG. 2.22
PROMEDIOS MENSUALES DE LLUVIA PARA TODO EL REGISTRO.

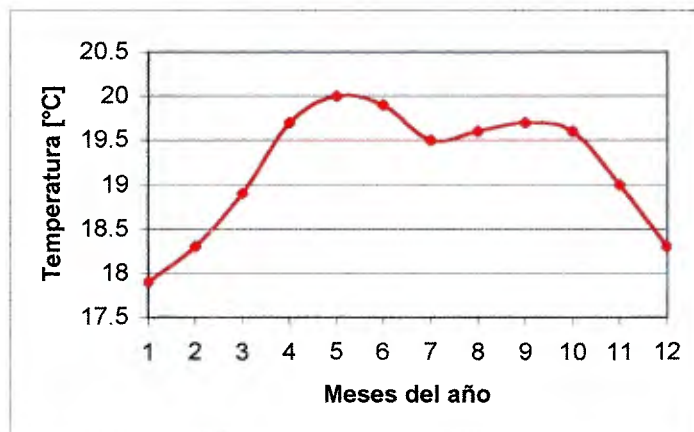


Entre los meses de diciembre y abril, se presenta una estación seca marcada por promedios mensuales de lluvia inferior a 100 mm. En este período se presenta un aporte promedio de 10% del registro promedio anual de lluvia. En el mes de mayo se presenta de forma muy marcada el inicio de la época lluviosa, la cual se extiende hasta el mes de octubre. En el mes de julio se presenta una disminución en las lluvias, lo que se asocia al efecto del veranillo de San Juan. En noviembre se presenta la transición de la época lluviosa a la época seca, con un aporte promedio del 6% anual.

2.5.2 Temperatura

El promedio de la temperatura mensual (Fig. 2.23) durante el período de mayo a octubre (época lluviosa), varían entre 19,5-20,0°C, siendo los valores más altos registrados en la zona de estudio. Durante los meses de noviembre a abril se registran temperaturas promedio entre los 18 y 19°C, siendo enero el mes más frío (17,9 °C prom).

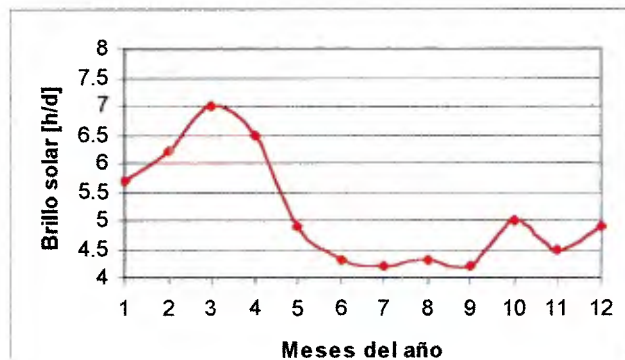
FIG. 2.23
VALORES PROMEDIO DE TEMPERATURA MENSUAL
ESTACIÓN METEOROLÓGICA LINDA VISTA IMN



2.5.3 Heliofanía

El brillo solar (Fig. 2.24) varía desde 7,0 horas en marzo, el mes más soleado. Los meses más nublados son julio y septiembre con un promedio de 4,2 horas de sol diarias. Los meses más soleados son enero, febrero marzo y abril, coincidiendo con la época seca, con valores superiores a 5,5 horas de sol diarias en promedio mensual. Los demás meses del año poseen en promedio mensual menos de 5 horas de sol diarias.

FIG. 2.24
PROMEDIO MENSUAL DE HORAS DE SOL DIARIAS
ESTACIÓN METEOROLÓGICA LINDA VISTA, IMN



2.5.4 Humedad Relativa

La humedad relativa del aire (Fig. 2.25), es menor durante los meses de enero, febrero marzo y abril con un valor promedio mensual de 81%. Entre los meses de mayo – diciembre, presenta valores superiores a 84%, siendo el mes de octubre el de mayor reporte (87%).

FIG. 2.25
VALOR PROMEDIO MENSUAL DE LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE
ESTACIÓN LINDA VISTA, IMN



CAPÍTULO III

DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD NATURAL A LA INESTABILIDAD DE LADERAS

(MICROCUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PURIRES)

El origen de la inestabilidad en las laderas, esta directamente relacionada con los procesos de erosión y meteorización de las rocas. Peraldo (2000), le identifica como factores pasivos la pendiente de la ladera, cobertura vegetal, las características físico-mecánicas del suelo (contenido y tipo de arcillas, granulometría, cohesión, humedad natural, resistencia al corte, etc), existencia de planos estructurales a favor de la pendiente, entre otros. Es a estos factores los que se denominan factores de susceptibilidad natural. Estudios realizados por la Escuela de Ingeniería Civil - UCR, concluyen que, incluir una gran cantidad de factores no mejora significativamente el modelo ni la precisión del mapa (Garro, 2002).

El Método Mora-Vahrson (1993) evalúa el relieve del terreno, su constitución litológica y las condiciones usuales de su humedad natural. La combinación de los diferentes elementos o parámetros, se realiza mediante la asignación de pesos propios, ponderando su grado de influencia, mediante la consideración de las características físicas del material (meteorización, alteración, nivel de fracturación, etc), diferencias de elevación y un balance hídrico simplificado.

Con el objeto de aplicar los procesos de cálculo automático, se han definido varias clases de índices de influencia de los parámetros analizados. Para ello, se ha hecho un análisis estadístico por medio de un histograma de distribución normal. La Metodología advierte sobre la conveniencia de realizar el mismo ejercicio en cada región estudiada, para efectos de considerar las condiciones locales y la escala utilizada. (Mora & Vahrson, 1993).

La combinación de los pesos relativos puede realizarse por medio de una ecuación empírica sencilla:

$$\text{Elemento de Susceptibilidad} = \text{Índice Relieve Relativo} * \text{Litología} * \text{Humedad} \quad (2)$$

3.1 FACTORES DE SUSCEPTIBILIDAD NATURAL

El objetivo de este capítulo consiste en determinar las áreas más susceptibles a la inestabilidad de laderas, considerando en la evaluación solamente factores naturales. En el proceso de gestión del riesgo, la

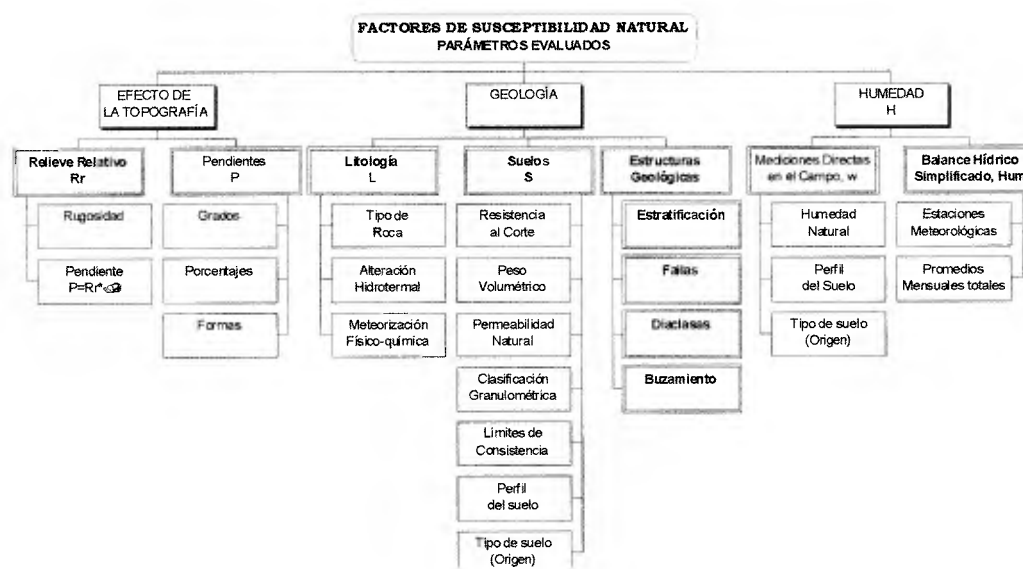
susceptibilidad se define como un parámetro de evaluación del tipo determinístico que no toma en cuenta mecanismos de disparo.

En esta investigación se ha utilizado un enfoque heurístico el cual consiste en asignar pesos a factores que favorecen la inestabilidad (factores de susceptibilidad natural). Estos pesos pueden asignarse arbitrariamente (por medio de la experiencia del investigador), estadísticamente (histogramas) o en conjunto. Entre las principales ventajas de este enfoque, son su relativa sencillez, bajo costo asociado y el ahorro considerable de tiempo.

En este capítulo se analizará la susceptibilidad de las laderas para cada uno de los parámetros de forma independiente y luego se aplicará la fórmula evaluándolos en forma conjunta.

Debido a que se han presentado algunas inquietudes que proponen más recomendable el variar algunos parámetros en relación a la metodología original, en esta investigación, se decidió comparar resultados, tal es el caso de sustituir el Relieve Relativo por las pendientes en grados y los datos de humedad obtenidos por un balance hídrico simplificado en comparación con los datos obtenidos directamente en el campo.

El siguiente esquema, representa todos los factores analizados como parte de esta investigación, y que serán explicados en los apartados siguientes:



Debido a que los resultados obtenidos mediante este análisis comparativo de diferentes parámetros, no justificó apartarse de la metodología original, el mapa de Susceptibilidad Natural se obtuvo de la aplicación directa del método, únicamente se requirió ajustar los rangos de algunos parámetro mediante la aplicación estadística establecida por la metodología original, para efectos de considerar las condiciones locales.

3.1.1 Evaluación del efecto de la topografía

Este parámetro fue evaluado de dos formas: a través del Relieve Relativo y por medio de pendientes en grados, esto debido a las inquietudes presentadas y a la necesidad de obtener mejores resultados en la investigación.

*** Mediante el Índice de Relieve Relativo, Rr**

Metodología

Es la traducción de la rugosidad natural del terreno. Este es el indicador que se establece en la Metodología Mora-Vahrson (1993), permite la evaluación y análisis del efecto de la rugosidad del terreno e involucra el concepto de pendiente de ladera. Para medir esta rugosidad se establece, para el centro de cada unidad de área, la mayor diferencia de elevación que precise la escala del mapa que se está utilizando.

$$Rr = \Delta h_{\max} / A \quad [m/km^2] \quad (4)$$

Siendo Δh_{\max} : mayor diferencia de elevación en el área A

Mediante la ayuda de filtros y Modelos de Elevación Digital (DEMs), ha sido posible calcular el factor de Relieve Relativo. El filtro utilizado es el denominado “*rank order*” establecido en el Sistema de Información Geográfico (SIG) utilizado (ILWIS 3.0 Academic).

Basándonos en la clasificación mostrada por el método, los valores obtenidos para el Relieve Relativo varían entre 0 y 70, al cual se le asigna, a toda el área, un valor único de 0 con un calificativo de muy bajo.

De esta forma, se obtiene que, con este resultado, simplemente no se desarrollarán los deslizamientos debido a la falta de suficiente pendiente en las laderas, aunque los otros factores indiquen

condiciones adversas a la susceptibilidad. Esto contradice la experiencia de campo, debido a la comprobada existencia de deslizamientos de diferentes tipos.

Por tal razón, con el fin de aumentar la resolución local del Método y así discriminar mejor las condiciones del área de estudio, ha sido necesario redistribuir los rangos mediante un análisis estadístico por medio de un histograma de distribución normal, lo que ha permitido establecer familias de valores distribuidos homogéneamente y de manera estadísticamente válida (Cuadro 3.1). De esta forma, la asignación del valor del parámetro y su calificativo se obtienen de la clasificación presentada por la metodología.

El Relieve Relativo, es el único factor que puede poseer una ponderación de cero, en tal caso y aunque los otros factores indiquen condiciones adversas, simplemente no se desarrollan los deslizamientos por falta de suficiente pendiente en las laderas.

CUADRO 3.1

CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE RELIEVE RELATIVO, R_r PARA LA ZONA DE ESTUDIO

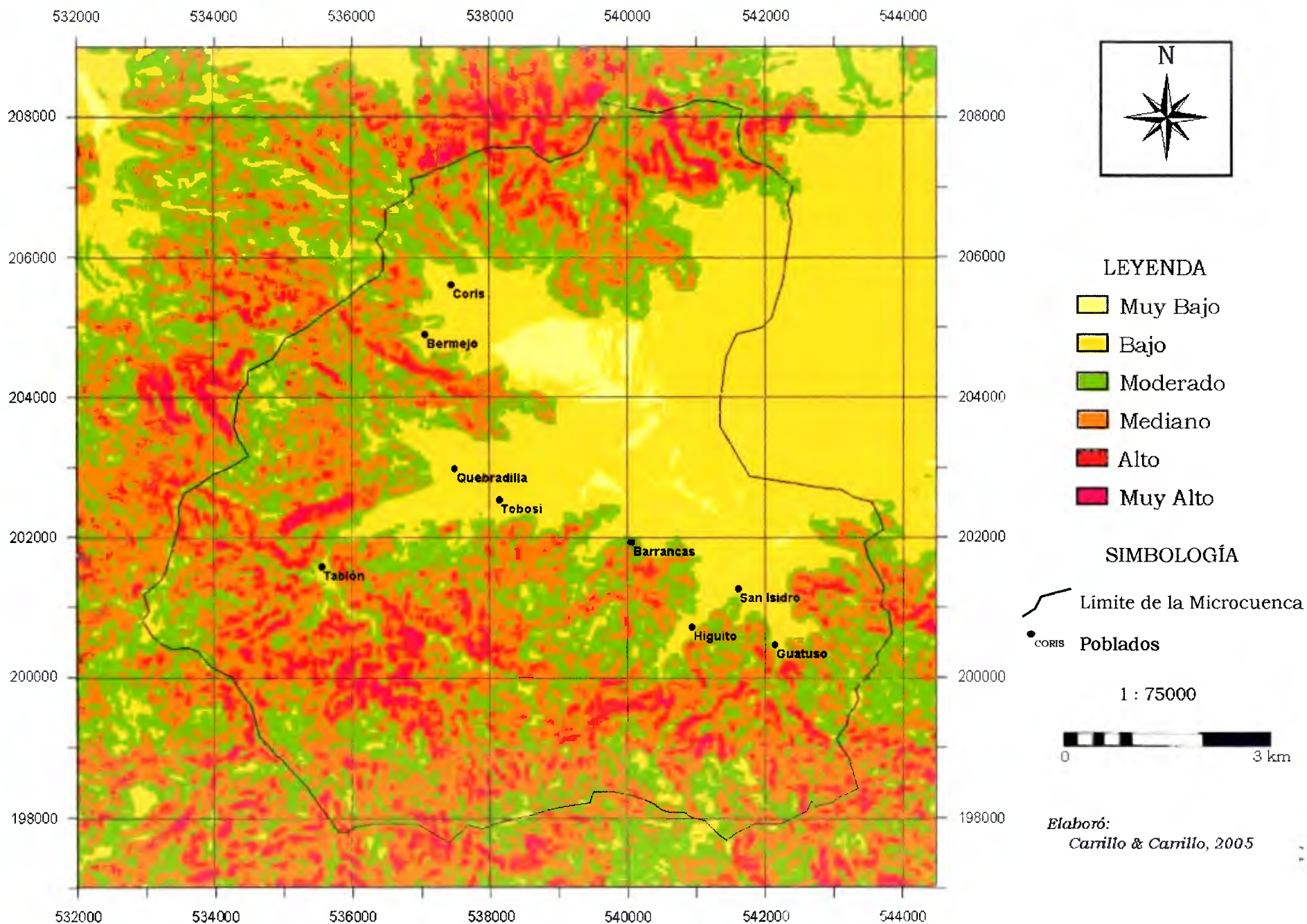
[Con base en Mora & Vahrson, 1993] (Fig. 3.1)

| Relieve Relativo, R_r [m/Km ²] | Calificativo | Valor del parámetro R_r |
|--|--------------|---------------------------|
| 0 | Muy Bajo | 0 |
| 1– 18 | Bajo | 1 |
| 19 – 35 | Moderado | 2 |
| 36 – 53 | Mediano | 3 |
| 54 – 70 | Alto | 4 |
| ≥ 70 | Muy Alto | 5 |

Interpretación

Observando la influencia del Relieve Relativo como variable única (asumiendo constantes los otros factores) (Fig. 3.1), se evidencia que la susceptibilidad a la inestabilidad de laderas no crece linealmente, sino que se encuentra limitada a los valores máximos. Mediante este factor se identifican al menos dos tipos de relieve predominante, correspondientes con las llanuras de inundación (calificativo de bajo a muy bajo) y el sector montañoso (valores de moderado a alto), siendo en la parte alta de la cuenca que se presentan los calificativos de alto.

Figura N°3.1 MAPA DEL FACTOR DEL RELIEVE RELATIVO



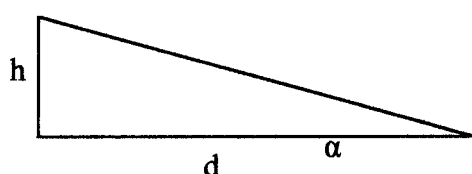
* Mediante las pendientes

Metodología

Debido que se han presentado algunas inquietudes que proponen más recomendable el trabajar con el valor de Pendientes en lugar de utilizar los valores de Relieve Relativo, se han evaluado las pendientes tomando en cuenta los “valores en grados”.

En ILWIS 3.0, los grados de pendiente pueden ser calculados en las direcciones X y Y usando un DEM, los filtros para gradientes, pixeles de 20 m y la fórmula de cálculo:

$$\text{Ángulo de pendiente, } \alpha: = \text{atang}(h/d) [^\circ] \quad (5)$$



Interpretación

Se ha realizado una práctica comparativa e independiente, entre los mapas obtenidos mediante el uso del factor “grados de pendiente” y “relieve relativo”, en comparación con el mapa patrón de control de campo. El resultado obtenido muestra que no se obtiene un mejor resultado al utilizar los “grados de pendiente”, por lo cual no se justifica el apartarnos del planteamiento de la metodología original que establece los cálculos con el Relieve Relativo. Esto demuestra que las pendientes de ladera quedan implícitas en el concepto de Relieve Relativo.

3.1.2 Evaluación del Índice de la Litología, L:

Metodología

Este factor posee una influencia preponderante en el comportamiento dinámico de las laderas, debido a las características intrínsecas de la roca y sus productos. Además, es el parámetro más difícil de evaluar, ya que, la calificación proporcionada es basada, principalmente, en aspectos subjetivos que dependen de la experiencia del investigador.

Con el fin de discriminar mejor las características físicas de las rocas y el suelo existente, se procedió a realizar un muestreo geotécnico que nos permitió aportar algunos datos cuantitativos a la clasificación de este parámetro.

El calificativo y el valor para cada parámetro se obtiene de la clasificación presentada por la metodología.

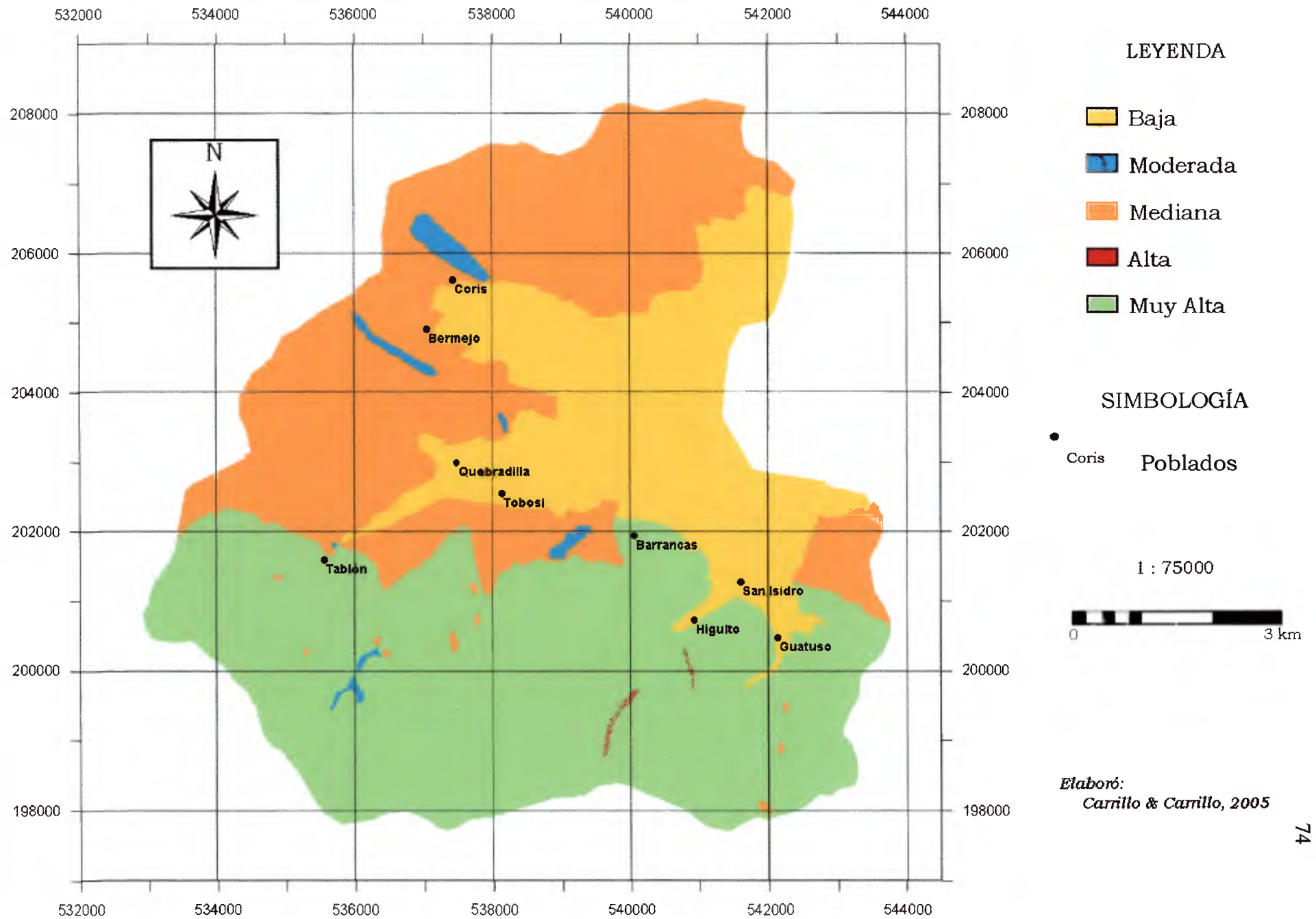
CUADRO 3.2
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE LA LITOLOGÍA, L QUE VALORA LA SUSCEPTIBILIDAD A LA INESTABILIDAD DE LADERAS

| LITOLOGÍA | | | CALIFICATIVO | VALOR |
|--------------------------|--|--|--------------|-------|
| Formación / Unidad | Descripción | Característica | | |
| San Miguel | Calizas sanas | Estratificación maciza, medianamente fisuradas | Moderada | 2 |
| Coris | Areniscas sanas o muy poco alteradas | SC-SM; sin plasticidad | Moderada | 2 |
| | Areniscas mediana a fuertemente meteorizadas | SC-SM; Baja plasticidad ($I_p=24$) a nula, mala permeabilidad, no cohesivos, | Mediana | 3 |
| Unidad El Guarco | Lavas sanas | Medianamente fisuradas | Moderada | 2 |
| | Lavas con alteración hidrotermal | MH arenoso ($I_p= 21.8$), sin cohesión, ángulo de fricción 39° | Alta | 4 |
| | Lavas fuertemente meteorizadas | Principalmente MH, Baja calidad mecánica y de resistencia al corte, sin cohesión | Muy alta | 5 |
| Monzogabro | Sano | Medianamente fracturado | Moderada | 2 |
| | Meteorizado | SW , de alta permeabilidad aparente | mediana | 3 |
| Unidad La Carpintera | Lavas medianamente meteorizadas | SC de plasticidad intermedia ($I_p=19$), fracturadas | Mediana | 3 |
| Depósitos Inconsolidados | Llanura de inundación | No aplica | baja | 1 |
| | Pie de monte | No aplica | mediana | 3 |

Interpretación

Tomando en cuenta solamente el efecto de la litología y el tipo de suelo residual (asumiendo constantes los efectos de los otros factores), es evidente que en la mayor parte del área de estudio se presentan valores de mediana a muy alta susceptibilidad litológica a la inestabilidad, siendo el sector sur (Unidad El Guarco) de la microcuenca donde se presentan el mayor calificativo (muy alto), para este parámetro (Fig. 3.2).

Figura N°3.2 MAPA DEL FACTOR LITOLÓGICO



3.1.3 Evaluación del Índice de Humedad del Suelo, *H*

Este factor es muy importante en la determinación de la susceptibilidad a la inestabilidad, debido a que, en asociación con altas temperaturas, actividad orgánica y meteorización, se producen materiales de una baja resistencia al corte. Además, en un suelo saturado, un aumento en la presión de poros genera una disminución en la resistencia mecánica, por lo que, eventos de disparo de menor magnitud pueden causar una drástica activación de los deslizamientos.

El método establece dos formas de determinar la humedad del suelo: por medio de mediciones directas en el campo y mediante balances hídricos estimativos. Con el objetivo de incluir en esta investigación los mejores resultados, se procede a desarrollar las dos alternativas, las cuales se detallan a continuación.

Mediante Balance Hídrico Simplificado, Hum

Conforme se establece en el Método, se realizó un balance hídrico simplificado, recurriendo a los promedios mensuales de la precipitación (Fuente: IMN y SENARA), en cada una de las áreas de influencia de las estaciones meteorológicas identificadas dentro del área de estudio.

La metodología seguida consiste en los siguientes pasos:

1. Determinar el área de influencia de las estaciones meteorológicas. Para esta investigación, se utilizaron los polígonos de Thiessen.
2. Categorizar los promedios mensuales de cada una de las estaciones, conforme la clasificación del siguiente cuadro.

CUADRO 3.3
CLASIFICACIÓN DE LOS PROMEDIOS MENSUALES MÁXIMOS (SOBRE TODO EL REGISTRO) DE LA PRECIPITACIÓN (Mora & Vahrson, 1993)

| PRECIPITACIÓN PROMEDIO [mm/mes] | VALOR ASIGNADO |
|--|-----------------------|
| < 125 | 0 |
| 125-250 | 1 |
| > 250 | 2 |

3. Se realiza la sumatoria de los doce valores asignados a cada mes en cada una de las estaciones y se llega a un valor acumulado entre 0 y 24. Este valor acumulado se clasifica conforme el Cuadro 3.4

CUADRO 3.4

Clasificación del Factor Humedad, Hum (Mora & Vahrson, 1993)

| VALOR ACUMULADO | CALIFICATIVO | VALOR PARÁMETRO, HUM |
|-----------------|--------------|----------------------|
| 0-4 | Muy bajo | 1 |
| 5-9 | Bajo | 2 |
| 10-14 | Medio | 3 |
| 15-19 | Alto | 4 |
| 20-24 | Muy alto | 5 |

4. Como resultado de los cálculos efectuados, se obtuvo el mismo valor para cada una de las áreas de influencia de las estaciones meteorológicas. Por lo cual, se le asigna al parámetro del factor humedad un valor constante de 2, siendo éste calificado como bajo (Fig. 3.3).

Mediante Contenido de Humedad Natural, w_n

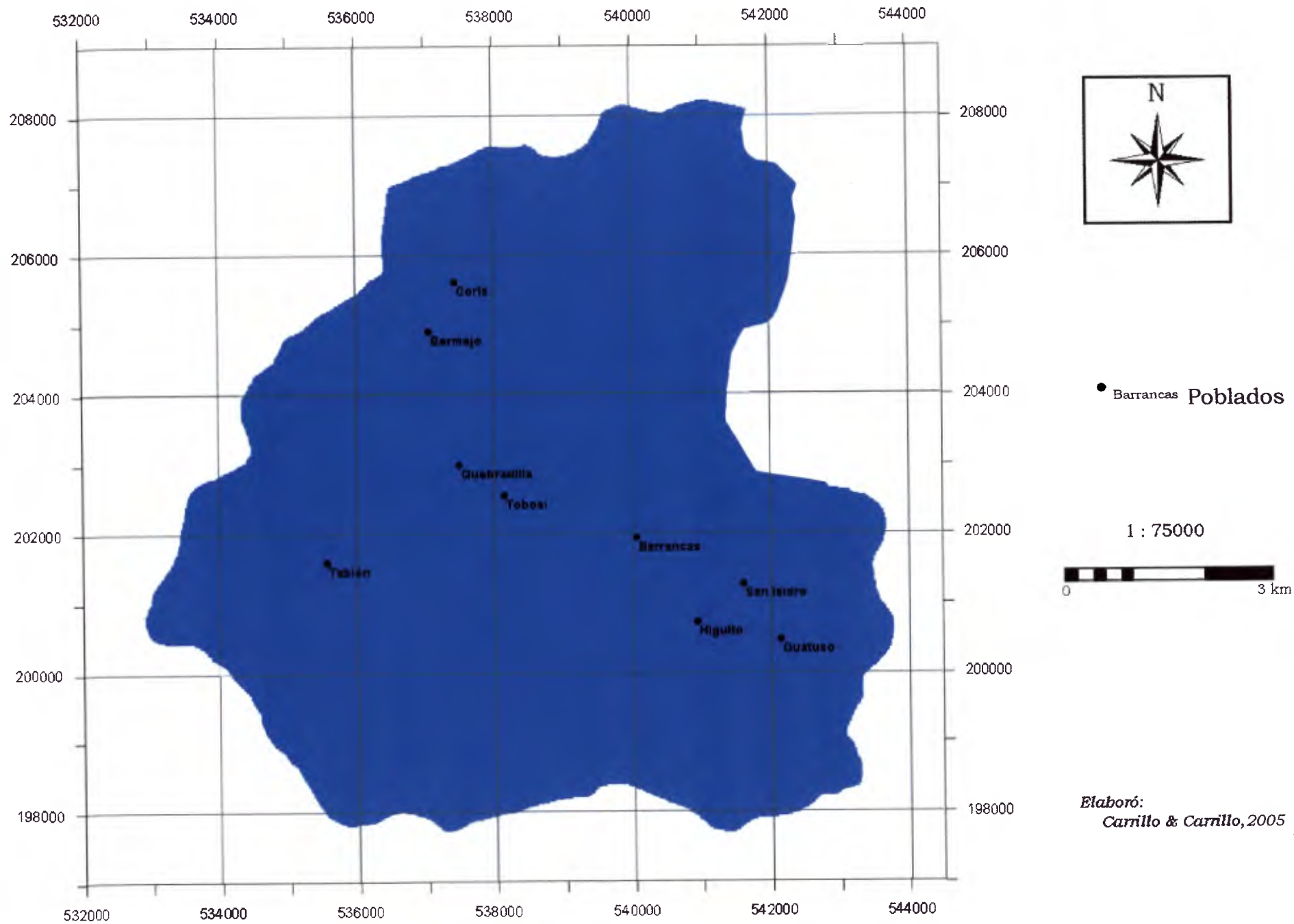
Metodología

Debido a que la Metodología de Mora & Vahrson, 1993, indica que es posible mejorar la manera de determinar la humedad del suelo, mediante mediciones directas en el campo, se procedió a realizar un muestreo geotécnico puntual de los diferentes suelos identificados.

Esta evaluación consistió en el siguiente procedimiento:

1. Caracterización de los suelos mediante un muestreo geotécnico puntual.
2. Desarrollo de polígonos de Thiessen para determinar las áreas de influencia de cada uno de los sitios muestreados, tomando en cuenta los tipos de suelos.

