ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

"Susceptibilidad al deslizamiento de los suelos y rocas de la Provincia de Manabí"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

María Verónica Aguirre Herrera

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2005

AGRADECIMIENTO

A Dios porque sin él nada hubiese sido posible y de manera especial, a mi familia y al Ing. Msc. Miguel Ángel Chávez, Director de Tesis por su ayuda, enseñanzas, paciencia y dedicación. Agradezco al Ing. PhD. Roberto Blanco Torrens por su orientación, apoyo y ayuda incondicional. A mis amigos que siempre estuvieron apoyándome y ayudándome (Karina, Juan Pablo Valle y Julio Jaime). A Gabriel, que siempre me apoya y ayuda en cada proyecto que emprendo.

DEDICATORIA

A DIOS

LCDA. DORILA VELASCO

DR. ALFREDO ANDRAMUÑO

ING. ESTHER DE AGUIRRE

ING. ROBERTO AGUIRRE T.

ARQ. ROBERTO AGUIRRE H.

A MIS ÁNGELES QUE CUIDAN MI CASA

TRIBUNAL DE GRADUCIÓN

Ing. MSc. Julio Rodríguez Ríos
SUBDECANO DE LA FICT
PRESIDENTE

Ing. MSc. Miguel Ángel Chávez M.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Eduardo Santos Baquerizo
VOCAL

Ing. Carmen Terreros de Varela
VOCAL

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

María Verónica Aguirre Herrera

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el tema “Susceptibilidad al Deslizamiento de los suelos y rocas de la Provincia de Manabí”. Para tal efecto se considera siete sectores como los más representativos de la provincia debido a la gran cantidad de movimientos de masas registrados. Estos son: Alajuela, Cantón Sucre, Jipijapa, Manta, Montecristi, Portoviejo y Puerto López.

En primer lugar y en base a estudios realizados (geología, hidrología, geohidrología, geotecnia) se caracteriza las formaciones geológicas encontradas. Se identifica y se evalúan las propiedades y características físicas de las superficies y taludes relevantes (morfología) de los sectores estudiados.

En base a toda la información obtenida, se propone y se ajusta el método de evaluación a la susceptibilidad al deslizamiento.

ÌNDICE GENERAL

RESUMEN …….....II

ÍNDICE GENERAL …….....III

ABREVIATURAS …….....VIII

SIMBOLOGÍA …….....IX

ÍNDICE DE FIGURAS …….....X

ÍNDICE DE TABLAS …….....XIII

INTRODUCCIÓN …….....1

CAPÍTULO 1

1. ASPECTOS GENERALES …….....4

1.1 Caracterización de la región de estudio ……...4

1.1.1 Ubicación Geográfica …….....4

1.1.2 Desarrollo Socio-Económico de la Provincia de Manabí ……6

1.1.3 Aspectos Climáticos …….....10

1.1.4 Orografía e Hidrografía …….....13

1.1.5 Sismicidad ……15

1.2 Geología de la Región …….....21

1.2.1 Zona Norte y Central de Manabí ..…….....24

1.2.2 Zona Sur de Manabí …….....34

1.3 Hidrología e Hidrogeología de la región ……..……....38

1.3.1 Evaluación de las formaciones acuíferas 38

1.3.2 Incidencia de la Saturación en los suelos limosos ..…….....41

1.4 Análisis Bibliográfico ……....42

1.4.1 Deslizamientos Traslacionales …….....44

1.4.2 Flujos de Avalancha, Aludes, Deslizamientos ……46

1.4.2.1 Cantón Sucre …….....46

1.4.2.2 Alajuela ……....47

1.4.2.3 Portoviejo ……....48

1.4.3 Basculamientos …….....49

1.5 Plan de investigación efectuado ……....50

CAPÍTULO 2

2. ESTUDIOS DE CAMPO, LABORATORIO Y GABINETE ……..52

2.1 Geología ……....53

2.1.1 Alajuela ……....53

2.1.2 Cantón Sucre ……...56

2.1.3 Jipijapa ……..62

2.1.4 Manta ……64

2.1.5 Montecristi ……69

2.1.6 Portoviejo ……..75

2.1.7 Puerto López …….. 79

2.2 Hidrología ……...83

2.2.1 Estudio Hidrológico del Área Representativa ……....83

2.2.2 Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Portoviejo ……85

2.2.2.1 Fisiografía de las Cuencas ……....85

2.2.2.2 Pluviometría ……..87

2.2.2.3 Régimen de Caudales Mensuales y Diarios ……..91

2.2.2.4 Estudio de Caudales de Crecida ……106

2.3 Hidrogeología ……..112

2.3.1 Alajuela ……...112

2.3.2 Cantón Sucre ……120

2.3.3 Jipijapa ……...123

2.3.4 Manta ……..124

2.3.5 Montecristi ……126

2.3.6 Puerto López ……128

2.4 Propiedades de los suelos y rocas en las zonas de estudio …..130

2.5 Deterioro de suelos y rocas blandas ……..131

2.5.1 Meteorización ……131

2.5.2 Alterabilidad ……..134

2.5.3 Valoración de la Meteorización ……..137

2.5.4 Índices para cuantificar el grado de alterabilidad ……139

2.5.5 Clasificación de las rocas meteorizadas ……..149

2.5.6 Primera Etapa: Evaluación de la Susceptibilidad del talud a la Degradación ..……157

2.5.7 Segunda Etapa: Valoración de la naturaleza del deterioro y su probabilidad ….……163

CAPÍTULO 3

3. CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y ROCAS BLANDAS SEGÚN SU SUSCEPTIBILIDAD ALDESLIZAMIENTO……...164