Figura N°3.3 MAPA DEL FACTOR HUMEDAD



Elaboró:
Carrillo & Carrillo, 2005

3. Tomando como fronteras los valores de los Límites de Atterberg (plástico-líquido), se procedió a desarrollar cinco divisiones y se le asignó un valor al parámetro para cada uno de los tipos de suelo. Los resultados de clasificación y valoración obtenidos, se presentan en el siguiente Cuadro:

CUADRO 3.5

CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE LA HUMEDAD DEL SUELO, w_n VALORANDO LOS DATOS DE CAMPO

| FORMACIÓN/ UNIDAD | VALOR ACUMULADO | CALIFICATIVO | VALOR PARÁMETRO, H |
|-------------------------|--|--------------|-----------------------|
| San Miguel | No genera suelos en el área de estudio, fracturado | | 1 |
| Coris | < 8.33 | Muy bajo | 1 |
| | 8.33 – 14.99 | Bajo | 2 |
| | 14.99 – 21.66 | Medio | 3 |
| | 21.66 – 28.32 | Alto | 4 |
| | 28.32 – 34.98 | Muy alto | 5 |
| Monzogabro | Sin plasticidad, fracturado, afloramiento muy localizado | Muy bajo | 1 |
| Unidad El Guarco | < 18 | Muy bajo | 1 |
| | 18 - 28 | Bajo | 2 |
| | 28 – 38 | Medio | 3 |
| | 38 – 49 | Alto | 4 |
| | > 49 | Muy alto | 5 |
| Unidad La Carpintera | < 22 | Muy bajo | 1 |
| | 22 – 29 | Bajo | 2 |
| | 29 – 36 | Medio | 3 |
| | 36 – 43 | Alto | 4 |
| | > 43 | Muy alto | 5 |

Interpretación

Tomando en cuenta solamente el efecto de la humedad de campo y el tipo de suelo residual (asumiendo constantes los efectos de los otros factores), se generó un mapa de susceptibilidad natural, el cual, comparado con el mapa de Laderas Inestables (control de campo, Figura N°2.11) se determinó que en muchos lugares, la susceptibilidad obtenida es subestimada. Se considera que esto es debido a que, el muestreo es puntual, por lo cual se recomienda que, para lograr una mayor resolución por este factor, es

necesario realizar muestreos sistemáticos mediante una red estadísticamente definida, recopilando la información climatológica que pueda afectar la humedad del suelo, mediante muestreos de campo en el mismo día, con la mínima variación horaria.

Por lo anteriormente expuesto, en esta investigación se utilizará el resultado obtenido por medio del Balance Hídrico Simplificado para la evaluación del efecto del índice de humedad del suelo.

3.2 RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD NATURAL

3.2.1 Metodología

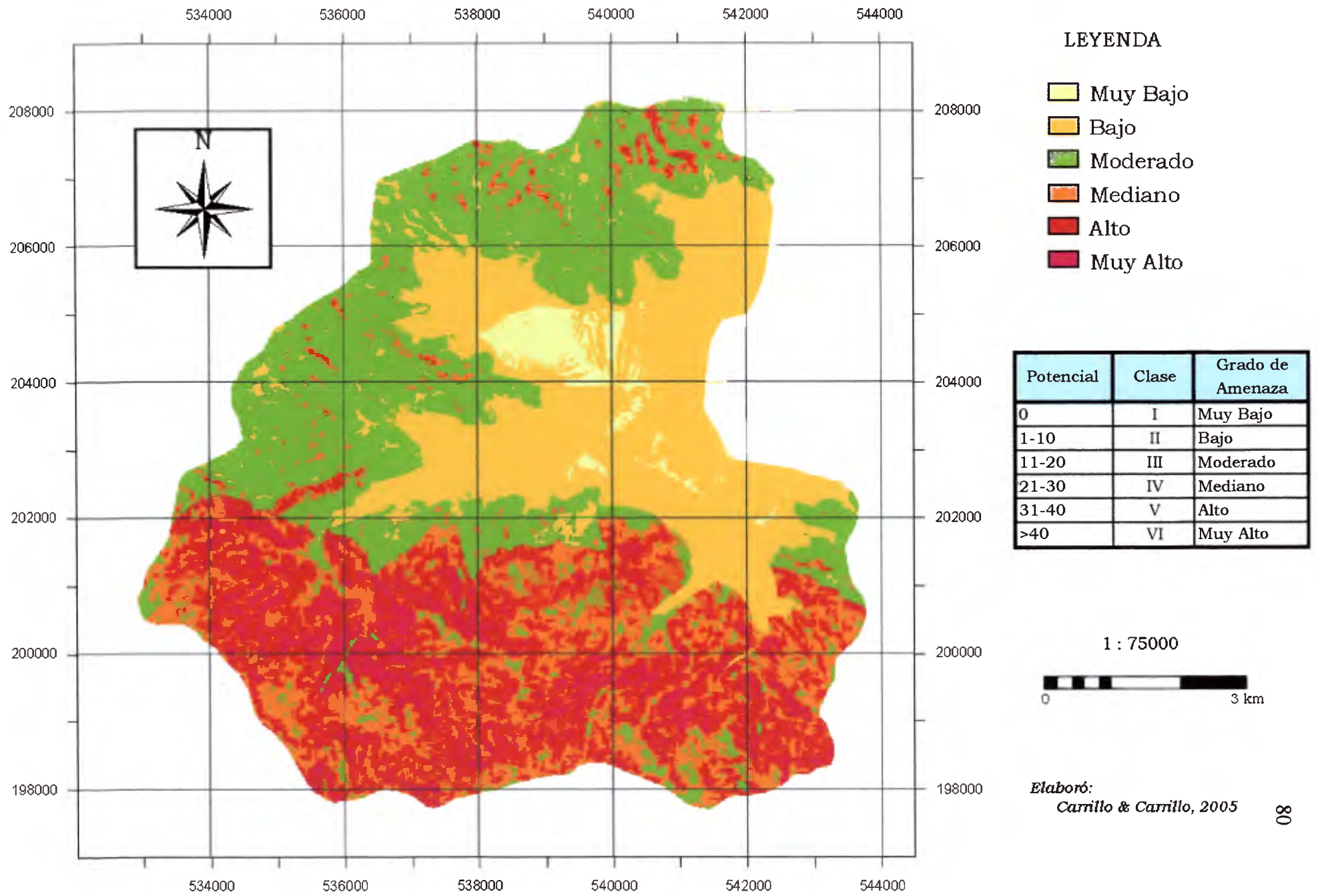
Una vez obtenidos todos los mapas para cada factor con los pesos respectivos para cada clase, el siguiente paso consiste en su multiplicación. El mapa obtenido (Fig. 3.4) se reclasifica en cinco intervalos que representan la Susceptibilidad Natural a la inestabilidad de laderas: desde muy bajo a muy alto; en el Cuadro 3.6, se detalla esta clasificación:

CUADRO 3.6

DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD NATURAL A LA INESTABILIDAD DE LADERAS

| DESCRIPCIÓN | POTENCIAL | CALIFICATIVO | VALOR |
|---|-----------|--------------|-------|
| Áreas planas de pendientes suaves y Relieve Relativo muy bajo | 0 | Muy bajo | 1 |
| Corresponde con la llanura aluvial y cauces de ríos. Zonas de Pendientes suaves y relieves relativos bajos | 1-10 | Bajo | 2 |
| Se identifican principalmente en zonas de pie de monte y crestas planas de áreas montañosas. Zonas de Pendientes Suaves con relieves relativos bajos | 11-20 | Moderado | 3 |
| Predomina en las zonas donde aflora la Formación Coris, La Unidad Carpintera y en las partes altas de la Unidad El Guarco. Zonas de Pendiente Media y relieves relativos medios | 21-30 | Mediana | 4 |
| Se identifica principalmente, en los cañones de los ríos donde aflora la Unidad El Guarco, en laderas de fuerte pendiente con relieves relativos altos | 31-40 | Alta | 5 |
| Al igual que en la clase anterior, se identifica en los cañones de los ríos donde aflora la Unidad El Guarco, en laderas de fuerte pendiente con relieves relativos muy altos | >40 | Muy alta | 6 |

Figura N°3.4 MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD NATURAL



Interpretación

Este capítulo presenta el análisis del efecto de los factores de susceptibilidad natural (relieve relativo, litología y humedad) que al combinarse de acuerdo a un peso específico ponderado, permite obtener un valor relativo de la Susceptibilidad Natural a la Inestabilidad de Laderas.

Sin embargo, es importante indicar que este resultado no sustituye la necesidad de realizar estudios geotécnicos de detalle, para definir los parámetros puntuales del problema de inestabilidad en áreas específicas.

Al comparar el mapa de susceptibilidad natural con el mapa de Laderas Inestables (control de campo, Figura N°2.11), se observa que existe una relación directa entre ellos, lo cual confirma que la valoración asignada a cada parámetro coincide con el comportamiento natural de las laderas.

En el sector sur la litología se presenta más meteorizada, hay mayores pendientes y el drenaje es más denso y caudaloso. Esta es el área donde se presenta la mayor inestabilidad, siendo evidente mediante los diferentes niveles de reptación, flujos de lodo, detrito y deslizamientos compuestos.

CAPÍTULO IV
DETERMINACIÓN DE LA AMENAZA NATURAL
A LA INESTABILIDAD DE LADERAS
(MICROCUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PURIRES)

4.1 VALORACIÓN DE LOS FACTORES NATURALES DE DISPARO

El parámetro de disparo natural, se evalúa mediante la combinación de los factores de intensidad de la lluvia (LI) e intensidad sísmica (S), definido así en el método Mora & Vahrson, 1993.

$$Disp = Sismicidad + Lluvia \quad (3)$$

A partir de las condiciones iniciales determinadas mediante la susceptibilidad natural, estos factores de disparo son los que inducen de manera natural, el comportamiento dinámico activo del medio, generando con mayor o menor intensidad, los fenómenos decisivos de movilización de las laderas. Para cada uno de estos elementos de disparo, se puede definir un peso relativo y específico propio, ponderando su grado de influencia de manera independiente o conjunta.

El siguiente esquema, describe los aspectos evaluados en cada uno de los factores de disparo analizados.

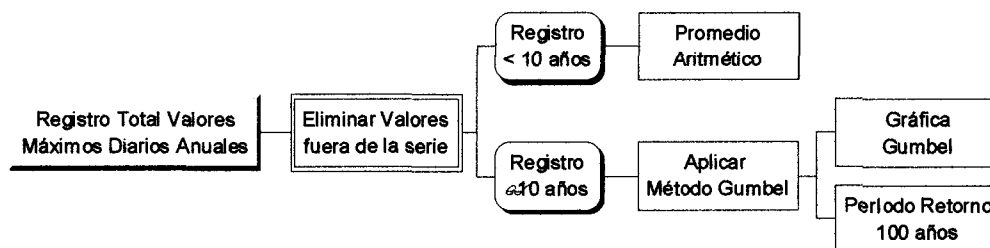


4.1.1 Factor Intensidad de la Lluvia, *L_i*

Especialmente en regiones tropicales, se considera que las lluvias de alta intensidad son la segunda causa en importancia para el disparo de los deslizamientos. La experiencia ha demostrado que la activación de los deslizamientos de flujos regolíticos corresponde, generalmente con lluvias de corta duración e intensas. Así mismo, los deslizamientos más profundos son activados y reactivados por lluvias de larga duración del tipo orográficas y/o temporales. (Mora & Vahrson, 1993)

En esta investigación se utiliza un índice basado en la información suministrada por el IMN y SENARA, en relación a las lluvias máximas en 24 horas de todo el registro disponible en las tres estaciones meteorológicas ubicadas dentro del área.

Para determinar la valoración del factor intensidad de la precipitación, ha sido necesario seguir los siguientes pasos, para cada una de las estaciones meteorológicas identificadas dentro del área de estudio:



Con el fin de efectuar una adecuada discriminación del efecto de las lluvias en la activación o reactivación de los deslizamientos, así como, el aumentar la resolución local del método, ha sido necesario redistribuir las categorías de valoración, mediante un análisis estadístico utilizando un histograma de distribución normal, lo que ha permitido definir familias homogéneas y estadísticamente válidas (Cuadros 4.1, 4.2 y 4.3).

Mediante el registro proporcionado se observa que las estaciones Linda Vista y Tablón poseen un historial mayor a 10 años, por tal motivo, se aplica el Método Gumbel para la determinación de la precipitación máxima en un período de retorno de 100 años, mientras que, para la Estación Meteorológica Coris, el valor de la precipitación se obtuvo mediante el cálculo del promedio aritmético.

CUADRO 4.1
VALORACIÓN DEL FACTOR INTENSIDAD DE LA PRECIPITACIÓN LI, PARA LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA LINDA VISTA, IMN [Con base en Mora & Vahrson, 1993] (Fig. 4.1)

| Lluvias máx. diarias anuales, n≥10 años; Tr=100 años | Calificativo | Valor parámetro |
|---|--------------|-----------------|
| < 27 | Muy bajo | 1 |
| 27 a 54 | Bajo | 2 |
| 54 a 82 | Medio | 3 |
| 82 a 109 | Alto | 4 |
| ≥ 109 | Muy alto | 5 |

CUADRO 4.2
VALORACIÓN DEL FACTOR INTENSIDAD DE LA PRECIPITACIÓN LI, PARA LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA TABLÓN, SENARA [Con base en Mora & Vahrson, 1993] (Fig. 4.2)

| Lluvias máx. diarias anuales, n≥10 años; Tr=100 años | Calificativo | Valor parámetro |
|---|--------------|-----------------|
| < 27 | Muy bajo | 1 |
| 27 a 54 | Bajo | 2 |
| 54 a 80 | Medio | 3 |
| 82 a 107 | Alto | 4 |
| ≥ 107 | Muy alto | 5 |

CUADRO 4.3
VALORACIÓN DEL FACTOR INTENSIDAD DE LA PRECIPITACIÓN LL, PARA LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA CORIS, SENARA [Con base en Mora & Vahrson, 1993]

| Lluvias máx. diarias anuales, n<10 años | Calificativo | Valor parámetro |
|--|--------------|-----------------|
| ≤19 | Muy bajo | 1 |
| 19-38 | Bajo | 2 |
| 38-57 | Medio | 3 |
| 57-76 | Alto | 4 |
| ≥76 | Muy alto | 5 |

Figura 4.1 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DISTRIBUCIÓN GUMBEL
Estación Meteorológica Linda Vista, IMN

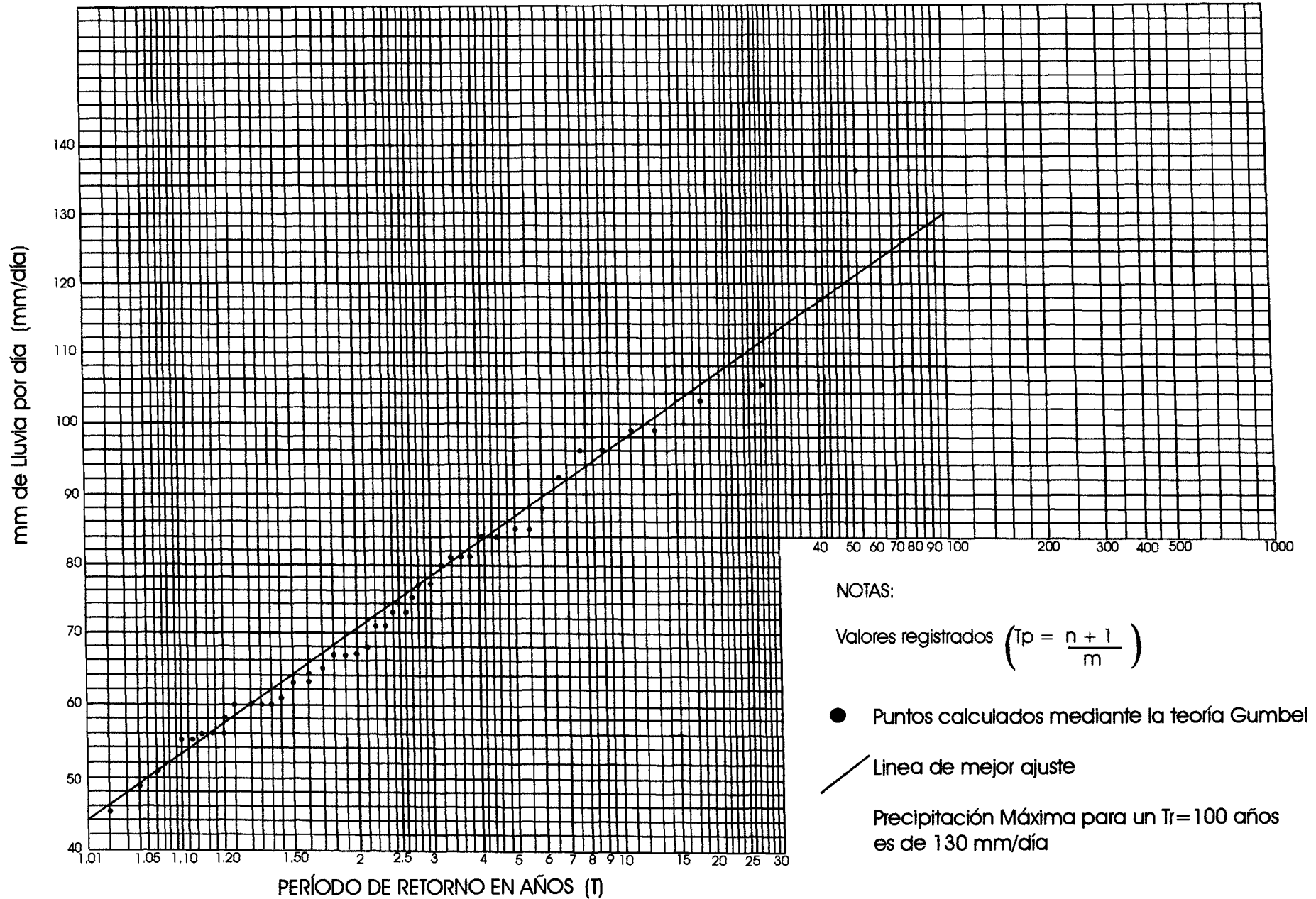
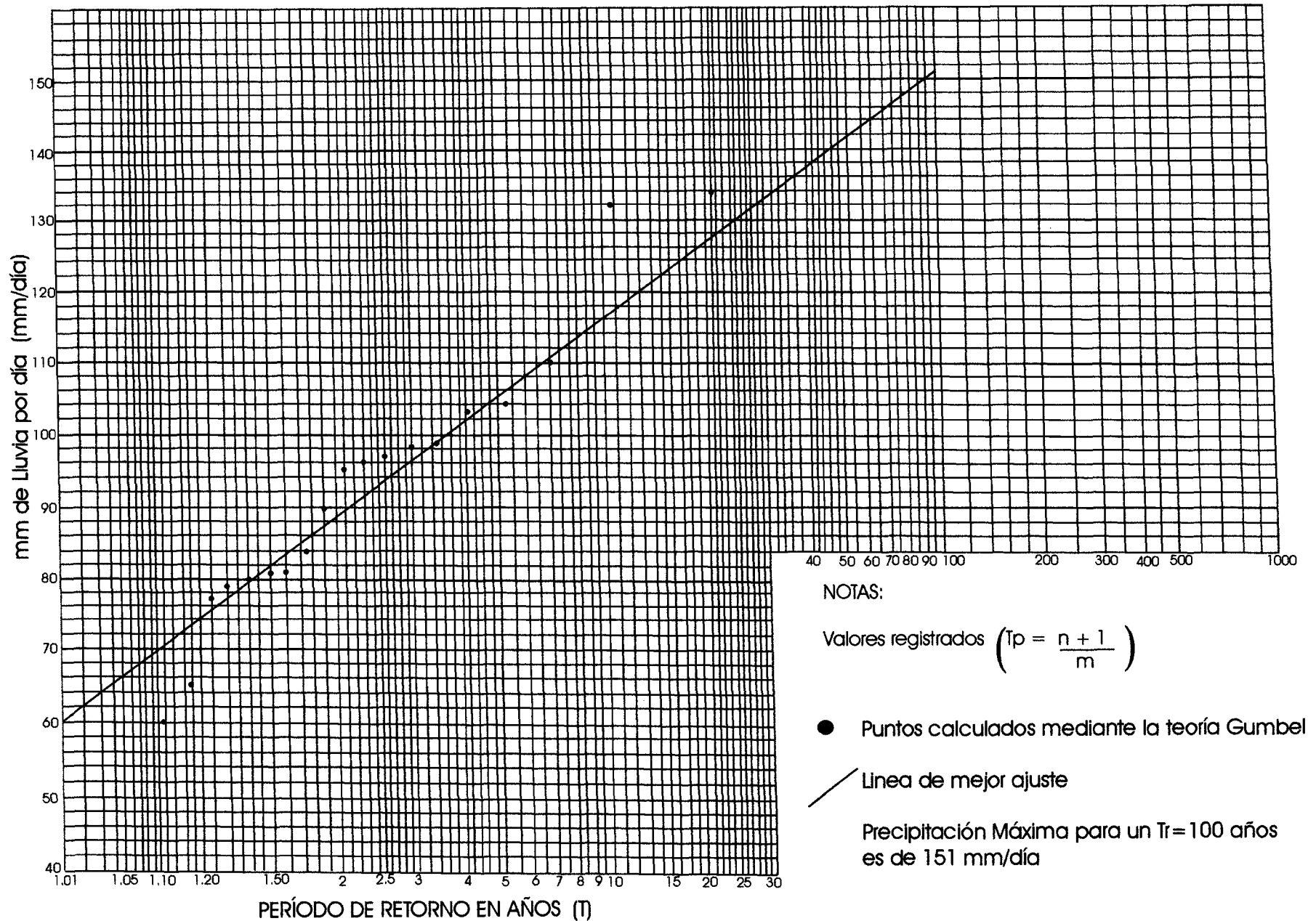


Figura 4.2 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DISTRIBUCIÓN GUMBEL
Estación Meteorológica Tablón, SENARA



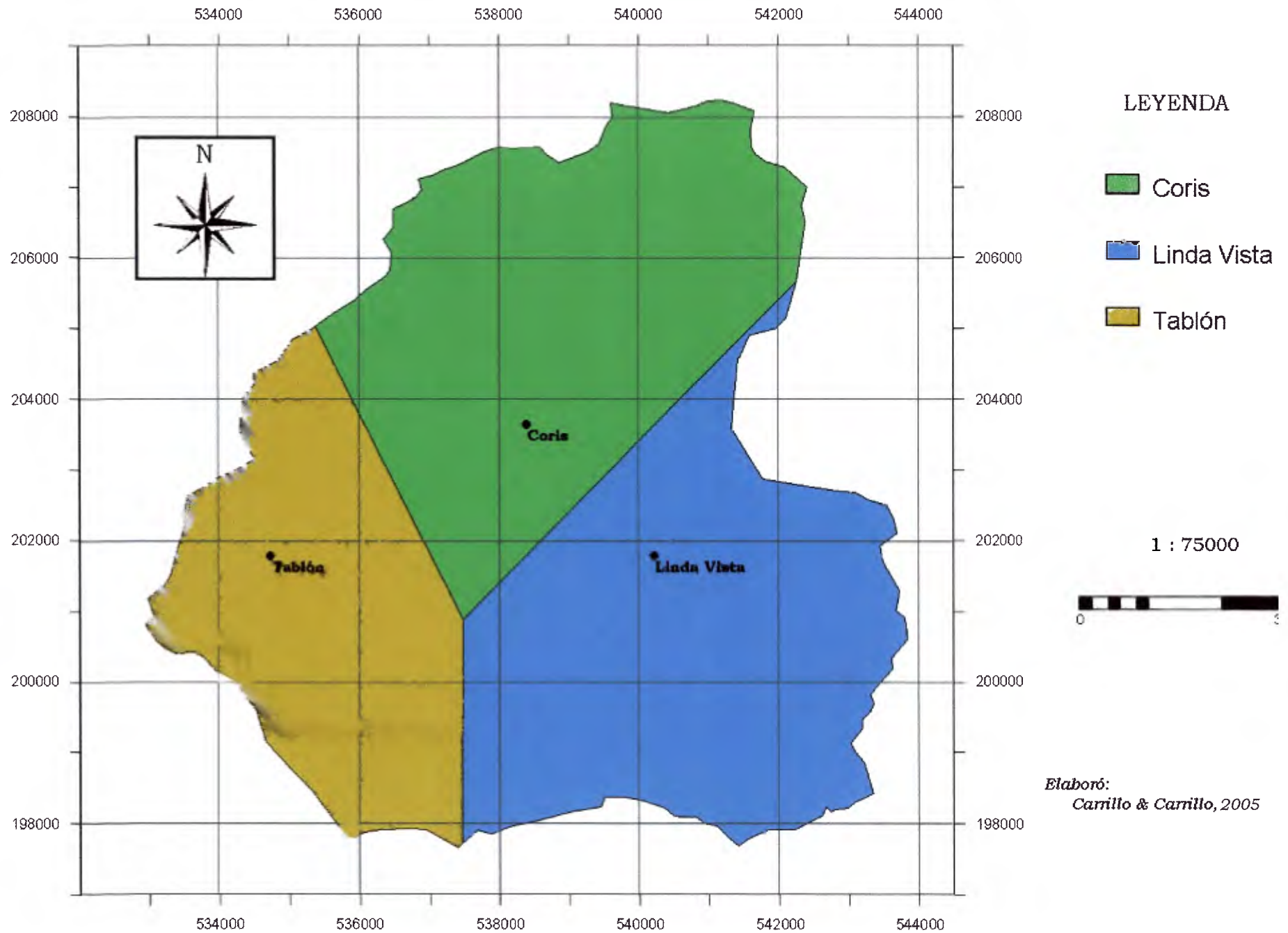
De esta forma, la asignación del valor del parámetro y su calificativo se obtienen de la clasificación presentada por la Metodología aplicada en esta investigación. En el cuadro 4.4, se presentan los resultados obtenidos para cada una de las Estaciones Meteorológicas:

CUADRO 4.4
CARACTERIZACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA LLUVIA

| Estaciones Meteorológicas | Lluvia máxima $n \geq 10$ años, $Tr=100$ años | Lluvia máxima $n < 10$ años, promedio (mm) | Calificativo | Valor del parámetro |
|----------------------------------|--|---|---------------------|----------------------------|
| Linda Vista | 130 | | Muy alto | 5 |
| Tablón | 151 | | Muy alto | 5 |
| Coris | | 82.87 | Muy alto | 5 |

Para determinar el área de influencia de cada una de las estaciones meteorológicas existentes dentro del área de estudio, se utilizaron cálculos mediante polígonos de Thiessen (Fig. 4.3). Al observar, para cada una de las estaciones meteorológicas, el valor obtenido de este parámetro de disparo, es claro que la influencia del factor lluvia en la activación del deslizamientos es homogénea en toda el área de estudio.

Figura N°4.3 ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS
(Polígonos de Thiessen)



4.1.2 Factor Intensidad Sísmica, *S*

Este factor se considera el elemento natural de disparo más importante, que induce el comportamiento dinámico activo decisivo para la inestabilidad de las laderas. (Mora & Vahrson, 1993). La calificación de este factor se presenta en el Cuadro 4.5

CUADRO 4.5
CALIFICACIÓN DEL FACTOR SISMICIDAD PARA TR = 100 AÑOS (Mora & Vahrson, 1993)

| Intensidad (Mercalli Mod) | Calificativo | Valor Parámetro |
|---------------------------|-----------------------|-----------------|
| III | Leve | 1 |
| IV | Muy bajo | 2 |
| V | Bajo | 3 |
| VI | Moderado | 4 |
| VII | Medio | 5 |
| VIII | Elevado | 6 |
| IX | Fuerte | 7 |
| X | Bastante fuerte | 8 |
| XI | Extremadamente fuerte | 9 |

En nuestro país, hasta el momento la información más abundante y confiable en relación a la actividad sísmica histórica, es la proporcionada por las intensidades sísmicas (Mercalli Modificada). Debido a ello, en esta investigación se ha realizado una recopilación bibliográfica de mapas de intensidades (Montero & Miyamura, 1981; Barquero & Rojas, 1994) para los sismos que han afectado directa o indirectamente el área de estudio. El Cuadro 4.6 muestra esta lista de eventos sísmicos históricos y sus respectivas intensidades MM, para el área de estudio.

CUADRO 4.6
EVENTOS SÍSMICOS HISTÓRICOS DE LOS QUE HA SIDO REPORTADA SU INTENSIDAD DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO (RSN ICE-UCR, 2004, Montero & Miyamura, 1981; Barquero & Rojas, 1994)

| FECHA | TERREMOTO | INTENSIDAD MM, en el área de estudio |
|------------|----------------|--------------------------------------|
| 07/05/1822 | San Estanislao | VI |
| 03/03/1882 | Grecia | VII |
| 30/12/1888 | Fraijanes | IV |
| 20/12/1904 | Golfito | V |
| 13/04/1910 | Tablazo | VII |
| 04/05/1910 | Cartago | VIII |

| FECHA | TERREMOTO | INTENSIDAD MM, en el área de estudio |
|--------------|----------------------------------|---|
| 29/08/1911 | Toro Amarillo | IV |
| 21/02/1912 | Tres Ríos | III |
| 06/06/1912 | Sarchí | III |
| 27/02/1916 | Papagayo | V |
| 24/04/1916 | Miramar | VI |
| 26/04/1916 | Bocas del Toro | VI |
| 04/03/1924 | Orotina | VI |
| 01/08/1935 | Bagaces | V |
| 05/12/1941 | Puerto Cortés | V |
| 18/11/1948 | Turrialba | VI |
| 12/10/1950 | Nicoya | VI |
| 21/08/1951 | Paraíso | VI |
| 09/09/1952 | Quepos | V |
| 30/12/1952 | Patillos | V |
| 07/01/1953 | Limón | V |
| 19/07/1956 | Temblor de Quepos | V |
| 13/01/1959 | Temblor al norte de Quepos | VI |
| 14/04/1973 | Tilarán | V |
| 23/08/1978 | Sámara | III |
| 02/04/1983 | Golfito | VI |
| 03/07/1983 | Pérez Zeledón | VI |
| 21/03/1987 | Temblor en Palmar Sur | IV |
| 01/06/1987 | Temblor en Dominical | IV |
| 15/07/1987 | Temblor al norte de Quepos | IV |
| 15/07/1987 | Temblor en Quepos | V |
| 19/11/1987 | Temblor en la Suiza de Turrialba | III |
| 31/01/1988 | Temblor al SE de Orosi | IV |
| 10/03/1988 | Temblor en Buenos Aires de Osa | V |
| 06/05/1988 | Temblor en Nicaragua | IV |
| 26/02/1989 | Temblor en Playas del Coco | V |
| 02/04/1989 | Temblor frente a Playas del Coco | I |
| 25/03/1990 | Temblor de Cóbano | VI |
| 03/04/1990 | Temblor costas de Nicaragua | III |
| 27/04/1990 | Temblor en Sierpe de Osa | IV |
| 28/04/1990 | Temblor en Sierpe de Osa | IV |
| 30/06/1990 | Temblor de Puriscal | IV |
| 22/12/1990 | Temblor de Piedras Negras | V |
| 16/03/1991 | Temblor en Sámara | IV |

| FECHA | TERREMOTO | INTENSIDAD MM, en el área de estudio |
|------------|---------------------|--------------------------------------|
| 22/04/1991 | Limón | VII |
| 09/08/1991 | Temblor de Frailes | V |
| 06/03/1992 | Temblor de Naranjo | IV |
| 08/07/1993 | Temblor de Pejibaye | IV |
| 10/07/1993 | Temblor de Pejibaye | V |
| 20/11/2004 | Parrita | V |

Con la información recopilada en el Cuadro 4.6, fue posible determinar que la intensidad máxima reportada es de VIII MM (Terremoto de Cartago, 04/05/1910), mientras que la intensidad más frecuente es V MM. De esta forma, es importante recalcar que por considerarse a la sismicidad el elemento de disparo más importante (Mora & Vahrson, 1993) se ha considerado conveniente analizar el efecto de la intensidad sísmica, visualizando dos ambientes. El primero de ellos es asumiendo el efecto de un sismo cuya **intensidad** será de V MM. En este caso, el factor intensidad sísmica presentará un **calificativo de bajo** (Valor 3, Cuadro 4.5) para toda el área de estudio. Esta prueba se realizará con el fin de observar el comportamiento del área de estudio ante un evento ante la intensidad sísmica más frecuente y por tanto se asume que es la más probable a ocurrir. Sin embargo, para efectos de determinar los tramos de las líneas vitales más susceptibles a la inestabilidad, se utilizará la mayor intensidad registrada, tal como lo establece el método.