3.1 Estabilidad de los macizos en las zonas de estudio ……164

3.1.1 Evaluación del grado de estabilidad ……..167

3.1.2 Estabilidad considerando la altura del talud, sin la presencia de agua ……...171

3.1.3 Estabilidad considerando la altura del talud, la pendiente y la presencia de agua ……....174

3.1.4 Relación entre el Perfil de Meteorización, el Grado de Alterabilidad y la Estabilidad del Macizo Rocoso ……..177

3.2 Caracterización geotécnica de las zonas estudiadas……180

3.3 Zonificación según la susceptibilidad al deslizamiento. ……..…187

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE CASOS

4.1 Caso 1 :Alajuela ……..……...189

4.2 Caso 2: Cantón Sucre ……..……194

4.3 Caso 3: Jipijapa ….……..……..….202

4.4 Caso 4: Manta ……..……..……..204

4.5 Caso 5 :Montecristi ……..……..……...208

4.6 Caso 6: Portoviejo ……...……..211

4.7 Caso 7: Puerto López ……....215

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ……..…...219

5.1 Conclusiones ……...219

5.2 Recomendaciones ……..222

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

Km²	Kilómetros cuadrados
etc	Etcétera
mm	Milímetros
Km	Kilómetros
IEPC	International Engineering Products and Consulting
Fm	Formación
m	Metros
N	Norte
S	Sur
E	Este
W	Oeste
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
A	Área
CINF	Coeficiente de infiltración
HSN	Almacenamiento de humedad en el suelo
CT	Coeficiente de tanque que transforma evaporación potencial a real
PQB:	Fracción del almacenamiento que se transforma en escurrimiento
Ha	Hectárea
I-D-F	Intensidad-Duración y Frecuencia
IEOS	Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias
ISRM	International Society for Rock Mechanics
RQD	índice de calidad de la Roca, Deere
Mpa	Megapascales
Min	Minutos
m^2	Metros cuadrados
Ton	Toneladas
m/s	metros por segundo
JRH	Junta de Recursos hidráulicos

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
Mb	Magnitud de onda de cuerpo
Ms	Magnitud e onda superficial
MC	Formación Charapotó
MO	Formación Onzole
ES	Formación San Eduardo
EC	Formación Cerro
MPlb	Formación Borbón
Qt	Terrazas aluviales modernas
Qa	Depósitos aluviales recientes
KC	Formación Cayo
Plc	Formación. Canoa
Qc	Coluviales
Q	Caudal
m^3/s	Metros cúbicos pro segundo
ξ	Grado de Litificación
&	Grado de separación de bloques por m^2
MM	Masividad
FF	Factor de Fragmentación
H	Altura
e	espesor
º	Grados
S	Pendiente
T	Esfuerzo Cortante
F	Factor de Seguridad
σ	Esfuerzo de Compresión Simple
φ	ángulo de Fricción

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1.1.1 Ubicación geográfica de la zona de estudio ……....5
Figura 1.1.1.2 División política de la zona de estudio…….5
Figura 1.1.2.1 Unidades productivas y categorías Piñas por Cantones .9
Figura 1.1.3.1 Evolución de la lluvia acumulada hasta el 24 de Abril del 2001, comparada con la lluvia Media, años muy Húmedos y los ENSO registrados desde 1915 ……11
Figura 1.1.3.2 Precipitaciones anuales o bianuales de los 17 ENSO (+) que se han registrado en Guayaquil entre 1915 y 2001 ……12
Figura 1.1.4.1 Mapa con las principales cuencas hidrológicas de la Provincia ……...14
Figura 1.1.5.1 Marco Tectónico del Ecuador ……15
Figura1.2.1 Rasgos Estructurales dominantes del Ecuador ……..21
Figura.1.2.2 Marco Geomorfológico del Ecuador ……23
Figura 1.2.3 Formación Tosagua-Miembro Zapotal ……26
Figura 1.2.4 Formación Tosagua –Miembro Dos Bocas ……27
Figura 1.2.5 Formación Tosagua – Miembro Villingota ……...28
Figura 1.2.6 Formación San Mateo ……30
Figura 1.2.7 Formación Piñón ……..31
Figura 1.2.8 Formación Cayo ……...36
Figura 1.4.1 Clasificación Geotécnica del Mecanismo de Ruptura Inicial (Sassa, 1985) ……44
Figuras 1.4.1.1 (a,b,c): Deslizamientos Traslacionales en La Cadena-Jipijapa ……..44
Figuras 1.4.1.2 (a, b, c, d): Deslizamiento Trasnacional en la Vía Tosagua-Bahía de Caráquez ……..45
Figuras 1.4.2.1 (a,bc,d): Esquema y foto del alud en Bahía de Caráquez ……...46
Figuras 1.4.2.2 (a,bc): Esquema y foto del alud en Alajuela ……47
Figuras 1.4.2.3 (a,bc,d): Esquema y fotos del alud en Portoviejo ……..48
Figuras 1.4.3 (a,bc,): Esquemas y foto del basculamiento en Portoviejo ……..49

Figuras 2.1.1.1 (a,b):	Fotos de la geomorfología de Alajuela ……...54
Figura 2.1.1.2:	Esquema de la geomorfología de Alajuela …….54
Figura 2.1.2.1:	Esquema de acantilado y Pie de Monte ……..57
Figura 2.1.2.2:	Esquema de depósitos coluviales en forma de escalones topográficos ……....……....58
Figura 2.1.2.3:	Foto de acantilado y Pie de Monte ……57
Figura 2.1.2.4:	Foto de depósitos coluviales en forma de escalones topográficos ...……..58
Figura 2.1.3.1:	Foto de la geomorfología de Jipijapa ……...62
Figura 2.1.4.1:	Foto de Manta ……65
Figura 2.1.4.2:	Foto de la geomorfología de Manta ….……65
Figura 2.1.5.1:	Esquema de Horst ……..69
Figura 2.1.5.2:	Foto de Horst ……...70
Figura 2.1.5.3:	Esquema de la geomorfología de Montecristi ….71
Figuras 2.1.5.4 (a,b):	Fotos de la geomorfología de Montecristi ……71
Figura 2.1.6.1:	Esquema de la geomorfología de Portoviejo …...76
Figura 2.2.2.2.1:	Serie de Precipitaciones anuales de la Estación Portoviejo ……...89
Figura 2.2.2.2.2:	Curva de duración general de precipitaciones mensuales de la Estación Portoviejo ……91
Figura 2.2.2.3.1:	Caudales mensuales estimados en Río Portoviejo en Portoviejo ……92
Figura 2.2.2.3.2:	Serie de Caudales Estimados del Río Portoviejo en Portoviejo ……97
Figura 2.2.2.3.3:	Frecuencia de caudales mensuales estimados en el Río Portoviejo en Portoviejo ……98
Figura 2.2.2.3.4:	Curva de duración general con serie de caudales generados Río Portoviejo en Portoviejo ……..99
Figura 2.2.2.3.5:	Comparación de curvas de duración Adimensionales ……..101
Figura 2.2.2.3.6:	Caudales mensuales registrados en embalse Poza Honda 1982-1999 ……102
Figura 2.2.2.3.7:	Caudales diarios registrados en Embalse Poza Honda –Niño 97-98 ……..103
Figura 2.2.2.3.8:	Hidrograma de crecida Río Portoviejo en Poza Honda ……..105
Figura 2.2.2.4.:	Hidrogramas de crecida calculadas en el Río Portoviejo en Portoviejo ……110
Figura 2.3.1.1 :	Información batimétrica y granulométrica del Río Portoviejo ……116
Figura 2.3.1.2 :	Comparación de la sección estable con perfiles transversales del río Portoviejo ……..117
Figura 3.1.2.1:	Correlación Altura vs. Factor de Fragmentación ……174

Figura 3.1.3.1 Correlación Altura del talud vs. Área de Incidencia ……176
Figura 4.1.1 Identificación de los deslizamientos rotacionales y aludes de Alajuela ……190
Figura 4.1.2 Esquema del alud ocurrido en Alajuela ……..191
Figura 4.7.1 Vista general de Puerto López ……215

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.2.1	Población del ecuador y de la provincia. – Manabí censo 1950-2001	...8
Tabla 1.1.2.2	Población económicamente activa de 5 años y más de edad, por sectores económicos, según cantones. Manabí	8
Tabla 1.1.5.1	Sismos de los últimos 20 años	19
Tabla 1.1.5.2	Sismos del último año	...20
Tabla 1.4.1	Clasificación de Movimientos de Masas (Varnes, 1975)	43
Tabla 2.2.2.1	Cuencas	85
Tabla 2.2.2.3.1	Parámetros de calibración obtenidos	93
Tabla 2.2.2.3.2	Caudales de uso según Jica (m^3/s)	...94
Tabla 2.2.2.3.3	Caudales Mensuales Estimados (m3/s) en el Rio Portoviejo en Portoviejo	...96
Tabla 2.2.2.3.4	Resumen de distribución de Frecuencia de Caudales Mensuales	98
Tabla 2.2.2.3.5	Crecidas Registradas en Poza Honda Período El Niño 97-98	104
Tabla 2.2.2.4.1	Intensidad y lámina de lluvia para 6 horas	108
Tabla 2.2.2.4.2	Tiempos de retorno, caudales, volúmenes y Tiempo pico de los Hidrogramas de las crecidas del Río Portoviejo en Portoviejo	...111
Tabla 2.4	Propiedades de los Tipos de Rocas y Suelos encontrados en la Provincia de Manabí	..130
Tabla 2.5.3.1	Clasificación ISRM de los Macizos Rocosos Meteorizados	138
Tabla 2.5.3.4	Índice de Arenosidad	142
Tabla 2.5.5.1	Valores sugeridos para los Índices de Meteorización	..152
Tabla 2.5.5.2	Puntuación recomendada por Rao y Gupta según el grado de meteorización	154
Tabla 2.5.6.1	Cuantificación de los parámetros valorados, puntos	159
Tabla 2.5.6.2	Factores adversos y su puntuación	161
Tabla 2.5.6.3	Susceptibilidad del talud al deterioro	162

Tabla 3.1	Caracterización geotécnica de las Formaciones encontradas según criterio de Bienawski ……166
Tabla 3.1.1.1	Grado de Litificación ……168
Tabla 3.1.1.2	Grado de separación de bloques por m^2 ……..169
Tabla 3.1.1.3	Valoración de la Pasividad de los Terrenos de la Provincia de Manabí ……170
Tabla 3.1.2.1	Valoración de la estabilidad frente a deslizamientos de los terrenos de la Provincia de Manabí, considerando Pasividad y altura del talud ……...173
Tabla 3.1.4.1	Espesor de meteorización de las Formaciones encontradas …..……..178
Tabla 3.3.1	Valoración de la Susceptibilidad frente a Deslizamientos de los Terrenos de la Provincia de Manabí ……...188

INTRODUCCIÓN

Manabí, es conocida por ser una de las provincias más bellas del Ecuador, por su relieve muy particular y sus hermosas playas. De igual manera, es una de las provincias más afectadas cuando llega el Fenómeno El Niño, el cual se presenta periódicamente en este país. A este fenómeno se le debe sumar el tectonismo y alta sismicidad que en algunos casos se lo ha considerado como el detonante o catalizador del gran número de movimientos de masas que sufre esta zona y que ha destruido gran parte de la infraestructura, cobrando muchas vidas.

El presente trabajo trata la “Susceptibilidad al deslizamiento de suelos y rocas de la Provincia de Manabí”, enfocado a la caracterización de los taludes y formaciones geológicas correspondientes, de acuerdo a su susceptibilidad al deslizamiento, con el fin de poder prevenir posibles movimientos de masas para salvar vidas humanas además de la valiosa infraestructura existente de esta provincia.

Para tal efecto, se propone un método nuevo de evaluación, el mismo que se fundamenta en métodos conocidos de caracterización de rocas y suelos, pero que han sido ajustados a las condiciones existentes en el terreno. Este método permite tomar en cuenta aspectos que influyen de forma determinante en los movimientos de masas.

Primero se procedió a escoger los lugares que dado los registros históricos han sufrido y sufren de grandes deslizamientos. Estos sectores son: Alajuela, Cantón Sucre, Jipijapa, Manta, Montecristi y Puerto López, a los cuales se realizaron visitas de campo periódicas, es decir, antes de que ocurra el movimiento de masa y después de este. Evaluando y caracterizando la superficie de falla, el material existente y sus propiedades físicas. De igual manera se consultó gran cantidad de soporte bibliográfico con sus respectivas enseñanzas, el cual se tomó en cuenta y se ajustó a las necesidades y condiciones existentes en los diferentes sectores.

Analizando toda la información existente y recopilada en base a los estudios de campo y laboratorio, además de la visualización y compresión del problema, se logró diseñar una tabla con la valoración de los parámetros que influyen en estos deslizamientos y se presentan las fórmulas y criterios que sustentan estas afirmaciones, las cuales en base a las tablas presentadas y hechos ocurridos se fundamentan ampliamente.

Se espera que esta información sea empleada por la gente de la zona y sus autoridades además de los ingenieros vinculados de alguna forma con los deslizamientos y sus consecuencias, pues permite indicar dónde pueden ocurrir deslizamientos y esto a su vez, permitiría hacer un mejor planeamiento urbano, e incluso impulsar los diseños correspondientes para estabilizar las zonas, ya que permite la compresión de la influencia de los fenómenos climatéricos, agentes externos a la zona y las condiciones presentes y su correspondiente interacción.

CAPÍTULO 1

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 Caracterización de la Zona de Estudio

A continuación se describe la Provincia de Manabí.