El segundo ambiente se analizará, suponiendo la situación más crítica presentada de manera natural, siendo ésta la generación de un sismo con reporte de **intensidad VIII MM** para el área de estudio. Bajo esta consideración el efecto de la sismicidad en el área de estudio poseerá un **calificativo de elevada influencia** como factor detonante a la inestabilidad de laderas y se le asigna un **valor de 6** (Cuadro 4.5).

4.2 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS FACTORES NATURALES DE DISPARO

Es posible evaluar el grado de amenaza a la inestabilidad de laderas al considerar solo el efecto de uno de los Factores de Disparo (Fórmula 4); obteniendo una aproximación del comportamiento natural del medio ante el efecto ya sea de las particularidades climáticas o sísmicas del área.

A continuación, se presenta el análisis de los diferentes ambientes generados ante la influencia independiente de los agentes desencadenantes de la inestabilidad natural. Para ello, inicialmente, se tomarán en cuenta las particularidades climáticas y tectónicas del área, dándole prioridad a la

consideración independiente del efecto de cada uno de los factores de disparo. Luego se realizará la evaluación conjunta del efecto de ambos factores de disparo y la susceptibilidad natural.

4.2.1 Potencial generador de deslizamientos por la Intensidad de Lluvias, PDLI

Esta evaluación nos permite ubicarnos en la determinación del efecto de las lluvias como único factor desencadenante de la inestabilidad de laderas. Tal evento a nivel natural es posible que se presente en los meses más lluviosos del año (setiembre-octubre), asumiendo la total ausencia de la actividad sísmica. Para la determinación de este efecto se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$PDLI = (Rr * L * H) * LI \quad (6)$$

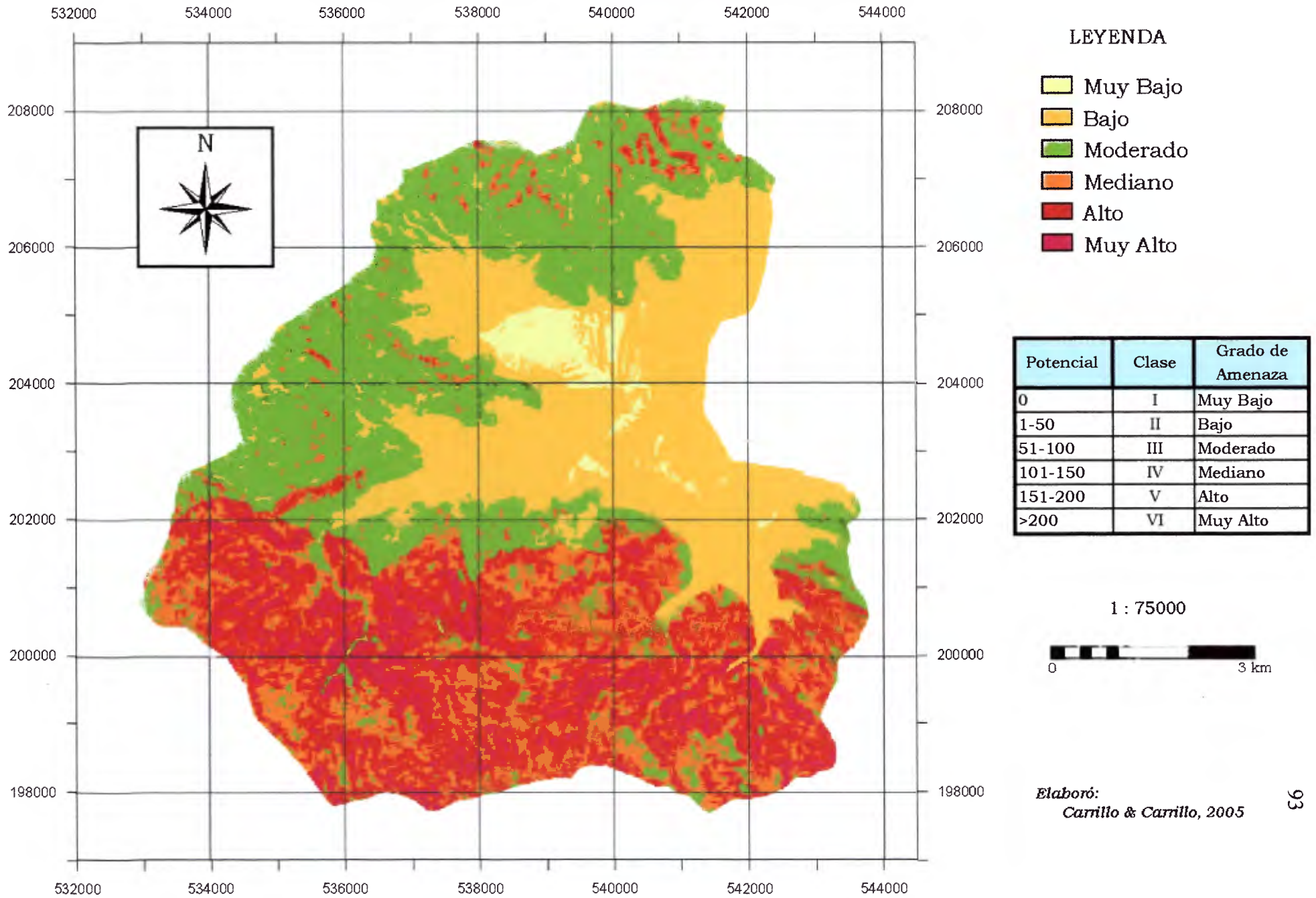
Para establecer las divisiones del grado de amenaza, ha sido necesario distribuir las categorías mediante un análisis estadístico por medio de un histograma de distribución normal, lo que ha permitido establecer familias de valores distribuidos homogéneamente y de manera estadísticamente válida (Cuadro 4.7). De esta forma, la asignación del valor del parámetro y su calificativo se obtienen de la clasificación presentada por la metodología para la valoración general del Grado de Amenaza Natural.

CUADRO 4.7
VALORACIÓN DEL POTENCIAL GENERADOR DE DESLIZAMIENTOS DEL FACTOR INTENSIDAD DE LA LLUVIA (Fig. 4.4)

| POTENCIAL | CLASE | GRADO DE AMENAZA |
|-----------|-------|------------------|
| 0 | I | Muy bajo |
| 1-50 | II | Bajo |
| 51-100 | III | Moderado |
| 101-150 | IV | Mediano |
| 151-200 | V | Alto |
| >200 | VI | Muy alto |

Al valorar únicamente el efecto de la lluvia como agente activador de deslizamientos, es posible observar que el sector montañoso ubicado al sur del área de estudio (Fig. 4.4), reporta los mayores valores de inestabilidad natural, resultado que concuerda con las observaciones de campo realizadas. Además, se observa que las partes altas de los cerros de la Carpintera, también reportan un alto grado de inestabilidad, con la diferencia de que en este sitio no se ubica ningún centro poblacional y está cubierta de bosque primario y secundario. En comprobación de campo y en fotografías aéreas no se observan indicios de inestabilidad en este sector.

Figura N°4.4 MAPA DE AMENAZA
Factor Intensidad Lluvia como único Factor de Disparo



Además, es importante indicar que el mapa generado mediante esta evaluación, proporciona como resultado la evaluación de la Amenaza por la Inestabilidad de Laderas tomando en cuenta solo el efecto de la lluvia. De esta forma, se obtiene un importante aporte al asignar un valor numérico a este efecto, lo que permite identificar sectores donde se debe establecer especial atención para el desarrollo poblacional futuro.

4.2.2 Potencial generador de deslizamientos por la Intensidad Sísmica, PDS

Al presentar esta evaluación se sugiere un ambiente natural de época seca, donde el único factor desencadenante de la inestabilidad de laderas será un eventual evento sísmico. Para la determinación de este efecto se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$PDS = (Rr * L * H) * S \quad (7)$$

Para establecer las divisiones del grado de amenaza, es necesario distribuir las categorías mediante un análisis estadístico por medio de un histograma de distribución normal, lo que ha permitido establecer familias de valores distribuidos homogéneamente y de manera estadísticamente válida (Cuadros 4.8, 4.9). De esta forma, la asignación del valor del parámetro y su calificativo se obtienen de la clasificación presentada por la metodología para la valoración general del Grado de Amenaza Natural.

Tal como fue indicado anteriormente (Cuadro 4.6), para el área de investigación se identificaron dos intensidades sísmicas importantes. La Intensidad máxima reportada VIII MM y la más frecuente V MM. Debido a ello, se considera conveniente analizar el efecto de este parámetro de disparo, visualizando dos situaciones. Así mismo, es importante indicar que el mapa generado mediante esta evaluación, proporciona como resultado, la valoración parcial de la Amenaza por la Inestabilidad de Laderas tomando en cuenta solo el efecto de un evento sísmico con reporte de intensidad V MM ó VIII MM, con el fin de identificar áreas donde se debe establecer especial atención.

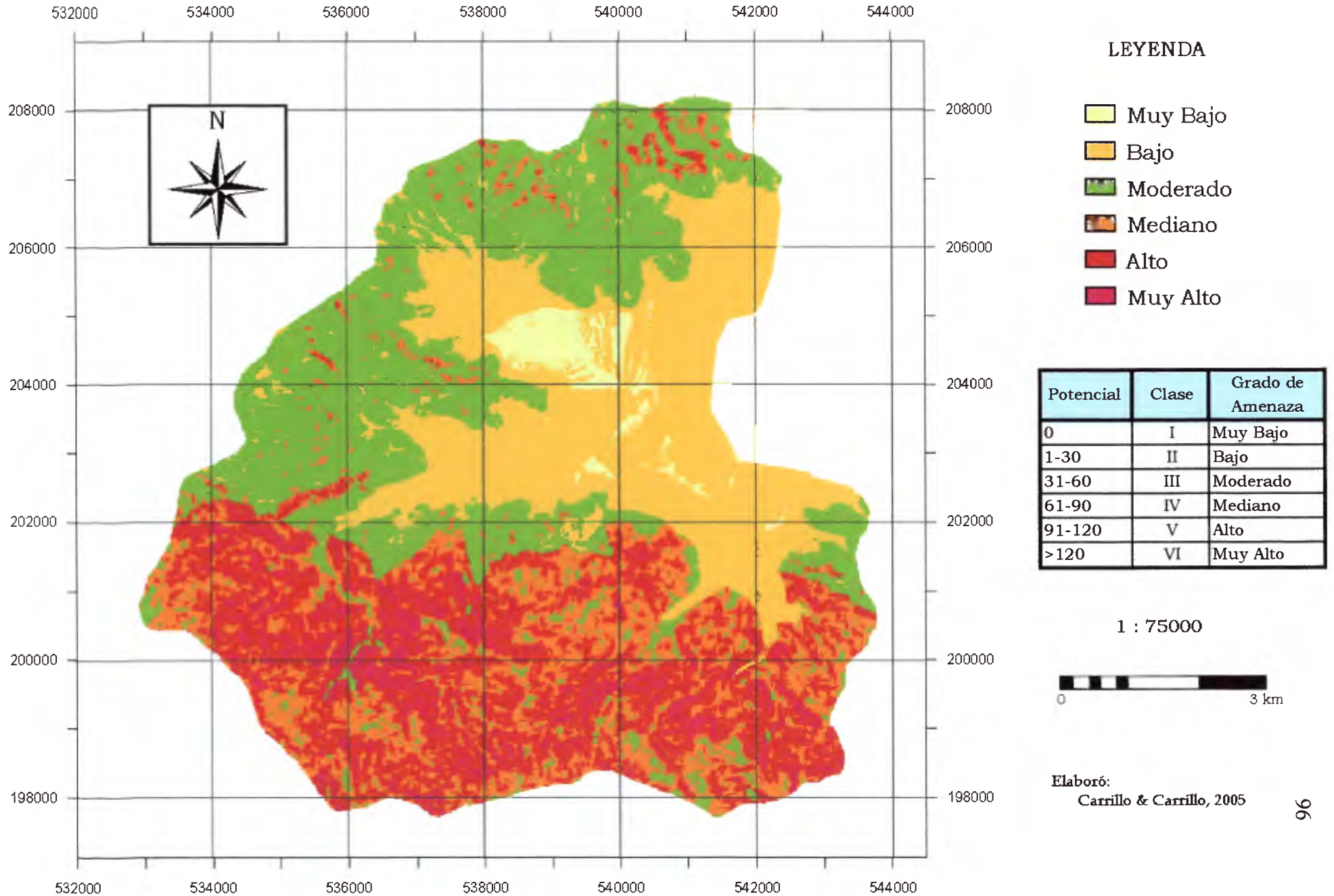
El primer análisis se realizará con el fin de observar el comportamiento del área a la inestabilidad de laderas ante la intensidad sísmica más frecuente (V MM, calificativo de bajo, valor 3, Cuadro 4.5) y por tanto se asume que es la más probable a ocurrir. Sin embargo, para efectos de determinar los tramos de las líneas vitales más susceptibles a la inestabilidad, se utilizará la mayor intensidad registrada, tal como lo establece el método.

CUADRO 4.8
VALORACIÓN DEL POTENCIAL GENERADOR DE DESLIZAMIENTOS CON EL FACTOR
INTENSIDAD SÍSMICA MAS COMÚN (V MM) (Fig. 4.5)

| POTENCIAL | CLASE | GRADO DE AMENAZA |
|-----------|-------|------------------|
| 0 | I | Muy bajo |
| 1-30 | II | Bajo |
| 31-60 | III | Moderado |
| 61-90 | IV | Mediano |
| 91-120 | V | Alto |
| >120 | VI | Muy alto |

Al valorar únicamente como agente activador de deslizamientos el efecto de un evento sísmico con reporte de intensidad V MM para el área de estudio, se observa que los mayores efectos que favorecen la inestabilidad en las laderas se presenta en el sector montañoso ubicado al sur del área de estudio (Fig. 4.5). Este resultado concuerda con la inspección de campo previamente realizada, así como los obtenidos mediante el cálculo del efecto de las lluvias. Sin embargo, en este caso, los valores de rangos en el potencial generador, son mayores, lo que evidencia la mayor influencia que ejerce la sismicidad como agente desencadenante de la inestabilidad.

Figura N°4.5 MAPA DE AMENAZA
Factor Intensidad Sísmica V como único Factor de Disparo



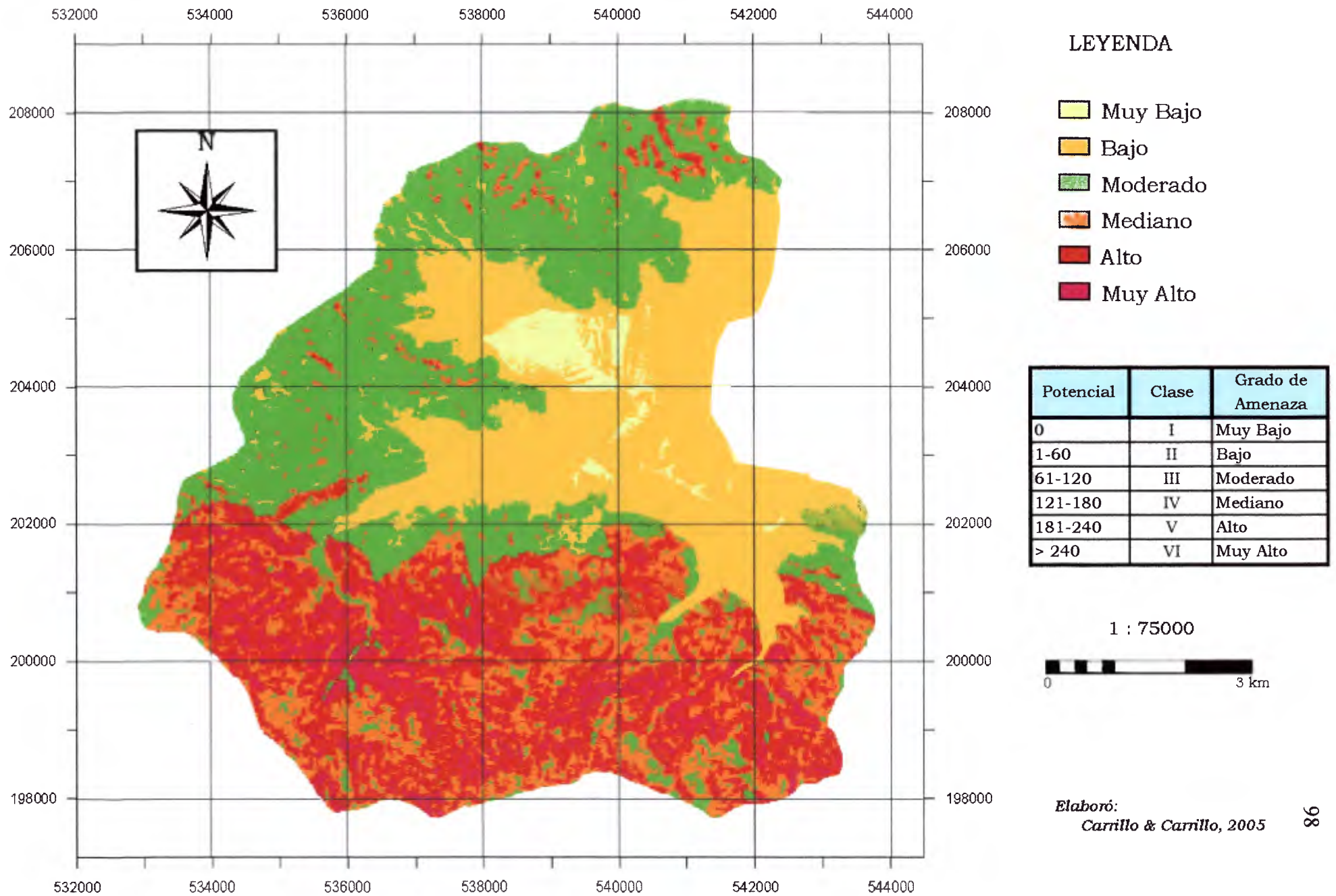
Para el segundo análisis (Cuadro 4.9), se realizará la situación donde se presente un sismo con ausencia de lluvias y un reporte de intensidad MM VIII (máxima registrada, calificativo de elevado, valor 6, Cuadro 4.5), con el fin de observar el comportamiento de la inestabilidad de laderas en el área de estudio. Esta situación se asume muy poco probable de ocurrir, debido que en una ventana de registros de aproximadamente 200 años, solo se ha reportado una vez. Sin embargo, para efectos de determinar los tramos de las líneas vitales más susceptibles a la inestabilidad, se utilizará este valor de intensidad, debido que así lo establece el método.

CUADRO 4.9
VALORACIÓN DEL POTENCIAL GENERADOR DE DESLIZAMIENTOS DEL FACTOR
INTENSIDAD SÍSMICA (VIII MM) (Fig. 4.6)

| POTENCIAL | CLASE | GRADO DE AMENAZA |
|-----------|-------|------------------|
| 0 | I | Muy bajo |
| 1-60 | II | Bajo |
| 61-120 | III | Moderado |
| 121-180 | IV | Mediano |
| 181-240 | V | Alto |
| >240 | VI | Muy alto |

Esta valoración muestra la situación más crítica, analizando únicamente el efecto de un sismo con Intensidad VIII MM, sobre el potencial generador de la inestabilidad de laderas, tal como ha sido el resultado de análisis anteriores, los mayores efectos de activación o reactivación de los deslizamientos se presentarán en el sector montañoso ubicado al sur del área de estudio (Fig. 4.6). Estos resultados concuerdan con la inspección de campo previamente realizada. Adicional a ello, al comparar las figuras 4.5 y 4.6 se hace evidente la influencia que ejerce la sismicidad como agente desencadenante de la inestabilidad al aumentar los valores de rangos del potencial generador.

Figura N°4.6 MAPA DE AMENAZA
Factor Intensidad Sísmica VIII como único Factor de Disparo



4.2.3 Determinación del Potencial Generador de Deslizamientos

En este apartado se presenta la cuantificación probabilística del potencial generador de deslizamientos o también denominado Amenaza por Inestabilidad de Laderas. Para su determinación, se utilizan los cinco indicadores morfodinámicos, cuya relación se presenta en la siguiente ecuación:

$$\text{Amenaza} = \text{Parámetros de Susceptibilidad} * \text{Parámetros de Disparo}$$

Siendo: **Susceptibilidad** = Índice Relieve Relativo * Litología * Humedad

Disparo = Sismicidad + Lluvia

Tomando en cuenta la importancia del Factor Intensidad Sísmica en la generación de deslizamientos, se presenta un análisis independiente para cada uno de los ambientes identificados en el apartado anterior.

➤ Valoración de la Amenaza utilizando la Intensidad Sísmica V MM

$$\text{Amenaza I} = [\text{Índice Relieve Relativo} * \text{Litología} * \text{Humedad}] * [\text{Sismicidad (V MM)} + \text{Lluvia}]$$

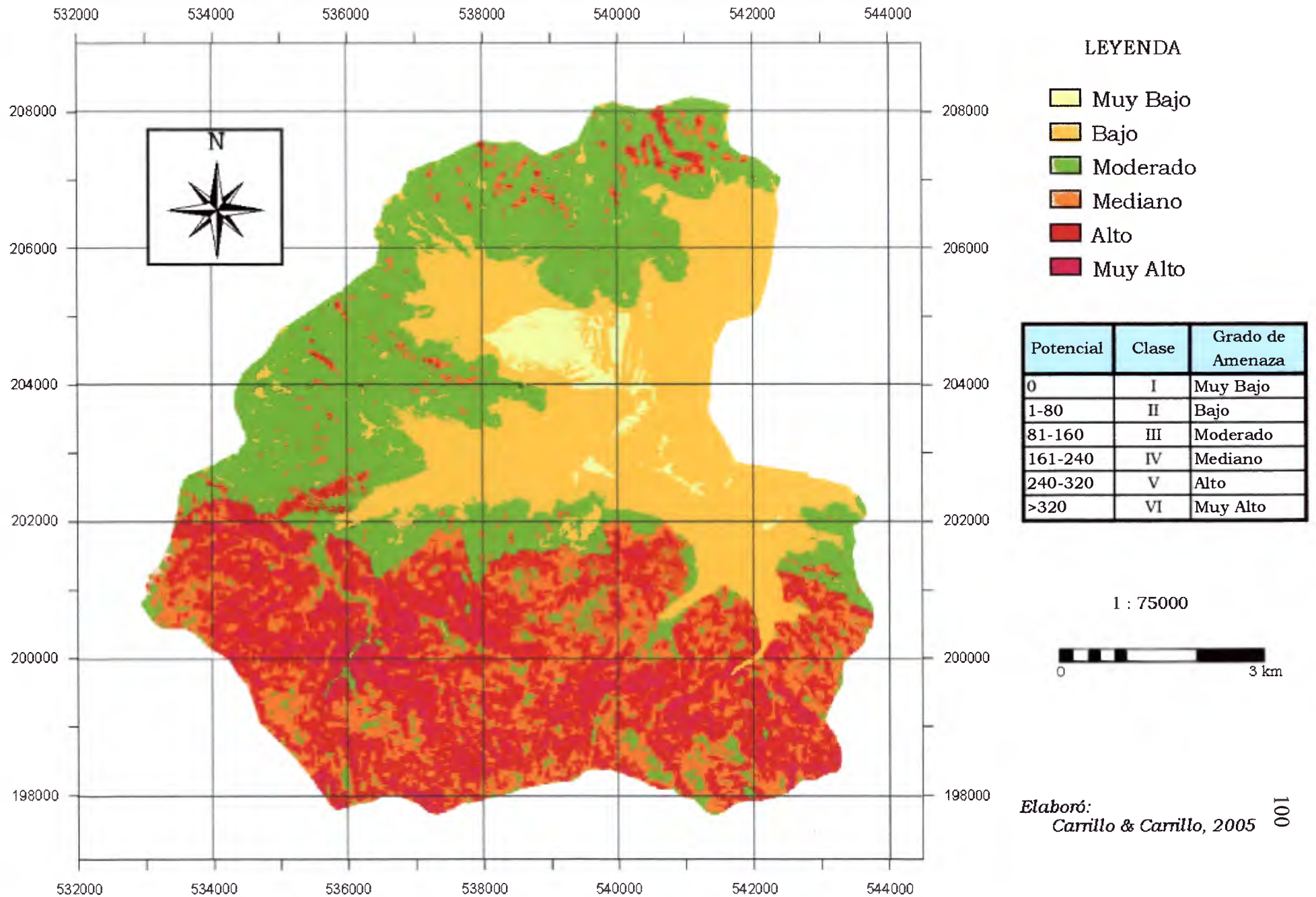
Considerando que durante la época lluviosa se presente un evento sísmico, cuyo reporte de intensidad para el área de estudio, sea de V MM y al realizar una comparación entre la valoración presentada entre las figuras 4.5 y 4.7, se observa que las áreas de amenaza identificadas permanecen constantes, solamente se presenta un cambio en el aumento de la valoración del factor (Cuadros 4.9 y 4.10) lo que refleja el efecto del parámetro lluvia. El cuadro 4.10 presenta la clasificación obtenida para el área de estudio en relación al potencial de generación de deslizamientos mediante la evaluación de las lluvias y la intensidad sísmica V MM.

CUADRO 4.10

VALORACIÓN DE LA AMENAZA POR INESTABILIDAD DE LADERAS MEDIANTE LA EVALUACIÓN DE LLUVIAS E INTENSIDAD SÍSMICA V MM [Con base en Mora & Vahrson, 1993] (Fig. 4.7)

| POTENCIAL | CLASE | GRADO DE AMENAZA |
|-----------|-------|------------------|
| 0 | I | Muy bajo |
| 1-80 | II | Bajo |
| 81-160 | III | Moderado |
| 161-240 | IV | Mediano |
| 241-320 | V | Alto |
| >320 | VI | Muy alto |

Figura N°4.7 MAPA DE AMENAZA
Factores de Disparo: Lluvia + Intensidad Sísmica V



➤ **Valoración de la Amenaza utilizando la Intensidad Sísmica VIII MM**

$$\text{Amenaza II} = [\text{Índice Relieve Relativo} * \text{Litología} * \text{Humedad}] * [\text{Sismicidad (VIII MM)} + \text{Lluvia}]$$

Debido que la recomendación del método es utilizar la información de las intensidades sísmicas bajo la forma de mapas de máximos históricos, en este apartado se evalúa la situación más adversa que se puede esperar en la microcuenca, siendo que durante la época lluviosa se presente un evento sísmico con reporte de intensidad VIII MM (Cuadro 4.11). Esta intensidad sísmica es la máxima reportada, por lo cual se considera que esta situación.

Tal como se observó anteriormente, las montañas localizadas al sur del área de investigación son las que presentan la mayor amenaza, pero en este caso los valores del parámetro son los máximos esperados. Sin embargo, al evaluar la intensidad sísmica VIII, se observa que se incrementa el potencial generador de deslizamientos en los cerros de La Carpintera y en los alrededores de Quebradillas.

CUADRO 4.11
VALORACIÓN DE LA AMENAZA POR INESTABILIDAD DE LADERAS MEDIANTE LA EVALUACIÓN DE EFECTO DE LAS LLUVIAS Y UNA INTENSIDAD SÍSMICA DE VIII MM
(Fig. 4.8)

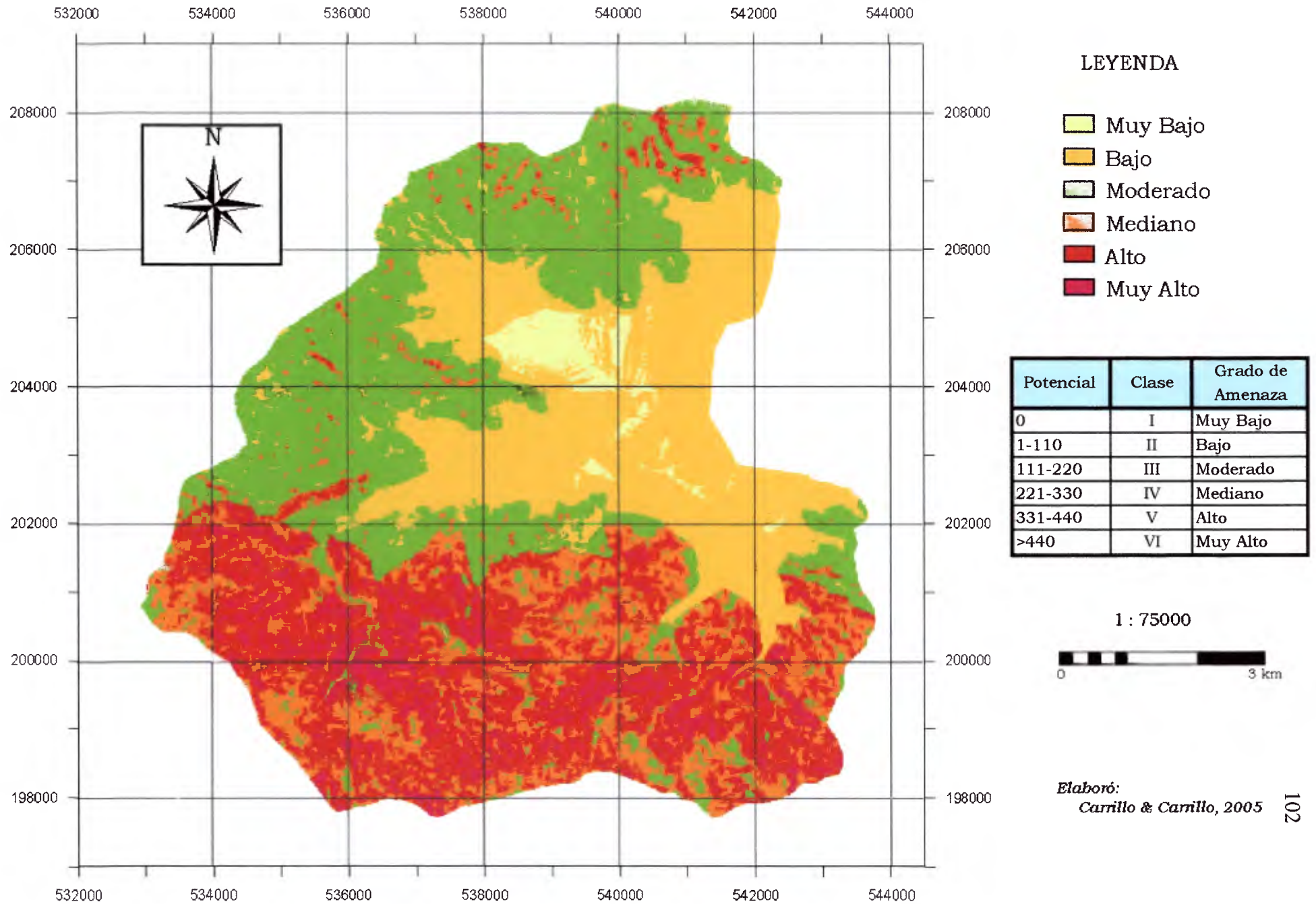
| POTENCIAL | CLASE | GRADO DE AMENAZA |
|-----------|-------|------------------|
| 0 | I | Muy bajo |
| 1-110 | II | Bajo |
| 111-220 | III | Moderado |
| 221-330 | IV | Mediano |
| 331-440 | V | Alto |
| >440 | VI | Muy alto |

4.3 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA AMENAZA EN LAS LÍNEAS VITALES

Conforme se establece en el método aplicado en esta investigación y con base en el mapa obtenido al analizar el efecto del potencial generador de deslizamientos, considerando como factores de disparo la lluvia y la intensidad sísmica máxima (VIII MM), en este apartado se evaluará el efecto de la amenaza por la inestabilidad de laderas (Fig. 4.8) y se sobrepondrá el trazado actual de las líneas vitales, que ha sido posible recopilar de las instituciones relacionadas.