1.1.1 Ubicación Geográfica

La zona de estudio, la Provincia de Manabí, está ubicada en la costa del Ecuador, su extensión territorial es de 18.878 Km² y está limitada al norte por la provincia de Esmeraldas. Al sur por la provincia del Guayas. Al este por las provincias del Guayas, Los Ríos y Pichincha, y al oeste por el Océano Pacífico (1).



Figura 1.1.1.1: Ubicación geográfica de la zona de estudio

Fuente: http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/fulltext/ecuador/capi1.pdf



Figura 1.1.1.2 División política de la zona de estudio

Fuente:http://www.gobernacionmanabi.gov.ec/images/mapademanabi.jpg

1.1.2 Desarrollo Socio-Económico de la Provincia de Manabí

Tiene una población de 1'180.375 habitantes (11% de la nación). Alrededor de una cuarta parte de la población se clasifica como económicamente activa. La información sobre el empleo y el estado ocupacional indica que, en Manabí, el 45% de la población está dedicada a la agricultura, mientras que el porcentaje de ocupación nacional en ese sector es de solamente 34% (4).

La provincia de Manabí ha mantenido una posición importante dentro de la economía nacional al constituir el centro de producción de café, cacao y plátano para exportación, y de maíz, yuca, algodón, frutas y hortalizas para el consumo interno. La provincia de Manabí contribuía, en 1978, con el 15.7% de la producción agrícola nacional, mientras que en el mismo año el sector agrícola de la provincia representaba el 37.5% del producto bruto de la costa ecuatoriana (4).

Esta parte del territorio ecuatoriano tiene mucho movimiento comercial con las demás regiones del Ecuador, no sólo en los productos agrícolas, sino también en lo relacionado con los sectores alimenticios y de construcción. Sus exportaciones las

realiza a través del puerto de Manta, cuyas características naturales son las mejores en la Costa ecuatoriana, las que se basan principalmente en aceites, enlatados de pescado, harina de pescado, sombreros de paja toquilla, trenzas de paja mocora, banano, balsa, frutas, camarones, pescado, etc.(7)

La industria manufacturera cuenta con la mayor cantidad de trabajadores en la rama de “productos alimenticios, bebidas y tabaco”. Entre las industrias más importantes se encuentran las de aceites y grasa vegetal, procesadoras de pescado, alcoholes, fideos, galletas, harina de pescado, textiles, productos de la madera, sustancias químicas, papel de imprentas, tubos de cemento y productos metálicos. La provincia también produce artesanías finas, siendo los principales centros Montecristi, Calceta y Portoviejo (6).

En las tablas que a continuación se presentan se muestran datos acerca del crecimiento de la población (Tabla 1.2.1) (10) y de la población económicamente activa de la provincia (Tabla 1.2.2) (9). Además se presentan más datos sobre la población y su nivel de educación. (Ver Anexo: Desarrollo socio-económico y cultural de Manabí) .

TABLA 1.1.2.1: POBLACIÓN DEL ECUADOR Y DE LA PROVINCIA. - MANABÍ

CENSO 1950-2001

AÑO	ECUADOR	MANABÍ	%
1950	3.202.757	401.378	12,5
1962	4.564.080	612.542	13,4
1974	6.521.710	817.966	12,5
1982	8.138.974	906.676	11,1
1990	9.697.979	1.031.927	10,6
2001	12.156.608	1.186.025	9,8

El porcentaje (%) expresa la participación de la provincia en relación al país.

TABLA 1.1.2.2: POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA DE 5 AÑOS Y MÁS DE EDAD, POR SECTORES ECONÓMICOS, SEGÚN CANTONES. - MANABÍ

CENSO 2001

CANTONES	TOTAL DE VIVIENDAS	VIVIENDAS PARTICULARES OCUPADAS CON PERSONAS PRESENTES			POBLACIÓN TOTAL	EXTENSIÓN Km^2	DENSIDAD Hab / Km^2
		NÚMERO	OCUPANTES	PROMEDIO			
PROVINCIA	**301.533**	**252.111**	**1.181.485**	**4,7**	**1.186.025**	**18.893,7**	**62,8**
PORTOVIEJO	59.755	51.538	236.765	**4,6**	238.430	954,9	**249,7**
BOLÍVAR	8.567	7.207	35.514	**4,9**	35.627	537,0	**66,3**
CHONE	29.134	24.507	117.261	**4,8**	117.634	3016,6	**39,0**
EL CARMEN	17.378	14.702	69.952	**4,8**	69.998	1244,5	**56,2**
FLAVIO ALFARO	6.489	5.328	25.382	**4,8**	25.390	1342,8	**18,9**
JIPIJAPA	19.072	14.337	65.645	**4,6**	65.796	1401,4	**47,0**
JUNÍN	4.276	3.670	18.479	**5,0**	18.491	246,4	**75,0**
MANTA	47.546	41.933	190.812	**4,6**	192.322	309,0	**622,4**
MONTECRISTI	11.253	9.228	43.348	**4,7**	43.400	733,8	**59,1**
PAJÁN	10.495	8.232	35.928	**4,4**	35.952	1078,8	**33,3**
PICHINCHA	7.148	5.871	29.830	**5,1**	29.945	1067,3	**28,1**
ROCAFUERTE	7.496	6.301	29.301	**4,7**	29.321	279,7	**104,8**
SANTA ANA	11.372	9.153	45.259	**4,9**	45.287	1022,1	**44,3**
SUCRE	14.874	11.887	52.112	**4,4**	52.158	764,0	**68,3**
TOSAGUA	8.258	6.957	33.849	**4,9**	33.922	377,4	**89,9**
24 DE MAYO	8.008	6.246	28.268	**4,5**	28.294	523,8	**54,0**
PEDERNALES	11.713	9.219	46.825	**5,1**	46.876	1932,2	**24,3**
OLMEDO	2.543	2.067	9.235	**4,5**	9.243	252,9	**36,5**
PUERTO LÓPEZ	4.201	3.457	16.587	**4,8**	16.626	420,2	**39,6**
JAMA	4.129	3.808	20.211	**5,3**	20.230	574,6	**35,2**
JARAMIJÓ	2.473	2.170	11.846	**5,5**	11.967	96,8	**123,6**
SAN VICENTE	5.353	4.293	19.076	**4,4**	19.116	717,5	**26,**

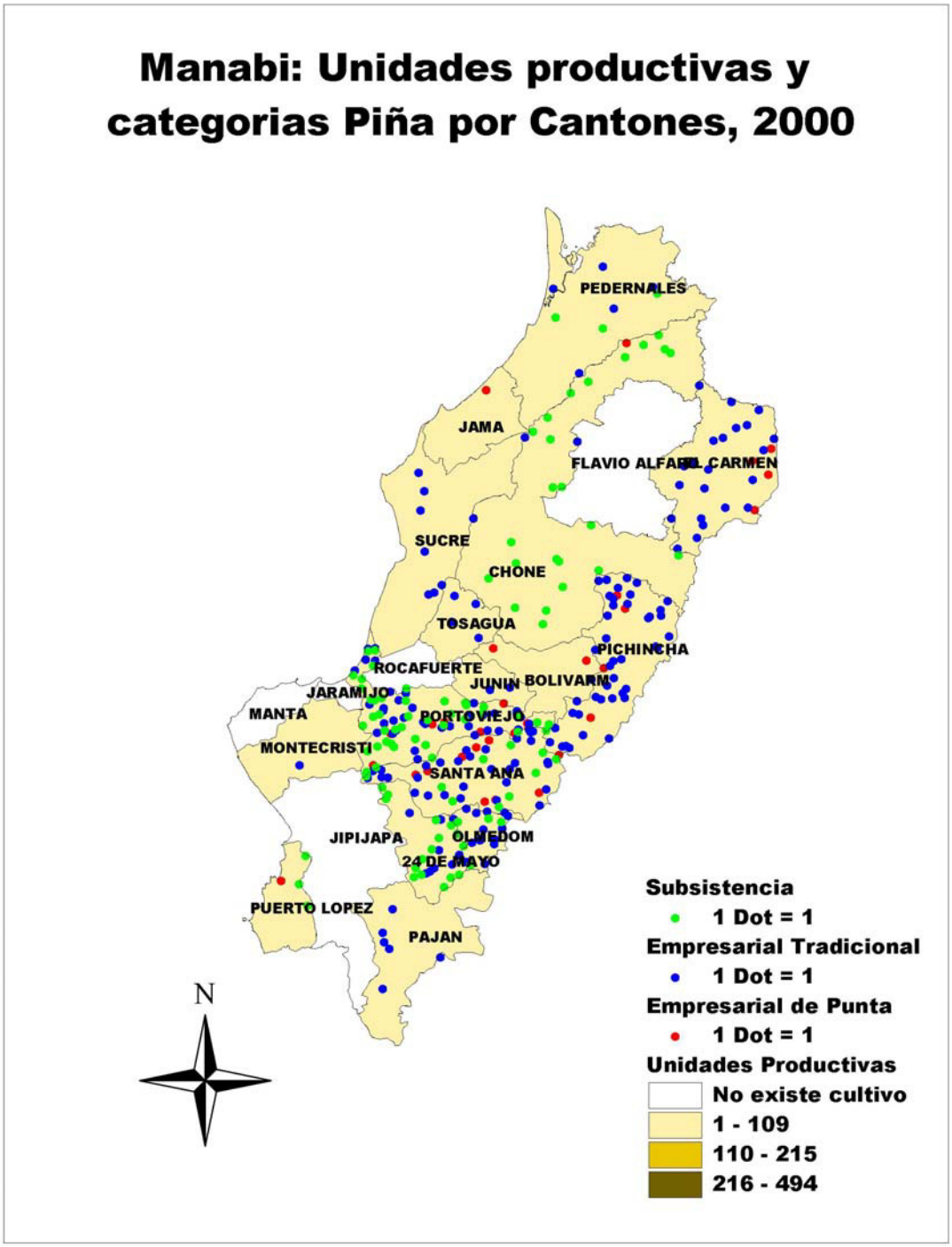


Figura 1.1.2.1: Unidades productivas y categorías Piñas por Cantones

Fuente: http://www.observatoriofiscal.org/tlc/manabipina.jpg

1.1.3 Aspectos Climáticos

La provincia de Manabí está sujeta a un clima con un patrón complejo y cambiante bajo la influencia del clima oceánico, caracterizado por la presencia de las corrientes marinas, cálida de El Niño y fría de Humboldt. La temperatura del aire es más bien constante durante el año, con un valor alrededor de 25°C. Sin embargo, la variación diaria de la temperatura puede alcanzar hasta 10°C. Por otro lado, el patrón de las precipitaciones es muy cambiante, pues varía de año en año, de estación en estación, y a lo largo y ancho de la provincia. Cerca del 90% del total de la precipitación anual se concentra en la estación invernal de enero a junio. En cuanto a la distribución espacial de la precipitación anual, la menor se aprecia en el extremo sudoeste (alrededor de 400 mm/año) y las mayores en el extremo nordeste (cerca de 2.500 mm/año). La fluctuación anual de la precipitación es también notable, por ejemplo, la máxima precipitación anual en la estación Portoviejo en los 16 años de registro, 1970-1985, fue de 1.790 mm, mientras que los valores promedio y mínimo fueron de 508 mm y 216 mm, respectivamente. (12).

De acuerdo a la cantidad de lluvia que se produce entre los meses de Enero y Octubre, se ha propuesto una clasificación meteorológica, de acuerdo a los rangos de precipitaciones, así: cuando la precipitación llega a 1000 mm/año se dice que se tienen lluvias medias, cuando la precipitación llega a 1500 mm/año se considera años húmedos. Cuando la precipitación se encuentra en el rango de 1500 a 2000 mm/año se le considera como Niño Moderado; cuando las precipitaciones llegan de 2500 a 3000 mm/año se le denomina Niño Fuerte, en tanto que cuando las precipitaciones llegan a valores mayores de 3000 mm/año se le llama Niños Muy Fuertes.

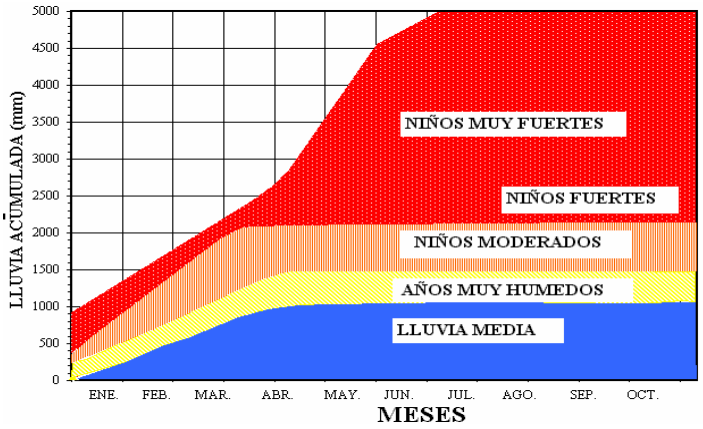


Figura 1.1.3.1: Evolución de la lluvia acumulada hasta el 24 de Abril del 2001, comparada con la lluvia Media, años muy Húmedos y los ENSO registrados desde 1915.