Esta práctica se realiza con el fin de identificar los tramos donde se debe poner especial atención y realizar estudios geotécnicos de detalle, para tomar las medidas de protección necesarias para esos tramos.

Figura N°4.8 MAPA DE AMENAZA
Factores de Disparo: Lluvia + Intensidad Sísmica VIII



Elaboró:
Carrillo & Carrillo, 2005

4.3.1 Líneas Vitales a Evaluar

- **Acueductos Rurales:** la información base del trazo de los acueductos rurales ha sido recopilada en Acueductos y Alcantarillados. En este caso se ha encontrado la limitante de que muchos de ellos no poseen un plano debidamente referenciado a la cartografía nacional, por lo cual, no ha sido posible presentar en esta evaluación todos los acueductos existentes dentro del área. De esta forma, la información recopilada, comprende los siguientes acueductos:
 - Acueducto Rural de Quebradillas
 - Acueducto Rural de Bermejo
 - Acueducto Rural de Guatuso
 - Acueducto Rural Tobosi
 - Acueducto Rural Higuito
- **Acueducto Metropolitano:** dentro del área comprendida por la microcuenca del río Purires, se encuentra parte del tramo del Acueducto Metropolitano, con un rumbo NW-SE. La información sobre este trazado ha sido aportada por Acueductos y Alcantarillados (AyA).
- **Líneas de Transmisión:** la Línea de Transmisión denominada Río Macho, posee parte de su trazo dentro del área de estudio con un rumbo predominante NW-SE y una pequeña sección N-S. La información ha sido aportada por el Departamento de Gestión Ambiental del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).
- **Red Vial:** se analiza la información existente para rutas nacionales, calles, caminos y trochas que se encuentra recopilada en las hojas topográficas 1:50 000 y 1:25 000, así como en las fotografías aéreas del Proyecto Terra.

4.3.2 Interpretación de Mapas

Con el fin de identificar los tramos de las líneas vitales que presentan mayor amenaza a la inestabilidad de laderas, se ha procedido a realizar una sobreposición de sus trazos (acueductos, línea de transmisión, red vial), en el mapa de amenaza por inestabilidad de laderas (Fig. 4.8) el cual representa la situación más crítica que es posible esperar en el área de estudio.

Debido a la complejidad en la resolución gráfica de los mapas generados, esta información será más adecuadamente analizada en el detalle del SIG, el cual permitirá ubicar exactamente cada punto del tramo de la línea vital en interés. Debido que para las instituciones relacionadas con estos resultados, es importante la ubicación precisa de puntos específicos, se aportará la versión digital a las Municipalidades respectivas y se proveerá una versión de consulta en la CNE.

A manera general es posible realizar la siguiente descripción de resultados:

- La figura 4.9a muestra los tramos de los acueductos (rurales y metropolitano) y la línea de transmisión que se encuentran sobre las áreas de amenaza a deslizamientos. Se observa que los acueductos rurales de Higuito, Tobosi y Guatuso poseen tramos ubicados en sectores de alta amenaza a deslizamientos, así mismo, la línea de transmisión, en su tramo Tobosi, Higuito, Guatuso, atraviesa muchas áreas cuyo grado de amenaza va desde moderado hasta muy alto.
- La figura 4.9b presenta la sobreposición de la red vial en el mapa de amenaza por deslizamientos. Como se observa, principalmente en las partes altas al sur del área de estudio, los caminos atraviesan zonas de mediano a muy alto grado de amenaza.

Figura N°4.9a MAPA DE AMENAZA Y LÍNEAS VITALES
Factores de Disparo: Lluvia + Intensidad Sísmica VIII

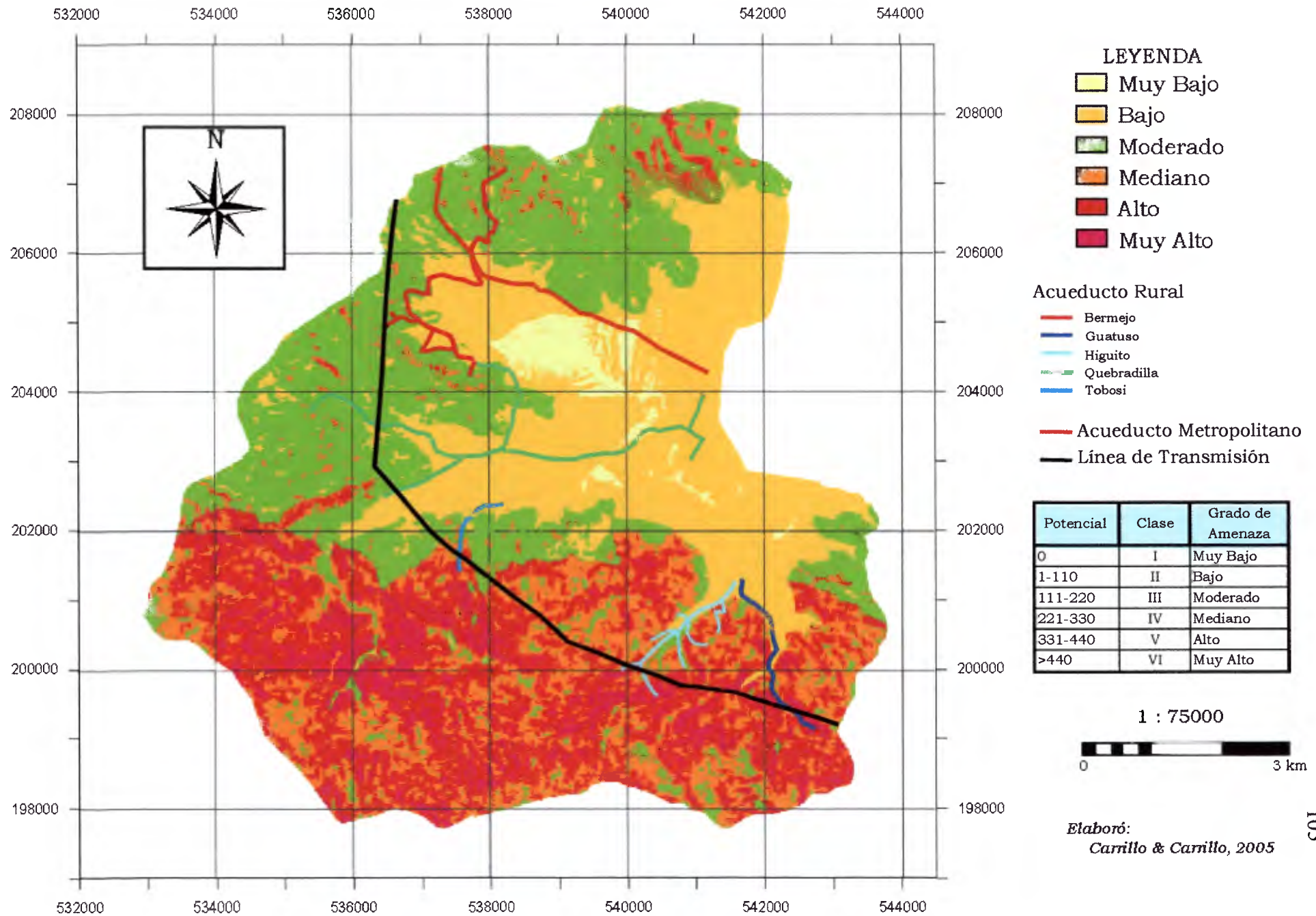
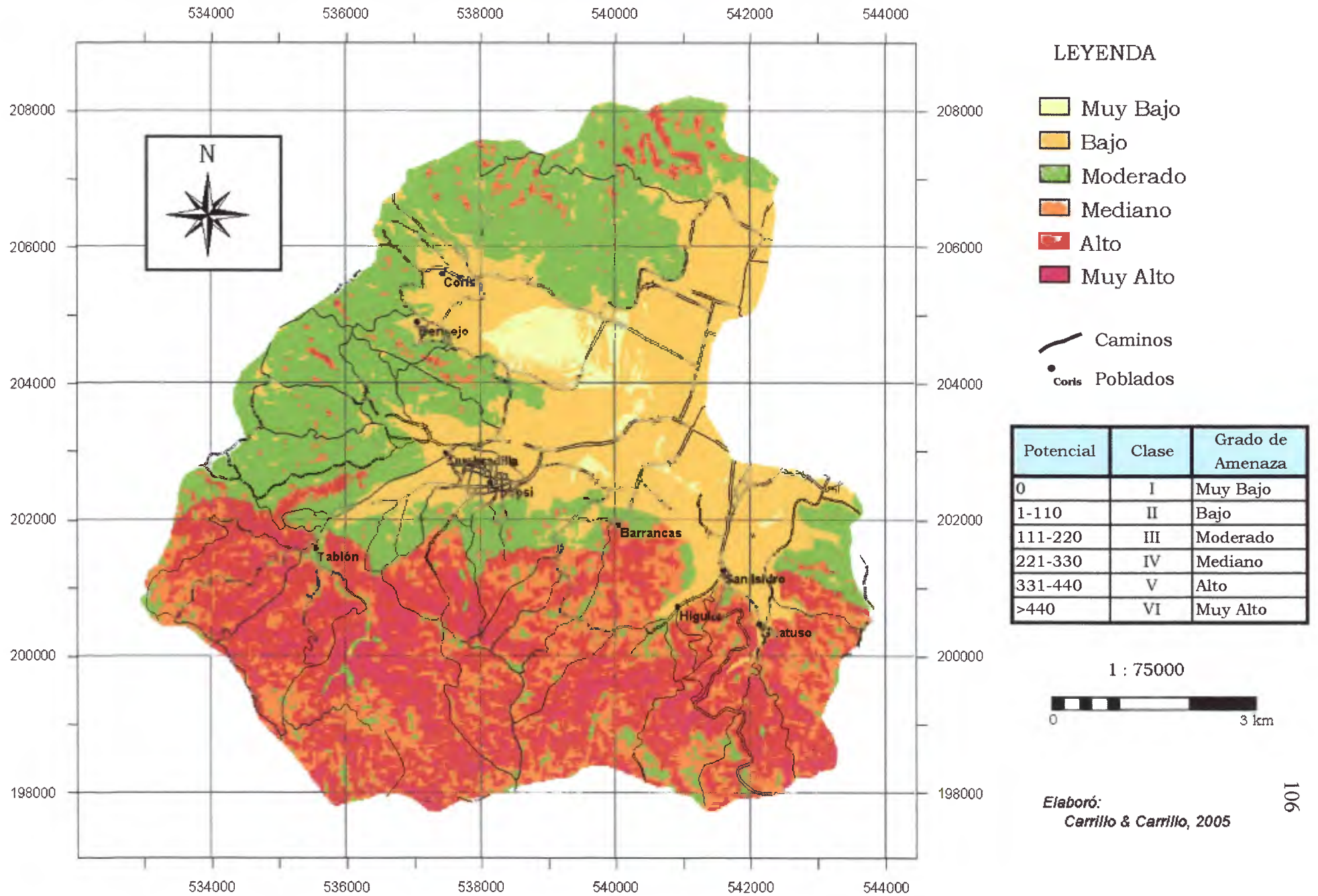


Figura N°4.9b MAPA DE AMENAZA (CAMINOS PRINCIPALES Y POBLADOS)
Factores de Disparo: Lluvia + Intensidad Sísmica VIII



4.4 EL RIESGO ACEPTABLE COMO UN FACTOR DE DESARROLLO SOCIAL

Peraldo (2005) refiere que la visión del ser humano sobre el espacio, su organización y la implantación de medidas de mitigación o de prevención a los impactos originados por los procesos que transforman el paisaje y que provienen de ese espacio, es parcial y sectorial, lo que implica que las diversas actividades socioeconómicas y culturales no las relacionamos al espacio en que se desarrollan y mucho menos a los procesos que se revierten en peligros para el desarrollo socioeconómico. Los paisajes evolucionan, máxime si existen dentro de ambientes geológicos y climáticamente activos. Esto significa que las comunidades que coexisten con la dinámica del paisaje quedan vulnerables si son incapaces de adaptarse a las nuevas características de ese espacio como lo sugiere el autor.

La vulnerabilidad se reduce mediante políticas que normen las estrategias para alcanzar determinados estilos de desarrollo que incorporen la variable ambiental y que aseguren una mayor calidad de vida. Las políticas encaminadas hacia la reducción de vulnerabilidad y por tanto del riesgo, deben ir encaminadas hacia la creación de un proceso de ordenamiento territorial adecuado.

Pujadas y Font (1998) indican que el ordenamiento es responsabilidad de la administración pública, cuyo objetivo es la creación de las condiciones adecuadas para que los agentes privados desarrollen sus actividades con normalidad. Por otra parte, Lücke (1999) define ordenamiento territorial como una política y un instrumento de planificación del desarrollo desde una perspectiva de conjunto, y cuyas características básicas son la prospección, la democracia y la participación que englobe todos los factores que intervienen en la construcción del ambiente.

Las anteriores definiciones se funden en la siguiente definición de ordenamiento territorial, la cual es *la disciplina central, eminentemente participativa, que sustenta y orquesta de manera ambiental y socialmente equilibrada los considerandos y por tantos de los diferentes estudios sobre el espacio por ordenar, de tal forma que mediante políticas concretas exista una conciliación democratizada de los diferentes ámbitos de gestión para coexistir sin detrimento del ambiente y de la sociedad* (Peraldo, 2005).

Los planes reguladores son los instrumentos legales con que cuenta el país para “sistematizar” el uso del espacio, que se fundamenta en un soporte técnico adecuado, en donde el análisis de los procesos geológicos es básico para la planificación socioeconómica. Es aquí donde la presente investigación aportará información idónea como base para un futuro plan regulador de la cuenca.

El desarrollo entraña una condición de vulnerabilidad y riesgo pues la transformación del paisaje, generalmente se da de manera violenta, reñida con el ambiente (Peraldo, 2005). El autor considera que un desarrollo ambientalmente equilibrado, es pensar en ordenamiento territorial y por ende en gestión del riesgo, lo que genera un círculo: desarrollo – ordenamiento – riesgo. Dentro de este sentido, las comunidades existentes en el área de estudio, no han sido capaces de adaptar su desarrollo socioeconómico a las características naturales del área, pues esto se refleja en el prevaeciente uso de la tierra.

Retomando la teoría anterior, vale la siguiente pregunta: ¿De qué manera los grandes deslizamientos que existen en el área de estudio, pueden afectar las zonas urbanas y su desarrollo socioeconómico, ubicadas en las áreas bajas de la cuenca? En este trabajo no se hizo una zonificación de riesgo en los núcleos poblacionales para contestar esa pregunta, pues no era su objetivo. Sin embargo, deslizamientos como los existentes en la Quebrada Víbora, Bodocal y Barrancas, son ejemplos de procesos de inestabilidad de laderas que podrían generar flujos de lodo que transiten por los ríos que pasan por las principales comunidades del lugar. Además, en las cercanías de las laderas inestables existen viviendas y dentro de las áreas afectadas por los deslizamientos existen actividades económicas que sustentan la existencia de muchas familias del área.

Dentro de la visión del riesgo aceptable, se debe preguntar a los vecinos del área ¿cuál es su concepto en torno al peligro y a su espacio? Esto es importante porque el grado de destrucción está ligado a la construcción antrópica de la vulnerabilidad y del riesgo, lo que explica el daño durante un evento natural violento (Peraldo y Rojas, 1998; Peraldo y Astorga, 2000). Desde el punto de vista de la psicología, el riesgo es relativo para cada persona que percibe la realidad en función de la abstracción del espacio que le rodea y de las relaciones que en él se realizan.

Campos (2004) plantea que la noción de riesgo es producto de nuestro pensamiento. En este sentido, el riesgo está íntimamente relacionado con la percepción, pues incorpora siempre la interpretación activa de sus protagonistas. De aquí se obtiene que cuando se labora en función del riesgo, se debe estudiar la percepción para conocer el sentido que las personas dan a ese concepto y en la medida de lo posible, adaptarse a las condiciones naturales del área, o sea trabajar con el concepto de riesgo aceptable.

Riesgo aceptable no es solamente vivir, sea por necesidad o por voluntad, en un espacio que muestra diferentes peligros, sino evaluarlos, entenderlos y considerar como pertinente la adaptación de la cultura y del “*modus vivendi*” de las comunidades ante esos potenciales peligros. Es importante la

memoria histórica, el abordaje de la percepción, los estudios y las capacitaciones como recursos para adaptarse a las condiciones peligrosas. En otras palabras, aceptar un riesgo es: conocer, entender los procesos que redundan en eventos peligrosos, saber qué hay y dónde existe, trazar rutas de escape, prepararse para la reconstrucción, es en fin, incorporar las características ambientales en el estilo de vida cotidiano (Peraldo, 2005).

Las municipalidades del área de estudio, deben retomar estas ideas para que sus futuros planes reguladores incorporen los factores de riesgo que son en este caso los deslizamientos y adapten sus planes reguladores mediante la percepción de las comunidades hacia ese peligro latente. Aceptar un determinado nivel de riesgo no se logra únicamente mediante un plan regulador, sino mediante el grado de organización que logren las comunidades del área, para lo cual deben conocer e implementar de manera adecuada:

1. las zonas de riesgo existentes,
2. las características sociales de las comunidades amenazadas (género, edad, discapacidad, escolaridad, actividades laborales),
3. las opciones de desarrollo del área,
4. las rutas de evacuación,
5. los sistemas comunales de alerta temprana y su implementación,
6. la capacitación continua de la población,

A su vez, las instituciones públicas que tienen intereses en el área de estudio, a escala de los sistemas vitales tales como acueductos rurales, carreteras y otras vías de comunicación, sistemas de comunicación remota: líneas telefónicas, fibra óptica, sistema eléctrico interconectado, deben velar por incorporar, si no lo han hecho ya, los resultados de la inestabilidad de laderas en sus propuestas de mantenimiento y desarrollo de dichas líneas vitales, además de trabajar en la gestión del riesgo junto con las municipalidades y las comunidades del área.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Este estudio no contempla la probabilidad temporal de ocurrencia de los deslizamientos, sólo la espacial.
- Mediante la inspección de campo y análisis de laboratorio, dentro del área de estudio se identificaron las formaciones geológicas formales (San Miguel y Coris); tres unidades ígneas informales (La Carpintera, El Guarco y Monzogabro) y los depósitos inconsolidados del Cuaternario. Las rocas aflorantes presentan un alto grado de meteorización y alteración hidrotermal, que contribuyen a aumentar el efecto de la inestabilidad de laderas.
- Se realizó un muestreo geotécnico puntual, que permitió identificar las características y origen de los diferentes tipos de suelos. De esta forma, se observó que los suelos generados por las rocas volcánicas de la Unidad El Guarco poseen mayor cantidad de finos en relación a los originados por la Formación Coris, no obstante, a simple vista, son muy similares, debido a los colores de meteorización. Los suelos originados por la Formación Coris presentan como característica distintiva un alto contenido de partículas de cuarzo en granulometría arenosa. La Unidad Monzogabro genera suelos de arenas medias, con pocos finos y alto contenido de minerales. Con relación a los suelos generados por la Unidad Volcánica La Carpintera se encuentran poco meteorizados presentando todos los vestigios de su origen volcánico.
- Mediante observaciones de campo se han identificado el desarrollo de flujos superficiales (reptación, flujos regolíticos, etc) en el sector de Tablón cuyo efecto principal se presenta de forma integral. Los alrededores de Tobosi y Barrancas, presentan el desarrollo de movimientos en masa de mayores dimensiones y profundos, pero muy localizados.
- La metodología utilizada en esta investigación, ha permitido identificar mediante una microzonificación, aquellos sectores que presentan mayor amenaza a la inestabilidad de laderas en la microcuenca del Río Purires.
- Los resultados obtenidos han sido determinados mediante el análisis de la influencia de los factores naturales tomando en cuenta la combinación de los elementos pasivos (relieve relativo, humedad, litología, suelo) y de disparo (lluvia e intensidad sísmica) y su distribución espacio-temporal.
- Tomando en cuenta observaciones en la metodología utilizada, se procedió a evaluar elementos pasivos adicionales a los establecidos en la Metodología Mora-Vahrson, 1993 (pendientes, humedad de campo). Sin embargo, los resultados así obtenidos en la determinación de las áreas de

susceptibilidad natural, no mostraron una mejor resolución práctica, con respecto a la obtenida mediante la aplicación “sensu estricto” del Método.

- Con el fin de aumentar la resolución local del Método y así discriminar mejor las condiciones propias del área de estudio, ha sido necesario redistribuir las categorías de los parámetros evaluados, mediante el análisis estadísticos, tomando en cuenta la aplicación de un histograma de distribución normal, lo que ha permitido establecer familias de valores distribuidos homogéneamente y de manera estadísticamente válida. Sin embargo, la asignación del valor del parámetro y su calificativo se obtienen de la clasificación tradicional presentada por la metodología.
- En la parte alta de Tablón, Tobosi, Barrancas e Higuito, el relieve, las condiciones litológicas, el suelo y la humedad se conjugan para hacer de este sector el de mayor amenaza natural a la inestabilidad de laderas. Al adicionar la influencia de los factores de disparo, se aumenta el valor de los parámetros, por lo cual la posibilidad de ocurrencia del fenómeno es más alta.
- En las visitas de campo, se identificaron deslizamientos en sectores que no presentan elevada valoración de la amenaza. Sin embargo, era constante la relación con vías de comunicación, a lo cual se concluye que los inadecuados cortes de caminos han aumentado y/o acelerado el desarrollo de la inestabilidad de las laderas.
- En el área de estudio, así como en el resto del país, las prácticas agrícolas inadecuadas aumentan el proceso natural del desarrollo de los deslizamientos, acelerando los efectos de la reptación y los flujos regolíticos.
- Por efectos prácticos, los mapas de amenaza presentados en el documento (escala 1:75000) no muestran a simple vista variaciones en las áreas de clasificación. Sin embargo, al detallar mediante la resolución ofrecida por la escala del trabajo (1:25000) se observan los detalles requeridos tales como cambios de potencial de amenaza para la misma área con diferentes parámetros de evaluación.
- Al sobreponer los trazos de la infraestructura vital a los Mapas de Amenazas obtenidos, se observó que la Línea de transmisión y la Red Vial, presentan la mayor cantidad de trazos en las áreas identificadas como de mayor amenaza a la inestabilidad de laderas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Debido a la experiencia obtenida en esta investigación, al valorar el factor humedad mediante los datos puntuales recolectados en el campo, se observó que su utilización no mostró una mejor resolución práctica, con respecto al obtenido mediante la aplicación “sensu estricto” del Método. Por lo cual, se recomienda para próximas aplicaciones de la humedad natural recolectada en el campo, realizar de previo un análisis estadístico para definir la densidad y recurrencia del muestro para cada unidad litológica así como realizarse bajo las mismas condiciones atmosféricas.
- Mediante esta investigación, se ha generado un mapa de Amenazas a la Inestabilidad de Laderas, el cual permite actualizar el mapa existente en la CNE, con el fin de establecer mejor las áreas que requieren una mayor atención preventiva.
- La información aportada mediante la valoración preliminar de la exposición de las líneas vitales, permite a la CNE, AyA, ICE y las Municipalidades respectivas, identificar los sectores críticos, para luego realizar estudios geotécnicos de detalle, que permitan evitar problemas posteriores de pérdida de equipos e incomunicación.
- Se sugiere que los resultados de esta investigación sean base para desarrollar en investigaciones futuras, una evaluación detallada de las áreas pobladas que se verían directamente afectadas e identificar la vulnerabilidad de la población a la Inestabilidad de Laderas.
- La información aportada mediante el escenario preliminar de vulnerabilidad de la Línea de Transmisión y la Red Vial, permite tanto al ICE como a las Municipalidades respectivas, identificar los sectores críticos, para luego realizar estudios geotécnicos de detalle, que permitan evitar problemas posteriores de pérdida de equipos e incomunicación.
- Se recomienda a las instancias locales y nacionales pertinentes reforzar los esfuerzos de vigilancia y de mantenimiento en los tramos de líneas vitales amenazados por los procesos de inestabilidad de laderas existente en el área de estudio.
- La aplicación de técnicas de percepción del espacio, es de importancia para analizar e identificar factores culturales o educativos que aumentan la vulnerabilidad de las comunidades del área, esto con el fin de aplicar procesos correctivos como talleres de participación, creación de folletos informativos entre otros, con el fin de incentivar la formación de organismos comunales de vigilancia y de prevención.
- Se recomienda que se den talleres de capacitación a las comunidades del área, de los cuales resulte una propuesta concreta con participación comunal de sistemas de alerta temprana y auscultación de los principales deslizamientos del área. Para este fin pueden ser usados los recursos de Acción

Social (TCU, Actividades de Extensión Docente y de Educación Continua) con que cuenta la Universidad de Costa Rica.

Los resultados de esta investigación podrán ser utilizados por las Municipalidades respectivas y a la CNE, ofreciendo de esta manera a los tomadores de desiciones, las bases para establecer un programa de medidas preventivas y de mitigación así como servir de insumo en el desarrollo de un Plan Regulador de la microcuenca del Río Purires.

CAPÍTULO VI**BIBLIOGRAFÍA**

- Aguilar, A., 1984: Sismicidad del 3 al 9 de setiembre de 1980 y su relación con la geología en la cabecera del Río Navarro, Cartago. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias Básicas. Escuela Centroamericana de Geología.
- Alvarado, F., 1984: Geología Estructural y Tectónica al sur del Valle Central de Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias Básicas. Escuela Centroamericana de Geología.
- Alvarado, M., 2002: Interpretación Estructural del frente de mina de SICORSA, Cartago, Costa Rica. Informe de Curso Geología de Campo II. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias Básicas. Escuela Centroamericana de Geología.
- Arias, O., & Denyer, P., 1991: Estructura Geológica de la Región comprendida en las Hojas Topográficas Abra, Carraigres, Candelaria y Río Grande. Revista Geológica de América Central N°12. Editorial Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. pp 61-74.
- Astorga, A., Fernández, J.A., Barboza, G., Campos, L., Obando, J., Aguilar, A. & Obando, L.G., 1991: Cuenas Sedimentarias de Costa Rica: Evolución geodinámica y potencial de hidrocarburos. -Revista Geológica de América Central (13-octubre): 25-59
- ASTM, 1993: Norma D2487-92
- Barquero, R. & Rojas, W., 1994: Catálogo de mapas de isosistas de temblores de terremotos importantes de Costa Rica. -75 págs. Ed. ICE, San José, Costa Rica.
- Barrantes, J., 2002: Geología y Macrozonificación de la amenaza por deslizamientos en la Cuenca del Río Savegre. Informe Técnico ICE, Área de Ingeniería Geológica (agosto).
- Barrantes, J., Cerdas, A. & López, A., 2000: Valoración de la estanqueidad del embalse y macrozonificación de la amenaza por deslizamiento del PH Pirris. Informe Técnico ICE, Área de Ingeniería Geológica (junio).
- Berrangé, J.P., 1977: Reconnaissance Geology of the Tapantí Quadrangle Talamanca Cordillera, Costa Rica.
- BSI, 1975: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y la Carta de Plasticidad
- Campos, J.A., 2000: Ubicación de zonas de riesgo y análisis de amenaza ante deslizamientos en comunidades pobres. Tesis de Licenciatura, EIC-UCR.
- Campos, A.; 2004: De cotidianidades y utopías, una visión psicosocial preventiva sobre los riesgos de desastres. Plaza y Valdéz, México, 239 págs.

- Carballo, M., 1977: Geología de la Zona Sur de Quebrada Honda, Patarrá. Campaña Geológica. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias Básicas. Escuela Centroamericana de Geología.
- Carballo, M., 1978: La Formación San Miguel. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias Básicas. Escuela Centroamericana de Geología.
- Carballo, M. & Fischer, R., 1978: La Formación San Miguel (Mioceno, Costa Rica). Informe Semestral. San José, Costa Rica. pp 45-144.
- Castillo, R., 1969: Geología de los Mapas Básicos Abra y Partes de Río Grande, Costa Rica.
- Castro, J.F., 1977: Geología de la zona comprendida entre San Miguel-Alto Burío. Campaña Geológica. Escuela Centroamericana de Geología, San José, Costa Rica, 16 pp + Mapa 1:12 500.
- Cerdas, A., (1991): Análisis de estabilidad de laderas en la margen derecha del Río Pacuare, Proyecto Hidroeléctrico Siquirres, provincia de Limón, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias Básicas. Escuela Centroamericana de Geología.
- Denyer, P. & Arias, O., 1991: Estratigrafía de la Región Central de Costa Rica. Revista Geológica de América Central N°12. Editorial Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. pp 1-59.
- Denyer, P. & Kussmaul, S., 2000: Geología de Costa Rica
- Denyer, P., Montero, W. & Alvarado, G., 2003: Atlas Tectónico de Costa Rica. –81 págs. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica.
- Departamento de Prevención – CNE, 1999: Análisis de Multiamenazas (Afectación por deslizamiento e inundaciones) regulaciones en el uso del suelo y medidas de prevención y mitigación para el cantón de El Guarco de Cartago. Informe Técnico DPM-INF-227-99; Julio Edo. Madrigal Mora, octubre: 17 pp.
- Dóndoli, C. & Torres, A., 1954: Estudio geagrónómico de la región oriental de la Meseta Central. Ministerio de Agricultura e Industrias, San José, Costa Rica, 180 págs.
- Estrada, A. 1987. Estudio geológico-geotécnico del Deslizamiento de San Blas, Río Reventado, Costa Rica. Escuela Centroamericana de Geología, U. Costa Rica. Tesis de Licenciatura, inédita-, 136.
- Fallas, J., Gutiérrez, M., 1992: Manejo de cuencas ante Desastres Naturales: Cuenca alta del Río Reventado, Cartago. Revista Geográfica de América Central, #25-26; 341-353.
- Fernández, M. y Madrigal, R., 1960: Calcáreos y Calizas de la Zona de Patarrá- Dirección de Geología y Minas. San José, Costa Rica.
- Fernández, M. & Pacheco, J., 1998: Sismotectónica de la Región Central de Costa Rica. –Revista Geológica de América Central (21): 5-23 pág.
- Fernández, M. & Montero, W., 2002: Fallamiento y Sismicidad del área entre Cartago y San José, Valle Central de Costa Rica. – Revista Geológica de América Central (26-junio): 25-37
- Fischer, R. y Franco, J., 1979: La Formación Coris. Informe Semestral. San José, Costa Rica.