Cortesía: Ing. Luis Marín Nieto (12)

De acuerdo a los últimos Fenómenos El Niño registrados en un lapso de 25 años se conoce que el más fuerte ocurrió en el año de 1983, en el cual precipitaron más de 5000 mm/año. En el último Fenómeno El Niño ocurrido entre 1997-1998-1999 se registró precipitaciones continuas de más de 8000 mm en los 3 años, que causaron el mayor enorme daño a la infraestructura de la Costa Ecuatoriana y principalmente en la provincia de Manabí. Hasta el momento se ha llegado a la conclusión de que la provincia más afectada por el Fenómeno El Niño es la que es motivo del presente trabajo.

Mediante los registros históricos se ha logrado determinar que desde 1915 se han producido 17 Fenómenos El Niño, lo cual se presente en la Figura 1.3.2

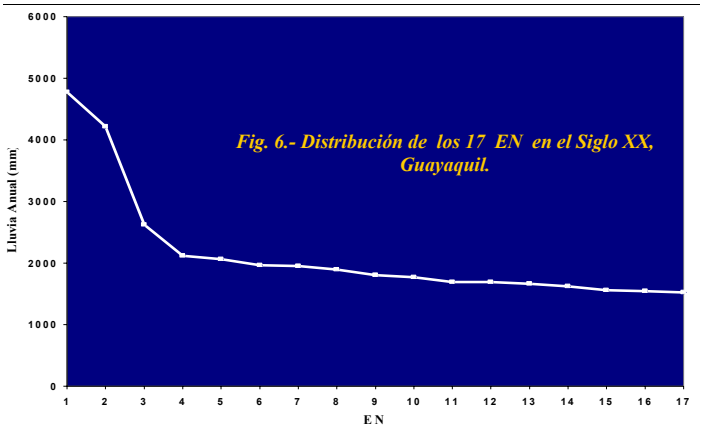


Figura 1.1.3.2: Precipitaciones anuales o bianuales de los 17 ENSO (+) que se han registrado en Guayquil entre 1915 y 2001.

Cortesía: Ing. Luis Marín Nieto (12)

1.1.4 Orografía e Hidrografía

Manabí tiene escasas elevaciones que no sobrepasan los 700 metros sobre el nivel del mar, siendo su mayor elevación el Cerro de Montecristi; en el centro y norte de la provincia se encuentran las montañas de Jama, Chindul, Canoa y los Liberales. Al sur se localiza la cordillera de Chongón-Colonche, que al ingresar a territorio manabita se denomina cerros de Paján y Puca.

El relieve de la provincia está caracterizado por la presencia de una cordillera de baja altura que se ubica casi en su centro y se extiende en dirección norte-sur, separando las pequeñas cuencas occidentales de los ríos litorales de la provincia, de las grandes cuencas de los ríos orientales. El relieve muestra terrenos ondulados con profusión de colinas, muchas de las cuales tienen crestas pronunciadas. Los valles de gran extensión, sólo se encuentran en las cuencas de los ríos Carrizal-Chone y Chico-Portoviejo.

Las cuencas existentes en el litoral totalizan una superficie de aproximadamente 11.000 km^2; (ver Figura 1.4.1) las más grandes son las del río Carrizal-Chone (2.267 km^2), el río

Chico-Portoviejo (2.060 km^2) y el río Jama (1.308 km^2) (13). Las cuencas de los ríos del oriente de la provincia, afluentes al río Esmeraldas ocupan una extensión de 2.028 km^2 , en tanto que la cuenca formada por los afluentes al Daule abarca una extensión de 5.917 km^2 (13).

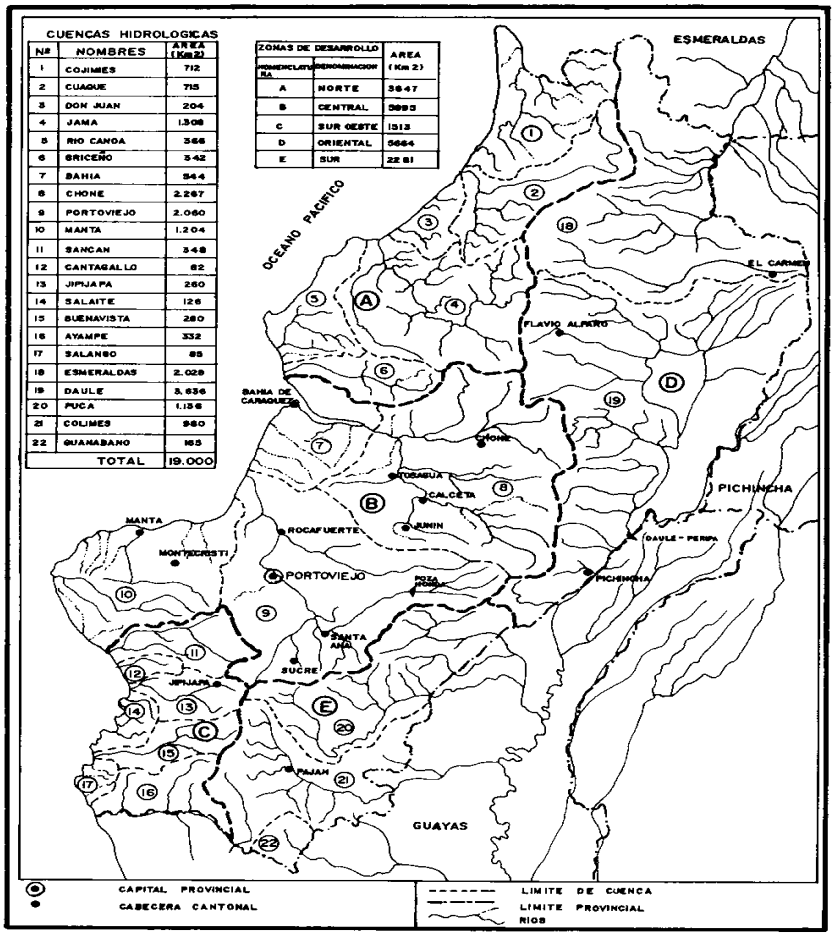


Figura 1.1.4.1: Mapa con las principales cuencas hidrológicas de la provincia

Fuente: www.oas.org/usde/publications/Unit/oea40s/p03.GIF

1.1.5 Sismicidad

La cercanía de las costas de Manabí al frente de subducción activa, convierte a la parte centro norte de la provincia en una zona sísmica activa. Esto se evidencia en la sismicidad histórica y durante el seguimiento del sismo del 4 de agosto de 1998 y sus réplicas. El evento, con un epicentro localizado a 10 km al noroeste de Bahía de Caráquez y una profundidad de 35 km, tuvo una magnitud Ms = 7.1 (mb = 6.2). Fue precedido por otro evento de magnitud Ms=5.1 (mb=5.4) y hasta la primera semana de septiembre, la Red Sismológica de Instituto Geofísico registró cerca de 510 réplicas, cuyo mayor evento ocurrió el 7 de agosto con una magnitud mb = 4.6, (16).

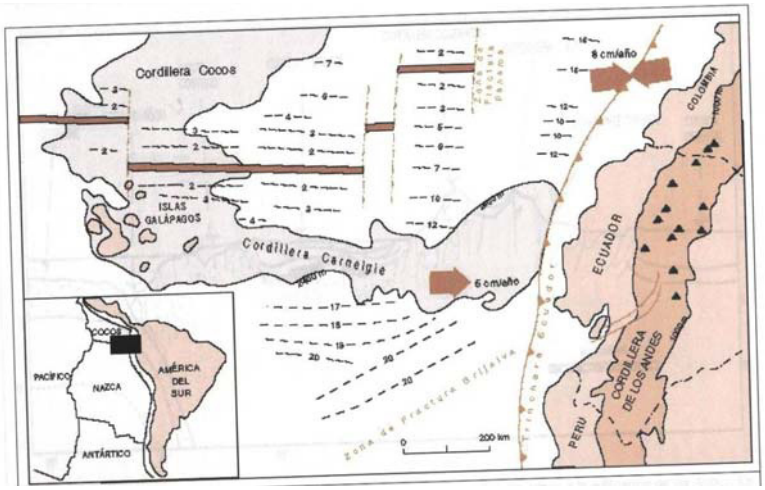


Figura 1.1.5.1: Marco Tectónico del Ecuador

Cortesía: Ing. Eugenio Núñez del Arco

Los registros sísmicos previos al 4 de agosto y los posteriores definen una zona de rotura del orden de 80 km, semiparalela a la fosa, moviéndose a lo largo del plano de subducción y alejándose del evento principal y sismos premonitores. Queda claro también, la presencia de una concentración sísmica de 50 a 100 km hacia el sur de la zona epicentral, (hacia el norte es evidente la ausencia), lo que puede ser interpretado como la posible zona de ruptura de un futuro evento de gran magnitud y de alta probabilidad, que podría darse en la zona norte de Manabí y sur de Esmeraldas (16). Sismos históricos conocidos (1906, Ms= 8.7; 1942, Ms=7.9; 1956, Ms= 7.2; 1958, Ms=7.8; 1979, Ms = 7.7; 1998, Ms= 7.1), dan un valor promedio de sus intervalos de ocurrencia entre 18 y 20 años y, sin embargo, sólo liberaron una quinta parte de la energía liberada por el sismo de 1906 (17).

No se cuenta con un registro de aceleraciones del sismo del 4 de agosto en Bahía, pero un análisis de la respuesta estructural obtenida en modelos matemáticos y comparada con los daños observados, permite decir que las aceleraciones probablemente estuvieron entre el 15% y el 20% del valor de la gravedad (18). Considerando al sismo del año de 1942, con una magnitud Ms= 7.9, ubicado hacia el Este de Portoviejo, en la zona de fosa y a

una distancia aproximada de 100 km como la referencia más cercana y desfavorable; se estima un valor de aceleraciones por sismo en el orden de 18% de la gravedad “g” para el área de Portoviejo; y un valor del orden de 15% de ”g” para la zona de Caza Lagarto.

Los efectos del sismo de Bahía y que pueden ser asimilados en el área del proyecto, permiten conocer que las características locales del terreno han tenido influencia en la modificación de las características del movimiento por sismicidad y al nivel de fundación. Se cita por ejemplo que los suelos areno limosos de origen aluvial reciente y rellenos sobre aluvial se relacionan con los mayores daños en estructuras (19); han sido observadas evidencias de desplazamiento lateral asociadas con licuefacción en arenas finas aluviales; y se considera que los agrietamientos del suelo en zonas de relleno sobre aluviales recientes, son la consecuencia de importantes amplificaciones sísmicas (20).

A pesar de que el área del proyecto se encuentra en su mayor parte en la zona calificada con intensidades VII a VIII por la sismicidad de agosto de 1998, no se tienen claras evidencias de

daños debido a los eventos citados en las estructuras de los sistemas analizados en el presente estudio. Se recoge sin embargo, versiones locales de que varios deslizamientos, entre ellos los ubicados en el barrio Andrés de Vera de la ciudad de Portoviejo y otro en Montecristi, incrementaron su actividad luego de la actividad sísmica.

A continuación se hace constar un resumen del último año de actividad sísmica ocurrida en la provincia de Manabí (Tabla 1.5.2) y en áreas de incidencia a la misma, considerando un radio de acción inferior a los 300 Km. También consta en este documento la actividad sísmica fuerte (sismos mayores a 6 en escala de Richter) registrada en estos últimos 20 años (Tabla 1.5.1). Ver Apéndices: Actividad Sísmica de 2001,2002,2003.