- Franco, J.C., 1978: La Formación Coris. Mioceno, Valle Central, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Geología. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 87 pp.
- Garro, M., J. F., 2002: Zonificación combinada de las Amenazas Naturales para infraestructura, en las cuencas alrededor de las ciudades de Cartago y Paraíso, Valle central Oriental de Costa Rica. Informe Final del Proyecto de Graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil, UCR; agosto: 206 pp.
- González, H., González, C., & Rosales, L., 1984: Plan para incorporar el riesgo sísmico a los planes de uso del terreno. *Revista Geográfica de América Central*, #18-20; 185-202.
- Güendel, F., Montero, C., González, V., Segura, J., & Brenes, J., 1992: Actividad sísmica de carácter superficial registrada por la red sismográfica del OVSICORI-UNA en la Hoja San José 1:200 000 entre abril 1984 – julio 1988. *Revista Geográfica de América Central*, #25-26; 11-44.
- Gunter, W., 1989: Lluvias intensas y erosividad pluvial en Costa Rica, el ejemplo de la Cuenca del Río Reventazón. *Revista Geostmno*, # 3 (1): 59-72.
- Jiménez, R., (1978): Evaluación de la estabilidad de taludes. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil.
- Krushensky, R., 1970: Geology of The Istaru Quadrangle, Costa Rica.
- Krushensky, R., 1967: Preliminary Evaluation of Geologic sections at two proposed dam sites Istaru Quadrangle, Costa Rica.
- Lücke, O.; 1999: Base conceptual y metodológica para los escenarios de ordenamiento territorial. En: Rodríguez, A.; 1999: Escenarios de uso del territorio para Costa Rica en el año 2025, Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, Gobierno de Costa Rica, pp 55-71.
- Malavassi, E., & Suárez, A. 1954: Levantamiento Geológico de la Carpintera. Tesis de Agronomía. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica. San José, C.R., págs 57
- Montero, W. & Miyamura, S., 1981: Distribución de intensidades y estimación de los parámetros focales de los terremotos de Cartago de 1910, Costa Rica, América Central. –34 págs. Instituto Geográfico Nacional [Informe Semestral].
- Montero, W., Segura, J., Malavassi, E., Güendel, F., González, V., Fernández, E., Obaldía, F De, Rojas, D., Rodríguez, H., Mata, A., Van Der Laat, R., Barboza, V., Barrantes, O. & Marino, T., 1991: Observaciones iniciales obtenidas luego del terremoto del 22 de abril de 1991, Ms=7.4, Valle de la Estrella, Costa Rica.
- Mora, S. 1985. Las laderas inestables de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*. 3:131-161.
- Mora, S. 1986. Comentarios acerca de la problemática generada por las amenazas geológico-antrópicas en la cuenca del Río Reventado. Cartago, Costa Rica. Informe para Misterio de Vivienda y Asentamientos Humanos. Depto. de Geología ICE: 22 p.

- Mora, S; Estrada, A; Delgado, J; 1985. Análisis del Deslizamiento de San Blas, Río Reventado, Costa Rica. Ier. Simposio Latinoamericano sobre Desastres Naturales, noviembre. Quito, Ecuador 18 p.
- Mora, S; Morales, L. 1986. Los sismos como fuente generadora de deslizamientos en Costa Rica y su impacto sobre las líneas vitales e infraestructura. Primer Simposio Latinoamericano de Riesgo Sísmico. San José, Costa Rica. CFIA: 8 p.
- Mora, S., Alvarado, G., & Morales, L.D., 1992: Mapa preliminar sintético de Amenazas Geológicas de Costa Rica: su importancia en el desarrollo de la infraestructura civil. Revista Geográfica de América Central, # 25-26; 355-371.
- Mora, S & Vahrson, W-G, 1992: Determinación "a priori" de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos. En: Alzate, J.B. (editores) 1992: Memoria del primer simposio internacional sobre sensores remotos Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el estudio de Riesgos Naturales, Colombia, pp:259-273
- Mora, S & Vahrson, W-G, 1993: Determinación "a priori" de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos. Revista Tecnología ICE, vol 3, #1 (octubre): 32-42
- Mora, R., Mora, S., & Vahrson, W., 1992: Macrozonificación de la amenaza de deslizamientos y resultados obtenidos en el Valle Central de Costa Rica. CEPREDENAC.
- Morales, L.D., 1975: Estudio Geológico. Esquina Suroeste Hoja Istarú. Campaña Geológica. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias Básicas. Escuela Centroamericana de Geología.
- Nagarajan, R., 2002: Rapid assessment procedure to demarcate areas susceptible to earthquake-induced ground failures for environment management- a case study from parts of northeast India. Bull. Eng. Geol. Env. Volume 61, #2 (may): 99-119
- Peraldo, G., 1996: Desastre natural y planificación urbana. Revista Reflexiones, # 43: 13-24.
- Peraldo, G.; 2005: 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. Tesis de Maestría en Geografía, Universidad de Costa Rica.
- Peraldo G & Astorga, A.; 2000: Reducción del proceso del desastre. En: Denyer P., Kussmaul, S., 2000: Geología de Costa Rica, Editorial Tecnológica, Cartago, pp. 241 – 249.
- Peraldo, G. & Badilla, E., (s.f): Geodinámica externa de Tablón del Guarco, Cartago, Costa Rica. Informe técnico ECG-UCR (inédito)
- Peraldo, G. & Rojas E., 1998: La deslizable historia del ferrocarril al Caribe, Costa Rica. Anuario de Estudios Centroamericanos, 24(1-2):97-128.
- Pujadas, R., Font, J., 1998: Ordenación y planificación territorial. Editorial Síntesis, España, 399 págs.
- Obando, L.G. et al., 1991: Sedimentología de algunas facies de la Formación Coris (Mioceno Medio, Mioceno Superior) Valle Central de, Costa Rica, América Central. Revista Geológica de América Central N°13. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, pp 61-71

- Ramírez, P., 1992: Descripción de situaciones climatológicas que puedan producir desastres en Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, # 25-26; 153-169.
- Romanes, J., 1912: *The Geology of Costa Rica*. Escuela Centroamericana de Geología: pág 102-136.
- Schaufelberger, P., 1931: Cráteres parásitos del Macizo Volcánico. En: *Revista del Instituto de Defensa del café*. Vol. N°3. pp11.
- Schiechtl, H.M., (1986): *Manual de ordenamiento de cuencas hidrográficas: estabilización de laderas con tratamientos del suelo y la vegetación*. 65p
- Solórzano, E. 1984: *Evaluación de la Cuenca del Río Purires con fines de Desarrollo Agrícola*. San José. Costa Rica.
- Taylor, W., 1994: *Características sismo-dinámicas del suelo blando en la región central de la ciudad de Cartago, Costa Rica*. Tesis de Licenciatura, ECG-UCR.
- Vahrson, G; Cervantes, C; Arauz, I; Chacón, R; Alfaro, M; Palacios, G; Hernando, L; 1990. Aspectos climatológicos relacionados con la morfodinámica externa en la zona de Puriscal, Costa Rica. *Proy. Morfodinámica Aplicada, Escuela de Ciencias Geogr. Univ. Nal. Heredia* 16 pp.
- Vahrson, W., & Cartín, N., 1992: *Deslizamientos de la cuenca media y superior del Río Reventado, Cartago, Costa Rica*. *Revista Geográfica de América Central*, #25-26; 171-192.
- Xirinachs, M.A., (1964): *Fundamentos que ubican "Ciudad de Lodo" junto a los ríos Coris y Purires*. San José, Costa Rica. 39p
- Zúñiga, J.A., (1993): *Metodología para la determinación de la estabilidad de un río (caso del Río Purires)*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil
- Zárate, E., 1922: *Clasificación de fenómenos meteorológicos causantes de desastres naturales según escalas temporales y espaciales*. *Revista Geográfica de América Central*, # 25-26; 115-131.

ANEXO N°1

Cuadro Sinóptico de Correlación Geológica

CUADRO SINOPTICO DE CORRELACIÓN GEOLÓGICA

| Número | Autor | Año | Formación estudiada | Descripción |
|--------|----------------------|------|----------------------|---|
| 1 | Fernández & Madrigal | 1960 | Caliza de San Miguel | Caliza gris oscura a gris azulada, dura, compacta, recristalizada, compuesta en gran parte, de restos orgánicos, abundando una especie de Pecten. Se presenta fuertemente fracturada, con planos de diaclasas perpendiculares a la inclinación del estrato. Los contactos con las rocas vecinas son concordantes y bien definidos. El espesor medido varía entre 4 y 11 metros. |
| 2 | R. Castillo | 1969 | Formación San Miguel | Es una caliza bioclástica gris, de 5 a 15 m de espesor. Es masiva con rasgos pobres de estratificación, generalmente pura, diaclasado irregular y conteniendo pequeñas fracturas rellenas de calcita y fósiles abundantes. Sobreyace concordantemente a la Fm Terraba y localmente está cubierta por la Fm. Coris. Los fósiles encontrados se dataron como del Mioceno Inferior. |
| | | | Formación Coris | Secuencia de areniscas cuarzosas espesa con capas delgadas de lutitas. La arenisca cuarzosa es de color blanco a gris claro cuando no meteoriza, amarilla parda, rojas hasta púrpura cuando se ha meteorizado. La arenisca es generalmente masiva, pobremente estratificada, friable a moderadamente dura. Se han observado lentes locales de lignito. Descansa localmente en forma concordante sobre la Fm. Turrúcares y sobre la caliza de San Miguel. La Fm. Aguacate y las rocas volcánicas, lahares y aluviones descansan discordantemente sobre la Fm. Coris. Se le asigna una edad Mioceno Inferior hasta Mioceno Medio. |

| Número | Autor | Año | Formación estudiada | Descripción |
|--------|---------------|------|---------------------|---|
| | | | Formación Aguacate | Está compuesta por brechas volcánicas, tobas soldadas de color gris claro y lavas andesíticas y andesíticas-basálticas, grises a parduscas, intruidas por diques de basalto, de color gris a gris verdusco. Descansa en forma discordante sobre las Fms. Terraba, Turrúcares y Coris y a la vez, está sobreyacida discordantemente por las rocas volcánicas, lahares y aluviones no diferenciados del Valle Central Occidental. |
| 3 | R. Krushensky | 1970 | Calizas San Miguel | Está compuesta principalmente por calizas cristalinas de grano fino a medio. Consiste de masas de fragmentos fósiles cementados por calcita finamente cristalina. Los fósiles más abundantes son lo Péctenes. Presenta un contacto discordante con la Fm. San Miguel. El contacto con la Fm. Terraba está pobremente expuesto, pero aparece como concordante. |
| | | | Formación Coris | Consiste de areniscas argilíticas de grano fino a medio. Localmente, la roca está bien sorteada. Partículas de arcilla, fragmentos líticos de rocas volcánicas constituyen el 40% de la arenisca. |
| | | | Formación Aguacate | Está compuesta de conglomerados volcánicos, brechas, flujos de lava y pequeñas cantidades de tobas. Los flujos de lava raramente tienen más de 5 metros de espesor. Todos los flujos observados son de andesita porfirítica con augita y andesita. |

| Número | Autor | Año | Formación Estudiada | Descripción |
|--------|----------------|------|-----------------------|---|
| 4 | J. P. Berrangé | 1977 | Calizas de San Miguel | Es una caliza cristalina, pero localmente es una calcarenita o calcirudita bioclástica fosilífera. La caliza está interdigitada con delgadas capas de caliza lutítica, lutita, arenisca fina y conglomerados. La unidad de caliza tiene aproximadamente 100m de espesor y está expuesta a lo largo de un kilómetro. Las calizas sobreyacen discordantemente a la Fm. Pacacua. El contacto superior es conforme con la Fm. Coris. |
| | | | Formación Coris | Comprende areniscas cuarzosas tobáceas de medias a muy finas y limonita. Estas rocas consisten de granos subangulares de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas y fragmentos líticos, con cemento argilítico o tobáceo. Los lentes de lignito medidos tienen aproximadamente 1.5 m de largo y 25 cm de espesor. Contiene capas de areniscas cuarzosas de grano medio (ortocuarzitas) compuesta por más de 80% de granos de cuarzo con menores cantidades de feldespatos y fragmentos líticos. La Fm. Coris es sobreyacida concordantemente por el Complejo Aguacate. |

| Número | Autor | Año | Formación estudiada | Descripción |
|--------|-------------------------|------|----------------------|--|
| | | | Complejo Aguacate | Comprende principalmente de ceniza caída, tufas de flujos de ceniza, aglomerados y brechas volcánicas, flujos de lava andesítica y basáltica. Sedimentos, incluyendo ortocuarcitas y arenitas volcanoclásticas, ocurren localmente pero son muy subordinados en volumen con respecto a las volcánicas. El Complejo ha sido intruido por numerosos diques plutónicos comagmáticos, sills y stocks. Las rocas de los alrededores de estos cuerpos intrusivos tienen contacto metamorfizado y alterado hidrotermalmente, silicificación, propilitización, caolinitización y piritización. Se considera que su espesor mínimo es de 1440m. |
| 5 | M. Carballo H. | 1978 | Formación San Miguel | Cuerpo calcáreo en forma de lente cuyos espesores oscilan entre 20 y 190m. La litología dominante varía desde calizas bioclásticas hasta calizas cristalinas que presentan intercalaciones de lutitas, areniscas conglomerádicas, areniscas calcáreas y conglomerados brechoides. Su contacto inferior es concordante con la Fm. Térraba y está sobreyacida en igual forma por la Fm. Coris. Lateralmente se correlaciona con partes de la Fm. Turrúcares. Su edad es Mioceno Inferior. Predominan los fósiles denominados Balanus, Pecten, fragmentos de equinodermos y foraminíferos. |
| 6 | Fisher, R. & Franco, J. | 1979 | Formación Coris | Secuencia de sedimentos clásticos, arenitas cuarzosas, tobas, vulcarenitas y lutitas. Es un cuerpo tabular de 390 m de espesor, que se interdigita lateralmente con otras formaciones. La formación se depositó en el Mioceno Medio y Superior. Se reconocieron 3 faciess, una marina del sublitoral, una faciess intermedia y una terrestre de carbón parálico. |

| Número | Autor | Año | Formación Estudiada | Descripción |
|--------|------------------------|------|----------------------|--|
| 7 | Denyer, P. & Arias, O. | 1991 | Formación San Miguel | Formada principalmente por calizas bioclásticas. Localmente se pueden observar calizas cristalinas y calizas nodulares, muy escasamente. Existen intercalaciones que no sobrepasan 1m de areniscas guijarrosas, esporádicas vulcarenitas y lutitas tobáceas. Su espesor varía entre 15m en los afloramientos más occidentales hasta unos 100m en afloramientos en La Chilena. Está subyacida concordantemente por la Fm. Coris. Está sobreyacida concordantemente por la Fm. Coris en contacto que puede ser transicional o bastante brusco. |
| | | | Formación Coris | Ortocuarcitas o areniscas cuarzosas que afloran en bancos masivos de varios metros de espesor. Además, se encuentran intercalaciones de vulcarenitas, conglomerados, tobas, lutitas carbonosas y lignito. Se considera que alcanza un espesor cercano a 500m entre Quebrada Honda y Quebradillas. El contacto superior es concordante con la Fm. La Cruz. Los contactos superior e inferior con la Fm. San Miguel son transicionales. |
| | | | Formación La Cruz | Está compuesta principalmente por coladas de basalto y leucobasalto, con espesores promedio de 20-30 m. Es frecuente encontrar gran cantidad de amígdalas de zeolita y menos frecuente calcita. Alcanza espesores de hasta 1500m. Sobreyace en concordancia angular a las Fms. Peña Negra, Coris, Turrúcares, Peña Negra y Pacacua. Está sobreyacida con discordancia angular por la Fm. Grifo Alto. |

| Número | Autor | Año | Formación estudiada | Descripción |
|--------|-------|-----|----------------------|--|
| | | | Formación Grifo Alto | Se designa con este nombre a una serie de rocas volcánicas andesíticas y piroclásticas que cubrieron las secuencias sedimentarias y volcánicas post-basculamiento. Está compuesta por lavas andesíticas, a veces con augita y/o hipersteno. Normalmente son rocas de colores grises. Pueden encontrarse algunos basaltos y dacitas. Los flujos piroclásticos a veces son gruesos, conteniendo bloques lávicos y escoriáceos. |

ANEXO N°2

Secciones Delgadas

SD1: Andesita silicificada

Ubicación: 201.750N/535.500W Hoja Cartográfica Caraigres, escala 1:50 000

Textura: Roca con textura hipocristalina porfirítica

Matriz (75%): compuesta por calcedonia o microlitos de plagioclasa, también dentro de la matriz hay minerales hipidiomórficos a xenomórficos de hornblenda verde pleocróica con exfoliación, microlitos de augita hipidiomórfica a xenomórfica muy alterada a óxidos de hierro y clorita, también hay microlitos de magnetita.

Fenocristales (25%)

Plagioclasas (1 mm*0.3mm), hipidiomórfica, medianamente alterada a sericita.

Augitas (0.3mm*.1mm), xenomórfica, muy alterada a óxidos de hierro

SD2: Monzogabro con augita uralitizada

Ubicación: 200.250N/536.100W Hoja Cartográfica Caraigres, escala 1:50 000

Textura: holocristalina hipidiomórfica granular

Fenocristales:

Plagioclasa (An 62) 63%: Idiomórficas, levemente sericitizadas, con muchas maclas polisintéticas (2*1.4mm)

Cuarzo 2%: Xenomórfico (1*0.7mm)

Biotita 2%: Hipidiomórficas a xenomórficas, pleocróicas (0.5*0.3mm)

Ortosa 10%

Augita y Uralita 20%

Magnetita, Apatito y Epidota 3%: cristales hipidiomórficos

SD3: Andesita Basáltica con olivino

Ubicación: 199.900N/538.600W Hoja Cartográfica Tapantí, escala 1:50 000

Textura: Hipocristalina porfirítica

Matriz (40%): Intersticial compuesta por vidrio volcánico, microlitos de plagioclasa, augitas y magnetita. Tiene sectores alterados a clorita.

Fenocristales (60%)

Plagioclasas (35%): hipidiomórficas con tamaños de 0.9*0.7 mm, levemente sericitizadas

Augitas (18%): Hipidiomórficas a xenomórficas con tamaños de 0.8*0.6 mm, de leve a moderadamente alteradas a óxidos de hierro.

Magnetita (4%): Xenomórfica con tamaños de 0.3*0.2 mm

Hornblenda (3%): Hipidiomórfica a xenomórfica muy alterada (3*0.1 mm), pleocrónicas

SD4: Ignimbrita

Ubicación: 199.250N/542.250W Hoja Cartográfica Tapantí, escala 1:50 000

Textura: Hialina

Matriz (70%): Muy recristalizada con impregnación de cuarzo, clorita y carbonatos. Presenta estructuras tipo shards y fiamas

Fenocristales y líticos (30%):

Plagioclasas: hipidiomórficas (0.6*0.2mm), levemente sericitizadas

Ferromagnesianos: hipidiomórficos (0.8*0.6), completamente alterados a óxidos de hierro y clorita

Líticos: ígneos con tamaños de 2.8*1.2 mm

SD5: Ignimbrita

Ubicación: 199.200N/541.750W Hoja Cartográfica Tapantí, escala 1:50 000

Textura: hialina porfirítica

Matriz (85%): Ignimbritica fluidal con algunos cristales de plagioclasa

Fenocristales y líticos (15%):

Plagioclasas: hipidiomórficas a xenomórficas con tamaños promedios de 0.1*0.6 mm, algunos pocos están muy alterados a sericita.

Líticos: con tamaños promedio de 1*0.8 mm, completamente alterados a óxidos de hierro. Por el grado de alteración, no se distingue el tipo de roca.

SD6: Andesita

Ubicación: 206.950N/542.450W Hoja Cartográfica Istarú, escala 1:50 000

Textura: Hipocristalina porfirítica

Matriz (60%): Hialopilitica (microlitos de plagioclasa y piroxenos con vidrio volcánico)

Fenocristales (40%):

Plagioclasas: Hipidiomórficas a xenomórficas (0.7*0.4mm) alterados a sericita y calcita

Augitas: Hipidiomórficas a xenomórficas (0.5*0.4mm), cloritizadas

Magnetita: Xenomórfica (0.3*0.15 mm)

Presenta alteración propilítica

SD7: No se distingue el tipo de roca debido a que presenta un alto grado de alteración

Ubicación: 201.853N/534.556W Hoja Cartográfica Abra, escala 1:50 000

Lava muy alterada, presenta fantasmas de fenocristales, limonita, nontronita (entre arcilla y mica). Minerales de alteración: limonita, nontronita, sericita y probablemente pirita.

SD8: Arenita lítica con cuarzo

Ubicación: 202.450N/534.600W Hoja Cartográfica Abra, escala 1:50 000

Matriz (15%): arcillosa silícea.

Líticos (50%): No se distingue el tipo de roca, presentan alteración de óxidos de hierro. Varían de subangulares a subredondeados con tamaños promedios de 0.6*0.9mm

Minerales (35%):

Cuarzo: Cristales xenomórficos con tamaños promedio de 0.8*0.7 mm

Plagioclasas: Hipidiomórficas, algunas están fragmentadas, medianamente alteradas a sericita y calcita, tienen los bordes oxidados. Presenta tamaños promedio de 0.5*0.4 mm.

Magnetitas: Xenomórficas con tamaños promedio de 0.1*0.08 mm

**SD9: Packstone con fragmentos de balanidios y bivalvos (clasificación Dunham)
Biomicrita esqueletada (clasificación Folk)**

Ubicación: 203.650N/538.150W Hoja Cartográfica Istarú, escala 1:50 000

Matriz (40%): Micrítica con cemento esparítico

Componentes Biogénicos (58%): Fragmentos centimétricos de posibles balanidios y fragmentos de bivalvos, foraminíferos plantónicos (2 tipos: enrollados con diámetro de 0.15mm y biserales con cámaras esféricas que miden 0.5 mm de longitud). Hay espículas de esponjas.

Componentes no biogénicos (2%):

Cuarzo: xenomórficos, miden en promedio 0.2*0.15 mm

Augitas: Con tamaños promedios de 0.2*0.15 mm, hipidiomórficas a xenomórficas, de moderadas a levemente alteradas a óxidos de hierro

Plagioclasas: hipidiomórficas, con tamaños promedios de 0.2*0.05 mm, levemente sericitizadas

ANEXO Nº3

Datos de Geotécnia

**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

Muestra : GT-1 Prof. [m]:
Proyecto: Tesis de Licenciatura Fecha: 30/04/2003
Localiz.: El Guarco Perforac.:

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 20.45
Peso suelo seco + recipiente [g]: 15.96
Peso del recipiente [g]: 4.20
Peso del agua [g]: 4.49
Peso del suelo seco [g]: 11.76

Contenido de humedad [%]: **38.18**

Muestra : GT-3 Prof. [m]:
Proyecto: Tesis de Licenciatura Fecha: 15/05/2003
Localiz.: El Guarco Perforac.:

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 17.04
Peso suelo seco + recipiente [g]: 13.41
Peso del recipiente [g]: 3.96
Peso del agua [g]: 3.63
Peso del suelo seco [g]: 9.45

Contenido de humedad [%]: **38.41**

Muestra : GT-5 Prof. [m]:
Proyecto: Tesis de Licenciatura Fecha: 15/05/2003
Localiz.: El Guarco Perforac.:

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 12.73
Peso suelo seco + recipiente [g]: 9.55
Peso del recipiente [g]: 2.15
Peso del agua [g]: 3.18
Peso del suelo seco [g]: 7.40

Contenido de humedad [%]: **42.97**

Muestra : GT-7 Prof. [m]:
Proyecto: Tesis de Licenciatura Fecha: 15/05/2003
Localiz.: El Guarco Perforac.:

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 12.65
Peso suelo seco + recipiente [g]: 9.99
Peso del recipiente [g]: 4.18
Peso del agua [g]: 2.66
Peso del suelo seco [g]: 5.81

Contenido de humedad [%]: **45.78**

Muestra : GT-9 Prof. [m]:
Proyecto: Tesis de Licenciatura Fecha: 15/05/2003
Localiz.: El Guarco Perforac.:

Muestra : GT-2 Prof. [m]:
Proyecto: Tesis de Licenciatura Fecha: 30/04/2003
Localiz.: El Guarco Perforac.:

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 19.22
Peso suelo seco + recipiente [g]: 15.83
Peso del recipiente [g]: 4.15
Peso del agua [g]: 3.39
Peso del suelo seco [g]: 11.68

Contenido de humedad [%]: **29.02**

Muestra : GT-4 Prof. [m]:
Proyecto: Tesis de Licenciatura Fecha: 15/05/2003
Localiz.: El Guarco Perforac.:

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 17.82
Peso suelo seco + recipiente [g]: 14.16
Peso del recipiente [g]: 4.03
Peso del agua [g]: 3.66
Peso del suelo seco [g]: 10.13

Contenido de humedad [%]: **36.13**

Muestra : GT-6 Prof. [m]:
Proyecto: Tesis de Licenciatura Fecha: 15/05/2003
Localiz.: El Guarco Perforac.:

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 22.49
Peso suelo seco + recipiente [g]: 18.66
Peso del recipiente [g]: 2.21
Peso del agua [g]: 3.83
Peso del suelo seco [g]: 16.45

Contenido de humedad [%]: **23.28**

Muestra : GT-8 Prof. [m]:
Proyecto: Tesis de Licenciatura Fecha: 15/05/2003
Localiz.: El Guarco Perforac.:

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 17.68
Peso suelo seco + recipiente [g]: 15.13
Peso del recipiente [g]: 4.00
Peso del agua [g]: 2.55
Peso del suelo seco [g]: 11.13

Contenido de humedad [%]: **22.91**

Muestra : GT-10 Prof. [m]:
Proyecto: Tesis de Licenciatura Fecha: 15/05/2003
Localiz.: El Guarco Perforac.:

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 20.33
Peso suelo seco + recipiente [g]: 16.16
Peso del recipiente [g]: 4.24
Peso del agua [g]: 4.17
Peso del suelo seco [g]: 11.92

Contenido de humedad [%]: 34.98

Muestra : GT-11 Prof. [m]:
Proyecto: Tesis de Licenciatura Fecha: 15/05/2003
Localiz.: El Guarco Perforac.:

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 14.76
Peso suelo seco + recipiente [g]: 13.94
Peso del recipiente [g]: 4.10
Peso del agua [g]: 0.82
Peso del suelo seco [g]: 9.84

Contenido de humedad [%]: 8.33

Muestra : GT-14 Prof. [m]:
Proyecto: Tesis de Licenciatura Fecha: 21/06/2003
Localiz.: El Guarco Perforac.:

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 18.53
Peso suelo seco + recipiente [g]: 16.28
Peso del recipiente [g]: 4.21
Peso del agua [g]: 2.25
Peso del suelo seco [g]: 12.07

Contenido de humedad [%]: 18.64

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 14.04
Peso suelo seco + recipiente [g]: 11.97
Peso del recipiente [g]: 4.19
Peso del agua [g]: 2.07
Peso del suelo seco [g]: 7.78

Contenido de humedad [%]: 26.61

Muestra : GT-13 Prof. [m]:
Proyecto: Tesis de Licenciatura Fecha: 21/06/2003
Localiz.: El Guarco Perforac.:

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 17.84
Peso suelo seco + recipiente [g]: 15.57
Peso del recipiente [g]: 4.07
Peso del agua [g]: 2.27
Peso del suelo seco [g]: 11.50

Contenido de humedad [%]: 19.74

Muestra : GT-15 Prof. [m]:
Proyecto: Tesis de Licenciatura Fecha: 21/06/2003
Localiz.: El Guarco Perforac.:

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 20.17
Peso suelo seco + recipiente [g]: 18.32
Peso del recipiente [g]: 4.11
Peso del agua [g]: 1.85
Peso del suelo seco [g]: 14.21

Contenido de humedad [%]: 13.02

LABORATORIO DE GEOTECNIA
 ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
 UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

Muestra : GT-1
 Descripción:
 Técnico: J. Alvarado
 Secado: Aire

Perfor.:
 Sitio: El Guarco, Cartago
 Prof.: 1.20 m
 Fecha: 30/04/2003

LIMITE LIQUIDO [%]: 68.5

| No. de lata | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] | 40.20 | 39.70 | 50.99 | 41.75 | 49.50 |
| Peso del suelo seco + lata [g] | 30.54 | 29.60 | 39.36 | 30.60 | 38.07 |
| Peso de la lata [g] | 14.96 | 14.23 | 22.06 | 14.56 | 22.01 |
| Peso del suelo seco [g]: | 15.58 | 15.37 | 17.30 | 16.04 | 16.06 |
| Peso del agua [g] | 9.66 | 10.10 | 11.63 | 11.15 | 11.43 |
| Contenido de Humedad % : | 62.0 | 65.7 | 67.2 | 69.5 | 71.2 |
| Número de golpes : | 36 | 32 | 28 | 24 | 20 |

LIMITE PLASTICO [%] : 47.3

| No. de lata : | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------|------|------|------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] | 6.08 | 6.96 | 6.95 |
| Peso del suelo seco + lata [g] | 5.39 | 6.02 | 6.03 |
| Peso de la lata [g] | 3.94 | 4.00 | 4.11 |
| Peso del suelo seco [g]: | 1.45 | 2.02 | 1.92 |
| Peso del agua [g] | 0.69 | 0.94 | 0.92 |
| Contenido de humedad [g]: | 47.6 | 46.5 | 47.9 |

INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 21.1
 CLASIFICACION (BSI) : LIMO DE ALTA PLASTICIDAD (MH)

LABORATORIO DE GEOTECNIA
 ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
 UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

| | | | |
|---------------------|-------------|-----------------|--------------------|
| <i>Muestra :</i> | GT-2 | <i>Perfor.:</i> | |
| <i>Descripción:</i> | | <i>Sitio:</i> | El Guarco, Cartago |
| <i>Técnico:</i> | J. Alvarado | <i>Prof.:</i> | 2.0 m |
| <i>Secado:</i> | Aire | <i>Fecha:</i> | 30/04/2003 |

| | | | | | |
|------------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| LIMITE LIQUIDO [%]: | 38.5 | | | | |
| No. de lata | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 39.58 | 40.50 | 41.99 | 40.04 | 41.74 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 32.48 | 32.67 | 33.66 | 31.59 | 32.68 |
| Peso de la lata [g] : | 12.38 | 11.98 | 12.78 | 11.89 | 12.43 |
| Peso del suelo seco [g]: | 20.10 | 20.69 | 20.88 | 19.70 | 20.25 |
| Peso del agua [g] : | 7.10 | 7.83 | 8.33 | 8.45 | 9.06 |
| Contenido de Humedad % : | 35.3 | 37.8 | 39.9 | 42.9 | 44.7 |
| Número de golpes : | 32 | 27 | 22 | 18 | 14 |

| | | | |
|------------------------------------|-------------|------|------|
| LIMITE PLASTICO [%] : | 17.9 | | |
| No. de lata : | 1 | 2 | 3 |
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 7.45 | 8.30 | 7.75 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 6.92 | 7.69 | 7.21 |
| Peso de la lata [g] : | 4.10 | 4.24 | 4.09 |
| Peso del suelo seco [g]: | 2.82 | 3.45 | 3.12 |
| Peso del agua [g] : | 0.53 | 0.61 | 0.54 |
| Contenido de humedad [g]: | 18.8 | 17.7 | 17.3 |

INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 20.6
CLASIFICACION (BSI) : ARCILLA DE PLASTICIDAD INTERMEDIA (CI)

**LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

| | | | |
|---------------------|-------------|-----------------|--------------------|
| <i>Muestra:</i> | GT-3 | <i>Perfor.:</i> | |
| <i>Descripción:</i> | | <i>Sitio:</i> | El Guarco, Cartago |
| <i>Técnico:</i> | J. Alvarado | <i>Prof.:</i> | |
| <i>Secado:</i> | Aire | <i>Fecha:</i> | 15/05/2003 |

LIMITE LIQUIDO [%]: 50.6

| No. de lata | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 43.63 | 32.84 | 35.55 | 41.35 | 42.50 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 36.83 | 26.93 | 28.60 | 34.10 | 34.48 |
| Peso de la lata [g] : | 21.81 | 14.76 | 14.76 | 20.72 | 20.57 |
| Peso del suelo seco [g]: | 15.02 | 12.17 | 13.84 | 13.38 | 13.91 |
| Peso del agua [g] : | 6.80 | 5.91 | 6.95 | 7.25 | 8.02 |
| Contenido de Humedad % : | 45.3 | 48.6 | 50.2 | 54.2 | 57.7 |
| Número de golpes : | 34 | 30 | 25 | 20 | 16 |

LIMITE PLASTICO [%] : 28.8

| No. de lata : | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------------|------|------|------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 7.00 | 3.55 | 5.95 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 6.33 | 3.20 | 5.49 |
| Peso de la lata [g] : | 4.00 | 2.00 | 3.88 |
| Peso del suelo seco [g]: | 2.33 | 1.20 | 1.61 |
| Peso del agua [g] : | 0.67 | 0.35 | 0.46 |
| Contenido de humedad [g]: | 28.8 | 29.2 | 28.6 |

INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 21.8
CLASIFICACION (BSI) : LIMO DE ALTA PLASTICIDAD (MH)

**LABORATORIO DE GEOTECNIA
 ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
 UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

Muestra : GT-4 *Perfor.:*
Descripción: *Sitio:* El Guarco, Cartago
Técnico: J. Alvarado *Prof.:*
Secado: Aire *Fecha:* 15/05/2003

LIMITE LIQUIDO [%]: 49.4

| No. de lata | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 33.61 | 30.05 | 30.71 | 33.25 | 32.00 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 27.33 | 24.66 | 24.61 | 25.91 | 25.19 |
| Peso de la lata [g] : | 13.00 | 12.99 | 12.00 | 11.70 | 12.76 |
| Peso del suelo seco [g]: | 14.33 | 11.67 | 12.61 | 14.21 | 12.43 |
| Peso del agua [g] : | 6.28 | 5.39 | 6.10 | 7.34 | 6.81 |
| Contenido de Humedad % : | 43.8 | 46.2 | 48.4 | 51.7 | 54.8 |
| Número de golpes : | 35 | 31 | 26 | 22 | 18 |

LIMITE PLASTICO [%] : 26.2

| No. de lata : | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------------|------|------|------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 7.05 | 6.70 | 6.69 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 6.39 | 6.13 | 6.13 |
| Peso de la lata [g] : | 3.99 | 3.91 | 3.92 |
| Peso del suelo seco [g]: | 2.40 | 2.22 | 2.21 |
| Peso del agua [g] : | 0.66 | 0.57 | 0.56 |
| Contenido de humedad [g]: | 27.5 | 25.7 | 25.3 |

INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 23.2
CLASIFICACION (BSI) : ARCILLA DE PLASTICIDAD INTERMEDIA (CL)

**LABORATORIO DE GEOTECNIA
 ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
 UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

Muestra : GT-5 *Perfor.:*
Descripción: *Sitio:* El Guarco, Cartago
Técnico: J. Alvarado *Prof.:*
Secado: Aire *Fecha:* 15/05/2003

LIMITE LIQUIDO [%]: 56.2

| No. de lata | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 35.06 | 38.00 | 36.60 | 39.90 | 39.50 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 27.66 | 29.90 | 28.79 | 30.57 | 30.28 |
| Peso de la lata [g] : | 13.21 | 14.86 | 14.86 | 14.94 | 15.61 |
| Peso del suelo seco [g]: | 14.45 | 15.04 | 13.93 | 15.63 | 14.67 |
| Peso del agua [g] : | 7.40 | 8.10 | 7.81 | 9.33 | 9.22 |
| Contenido de Humedad % : | 51.2 | 53.9 | 56.1 | 59.7 | 62.8 |
| Número de golpes : | 34 | 30 | 25 | 20 | 16 |

LIMITE PLASTICO [%] : 37.6

| No. de lata : | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------------|------|------|------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 7.66 | 7.73 | 8.10 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 6.67 | 6.75 | 7.02 |
| Peso de la lata [g] : | 4.10 | 4.11 | 4.12 |
| Peso del suelo seco [g]: | 2.57 | 2.64 | 2.90 |
| Peso del agua [g] : | 0.99 | 0.98 | 1.08 |
| Contenido de humedad [g]: | 38.5 | 37.1 | 37.2 |

INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 18.6
CLASIFICACION (BSI) : LIMO DE ALTA PLASTICIDAD (MH)

**LABORATORIO DE GEOTECNIA
 ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
 UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

Muestra : GT-6 *Perfor.:*
Descripción: *Sitio:* El Guarco, Cartago
Técnico: J. Alvarado *Prof.:*
Secado: Aire *Fecha:* 15/05/2003

LIMITE LIQUIDO [%]: 56.1

| No. de lata | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 38.10 | 30.40 | 36.80 | 37.65 | 44.00 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 29.24 | 28.94 | 27.76 | 28.01 | 31.47 |
| Peso de la lata [g] : | 13.00 | 12.55 | 12.80 | 12.89 | 12.68 |
| Peso del suelo seco [g]: | 16.24 | 16.39 | 14.96 | 15.12 | 18.79 |
| Peso del agua [g] : | 8.86 | 1.46 | 9.04 | 9.64 | 12.53 |
| Contenido de Humedad % : | 54.6 | 8.9 | 60.4 | 63.8 | 66.7 |
| Número de golpes : | 35 | 32 | 28 | 24 | 20 |

LIMITE PLASTICO [%] : 38.8

| No. de lata : | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------------|------|------|------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 6.90 | 6.77 | 8.40 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 6.12 | 6.02 | 7.20 |
| Peso de la lata [g] : | 4.08 | 4.12 | 4.10 |
| Peso del suelo seco [g]: | 2.04 | 1.90 | 3.10 |
| Peso del agua [g] : | 0.78 | 0.75 | 1.20 |
| Contenido de humedad [g]: | 38.2 | 39.5 | 38.7 |

INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 17.3

CLASIFICACION (BSI) : LIMO DE ALTA PLASTICIDAD (MH)

LABORATORIO DE GEOTECNIA
 ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
 UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

Muestra : GT-7 Perfor.:
 Descripción: Sitio: El Guarco, Cartago
 Técnico: J. Alvarado Prof.:
 Secado: Aire Fecha: 15/05/2003

LIMITE LIQUIDO [%]: 58.5

| No. de lata | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 34.58 | 30.80 | 31.25 | 35.68 | 36.80 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 27.40 | 24.77 | 24.74 | 27.41 | 27.68 |
| Peso de la lata [g] : | 13.20 | 13.46 | 13.19 | 13.56 | 12.91 |
| Peso del suelo seco [g]: | 14.20 | 11.31 | 11.55 | 13.85 | 14.77 |
| Peso del agua [g] : | 7.18 | 6.03 | 6.51 | 8.27 | 9.12 |
| Contenido de Humedad % : | 50.6 | 53.3 | 56.4 | 59.7 | 61.7 |
| Número de golpes : | 36 | 32 | 28 | 24 | 21 |

LIMITE PLASTICO [%] : 37.0

| No. de lata : | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------------|------|------|------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 7.32 | 7.40 | 7.14 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 6.42 | 6.52 | 6.32 |
| Peso de la lata [g] : | 4.02 | 4.11 | 4.10 |
| Peso del suelo seco [g]: | 2.40 | 2.41 | 2.22 |
| Peso del agua [g] : | 0.90 | 0.88 | 0.82 |
| Contenido de humedad [g]: | 37.5 | 36.5 | 36.9 |

INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 21.5

CLASIFICACION (BSI) : LIMO DE ALTA PLASTICIDAD (MH)

**LABORATORIO DE GEOTECNIA
 ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
 UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

| | | | |
|---------------------|-------------|-----------------|--------------------|
| <i>Muestra :</i> | GT-8 | <i>Perfor.:</i> | |
| <i>Descripción:</i> | | <i>Sitio:</i> | El Guarco, Cartago |
| <i>Técnico:</i> | J. Alvarado | <i>Prof.:</i> | |
| <i>Secado:</i> | Aire | <i>Fecha:</i> | 30/04/2003 |

LIMITE LIQUIDO [%]: 43.5

| No. de lata | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 34.09 | 33.00 | 34.60 | 35.80 | 34.03 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 28.33 | 27.27 | 28.06 | 28.59 | 27.26 |
| Peso de la lata [g] : | 12.72 | 12.66 | 12.58 | 12.42 | 13.06 |
| Peso del suelo seco [g]: | 15.61 | 14.61 | 15.48 | 16.17 | 14.20 |
| Peso del agua [g] : | 5.76 | 5.73 | 6.54 | 7.21 | 6.77 |
| Contenido de Humedad % : | 36.9 | 39.2 | 42.2 | 44.6 | 47.7 |
| Número de golpes : | 36 | 32 | 28 | 24 | 19 |

LIMITE PLASTICO [%] : 21.5

| No. de lata : | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------------|------|------|------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 7.34 | 7.99 | 8.15 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 6.77 | 7.30 | 7.43 |
| Peso de la lata [g] : | 4.11 | 4.10 | 4.10 |
| Peso del suelo seco [g]: | 2.66 | 3.20 | 3.33 |
| Peso del agua [g] : | 0.57 | 0.69 | 0.72 |
| Contenido de humedad [g]: | 21.4 | 21.6 | 21.6 |

INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 22.0
CLASIFICACION (BSI) : ARCILLA DE PLASTICIDAD INTERMEDIA (CL)

**LABORATORIO DE GEOTECNIA
 ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
 UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

Muestra : GT-9 *Perfor.:*
Descripción: *Sitio:* El Guarco, Cartago
Técnico: J. Alvarado *Prof.:*
Secado: Aire *Fecha:* 30/04/2003

LIMITE LIQUIDO [%]: 67.9

| No. de lata | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 35.46 | 38.65 | 40.10 | 41.80 | 43.90 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 27.60 | 29.48 | 30.28 | 30.72 | 31.79 |
| Peso de la lata [g] : | 14.89 | 15.11 | 15.42 | 14.76 | 14.88 |
| Peso del suelo seco [g]: | 12.71 | 14.37 | 14.86 | 15.96 | 16.91 |
| Peso del agua [g] : | 7.86 | 9.17 | 9.82 | 11.08 | 12.11 |
| Contenido de Humedad % : | 61.8 | 63.8 | 66.1 | 69.4 | 71.6 |
| Número de golpes : | 35 | 31 | 27 | 24 | 20 |

LIMITE PLASTICO [%] : 41.8

| No. de lata : | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------------|------|------|------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 6.80 | 6.22 | 6.25 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 6.31 | 5.78 | 5.80 |
| Peso de la lata [g] : | 5.14 | 4.73 | 4.72 |
| Peso del suelo seco [g]: | 1.17 | 1.05 | 1.08 |
| Peso del agua [g] : | 0.49 | 0.44 | 0.45 |
| Contenido de humedad [g]: | 41.9 | 41.9 | 41.7 |

INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 26.1
CLASIFICACION (BSI) : LIMO DE ALTA PLASTICIDAD (MH)

**LABORATORIO DE GEOTECNIA
 ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
 UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

Muestra : GT-10 *Perfor.:*
Descripción: *Sitio:* El Guarco, Cartago
Técnico: J. Alvarado *Prof.:*
Secado: Aire *Fecha:* 15/05/2003

LIMITE LIQUIDO [%]: 57.2

| No. de lata | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 46.41 | 45.18 | 46.50 | 48.42 | 49.65 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 35.66 | 34.94 | 35.41 | 35.96 | 36.67 |
| Peso de la lata [g] : | 14.94 | 15.46 | 15.51 | 14.47 | 15.28 |
| Peso del suelo seco [g]: | 20.72 | 19.48 | 19.90 | 21.49 | 21.39 |
| Peso del agua [g] : | 10.75 | 10.24 | 11.09 | 12.46 | 12.98 |
| Contenido de Humedad % : | 51.9 | 52.6 | 55.7 | 58.0 | 60.7 |
| Número de golpes : | 36 | 32 | 28 | 24 | 20 |

LIMITE PLASTICO [%] : 32.4

| No. de lata : | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------------|------|------|------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 7.28 | 7.40 | 8.07 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 6.44 | 6.56 | 7.06 |
| Peso de la lata [g] : | 3.86 | 3.94 | 3.96 |
| Peso del suelo seco [g]: | 2.58 | 2.62 | 3.10 |
| Peso del agua [g] : | 0.84 | 0.84 | 1.01 |
| Contenido de humedad [g]: | 32.6 | 32.1 | 32.6 |

INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 24.8
CLASIFICACION (BSI) : LIMO DEL ALTA PLASTICIDAD (MH)

**LABORATORIO DE GEOTECNIA
 ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
 UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

Muestra : GT-16 *Perfor.:*
Descripción: *Sitio:* El Guarco, Cartago
Técnico: J. Alvarado *Prof.:*
Secado: Aire *Fecha:* 20/08/2003

LIMITE LIQUIDO [%]: **64.2**

| No. de lata | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 33.46 | 36.66 | 38.88 | 41.60 | 42.22 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 26.83 | 28.64 | 29.91 | 31.13 | 31.32 |
| Peso de la lata [g] : | 15.14 | 15.22 | 15.82 | 15.13 | 15.12 |
| Peso del suelo seco [g]: | 11.69 | 13.42 | 14.09 | 16.00 | 16.20 |
| Peso del agua [g] : | 6.63 | 8.02 | 8.97 | 10.47 | 10.90 |
| Contenido de Humedad % : | 56.7 | 59.8 | 63.7 | 65.4 | 67.3 |
| Número de golpes : | 36 | 32 | 28 | 24 | 20 |

LIMITE PLASTICO [%] : **39.8**

| No. de lata : | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------------|------|------|------|
| Peso del suelo húmedo + lata [g] : | 7.77 | 7.78 | 7.20 |
| Peso del suelo seco + lata [g] : | 6.82 | 6.63 | 6.30 |
| Peso de la lata [g] : | 4.44 | 3.75 | 4.03 |
| Peso del suelo seco [g]: | 2.38 | 2.88 | 2.27 |
| Peso del agua [g] : | 0.95 | 1.15 | 0.90 |
| Contenido de humedad [g]: | 39.9 | 39.9 | 39.6 |

INDICE DE PLASTICIDAD [%] : **24.4**
CLASIFICACION (BSI) : **Limo de alta plasticidad, MH**

**DETERMINACION DEL PESO UNITARIO
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

Muestra : GT-1 *Prof. [m]:* 1.20
Proyecto: Tesis de Licenciatura *Fecha:* 30/04/2003
Localiz.: El Guarco *Perforac.:*

Peso unitario

Peso del suelo húmedo [g]: 29.49
Peso del suelo + peso de parafina [g]: 32.04
Peso de parafina [g]: 2.55

Volumen de parafina [cm³]: 2.83
Peso sumergido de parafina y suelo [g]: 12.35
Volumen de suelo + parafina [cm³]: 19.69
Volumen de suelo [cm³]: 16.86

Peso unitario húmedo del suelo [kN/m³]: 17.16
Peso unitario seco del suelo [kN/m³]: 13.00

Muestra : GT 2 *Prof. [m]:* 2.00
Proyecto: Tesis de Licenciatura *Fecha:* 30/04/2003
Localiz.: El Guarco *Perforac.:*

Peso unitario

Peso del suelo húmedo [g]: 20.97
Peso del suelo + peso de parafina [g]: 22.82
Peso de parafina [g]: 1.85

Volumen de parafina [cm³]: 2.08
Peso sumergido de parafina y suelo [g]: 4.70
Volumen de suelo + parafina [cm³]: 18.12
Volumen de suelo [cm³]: 16.06

Peso unitario húmedo del suelo [kN/m³]: 12.80
Peso unitario seco del suelo [kN/m³]: 12.15

Muestra : GT-3 *Prof. [m]:*
Proyecto: Tesis de Licenciatura *Fecha:* 15/05/2003
Localiz.: El Guarco *Perforac.:*

Peso unitario

Peso del suelo húmedo [g]: 26.96
Peso del suelo + peso de parafina [g]: 28.62
Peso de parafina [g]: 1.66

Volumen de parafina [cm³]: 1.84
Peso sumergido de parafina y suelo [g]: 10.95
Volumen de suelo + parafina [cm³]: 17.67
Volumen de suelo [cm³]: 15.83

Peso unitario húmedo del suelo [kN/m³]: 16.71
Peso unitario seco del suelo [kN/m³]: 11.99

Muestra : GT-9 *Prof. [m]:*
Proyecto: Tesis de Licenciatura *Fecha:* 15/05/2003
Localiz.: El Guarco *Perforac.:*

Peso unitario

Peso del suelo húmedo [g]: 20.88
Peso del suelo + peso de parafina [g]: 23.24
Peso de parafina [g]: 2.36

Volumen de parafina [cm³]: 2.82
Peso sumergido de parafina y suelo [g]: 7.64
Volumen de suelo + parafina [cm³]: 15.60
Volumen de suelo [cm³]: 12.98

Peso unitario húmedo del suelo [kN/m³]: 15.78
Peso unitario seco del suelo [kN/m³]: 10.07

Muestra : GT-16 *Prof. [m]:*
Proyecto: Tesis de Licenciatura *Fecha:* 18/08/2003
Localiz.: El Guarco *Perforac.:*

Peso unitario

Peso del suelo húmedo [g]: 20.00
Peso del suelo + peso de parafina [g]: 22.70
Peso de parafina [g]: 2.70

Volumen de parafina [cm³]: 3.00
Peso sumergido de parafina y suelo [g]: 6.30
Volumen de suelo + parafina [cm³]: 16.40
Volumen de suelo [cm³]: 13.40

Peso unitario húmedo del suelo [kN/m³]: 14.64
Peso unitario seco del suelo [kN/m³]: 9.28

Muestra : GT-17 *Prof. [m]:*
Proyecto: Tesis de Licenciatura *Fecha:* 12/04/04
Localiz.: El Guarco *Perforac.:*

Peso unitario

Peso del suelo húmedo [g]: 13.66
Peso del suelo + peso de parafina [g]: 15.07
Peso de parafina [g]: 1.41

Volumen de parafina [cm³]: 1.57
Peso sumergido de parafina y suelo [g]: 3.38
Volumen de suelo + parafina [cm³]: 11.69
Volumen de suelo [cm³]: 10.12

Peso unitario húmedo del suelo [kN/m³]: 13.23
Peso unitario seco del suelo [kN/m³]: 7.41

Contenido de humedad

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 24.57
Peso suelo seco + recipiente [g]: 19.63
Peso del recipiente [g]: 4.17
Peso del agua [g]: 4.94
Peso del suelo seco [g]: 15.46
Contenido de humedad [%]: 31.95

Contenido de humedad

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 17.06
Peso suelo seco + recipiente [g]: 16.40
Peso del recipiente [g]: 4.14
Peso del agua [g]: 0.66
Peso del suelo seco [g]: 12.26
Contenido de humedad [%]: 5.38

Contenido de humedad

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 40.37
Peso suelo seco + recipiente [g]: 32.36
Peso del recipiente [g]: 11.97
Peso del agua [g]: 8.01
Peso del suelo seco [g]: 20.39
Contenido de humedad [%]: 39.28

Contenido de humedad

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 25.93
Peso suelo seco + recipiente [g]: 20.95
Peso del recipiente [g]: 12.17
Peso del agua [g]: 4.98
Peso del suelo seco [g]: 8.78
Contenido de humedad [%]: 56.72

Contenido de humedad

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 23.36
Peso suelo seco + recipiente [g]: 16.26
Peso del recipiente [g]: 3.97
Peso del agua [g]: 7.10
Peso del suelo seco [g]: 12.29
Contenido de humedad [%]: 57.77

Contenido de humedad

Peso suelo húmedo + recipiente [g]: 15.16
Peso suelo seco + recipiente [g]: 10.24
Peso del recipiente [g]: 3.97
Peso del agua [g]: 4.92
Peso del suelo seco [g]: 6.27
Contenido de humedad [%]: 78.47

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago
Descripción: ensayo vía húmeda

Perforación:
Muestra: GT-1
Profundidad: 1.20 m
Fecha : 30/04/2003
Peso inic. [g]: 354.57

Realizado por: J Alvarado
Observación:

| Tamiz No | Diámetro [mm] | Peso retenido [g] | % retenido | % que pasa |
|----------|---------------|-------------------|------------|------------|
| 2" | 50.800 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/4" | 31.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.400 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 4 | 4.750 | | 0.00 | 100.00 |
| 10 | 2.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 20 | 0.850 | | 0.00 | 100.00 |
| 30 | 0.600 | | 0.00 | 100.00 |
| 40 | 0.425 | 10.84 | 3.06 | 96.94 |
| 50 | 0.300 | | 0.00 | 96.94 |
| 60 | 0.250 | 11.47 | 3.23 | 93.71 |
| 80 | 0.180 | | 0.00 | 93.71 |
| 100 | 0.150 | 16.36 | 4.61 | 89.09 |
| 200 | 0.075 | 15.08 | 4.25 | 84.84 |
| 270 | 0.053 | | 0.00 | 84.84 |
| 325 | 0.045 | | 0.00 | 84.84 |
| FONDO | | 300.82 | 84.84 | |
| | total: | 354.57 | 100.00 | |

Pérdida de material [g] : 0.00
Pérdida de material [%] : 0.00

D60 [mm]:
D30 [mm]:
D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 0.00
Porcentaje de arena gruesa: 0.00
Porcentaje de arena media: 3.06
Porcentaje de arena fina: 12.10
Porcentaje de finos: 84.84
100.00

Coef. de uniformidad, Cu :
Coef. de concavidad, Cc :
Límite líquido (wl%): 68.5
Límite plástico (wp%): 47.3
Índice de plasticidad: 21.2

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

LIMO ELÁSTICO CON ARENA, DE ALTA PLASTICIDAD (MH)

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

| | | | |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------|
| <i>Proyecto:</i> | Tesis de Licenciatura | <i>Perforación:</i> | |
| <i>Localización:</i> | El Guarco - Cartago | <i>Muestra:</i> | GT-2 |
| <i>Descripción:</i> | | <i>Profundidad:</i> | 2.0 m |
| | | <i>Fecha :</i> | 30/04/2003 |
| <i>Realizado por:</i> | | <i>Peso inic. [g]:</i> | 311.64 |
| <i>Observación:</i> | | | |

| Tamiz No | Peso retenido [g] | % retenido | % que pasa |
|----------|-------------------|------------|------------|
| 2" | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/4" | | 0.00 | 100.00 |
| 1" | | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | | 0.00 | 100.00 |
| 4 | | 0.00 | 100.00 |
| 10 | | 0.00 | 100.00 |
| 20 | 3.60 | 1.16 | 98.84 |
| 30 | | 0.00 | 98.84 |
| 40 | 17.74 | 5.69 | 93.15 |
| 50 | | 0.00 | 93.15 |
| 60 | 39.37 | 12.63 | 80.52 |
| 80 | | 0.00 | 80.52 |
| 100 | 38.60 | 12.39 | 68.13 |
| 200 | 20.98 | 6.73 | 61.40 |
| 270 | | 0.00 | 61.40 |
| 325 | | 0.00 | 61.40 |
| FONDO | 191.35 | 61.40 | |
| | 311.64 | 100.00 | |

| | | | |
|---------------------------|------|-----------|--|
| Pérdida de material [g] : | 0.00 | D60 [mm]: | |
| Pérdida de material [%] : | 0.00 | D30 [mm]: | |
| | | D10 [mm]: | |

| | | | |
|-----------------------------|--------|----------------------------|------|
| Porcentaje de grava: | 0.00 | Coef. de uniformidad, Cu : | |
| Porcentaje de arena gruesa: | 0.00 | Coef. de concavidad, Cc : | |
| Porcentaje de arena media: | 6.85 | | |
| Porcentaje de arena fina: | 31.75 | Límite líquido (wl%): | 38.5 |
| Porcentaje de finos: | 61.40 | Límite plástico (wp%): | 17.9 |
| | 100.00 | Índice de plasticidad: | 20.6 |

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

ARCILLA LIGERA ARENOSA, DE PLASTICIDAD INTERMEDIA (CI)

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago
Descripción: ensayo vía húmeda

Perforación:
Muestra: GT-3
Profundidad:
Fecha : 15/05/2003
Peso inic. [g]: 339.06

Realizado por: J. Alvarado
Observación:

| Tamiz No | Diámetro [mm] | Peso rete [g] | % retenido | % que pasa |
|----------|---------------|----------------------|---------------|------------|
| 2" | 50.800 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/4" | 31.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.400 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 4 | 4.750 | 16.33 | 4.82 | 95.18 |
| 10 | 2.000 | 16.21 | 4.78 | 90.40 |
| 20 | 0.850 | 22.44 | 6.62 | 83.78 |
| 30 | 0.600 | | 0.00 | 83.78 |
| 40 | 0.425 | 17.32 | 5.11 | 78.68 |
| 50 | 0.300 | | 0.00 | 78.68 |
| 60 | 0.250 | 14.46 | 4.26 | 74.41 |
| 80 | 0.180 | | 0.00 | 74.41 |
| 100 | 0.150 | 12.60 | 3.72 | 70.70 |
| 200 | 0.075 | 11.11 | 3.28 | 67.42 |
| 270 | 0.053 | | 0.00 | 67.42 |
| 325 | 0.045 | | 0.00 | 67.42 |
| FONDO | | 228.59 | 67.42 | |
| | | total: 339.06 | 100.00 | |

Pérdida de material [g] : 0.00 D60 [mm]:
Pérdida de material [%] : 0.00 D30 [mm]:
D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 4.82 Coef. de uniformidad, Cu :
Porcentaje de arena gruesa: 4.78 Coef. de concavidad, Cc :
Porcentaje de arena media: 11.73
Porcentaje de arena fina: 11.26 Límite líquido (wl%): 50.6
Porcentaje de finos: 67.42 Límite plástico (wp%): 28.8
100.00 Índice de plasticidad: 21.8

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

LIMO ELÁSTICO ARENOSO (MH), DE ALTA PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseñó R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

| | | | |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------|
| <i>Proyecto:</i> | Tesis de Licenciatura | <i>Perforación:</i> | |
| <i>Localización:</i> | El Guarco, Cartago | <i>Muestra:</i> | GT-4 |
| <i>Descripción:</i> | ensayo vía húmeda | <i>Profundidad:</i> | |
| | | <i>Fecha :</i> | 15/05/2003 |
| <i>Realizado por:</i> | J. Alvarado | <i>Peso inic. [g]:</i> | 336.09 |
| <i>Observación:</i> | | | |

| Tamiz No | Diámetro [mm] | Peso rete [g] | % retenido | % que pasa |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| 2" | 50.800 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/4" | 31.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.400 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.500 | 22.94 | 6.83 | 93.17 |
| 4 | 4.750 | 10.91 | 3.25 | 89.93 |
| 10 | 2.000 | 11.56 | 3.44 | 86.49 |
| 20 | 0.850 | 13.57 | 4.04 | 82.45 |
| 30 | 0.600 | | 0.00 | 82.45 |
| 40 | 0.425 | 14.64 | 4.36 | 78.10 |
| 50 | 0.300 | | 0.00 | 78.10 |
| 60 | 0.250 | 14.55 | 4.33 | 73.77 |
| 80 | 0.180 | | 0.00 | 73.77 |
| 100 | 0.150 | 10.40 | 3.09 | 70.67 |
| 200 | 0.075 | 7.45 | 2.22 | 68.45 |
| 270 | 0.053 | | 0.00 | 68.45 |
| 325 | 0.045 | | 0.00 | 68.45 |
| FONDO | | 230.07 | 68.45 | |
| total: | | 336.09 | 100.00 | |

| | | | |
|---------------------------|-------|-----------|--|
| Pérdida de material [g] : | -0.00 | D60 [mm]: | |
| Pérdida de material [%] : | -0.00 | D30 [mm]: | |
| | | D10 [mm]: | |

| | | | |
|-----------------------------|--------|----------------------------|------|
| Porcentaje de grava: | 10.07 | Coef. de uniformidad, Cu : | |
| Porcentaje de arena gruesa: | 3.44 | Coef. de concavidad, Cc : | |
| Porcentaje de arena media: | 8.39 | | |
| Porcentaje de arena fina: | 9.64 | Límite líquido (wl%): | 49.4 |
| Porcentaje de finos: | 68.45 | Límite plástico (wp%): | 26.2 |
| | 100.00 | Índice de plasticidad: | 23.2 |

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

ARCILLA LIGERA ARENOSA (CI), DE PLASTICIDAD INTERMEDIA

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago
Descripción: ensayo vía húmeda

Perforación:
Muestra: GT-5
Profundidad:
Fecha : 15/05/2003
Peso inic. [g]: 335.66

Realizado por: J. Alvarado
Observación:

| Tamiz No | Diámetro [mm] | Peso rete [g] | % retenido | % que pasa |
|----------|---------------|----------------------|------------|------------|
| 2" | 50.800 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/4" | 31.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.400 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 4 | 4.750 | 9.06 | 2.70 | 97.30 |
| 10 | 2.000 | 8.76 | 2.61 | 94.69 |
| 20 | 0.850 | 16.66 | 4.96 | 89.73 |
| 30 | 0.600 | | 0.00 | 89.73 |
| 40 | 0.425 | 23.59 | 7.03 | 82.70 |
| 50 | 0.300 | | 0.00 | 82.70 |
| 60 | 0.250 | 20.08 | 5.98 | 76.72 |
| 80 | 0.180 | | 0.00 | 76.72 |
| 100 | 0.150 | 11.76 | 3.50 | 73.21 |
| 200 | 0.075 | 8.34 | 2.48 | 70.73 |
| 270 | 0.053 | | 0.00 | 70.73 |
| 325 | 0.045 | | 0.00 | 70.73 |
| FONDO | | 237.41 | 70.73 | |
| | | total: 335.66 | 100.00 | |

Pérdida de material [g] : 0.00 D60 [mm]:
Pérdida de material [%] : 0.00 D30 [mm]:
D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 2.70 Coef. de uniformidad, Cu :
Porcentaje de arena gruesa: 2.61 Coef. de concavidad, Cc :
Porcentaje de arena media: 11.99
Porcentaje de arena fina: 11.97 Límite líquido (wl%): 56.2
Porcentaje de finos: 70.73 Límite plástico (wp%): 37.6
100.00 Índice de plasticidad: 18.6

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

LIMO ELÁSTICO CON ARENA, DE ALTA PLASTICIDAD (MH)

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

| | | | |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------|
| <i>Proyecto:</i> | Tesis de Licenciatura | <i>Perforación:</i> | |
| <i>Localización:</i> | El Guarco, Cartago | <i>Muestra:</i> | GT-6 |
| <i>Descripción:</i> | ensayo vía húmeda | <i>Profundidad:</i> | |
| <i>Realizado por:</i> | J. Alvarado | <i>Fecha :</i> | 15/05/2003 |
| <i>Observación:</i> | | <i>Peso inic. [g]:</i> | 337.02 |

| Tamiz No | Diámetro [mm] | Peso rete [g] | % retenido | % que pasa |
|----------|---------------|---------------|------------|------------|
| 2" | 50.800 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/4" | 31.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.400 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 4 | 4.750 | | 0.00 | 100.00 |
| 10 | 2.000 | 13.46 | 3.99 | 96.01 |
| 20 | 0.850 | 14.73 | 4.37 | 91.64 |
| 30 | 0.600 | | 0.00 | 91.64 |
| 40 | 0.425 | 13.96 | 4.14 | 87.49 |
| 50 | 0.300 | | 0.00 | 87.49 |
| 60 | 0.250 | 14.14 | 4.20 | 83.30 |
| 80 | 0.180 | | 0.00 | 83.30 |
| 100 | 0.150 | 9.00 | 2.67 | 80.63 |
| 200 | 0.075 | 6.44 | 1.91 | 78.72 |
| 270 | 0.053 | | 0.00 | 78.72 |
| 325 | 0.045 | | 0.00 | 78.72 |
| FONDO | | 265.29 | 78.72 | |
| | | total: 337.02 | 100.00 | |

| | | |
|---------------------------|-------|-----------|
| Pérdida de material [g] : | -0.00 | D60 [mm]: |
| Pérdida de material [%] : | -0.00 | D30 [mm]: |
| | | D10 [mm]: |

| | | | |
|-----------------------------|--------|----------------------------|------|
| Porcentaje de grava: | 0.00 | Coef. de uniformidad, Cu : | |
| Porcentaje de arena gruesa: | 3.99 | Coef. de concavidad, Cc : | |
| Porcentaje de arena media: | 8.51 | | |
| Porcentaje de arena fina: | 8.78 | Límite líquido (wl%): | 56.1 |
| Porcentaje de finos: | 78.72 | Límite plástico (wp%): | 17.3 |
| | 100.00 | Índice de plasticidad: | 38.8 |

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

LIMO ELÁSTICO CON ARENA, DE PLASTICIDAD ALTA (MH)

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago
Descripción: ensayo vía húmeda

Perforación:
Muestra: GT-7
Profundidad:
Fecha : 15/05/2003
Peso inic. [g]: 340.16

Realizado por: J Alvarado
Observación:

| Tamiz No | Diámetro [mm] | Peso rete [g] | % retenido | % que pasa |
|----------|---------------|---------------|------------|------------|
| 2" | 50.800 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/4" | 31.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.400 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 4 | 4.750 | | 0.00 | 100.00 |
| 10 | 2.000 | 12.44 | 3.66 | 96.34 |
| 20 | 0.850 | 6.20 | 1.82 | 94.52 |
| 30 | 0.600 | | 0.00 | 94.52 |
| 40 | 0.425 | 11.89 | 3.50 | 91.02 |
| 50 | 0.300 | | 0.00 | 91.02 |
| 60 | 0.250 | 18.56 | 5.46 | 85.57 |
| 80 | 0.180 | | 0.00 | 85.57 |
| 100 | 0.150 | 14.57 | 4.28 | 81.29 |
| 200 | 0.075 | 9.51 | 2.80 | 78.49 |
| 270 | 0.053 | | 0.00 | 78.49 |
| 325 | 0.045 | | 0.00 | 78.49 |
| FONDO | | 266.99 | 78.49 | |
| | | total: 340.16 | 100.00 | |

Pérdida de material [g] : 0.00 D60 [mm]:
Pérdida de material [%] : 0.00 D30 [mm]:
D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 0.00 Coef. de uniformidad, Cu : ERR
Porcentaje de arena gruesa: 3.66 Coef. de concavidad, Cc : ERR
Porcentaje de arena media: 5.32
Porcentaje de arena fina: 12.54 Límite líquido (wI%): 58.5
Porcentaje de finos: 78.49 Límite plástico (wp%): 21.5
100.00 Índice de plasticidad: 37.0

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

LIMO ELÁSTICO CON ARENA, DE ALTA PLASTICIDAD (MH)

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago
Descripción: ensayo vía húmeda

Perforación:
Muestra: GT-8
Profundidad:
Fecha : 15/05/2003
Peso inic. [g]: 330.60

Realizado por: J. Alvarado
Observación:

| Tamiz No | Diámetro [mm] | Peso rete [g] | % retenido | % que pasa |
|----------|---------------|---------------|------------|------------|
| 2" | 50.800 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/4" | 31.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.400 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.500 | 22.05 | 6.67 | 93.33 |
| 4 | 4.750 | 28.96 | 8.76 | 84.57 |
| 10 | 2.000 | 30.96 | 9.36 | 75.21 |
| 20 | 0.850 | 53.23 | 16.10 | 59.10 |
| 30 | 0.600 | | 0.00 | 59.10 |
| 40 | 0.425 | 42.91 | 12.98 | 46.13 |
| 50 | 0.300 | | 0.00 | 46.13 |
| 60 | 0.250 | 30.24 | 9.15 | 36.98 |
| 80 | 0.180 | | 0.00 | 36.98 |
| 100 | 0.150 | 20.64 | 6.24 | 30.74 |
| 200 | 0.075 | 18.16 | 5.49 | 25.24 |
| 270 | 0.053 | | 0.00 | 25.24 |
| 325 | 0.045 | | 0.00 | 25.24 |
| FONDO | | 83.45 | 25.24 | |
| | | total: 330.60 | 100.00 | |

Pérdida de material [g] : 0.00 D60 [mm]:
Pérdida de material [%] : 0.00 D30 [mm]:
D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 15.43 Coef. de uniformidad, Cu :
Porcentaje de arena gruesa: 9.36 Coef. de concavidad, Cc :
Porcentaje de arena media: 29.08
Porcentaje de arena fina: 20.88 Límite líquido (wl%): 43.5
Porcentaje de finos: 25.24 Límite plástico (wp%): 21.5
100.00 Índice de plasticidad: 22.0

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

ARENA ARCILLOSA CON GRAVA (SC), DE PLASTICIDAD INTERMEDIA

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago
Descripción: ensayo vía húmeda

Perforación:
Muestra: GT-9
Profundidad:
Fecha : 15/05/2003
Peso inic. [g]: 346.49

Realizado por: J. Alvarado
Observación:

| Tamiz No | Diámetro [mm] | Peso rete [g] | % retenido | % que pasa |
|----------|---------------|---------------|------------|------------|
| 2" | 50.800 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/4" | 31.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.400 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 4 | 4.750 | | 0.00 | 100.00 |
| 10 | 2.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 20 | 0.850 | 12.99 | 3.75 | 96.25 |
| 30 | 0.600 | | 0.00 | 96.25 |
| 40 | 0.425 | 14.40 | 4.16 | 92.10 |
| 50 | 0.300 | | 0.00 | 92.10 |
| 60 | 0.250 | 7.88 | 2.27 | 89.82 |
| 80 | 0.180 | | 0.00 | 89.82 |
| 100 | 0.150 | 4.85 | 1.40 | 88.42 |
| 200 | 0.075 | 33.56 | 9.69 | 78.74 |
| 270 | 0.053 | | 0.00 | 78.74 |
| 325 | 0.045 | | 0.00 | 78.74 |
| FONDO | | 272.81 | 78.74 | |
| | | total: 346.49 | 100.00 | |

Pérdida de material [g] : 0.00 D60 [mm]:
Pérdida de material [%] : 0.00 D30 [mm]:
D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 0.00 Coef. de uniformidad, Cu :
Porcentaje de arena gruesa: 0.00 Coef. de concavidad, Cc :
Porcentaje de arena media: 7.90
Porcentaje de arena fina: 13.36 Límite líquido (wl%): 67.9
Porcentaje de finos: 78.74 Límite plástico (wp%): 41.8
100.00 Índice de plasticidad: 26.1

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

LIMO ELÁSTICO CON ARENA, DE ALTA PLASTICIDAD (MH)

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago
Descripción: ensayo vía húmeda

Perforación:
Muestra: GT-10
Profundidad:
Fecha : 15/05/2003
Peso inic. [g]: 306.66

Realizado por: J. Alvarado
Observación:

| Tamiz No | Diámetro [mm] | Peso rete [g] | % retenido | % que pasa |
|----------|---------------|---------------|------------|------------|
| 2" | 50.800 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/4" | 31.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.400 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 4 | 4.750 | | 0.00 | 100.00 |
| 10 | 2.000 | 17.43 | 5.68 | 94.32 |
| 20 | 0.850 | 14.59 | 4.76 | 89.56 |
| 30 | 0.600 | | 0.00 | 89.56 |
| 40 | 0.425 | 14.48 | 4.72 | 84.84 |
| 50 | 0.300 | | 0.00 | 84.84 |
| 60 | 0.250 | 17.66 | 5.76 | 79.08 |
| 80 | 0.180 | | 0.00 | 79.08 |
| 100 | 0.150 | 14.62 | 4.77 | 74.31 |
| 200 | 0.075 | 15.66 | 5.11 | 69.20 |
| 270 | 0.053 | | 0.00 | 69.20 |
| 325 | 0.045 | | 0.00 | 69.20 |
| FONDO | | 212.22 | 69.20 | |
| | total: | 306.66 | 100.00 | |

Pérdida de material [g] : 0.00 D60 [mm]:
Pérdida de material [%] : 0.00 D30 [mm]:
D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 0.00 Coef. de uniformidad, Cu :
Porcentaje de arena gruesa: 5.68 Coef. de concavidad, Cc :
Porcentaje de arena media: 9.48
Porcentaje de arena fina: 15.63 Límite líquido (w%): 57.2
Porcentaje de finos: 69.20 Límite plástico (wp%): 32.4
100.00 Índice de plasticidad: 24.8

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

LIMO ELÁSTICO ARENOSO, DE ALTA PLASTICIDAD (MH)

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago
Descripción: ensayo vía húmeda

Perforación:
Muestra: GT-11
Profundidad:
Fecha : 15/05/2003
Peso inic. [g]: 355.76

Realizado por: J. Alvarado
Observación:

| Tamiz No | Diámetro [mm] | Peso rete [g] | % retenido | % que pasa |
|----------|---------------|---------------|------------|------------|
| 2" | 50.800 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/4" | 31.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.400 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 4 | 4.750 | | 0.00 | 100.00 |
| 10 | 2.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 20 | 0.850 | 6.97 | 1.96 | 98.04 |
| 30 | 0.600 | | 0.00 | 98.04 |
| 40 | 0.425 | 24.72 | 6.95 | 91.09 |
| 50 | 0.300 | | 0.00 | 91.09 |
| 60 | 0.250 | 169.89 | 47.75 | 43.34 |
| 80 | 0.180 | | 0.00 | 43.34 |
| 100 | 0.150 | 71.89 | 20.21 | 23.13 |
| 200 | 0.075 | 17.68 | 4.97 | 18.16 |
| 270 | 0.053 | | 0.00 | 18.16 |
| 325 | 0.045 | | 0.00 | 18.16 |
| FONDO | | 64.61 | 18.16 | |
| | total: | 355.76 | 100.00 | |

Pérdida de material [g] : 0.00 D60 [mm]:
Pérdida de material [%] : 0.00 D30 [mm]:
D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 0.00 Coef. de uniformidad, Cu :
Porcentaje de arena gruesa: 0.00 Coef. de concavidad, Cc :
Porcentaje de arena media: 8.91
Porcentaje de arena fina: 72.93 Límite líquido (wl%):
Porcentaje de finos: 18.16 Límite plástico (wp%):
100.00 Índice de plasticidad:

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

ARENA LIMO-ARCILLOSA (SC-SM), SIN PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago
Descripción: ensayo vía húmeda

Perforación:
Muestra: GT-13
Profundidad: 2.0 m
Fecha : 21/06/2003
Peso inic. [g]: 304.87

Realizado por: J. Alvarado
Observación:

| Tamiz No | Diámetro [mm] | Peso rete [g] | % retenido | % que pasa |
|----------|---------------|---------------|------------|------------|
| 2" | 50.800 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/4" | 31.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.400 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 4 | 4.750 | | 0.00 | 100.00 |
| 10 | 2.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 20 | 0.850 | 15.62 | 5.12 | 94.88 |
| 30 | 0.600 | | 0.00 | 94.88 |
| 40 | 0.425 | 8.56 | 2.81 | 92.07 |
| 50 | 0.300 | | 0.00 | 92.07 |
| 60 | 0.250 | 50.12 | 16.44 | 75.63 |
| 80 | 0.180 | | 0.00 | 75.63 |
| 100 | 0.150 | 94.16 | 30.89 | 44.74 |
| 200 | 0.075 | 28.30 | 9.28 | 35.46 |
| 270 | 0.053 | | 0.00 | 35.46 |
| 325 | 0.045 | | 0.00 | 35.46 |
| FONDO | | 108.11 | 35.46 | |
| | | total: 304.87 | 100.00 | |

Pérdida de material [g] : 0.00 D60 [mm]:
Pérdida de material [%] : 0.00 D30 [mm]:
D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 0.00 Coef. de uniformidad, Cu :
Porcentaje de arena gruesa: 0.00 Coef. de concavidad, Cc :
Porcentaje de arena media: 7.93
Porcentaje de arena fina: 56.61 Límite líquido (wl%):
Porcentaje de finos: 35.46 Límite plástico (wp%):
100.00 Índice de plasticidad:

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

ARENA LIMO-ARCILLOSA (SC-SM), SIN PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago
Descripción: ensayo vía húmeda

Perforación:
Muestra: GT-14
Profundidad:
Fecha : 21/06/2003
Peso inic. [g]: 311.67

Realizado por: J. Alvarado
Observación:

| Tamiz No | Diámetro [mm] | Peso rete [g] | % retenido | % que pasa |
|----------|---------------|---------------|------------|------------|
| 2" | 50.800 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/4" | 31.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.400 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 4 | 4.750 | 16.87 | 5.41 | 94.59 |
| 10 | 2.000 | 13.99 | 4.49 | 90.10 |
| 20 | 0.850 | 28.37 | 9.10 | 81.00 |
| 30 | 0.600 | | 0.00 | 81.00 |
| 40 | 0.425 | 34.42 | 11.04 | 69.95 |
| 50 | 0.300 | | 0.00 | 69.95 |
| 60 | 0.250 | 32.24 | 10.34 | 59.61 |
| 80 | 0.180 | | 0.00 | 59.61 |
| 100 | 0.150 | 37.50 | 12.03 | 47.58 |
| 200 | 0.075 | 18.09 | 5.80 | 41.77 |
| 270 | 0.053 | | 0.00 | 41.77 |
| 325 | 0.045 | | 0.00 | 41.77 |
| FONDO | | 130.19 | 41.77 | |
| | | total: 311.67 | 100.00 | |

Pérdida de material [g] : 0.00 D60 [mm]:
Pérdida de material [%] : 0.00 D30 [mm]:
D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 5.41 Coef. de uniformidad, Cu :
Porcentaje de arena gruesa: 4.49 Coef. de concavidad, Cc :
Porcentaje de arena media: 20.15
Porcentaje de arena fina: 28.18 Límite líquido (wl%): 41.9
Porcentaje de finos: 41.77 Límite plástico (wp%): 22.7
100.00 Índice de plasticidad: 19.2

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

ARENA ARCILLOSA (SC), DE PLASTICIDAD INTERMEDIA

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago
Descripción: ensayo vía húmeda

Perforación:
Muestra: GT-15
Profundidad:
Fecha : 1/06/2003
Peso inic. [g]: 329.88

Realizado por: J. Alvarado
Observación:

| Tamiz No | Diámetro [mm] | Peso rete [g] | % retenido | % que pasa |
|----------|---------------|---------------|------------|------------|
| 2" | 50.800 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/4" | 31.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.400 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 4 | 4.750 | 5.19 | 1.57 | 98.43 |
| 10 | 2.000 | 67.62 | 20.50 | 77.93 |
| 20 | 0.850 | 107.48 | 32.58 | 45.35 |
| 30 | 0.600 | | 0.00 | 45.35 |
| 40 | 0.425 | 61.44 | 18.62 | 26.72 |
| 50 | 0.300 | | 0.00 | 26.72 |
| 60 | 0.250 | 31.02 | 9.40 | 17.32 |
| 80 | 0.180 | | 0.00 | 17.32 |
| 100 | 0.150 | 20.46 | 6.20 | 11.12 |
| 200 | 0.075 | 9.66 | 2.93 | 8.19 |
| 270 | 0.053 | | 0.00 | 8.19 |
| 325 | 0.045 | | 0.00 | 8.19 |
| FONDO | | 27.01 | 8.19 | |
| | | total: 329.88 | 100.00 | |

Pérdida de material [g] : 0.00 D60 [mm]: 1.30
Pérdida de material [%] : 0.00 D30 [mm]: 0.45
D10 [mm]: 0.10

Porcentaje de grava: 1.57 Coef. de uniformidad, Cu : 13.00
Porcentaje de arena gruesa: 20.50 Coef. de concavidad, Cc : 1.56
Porcentaje de arena media: 51.21
Porcentaje de arena fina: 18.53 Límite líquido (wl%):
Porcentaje de finos: 8.19 Límite plástico (wp%):
100.00 Índice de plasticidad: 0.0

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

ARENA BIEN GRADADA (SW) LIMO-ARCILLOSA, SIN PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago
Descripción: ensayo vía húmeda

Perforación:
Muestra: GT-16
Profundidad:
Fecha : 20/08/2003
Peso inic. [g]: 328.76

Realizado por: J. Alvarado
Observación:

| Tamiz No | Diámetro [mm] | Peso rete [g] | % retenido | % que pasa |
|----------|---------------|---------------|------------|------------|
| 2" | 50.800 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/4" | 31.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.400 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 4 | 4.750 | | 0.00 | 100.00 |
| 10 | 2.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 20 | 0.850 | 13.16 | 4.00 | 96.00 |
| 30 | 0.600 | | 0.00 | 96.00 |
| 40 | 0.425 | 14.32 | 4.36 | 91.64 |
| 50 | 0.300 | | 0.00 | 91.64 |
| 60 | 0.250 | 11.99 | 3.65 | 87.99 |
| 80 | 0.180 | | 0.00 | 87.99 |
| 100 | 0.150 | 12.07 | 3.67 | 84.32 |
| 200 | 0.075 | 7.25 | 2.21 | 82.12 |
| 270 | 0.053 | | 0.00 | 82.12 |
| 325 | 0.045 | | 0.00 | 82.12 |
| FONDO | | 269.97 | 82.12 | |
| | | total: 328.76 | 100.00 | |

Pérdida de material [g] : -0.00 D60 [mm]:
Pérdida de material [%] : -0.00 D30 [mm]:
D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 0.00 Coef. de uniformidad, Cu :
Porcentaje de arena gruesa: 0.00 Coef. de concavidad, Cc :
Porcentaje de arena media: 8.36
Porcentaje de arena fina: 9.52 Límite líquido (wl%): 64.2
Porcentaje de finos: 82.12 Límite plástico (wp%): 39.8
100.00 Índice de plasticidad: 24.4

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

LIMO ELÁSTICO CON ARENA (MH), DE ALTA PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura *Perforación:*
Localización: El Guarco, Cartago *Muestra:* GT-17
Descripción: ensayo vía húmeda *Profundidad:*
Realizado por: J. Alvarado *Fecha :* 15/04/2004
Observación: *Peso inic. [g]:* 277.17

| Tamiz No | Diámetro [mm] | Peso retenido [g] | % retenido | % que pasa |
|----------|---------------|-------------------|------------|------------|
| 2" | 50.800 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/4" | 31.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.400 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.500 | | 0.00 | 100.00 |
| 4 | 4.750 | | 0.00 | 100.00 |
| 10 | 2.000 | | 0.00 | 100.00 |
| 20 | 0.850 | | 0.00 | 100.00 |
| 30 | 0.600 | | 0.00 | 100.00 |
| 40 | 0.425 | | 0.00 | 100.00 |
| 50 | 0.300 | | 0.00 | 100.00 |
| 60 | 0.250 | | 0.00 | 100.00 |
| 80 | 0.180 | | 0.00 | 100.00 |
| 100 | 0.150 | 1.89 | 0.68 | 99.32 |
| 200 | 0.075 | 11.86 | 4.28 | 95.04 |
| 270 | 0.053 | | 0.00 | 95.04 |
| 325 | 0.045 | | 0.00 | 95.04 |
| FONDO | | 263.42 | 95.04 | |
| | total: | 277.17 | 100.00 | |

Pérdida de material [g] : 0.00 D60 [mm]:
Pérdida de material [%] : 0.00 D30 [mm]:
D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 0.00 Coef. de uniformidad, Cu :
Porcentaje de arena gruesa: 0.00 Coef. de concavidad, Cc :
Porcentaje de arena mediana: 0.00
Porcentaje de arena fina: 4.96 Límite líquido (w_l%): 60.3
Porcentaje de finos: 95.04 Límite plástico (w_p%): 42.1
100.00 Índice de plasticidad: 18.2

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

LIMO ELÁSTICO (MH), DE ALTA PLASTICIDAD

----- **PRIMER ENSAYO DE CORTE DIRECTO** -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura

Trabajo No:

Localización: El Guarco, Cartago

Trinchera:

Muestra No: GT-1

Descrip. del suelo: MH

Prof. muestra: 1.20 m

Realizado por: J. Alvarado

Fecha : 30/04/2003

Dimensiones de la muestra

Lado [mm]: 50.72

Altura [mm]: 19.18

Area [cm²]: 25.73

Volumen [cm³]: 49.34

Peso específico de la muestra

Wr+Wm [g]: 218.06

Wr [g]: 147.97

Wm [g]: 70.09

Peso específico [kN/m³]

húmedo : 13.93

seco : 8.67

Carga normal

[kg] 8.00

Esfuerzo

normal [kPa] 31.1

Dinamómetro: 0.00032

Contenido de humedad

Wh+Wl [g]: 47.61

Ws+Wl [g]: 34.32

Wl [g]: 12.39

Ww [g]: 13.29

Ws [g]: 21.93

w [%]: 60.60

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamiento horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|--------------------------------------|---|----------------------------------|--|----------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.030 | 10.0 | 0.5 | 18.0 | 9.7 |
| -0.045 | 20.0 | 1.0 | 22.0 | 11.9 |
| -0.070 | 40.0 | 2.0 | 26.0 | 14.0 |
| -0.090 | 60.0 | 3.0 | 27.5 | 14.9 |
| -0.115 | 75.0 | 3.8 | 29.0 | 15.7 |
| -0.140 | 100.0 | 5.0 | 30.0 | 16.2 |
| -0.145 | 125.0 | 6.3 | 31.0 | 16.8 |
| -0.145 | 150.0 | 7.5 | 32.0 | 17.3 |
| -0.145 | 175.0 | 8.8 | 33.0 | 17.8 |
| -0.145 | 200.0 | 10.0 | 33.5 | 18.1 |
| -0.160 | 250.0 | 12.5 | 34.0 | 18.4 |
| -0.175 | 300.0 | 15.0 | 35.0 | 18.9 |
| -0.180 | 350.0 | 17.5 | 34.0 | 18.4 |
| -0.190 | 400.0 | 20.0 | 32.0 | 17.3 |
| -0.210 | 450.0 | 22.5 | 31.0 | 16.8 |
| -0.225 | 500.0 | 25.0 | 28.0 | 15.1 |

----- SEGUNDO ENSAYO DE CORTE DIRECTO -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago

Trabajo No:
Trinchera:
Muestra No: GT-1
Prof. muestra: 1.20 m
Fecha : 30/04/2003

Descrip. del suelo: **MH**
 Realizado por: **J. Alvarado**

Dimensiones de la muestra

Lado [mm]: 50.72
 Altura [mm]: 18.80
 Area [cm²]: 25.73
 Volumen [cm³]: 48.36

Peso específico de la muestra

Wr+Wm [g]: 230.07
 Wr [g]: 155.17
 Wm [g]: 74.90

Peso específico [kN/m³]

húmedo : 15.19
 seco : 9.44

Carga normal

[kg] 16.00

Esfuerzo

normal [kPa] 62.2

Dinamómetro: 0.00030

Contenido de humedad

Wh+Wl [g]: 39.65
 Ws+Wl [g]: 29.38
 Wl [g]: 12.53
 Ww [g]: 10.27
 Ws [g]: 16.85
 w [%]: 60.95

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamiento horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|--------------------------------------|---|----------------------------------|--|----------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.040 | 10.0 | 0.5 | 31.0 | 17.9 |
| -0.090 | 20.0 | 1.0 | 35.0 | 20.2 |
| -0.145 | 40.0 | 2.0 | 42.0 | 24.2 |
| -0.185 | 60.0 | 3.0 | 45.0 | 25.9 |
| -0.205 | 75.0 | 3.8 | 48.0 | 27.7 |
| -0.230 | 100.0 | 5.0 | 51.0 | 29.4 |
| -0.250 | 125.0 | 6.3 | 52.0 | 30.0 |
| -0.280 | 150.0 | 7.5 | 53.0 | 30.5 |
| -0.310 | 175.0 | 8.8 | 54.0 | 31.1 |
| -0.325 | 200.0 | 10.0 | 55.0 | 31.7 |
| -0.370 | 250.0 | 12.5 | 57.0 | 32.9 |
| -0.365 | 300.0 | 15.0 | 58.0 | 33.4 |
| -0.445 | 350.0 | 17.5 | 56.0 | 32.3 |
| -0.455 | 400.0 | 20.0 | 53.0 | 30.5 |
| -0.485 | 450.0 | 22.5 | 52.0 | 30.0 |
| -0.525 | 500.0 | 25.0 | 51.0 | 29.4 |

----- TERCER ENSAYO DE CORTE DIRECTO -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago

Trabajo No:
Trinchera:
Muestra No: GT-1
Prof. muestra: 1.20 m
Fecha : 30/04/2003

Descrip. del suelo: MH
 Realizado por: J. Alvarado

Dimensiones de la muestra

Lado [mm]: 50.65
 Altura [mm]: 19.94
 Area [cm²]: 25.65
 Volumen [cm³]: 51.15

Peso específico de la muestra

W_r+W_m [g]: 239.36
 W_r [g]: 162.03
 W_m [g]: 77.33

Peso específico [kN/m³]

húmedo : 14.83
 seco : 9.61

Carga normal

[kg] 32.0

Esfuerzo

normal [kPa] 124.7

Dinamómetro: 0.00033

Contenido de humedad

W_h+W_l [g]: 40.87
 W_s+W_l [g]: 31.18
 W_l [g]: 13.31
 W_w [g]: 9.69
 W_s [g]: 17.87
 w [%]: 54.22

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamiento horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|-----------------------------------|--|-------------------------------|---|-------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.020 | 10.0 | 0.5 | 61.0 | 32.1 |
| -0.045 | 20.0 | 1.0 | 70.0 | 36.8 |
| -0.070 | 40.0 | 2.0 | 78.0 | 41.0 |
| -0.085 | 60.0 | 3.0 | 87.0 | 45.7 |
| -0.075 | 75.0 | 3.8 | 93.0 | 48.9 |
| -0.105 | 100.0 | 5.0 | 96.0 | 50.4 |
| -0.115 | 125.0 | 6.3 | 102.0 | 53.6 |
| -0.125 | 150.0 | 7.5 | 101.0 | 53.1 |
| -0.135 | 175.0 | 8.8 | 106.0 | 55.7 |
| -0.150 | 200.0 | 10.0 | 107.0 | 56.2 |
| -0.155 | 250.0 | 12.5 | 112.0 | 58.9 |
| -0.155 | 300.0 | 15.0 | 114.0 | 59.9 |
| -0.145 | 350.0 | 17.6 | 113.0 | 59.4 |
| -0.130 | 400.0 | 20.1 | 117.0 | 61.5 |
| -0.110 | 450.0 | 22.6 | 117.0 | 61.5 |
| -0.110 | 500.0 | 25.1 | 113.0 | 59.4 |

PRIMER ENSAYO DE CORTE DIRECTO -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura

Localización: El Guarco, Cartago

Descrip. del suelo: CL

Realizado por: J. Alvarado

Trabajo No:

Trinchera:

Muestra No: GT-2

Prof. muestra: 2.0 m

Fecha : 30/04/2003

Dimensiones de la muestra

Lado [mm]: 50.76

Altura [mm]: 18.36

Area [cm²]: 25.77

Volumen [cm³]: 47.31

Peso específico de la muestra

Wr+Wm [g]: 209.56

Wr [g]: 147.94

Wm [g]: 61.62

Peso específico [kN/m³]

húmedo : 12.77

seco : 8.26

Carga normal

[kg] 8.00

Esfuerzo

normal [kPa] 31.0

Dinamómetro: 0.00032

Contenido de humedad

Wh+Wl [g]: 56.37

Ws+Wl [g]: 41.08

Wl [g]: 13.08

Ww [g]: 15.29

Ws [g]: 28.00

w [%]: 54.61

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamiento horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|--------------------------------------|---|-------------------------------|--|-------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.070 | 10.0 | 0.5 | 14.0 | 7.6 |
| -0.120 | 20.0 | 1.0 | 21.0 | 11.3 |
| -0.200 | 40.0 | 2.0 | 27.0 | 14.6 |
| -0.230 | 60.0 | 3.0 | 27.0 | 14.6 |
| -0.235 | 75.0 | 3.8 | 31.0 | 16.8 |
| -0.235 | 100.0 | 5.0 | 32.0 | 17.3 |
| -0.260 | 125.0 | 6.3 | 33.0 | 17.8 |
| -0.270 | 150.0 | 7.5 | 34.0 | 18.4 |
| -0.275 | 175.0 | 8.8 | 34.0 | 18.4 |
| -0.275 | 200.0 | 10.0 | 35.0 | 18.9 |
| -0.285 | 250.0 | 12.5 | 35.0 | 18.9 |
| -0.285 | 300.0 | 15.0 | 34.0 | 18.4 |
| -0.285 | 350.0 | 17.5 | 32.0 | 17.3 |
| -0.285 | 400.0 | 20.0 | 31.0 | 16.8 |
| -0.315 | 450.0 | 22.5 | 31.0 | 16.8 |
| -0.345 | 500.0 | 25.0 | 30.0 | 16.2 |

----- SEGUNDO ENSAYO DE CORTE DIRECTO -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago

Trabajo No:
Trinchera:
Muestra No: GT-2
Prof. muestra: 2.0 m
Fecha : 30/04/2003

Descrip. del suelo: CL
 Realizado por: J. Alvarado

Dimensiones de la muestra

Lado [mm]: 50.70
 Altura [mm]: 19.18
 Area [cm²]: 25.70
 Volumen [cm³]: 49.30

Peso específico de la muestra

Wr+Wm [g]: 224.77
 Wr [g]: 155.95
 Wm [g]: 68.82

Peso específico [kN/m³]

húmedo : 13.69
 seco : 9.49

Carga normal

[kg] 16.00

Contenido de humedad

Wh+Wl [g]: 51.73
 Ws+Wl [g]: 39.84
 Wl [g]: 12.96
 Ww [g]: 11.89
 Ws [g]: 26.88
 w [%]: 44.23

Esfuerzo

normal [kPa] 62.2

Dinamómetro: 0.00030

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamiento horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|--------------------------------------|---|----------------------------------|--|----------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.080 | 10.0 | 0.5 | 27.0 | 15.6 |
| -0.175 | 20.0 | 1.0 | 34.0 | 19.6 |
| -0.315 | 40.0 | 2.0 | 45.0 | 25.9 |
| -0.420 | 60.0 | 3.0 | 51.0 | 29.4 |
| -0.490 | 75.0 | 3.8 | 56.0 | 32.3 |
| -0.540 | 100.0 | 5.0 | 61.0 | 35.2 |
| -0.590 | 125.0 | 6.3 | 63.0 | 36.3 |
| -0.630 | 150.0 | 7.5 | 64.0 | 36.9 |
| -0.655 | 175.0 | 8.8 | 67.0 | 38.6 |
| -0.680 | 200.0 | 10.0 | 69.0 | 39.8 |
| -0.720 | 250.0 | 12.5 | 71.0 | 40.9 |
| -0.725 | 300.0 | 15.0 | 74.0 | 42.7 |
| -0.725 | 350.0 | 17.5 | 73.0 | 42.1 |
| -0.725 | 400.0 | 20.0 | 72.0 | 41.5 |
| -0.725 | 450.0 | 22.5 | 72.0 | 41.5 |
| -0.725 | 500.0 | 25.0 | 70.0 | 40.3 |

----- TERCER ENSAYO DE CORTE DIRECTO -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago

Trabajo No:
Trinchera:
Muestra No: GT-2
Prof. muestra: 2.0 m
Fecha : 30/04/2003

Descrip. del suelo: CL
 Realizado por: J. Alvarado

Dimensiones de la muestra

Lado [mm]: 50.71
 Altura [mm]: 19.14
 Area [cm2]: 25.72
 Volumen [cm3]: 49.22

Peso específico de la muestra

Wr+Wm [g]: 225.19
 Wr [g]: 162.76
 Wm [g]: 62.43

Peso específico [kN/m3]

húmedo : 12.44
 seco : 8.59

Carga normal

[kg] 32.0

Esfuerzo

normal [kPa] 124.4

Dinamómetro: 0.00033

Contenido de humedad

Wh+Wl [g]: 48.48
 Ws+Wl [g]: 37.40
 Wl [g]: 12.63
 Ww [g]: 11.08
 Ws [g]: 24.77
 w [%]: 44.73

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamiento horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|-----------------------------------|--|-------------------------------|---|-------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.040 | 10.0 | 0.5 | 70.0 | 36.8 |
| -0.105 | 20.0 | 1.0 | 81.0 | 42.6 |
| -0.190 | 40.0 | 2.0 | 102.0 | 53.6 |
| -0.150 | 60.0 | 3.0 | 115.0 | 60.4 |
| -0.280 | 75.0 | 3.8 | 122.0 | 64.1 |
| -0.310 | 100.0 | 5.0 | 134.0 | 70.4 |
| -0.340 | 125.0 | 6.3 | 138.0 | 72.5 |
| -0.360 | 150.0 | 7.5 | 142.0 | 74.6 |
| -0.400 | 175.0 | 8.8 | 144.0 | 75.7 |
| -0.415 | 200.0 | 10.0 | 150.0 | 78.8 |
| -0.420 | 250.0 | 12.5 | 145.0 | 76.2 |
| -0.445 | 300.0 | 15.0 | 153.0 | 80.4 |
| -0.460 | 350.0 | 17.5 | 150.0 | 78.8 |
| -0.475 | 400.0 | 20.0 | 147.0 | 77.2 |
| -0.485 | 450.0 | 22.5 | 145.0 | 76.2 |
| -0.485 | 500.0 | 25.0 | 142.0 | 74.6 |

----- **PRIMER ENSAYO DE CORTE DIRECTO** -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago

Trabajo No:
Trinchera:
Muestra No: GT-3

Descrip. del suelo:
 Realizado por: J. Alvarado

Prof. muestra:
Fecha : 15/05/2003

Dimensiones de la muestra

Lado [mm]: 50.73
 Altura [mm]: 18.56
 Area [cm²]: 25.74
 Volumen [cm³]: 47.76

Peso específico de la muestra

Wr+Wm [g]: 219.07
 Wr [g]: 146.86
 Wm [g]: 72.21
Peso específico [kN/m³]
 húmedo : 14.83
 seco : 9.22

Carga normal

[kg] 8.00

Esfuerzo

normal [kPa] 31.1

Dinamómetro: 0.00032

Contenido de humedad

Wh+Wl [g]: 74.29
 Ws+Wl [g]: 52.03
 Wl [g]: 15.41
 Ww [g]: 22.26
 Ws [g]: 36.62
 w [%]: 60.79

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamiento horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|---|---|-------------------------------------|--|-------------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.080 | 10.0 | 0.5 | 14.5 | 7.8 |
| -0.150 | 20.0 | 1.0 | 18.0 | 9.7 |
| -0.265 | 40.0 | 2.0 | 19.5 | 10.5 |
| -0.360 | 60.0 | 3.0 | 22.0 | 11.9 |
| -0.420 | 75.0 | 3.8 | 23.5 | 12.7 |
| -0.510 | 100.0 | 5.0 | 27.0 | 14.6 |
| -0.570 | 125.0 | 6.3 | 31.0 | 16.8 |
| -0.690 | 150.0 | 7.5 | 39.0 | 21.1 |
| -0.680 | 175.0 | 8.8 | 34.0 | 18.4 |
| -0.730 | 200.0 | 10.0 | 34.0 | 18.4 |
| -0.860 | 250.0 | 12.5 | 35.0 | 18.9 |
| -0.980 | 300.0 | 15.0 | 38.0 | 20.5 |
| -1.045 | 350.0 | 17.5 | 40.0 | 21.6 |
| -1.045 | 400.0 | 20.0 | 40.5 | 21.9 |
| -1.045 | 450.0 | 22.5 | 40.5 | 21.9 |
| -1.045 | 500.0 | 25.0 | 40.0 | 21.6 |

----- **SEGUNDO ENSAYO DE CORTE DIRECTO** -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago

Trabajo No:
Trinchera:
Muestra No: GT-3

Descrip. del suelo:
 Realizado por: J. Alvarado

Prof. muestra:
Fecha : 15/05/2003

Dimensiones de la muestra

Lado [mm]: 50.65
 Altura [mm]: 18.84
 Area [cm²]: 25.65
 Volumen [cm³]: 48.33

Peso específico de la muestra

Wr+Wm [g]: 230.07
 Wr [g]: 154.55
 Wm [g]: 75.52

Peso específico [kN/m³]

húmedo : 15.32
 seco : 9.74

Carga normal

[kg] 16.00

Contenido de humedad

Wh+Wl [g]: 60.95
 Ws+Wl [g]: 44.16
 Wl [g]: 14.90
 Ww [g]: 16.79
 Ws [g]: 29.26
 w [%]: 57.38

Esfuerzo

normal [kPa] 62.4

Dinamómetro: 0.00030

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamiento horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|--------------------------------------|---|-------------------------------|--|-------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.070 | 10.0 | 0.5 | 35.0 | 20.2 |
| -0.170 | 20.0 | 1.0 | 48.0 | 27.7 |
| -0.290 | 40.0 | 2.0 | 66.0 | 38.0 |
| -0.380 | 60.0 | 3.0 | 77.0 | 44.4 |
| -0.430 | 75.0 | 3.8 | 84.0 | 48.4 |
| -0.460 | 100.0 | 5.0 | 92.0 | 53.0 |
| -0.490 | 125.0 | 6.3 | 95.0 | 54.8 |
| -0.510 | 150.0 | 7.5 | 95.5 | 55.0 |
| -0.520 | 175.0 | 8.8 | 95.0 | 54.8 |
| -0.540 | 200.0 | 10.0 | 94.0 | 54.2 |
| -0.540 | 250.0 | 12.5 | 95.0 | 54.8 |
| -0.540 | 300.0 | 15.0 | 95.0 | 54.8 |
| -0.540 | 350.0 | 17.6 | 91.5 | 52.7 |
| -0.540 | 400.0 | 20.1 | 89.0 | 51.3 |
| -0.540 | 450.0 | 22.6 | 87.0 | 50.1 |
| -0.570 | 500.0 | 25.1 | 85.0 | 49.0 |

----- TERCER ENSAYO DE CORTE DIRECTO -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago

Trabajo No:
Trinchera:
Muestra No: GT-3
Prof. muestra:
Fecha : 15/05/2003

Descrip. del suelo:
 Realizado por: J. Alvarado

Dimensiones de la muestra

Lado [mm]: 50.82
 Altura [mm]: 19.11
 Area [cm²]: 25.83
 Volumen [cm³]: 49.35

Peso específico de la muestra

Wr+Wm [g]: 235.28
 Wr [g]: 161.61
 Wm [g]: 73.67

Peso específico [kN/m³]

húmedo : 14.64
 seco : 9.51

Carga normal

[kg] 32.0

Contenido de humedad

Wh+Wl [g]: 56.67
 Ws+Wl [g]: 42.28
 Wl [g]: 15.62
 Ww [g]: 14.39
 Ws [g]: 26.66
 w [%]: 53.98

Esfuerzo

normal [kPa] 123.9

Dinamómetro: 0.00033

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamiento horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|-----------------------------------|--|-------------------------------|---|-------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.030 | 10.0 | 0.5 | 81.0 | 42.6 |
| -0.060 | 20.0 | 1.0 | 95.0 | 49.9 |
| -0.090 | 40.0 | 2.0 | 123.0 | 64.6 |
| -0.105 | 60.0 | 3.0 | 145.0 | 76.2 |
| -0.120 | 75.0 | 3.7 | 160.0 | 84.1 |
| -0.130 | 100.0 | 5.0 | 182.0 | 95.6 |
| -0.130 | 125.0 | 6.2 | 187.0 | 98.3 |
| -0.140 | 150.0 | 7.5 | 190.0 | 99.8 |
| -0.140 | 175.0 | 8.7 | 190.0 | 99.8 |
| -0.140 | 200.0 | 10.0 | 185.0 | 97.2 |
| -0.140 | 250.0 | 12.5 | 175.0 | 92.0 |
| -0.135 | 300.0 | 15.0 | 168.0 | 88.3 |
| -0.125 | 350.0 | 17.5 | 168.0 | 88.3 |
| -0.125 | 400.0 | 20.0 | 162.0 | 85.1 |
| -0.110 | 450.0 | 22.5 | 158.0 | 83.0 |
| -0.105 | 500.0 | 25.0 | 155.0 | 81.4 |

PRIMER ENSAYO DE CORTE DIRECTO -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago

Trabajo No:
Trinchera:
Muestra No: GT-4
Prof. muestra:
Fecha : 30/04/2003

Descrip. del suelo: CI
 Realizado por: J. Alvarado

Dimensiones de la muestra

Lado [mm]: 50.49
 Altura [mm]: 18.07
 Area [cm²]: 25.49
 Volumen [cm³]: 46.06

Peso específico de la muestra

Wr+Wm [g]: 223.86
 Wr [g]: 147.42
 Wm [g]: 76.44
Peso específico [kN/m³]
 húmedo : 16.27
 seco : 10.81

Carga normal

[kg] 8.00

Esfuerzo

normal [kPa] 31.4

Dinamómetro: 0.00032

Contenido de humedad

Wh+Wl [g]: 46.26
 Ws+Wl [g]: 35.14
 Wl [g]: 13.14
 Ww [g]: 11.12
 Ws [g]: 22.00
 w [%]: 50.55

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamiento horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|--------------------------------------|---|----------------------------------|--|----------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.080 | 10.0 | 0.5 | 21.0 | 11.3 |
| -0.160 | 20.0 | 1.0 | 27.0 | 14.6 |
| -0.300 | 40.0 | 2.0 | 32.0 | 17.3 |
| -0.425 | 60.0 | 3.0 | 37.0 | 20.0 |
| -0.500 | 75.0 | 3.8 | 38.0 | 20.5 |
| -0.580 | 100.0 | 5.0 | 42.0 | 22.7 |
| -0.635 | 125.0 | 6.3 | 45.0 | 24.3 |
| -0.680 | 150.0 | 7.5 | 46.0 | 24.9 |
| -0.700 | 175.0 | 8.8 | 48.0 | 25.9 |
| -0.730 | 200.0 | 10.1 | 48.5 | 26.2 |
| -0.745 | 250.0 | 12.6 | 40.0 | 21.6 |
| -0.760 | 300.0 | 15.1 | 47.0 | 25.4 |
| -0.755 | 350.0 | 17.6 | 45.0 | 24.3 |
| -0.740 | 400.0 | 20.1 | 44.0 | 23.8 |
| -0.740 | 450.0 | 22.6 | 40.0 | 21.6 |
| -0.740 | 500.0 | 25.2 | 42.0 | 22.7 |

----- SEGUNDO ENSAYO DE CORTE DIRECTO -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago

Trabajo No:
Trinchera:
Muestra No: GT-4

Descrip. del suelo: CI
 Realizado por: J. Alvarado

Prof. muestra:
Fecha : 30/04/2003

Dimensiones de la muestra

Lado [mm]: 50.64
 Altura [mm]: 19.22
 Area [cm²]: 25.64
 Volumen [cm³]: 49.29

Peso específico de la muestra

Wr+Wm [g]: 224.22
 Wr [g]: 154.80
 Wm [g]: 69.42

Peso específico [kN/m³]

húmedo : 13.81
 seco : 8.76

**Carga normal
 [kg]**

16.00

Contenido de humedad

Wh+Wl [g]: 47.62
 Ws+Wl [g]: 34.83
 Wl [g]: 12.66
 Ww [g]: 12.79
 Ws [g]: 22.17
 w [%]: 57.69

**Esfuerzo
 normal [kPa]**

62.4

Dinamómetro:

0.00030

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamiento horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|--------------------------------------|---|----------------------------------|--|----------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.080 | 10.0 | 0.5 | 36.0 | 20.8 |
| -0.150 | 20.0 | 1.0 | 42.0 | 24.2 |
| -0.260 | 40.0 | 2.0 | 50.0 | 28.8 |
| -0.310 | 60.0 | 3.0 | 53.0 | 30.5 |
| -0.350 | 75.0 | 3.8 | 57.0 | 32.9 |
| -0.400 | 100.0 | 5.0 | 62.0 | 35.7 |
| -0.435 | 125.0 | 6.3 | 65.0 | 37.5 |
| -0.445 | 150.0 | 7.5 | 69.0 | 39.8 |
| -0.465 | 175.0 | 8.8 | 73.0 | 42.1 |
| -0.470 | 200.0 | 10.0 | 75.0 | 43.2 |
| -0.540 | 250.0 | 12.5 | 78.0 | 45.0 |
| -0.568 | 300.0 | 15.0 | 80.0 | 46.1 |
| -0.620 | 350.0 | 17.6 | 81.5 | 47.0 |
| -0.630 | 400.0 | 20.1 | 82.0 | 47.3 |
| -0.635 | 450.0 | 22.6 | 79.0 | 45.5 |
| -0.660 | 500.0 | 25.1 | 78.0 | 45.0 |

----- TERCER ENSAYO DE CORTE DIRECTO -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago

Trabajo No:
Trinchera:
Muestra No: GT-4
Prof. muestra:
Fecha : 30/04/2003

Descrip. del suelo: CI
 Realizado por: J. Alvarado

Dimensiones de la muestra

Lado [mm]: 50.71
 Altura [mm]: 18.44
 Area [cm²]: 25.72
 Volumen [cm³]: 47.42

Peso específico de la muestra

Wr+Wm [g]: 234.63
 Wr [g]: 162.00
 Wm [g]: 72.63
Peso específico [kN/m³]
 húmedo : 15.02
 seco : 9.62

Carga normal
[kg]

32.0

Esfuerzo

normal [kPa]

124.4

Dinamómetro:

0.00033

Contenido de humedad

Wh+Wl [g]: 48.11
 Ws+Wl [g]: 35.07
 Wl [g]: 11.86
 Ww [g]: 13.04
 Ws [g]: 23.21
 w [%]: 56.18

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamiento horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|--------------------------------------|---|-------------------------------|--|-------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.050 | 10.0 | 0.5 | 70.0 | 36.8 |
| -0.140 | 20.0 | 1.0 | 84.0 | 44.1 |
| -0.240 | 40.0 | 2.0 | 104.0 | 54.6 |
| -0.300 | 60.0 | 3.0 | 120.0 | 63.1 |
| -0.340 | 75.0 | 3.8 | 128.0 | 67.3 |
| -0.375 | 100.0 | 5.0 | 133.0 | 69.9 |
| -0.410 | 125.0 | 6.3 | 140.0 | 73.6 |
| -0.410 | 150.0 | 7.5 | 143.0 | 75.1 |
| -0.470 | 175.0 | 8.8 | 147.0 | 77.2 |
| -0.485 | 200.0 | 10.0 | 152.0 | 79.9 |
| -0.520 | 250.0 | 12.5 | 154.0 | 80.9 |
| -0.595 | 300.0 | 15.0 | 153.0 | 80.4 |
| -0.605 | 350.0 | 17.5 | 157.0 | 82.5 |
| -0.605 | 400.0 | 20.0 | 160.0 | 84.1 |
| -0.585 | 450.0 | 22.5 | 157.0 | 82.5 |
| -0.540 | 500.0 | 25.0 | 154.0 | 80.9 |

PRIMER ENSAYO DE CORTE DIRECTO -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

| | | | |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| <i>Proyecto:</i> | Tesis de Licenciatura | <i>Trabajo No:</i> | |
| <i>Localización:</i> | El Guarco, Cartago | <i>Trinchera:</i> | |
| <i>Descrip. del suelo:</i> | MH | <i>Muestra No:</i> | GT-16 |
| <i>Realizado por:</i> | J. Alvarado | <i>Prof. muestra:</i> | 4.0 m |
| | | <i>Fecha :</i> | 26/08/2003 |

Dimensiones de la muestra

| | |
|-----------------------------|-------|
| Lado [mm]: | 50.41 |
| Altura [mm]: | 18.97 |
| Area [cm ²]: | 25.41 |
| Volumen [cm ³]: | 48.21 |

Peso específico de la muestra

| | |
|------------|--------|
| Wr+Wm [g]: | 207.70 |
| Wr [g]: | 146.77 |
| Wm [g]: | 60.93 |

Peso específico [kN/m³]

| | |
|----------|-------|
| húmedo : | 12.40 |
| seco : | 7.67 |

Carga normal

| | |
|-------------|------|
| [kg] | 8.00 |
|-------------|------|

Esfuerzo

| | |
|---------------------|------|
| normal [kPa] | 31.5 |
|---------------------|------|

| | |
|---------------------|---------|
| Dinamómetro: | 0.00032 |
|---------------------|---------|

Contenido de humedad

| | |
|------------|-------|
| Wh+Wl [g]: | 31.61 |
| Ws+Wl [g]: | 24.10 |
| Wl [g]: | 11.92 |
| Ww [g]: | 7.51 |
| Ws [g]: | 12.18 |
| w [%]: | 61.66 |

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamien horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|---|---|-----------------------------------|--|-------------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.060 | 10.0 | 0.5 | 16.0 | 8.6 |
| -14.000 | 20.0 | 1.0 | 24.0 | 13.0 |
| -0.240 | 40.0 | 2.0 | 22.5 | 12.2 |
| -0.325 | 60.0 | 3.0 | 27.0 | 14.6 |
| -0.380 | 75.0 | 3.8 | 28.0 | 15.1 |
| -0.430 | 100.0 | 5.0 | 31.0 | 16.8 |
| -0.460 | 125.0 | 6.3 | 33.0 | 17.8 |
| -0.480 | 150.0 | 7.6 | 37.0 | 20.0 |
| -5.250 | 175.0 | 8.8 | 38.0 | 20.5 |
| -5.550 | 200.0 | 10.1 | 38.0 | 20.5 |
| -5.950 | 250.0 | 12.6 | 40.0 | 21.6 |
| -6.250 | 300.0 | 15.1 | 41.0 | 22.2 |
| -6.950 | 350.0 | 17.6 | 39.0 | 21.1 |
| -7.300 | 400.0 | 20.2 | 41.0 | 22.2 |
| -7.400 | 450.0 | 22.7 | 37.0 | 20.0 |
| -7.500 | 500.0 | 25.2 | 38.0 | 20.5 |

----- SEGUNDO ENSAYO DE CORTE DIRECTO -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

| | | | |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| <i>Proyecto:</i> | Tesis de Licenciatura | <i>Trabajo No:</i> | |
| <i>Localización:</i> | El Guarco, Cartago | <i>Trinchera:</i> | |
| <i>Descripción del suelo:</i> | MH | <i>Muestra No:</i> | GT-16 |
| <i>Realizado por:</i> | J. Alvarado | <i>Prof. muestra:</i> | 4.0 m |
| | | <i>Fecha :</i> | 26/08/2003 |

Dimensiones de la muestra

| | |
|-----------------------------|-------|
| Lado [mm]: | 50.74 |
| Altura [mm]: | 19.02 |
| Area [cm ²]: | 25.75 |
| Volumen [cm ³]: | 48.97 |

Peso específico de la muestra

| | |
|------------|--------|
| Wr+Wm [g]: | 218.42 |
| Wr [g]: | 155.77 |
| Wm [g]: | 62.65 |

Peso específico [kN/m³]

| | |
|----------|-------|
| húmedo : | 12.55 |
| seco : | 9.07 |

Carga normal

| | |
|-------------|-------|
| [kg] | 16.00 |
|-------------|-------|

Esfuerzo

| | |
|---------------------|------|
| normal [kPa] | 62.1 |
|---------------------|------|

| | |
|---------------------|---------|
| Dinamómetro: | 0.00030 |
|---------------------|---------|

Contenido de humedad

| | |
|------------|-------|
| Wh+Wl [g]: | 31.26 |
| Ws+Wl [g]: | 25.98 |
| Wl [g]: | 12.23 |
| Ww [g]: | 5.28 |
| Ws [g]: | 13.75 |
| w [%]: | 38.40 |

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamiento horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|--------------------------------------|---|-------------------------------|--|-------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.025 | 10.0 | 0.5 | 27.0 | 15.6 |
| -0.090 | 20.0 | 1.0 | 37.0 | 21.3 |
| -0.160 | 40.0 | 2.0 | 46.0 | 26.5 |
| -0.250 | 60.0 | 3.0 | 53.0 | 30.5 |
| -0.290 | 75.0 | 3.8 | 58.0 | 33.4 |
| -0.340 | 100.0 | 5.0 | 61.0 | 35.2 |
| -0.385 | 125.0 | 6.3 | 63.0 | 36.3 |
| -0.400 | 150.0 | 7.5 | 64.0 | 36.9 |
| -0.420 | 175.0 | 8.8 | 67.0 | 38.6 |
| -0.455 | 200.0 | 10.0 | 68.0 | 39.2 |
| -0.480 | 250.0 | 12.5 | 67.0 | 38.6 |
| -0.480 | 300.0 | 15.0 | 68.0 | 39.2 |
| -0.480 | 350.0 | 17.5 | 69.0 | 39.8 |
| -0.480 | 400.0 | 20.0 | 68.0 | 39.2 |
| -0.480 | 450.0 | 22.5 | 69.0 | 39.8 |
| -0.480 | 500.0 | 25.0 | 65.0 | 37.5 |

----- TERCER ENSAYO DE CORTE DIRECTO -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

| | | | |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| <i>Proyecto:</i> | Tesis de Licenciatura | <i>Trabajo No:</i> | |
| <i>Localización:</i> | El Guarco, Cartago | <i>Trinchera:</i> | |
| | | <i>Muestra No:</i> | GT-16 |
| <i>Descrip. del suelo:</i> | MH | <i>Prof. muestra:</i> | 4.0 m |
| <i>Realizado por:</i> | J. Alvarado | <i>Fecha :</i> | 26/08/2003 |

Dimensiones de la muestra

| | |
|-----------------------------|-------|
| Lado [mm]: | 50.71 |
| Altura [mm]: | 19.63 |
| Area [cm ²]: | 25.72 |
| Volumen [cm ³]: | 50.48 |

Peso específico de la muestra

| | |
|------------|--------|
| Wr+Wm [g]: | 231.92 |
| Wr [g]: | 163.64 |
| Wm [g]: | 68.28 |

Peso específico [kN/m³]

| | |
|----------|-------|
| húmedo : | 13.27 |
| seco : | 8.90 |

Carga normal

| | |
|-------------|------|
| [kg] | 32.0 |
|-------------|------|

Esfuerzo

| | |
|---------------------|-------|
| normal [kPa] | 124.4 |
|---------------------|-------|

| | |
|---------------------|---------|
| Dinamómetro: | 0.00033 |
|---------------------|---------|

Contenido de humedad

| | |
|------------|-------|
| Wh+Wl [g]: | 29.19 |
| Ws+Wl [g]: | 23.62 |
| Wl [g]: | 12.26 |
| Ww [g]: | 5.57 |
| Ws [g]: | 11.36 |
| w [%]: | 49.03 |

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamien horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|---|---|-----------------------------------|--|-------------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.015 | 10.0 | 0.5 | 53.0 | 27.8 |
| -0.060 | 20.0 | 1.0 | 71.0 | 37.3 |
| -0.115 | 40.0 | 2.0 | 99.0 | 52.0 |
| -0.160 | 60.0 | 3.0 | 112.0 | 58.9 |
| -0.175 | 75.0 | 3.8 | 118.0 | 62.0 |
| -0.210 | 100.0 | 5.0 | 127.0 | 66.7 |
| -0.240 | 125.0 | 6.3 | 129.0 | 67.8 |
| -0.245 | 150.0 | 7.5 | 131.0 | 68.8 |
| -0.250 | 175.0 | 8.8 | 141.0 | 74.1 |
| -0.260 | 200.0 | 10.0 | 141.0 | 74.1 |
| -0.315 | 250.0 | 12.5 | 146.0 | 76.7 |
| -0.330 | 300.0 | 15.0 | 147.0 | 77.2 |
| -0.330 | 350.0 | 17.5 | 145.0 | 76.2 |
| -0.330 | 400.0 | 20.0 | 141.0 | 74.1 |
| -0.275 | 450.0 | 22.5 | 142.0 | 74.6 |
| -0.260 | 500.0 | 25.0 | 138.0 | 72.5 |

PRIMER ENSAYO DE CORTE DIRECTO -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura

Localización: El Guarco, Cartago

Descrip. del suelo: MH

Realizado por: J. Alvarado

Trabajo No:

Trinchera:

Muestra No: GT-17

Prof. muestra:

Fecha : 19/04/2004

Dimensiones de la muestra

Lado [mm]: 50.42

Altura [mm]: 18.59

Area [cm²]: 25.42

Volumen [cm³]: 47.26

Peso específico de la muestra

Wr+Wm [g]: 212.83

Wr [g]: 150.14

Wm [g]: 62.69

Peso específico [kN/m³]

húmedo : 13.01

seco : 6.34

Carga normal

[kg] 8.00

Esfuerzo

normal [kPa] 31.5

Dinamómetro: 0.00032

Contenido de humedad

Wh+Wl [g]: 31.58

Ws+Wl [g]: 22.06

Wl [g]: 13.00

Ww [g]: 9.52

Ws [g]: 9.06

w [%]: 105.08

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamiento horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|--------------------------------------|---|----------------------------------|--|----------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.100 | 10.0 | 0.5 | 12.0 | 6.5 |
| -0.400 | 20.0 | 1.0 | 15.0 | 8.1 |
| -0.450 | 40.0 | 2.0 | 21.0 | 11.3 |
| -0.500 | 60.0 | 3.0 | 26.0 | 14.0 |
| -0.580 | 75.0 | 3.8 | 28.0 | 15.1 |
| -0.700 | 100.0 | 5.0 | 33.0 | 17.8 |
| -0.740 | 125.0 | 6.3 | 37.0 | 20.0 |
| -0.800 | 150.0 | 7.6 | 40.0 | 21.6 |
| -0.860 | 175.0 | 8.8 | 41.0 | 22.2 |
| -0.930 | 200.0 | 10.1 | 42.0 | 22.7 |
| -1.040 | 250.0 | 12.6 | 44.0 | 23.8 |
| -1.140 | 300.0 | 15.1 | 46.0 | 24.9 |
| -1.220 | 350.0 | 17.6 | 43.0 | 23.2 |
| -1.290 | 400.0 | 20.2 | 44.0 | 23.8 |
| -1.350 | 450.0 | 22.7 | 41.0 | 22.2 |
| -1.410 | 500.0 | 25.2 | 40.0 | 21.6 |

----- SEGUNDO ENSAYO DE CORTE DIRECTO -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago

Trabajo No:
Trinchera:
Muestra No: GT-17

Descrip. del suelo: MH
Realizado por: J. Alvarado

Prof. muestra:
Fecha : 19/04/2004

Dimensiones de la muestra

Lado [mm]: 50.16
 Altura [mm]: 19.03
 Area [cm²]: 25.16
 Volumen [cm³]: 47.88

Peso específico de la muestra

Wr+Wm [g]: 218.27
 Wr [g]: 157.82
 Wm [g]: 60.45

Peso específico [kN/m³]
 húmedo : 12.38
 seco : 6.21

Carga normal

[kg] 16.00

Contenido de humedad

Wh+Wl [g]: 32.71
 Ws+Wl [g]: 22.79
 Wl [g]: 12.82
 Ww [g]: 9.92
 Ws [g]: 9.97
 w [%]: 99.50

Esfuerzo

normal [kPa] 63.6

Dinamómetro: 0.00030

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamiento horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|--------------------------------------|---|----------------------------------|--|----------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.040 | 10.0 | 0.5 | 27.0 | 15.6 |
| -0.080 | 20.0 | 1.0 | 37.0 | 21.3 |
| -0.130 | 40.0 | 2.0 | 57.0 | 32.9 |
| -0.180 | 60.0 | 3.0 | 72.0 | 41.5 |
| -0.220 | 75.0 | 3.8 | 73.0 | 42.1 |
| -0.290 | 100.0 | 5.1 | 75.0 | 43.2 |
| -0.330 | 125.0 | 6.3 | 78.0 | 45.0 |
| -0.340 | 150.0 | 7.6 | 73.0 | 42.1 |
| -0.360 | 175.0 | 8.9 | 68.0 | 39.2 |
| -0.380 | 200.0 | 10.1 | 67.0 | 38.6 |
| -0.380 | 250.0 | 12.7 | 69.0 | 39.8 |
| -0.390 | 300.0 | 15.2 | 66.0 | 38.0 |
| -0.450 | 350.0 | 17.7 | 64.0 | 36.9 |
| -0.430 | 400.0 | 20.3 | 69.0 | 39.8 |
| -0.410 | 450.0 | 22.8 | 63.0 | 36.3 |
| -0.405 | 500.0 | 25.3 | 61.0 | 35.2 |

----- TERCER ENSAYO DE CORTE DIRECTO -----

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA, ESCUELA DE GEOLOGIA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis de Licenciatura
Localización: El Guarco, Cartago

Trabajo No:
Trinchera:
Muestra No: GT-17

Descrip. del suelo: **MH**
 Realizado por: **J. Alvarado**

Prof. muestra:
Fecha : 19/04/2004

Dimensiones de la muestra

Lado [mm]: 50.36
 Altura [mm]: 19.68
 Area [cm²]: 25.36
 Volumen [cm³]: 49.91

Peso específico de la muestra

Wr+Wm [g]: 222.29
 Wr [g]: 164.66
 Wm [g]: 57.63
Peso específico [kN/m³]
 húmedo : 11.32
 seco : 5.68

Carga normal

[kg] 32.0

Contenido de humedad

Wh+Wl [g]: 31.58
 Ws+Wl [g]: 22.53
 Wl [g]: 13.42
 Ww [g]: 9.05
 Ws [g]: 9.11
 w [%]: 99.34

Esfuerzo

normal [kPa] 126.2

Dinamómetro: 0.00033

| Desplazamiento vertical [0.01 mm] | Lectura del deformímetro horizontal [0.001"] | Desplazamiento horizontal [%] | Lectura del deformímetro de carga [0.0001"] | Esfuerzo cortante [kPa] |
|-----------------------------------|--|-------------------------------|---|-------------------------|
| 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -0.090 | 10.0 | 0.5 | 61.0 | 32.1 |
| -0.150 | 20.0 | 1.0 | 70.0 | 36.8 |
| -0.260 | 40.0 | 2.0 | 86.0 | 45.2 |
| -0.350 | 60.0 | 3.0 | 100.0 | 52.5 |
| -0.410 | 75.0 | 3.8 | 109.0 | 57.3 |
| -0.500 | 100.0 | 5.0 | 118.0 | 62.0 |
| -0.550 | 125.0 | 6.3 | 127.0 | 66.7 |
| -0.600 | 150.0 | 7.6 | 131.0 | 68.8 |
| -0.640 | 175.0 | 8.8 | 132.0 | 69.4 |
| -0.680 | 200.0 | 10.1 | 137.0 | 72.0 |
| -0.770 | 250.0 | 12.6 | 141.0 | 74.1 |
| -0.830 | 300.0 | 15.1 | 143.0 | 75.1 |
| -0.910 | 350.0 | 17.7 | 142.0 | 74.6 |
| -0.960 | 400.0 | 20.2 | 140.0 | 73.6 |
| -0.990 | 450.0 | 22.7 | 138.0 | 72.5 |
| -1.030 | 500.0 | 25.2 | 137.0 | 72.0 |