Tabla 1.1.5.1: Sismos de los últimos 20 años

Año	*Fecha*	*Hora Min Sec*	*Latitud*	*Longitud*	*Profundidad*	*MB*	*MSz*	*SD*	*No Sta Used*	*Región, Magniotudes dadas y comentarios*
1983	Apr 12	12 07 54.5	4.84 S	78.10 W	104	6.5		1,2	382	PERU-ECUADOR BORDER REGION. mb 6.7 (BRK), 6.6 (PAS). Mo=3.5*10**19 Nm (GS). Mo=3.5*10**19 Nm (HRV). Felt strongly in northern Peru. Also felt in central and southern Ecuador. The focal mechanism is poorly controlled and corresponds to normal faulting.
1987	Mar-06	04 10 41.9	0.151 N	77.821 W	10 G	6.5	6.9	1,2	344	COLOMBIA-ECUADOR BORDER REGION. Ms 7.0 (BRK), 6.7 (PAS). Mo=3.5*10**19 Nm (GS). Mo=6.4*10**19 Nm (HRV). Approximately 1,000 people killed, 4,000 missing, 20,000 homeless, extensive damage, landslides and ground cracks in Napo Province and in the Quito-Tulcan area, Ecuador. About 27 km of the oil pipeline in Ecuador, between Lago Agria and Balao, were destroyed or badly damaged. Landslides occurred in the Pasto-Macao area, Colombia. Felt (IV) at Iquitos, Peru. Felt strongly in many
1987	Sep-22	13 43 37.6	0.978 S	78.050 W	10 G	6.1	6.2	1	306	ECUADOR. Ms 6.1 (BRK). Mo=1.5*10**18 Nm (GS). Mo=4.1*10**18 Nm (HRV). At least 2 people killed, 12 injured, several houses destroyed or seriously damaged and landslides in the Ambato area. Minor damage in the Latacunga and Riobamba area. Felt in southern Colombia and northern Peru. The focal mechanism is d poorly controlled and corresponds to reverse faulting with a large strike-slip component.
1989	Jun-25	20 37 32.4	1.134 N	79.616 W	15 G	5.9	6.1	1.0	364	NEAR COAST OF ECUADOR. Ms 6.0 (BRK), 6.0 (PAS). Mo=3.6*10**18 Nm (GS). Mo=3.4*10**18 Nm (HRV). Thirty people injured and 12 homes damaged (VII) in the Esmeraldas area. Felt (III) at Guayaquil and (II) at Quito. Felt throughout Ecuador and southwestern Colombia. The focal mechanism is poorly controlled and corresponds to reverse faulting.
1995	Oct-03	01 51 23.9	2.750 S	77.881 W	24 G	6.5	7.0	0.9	650	PERU-ECUADOR BORDER REGION. Mw 6.8 (GS), 7.0 (HRV). Me 6.9 (GS). Ms 6.9 (BRK). Mo=1.9*10**19 Nm (GS). Mo=3.9*10**19 Nm (HRV). Mo=1.9*10**19 Nm (PPT). Two people killed, 5 injured and at least 83 homes damaged or destroyed in Ecuador. Some damage at Archidona, Canelos, Limon, Macas, Mendez, Patuca, Puyo, Santiago, Sucua and Tena, Ecuador. Slight damage (V) at Quito, Ecuador. Felt (V) at Ayabaca; (IV) at Chachapoyas and Moyobamba; (III) at Chulucanas, Jaen and Tumbes; (II) at Tarapoto.
1995	Oct-03	12 44 58.0	2.778 S	77.851 W	17 G	6.0	6.1	1.0	527	PERU-ECUADOR BORDER REGION. Mw 6.4 (GS), 6.5 (HRV). Me 6.1 (GS). Ms 5.9 (BRK). Mo=5.2*10**18 Nm (GS). Mo=5.4*10**18 Nm (HRV). Mo=4.2*10**18 Nm (PPT). Felt strongly in the epicentral area. Felt in many parts of Ecuador and in parts of Colombia. Also felt (III) in northern Peru.
1996	Mar-28	23 03 49.8	1.036 S	78.737 W	33 N	5.8	5.2	0.8	296	ECUADOR. Mw 6.0 (GS), 5.9 (HRV). Me 5.6 (GS). Ms 5.1 (BRK). Es=5.0*10**12 Nm (GS). Mo=9.6*10**17 Nm (GS). Mo=8.4*10**17 Nm (HRV). At least 27 people killed, 100 injured, several thousand homeless and considerable damage and destruction to homes, bridges and water pipes in Cotopaxi, Pastaza and Tungurahua Provinces. Land- slides blocked several roads in the epicentral area. Minor damage (VI) at Ambato, Latacunga and San Miguel de Salcedo. Felt (IV) at Quito; (III) at Ibarra; (II) at Cuenca and
1998	AUG 04	18 59 20.1	0.593 S	80.393 W	33 N	6.2	7.1	0.9	412	NEAR COAST OF ECUADOR. Mw 7.0 (GS), 7.2 (HRV). Me 6.9 (GS). Ms 7.1 (BRK). Es=4.9*10**14 Nm (GS). Mo=4.2*10**19 Nm (GS). Mo=6.4*10**19 Nm (HRV). Mo=4.5*10**19 Nm (PPT). Three people killed and forty injured in the Bahia de Caraquez- Canoa area. Approximately sixty percent of the buildings at Canoa severely damaged. Electricity, telephone and water services disrupted and most buildings with three or more stories damaged at Bahia de Caraquez. Considerable damage in many other parts of western Manabi Province. Landslides blocked a road between Bahia de Caraquez and Canoa. Felt strongly at Guayaquil and Quito. Felt in much of Ecuador and also at Cali, Colombia. Two large events occurring about 3 and 7 seconds after small onset
2000	Sep-20	08 37 16.3	1.885 S	80.461 W	33 N	5.4	4.8	1.1	223	NEAR COAST OF ECUADOR. Mw 5.4 (GS), 5.5 (HRV). Mo=1.5*10**17 Nm (GS). Mo=2.1*10**17 Nm (HRV). One person killed and some structural damage in Manabi Province. Felt at Guayaquil.

Fuente: http://neic.usgs.gov/neis/eqlists/significant.html

Tabla 1.1.5.2: Sismos del último año

Número de Sismos	MAG	FECHA	TIEMPO	LATITUD	LONGITUD	PROF
		aa/mm/dd	hh:mm	grado	grado	km
1	4.9	15/07/2005	12:35	-18,6160	-82,0556	12.00
2	4.3	2005/07/15	11:49	-17,3700	-81,5107	12.00
3	4.6	16/06/2005	23:52	-10,2660	-81,3435	14.35
4	4.2	15/06/2005	07:22	-22,7170	-79,6489	12.00
5	4.3	28/05/2005	07:20	-0,9193	-81,2998	25.81
6	4.7	2005/05/25	07:57	-26,8790	-80,7331	20.00
7	4.7	18/05/2005	20:25	-12,2080	-81,0362	21.07
8	4.4	17/05/2005	14:04	-11,8020	-81,1091	8.84
9	4.3	16/05/2005	04:58	0,4219	-80,0268	5.25
10	4.1	2005/05/14	02:47	0,2991	-79,2663	20.71
11	4.2	09/05/2005	15:21	0,9352	-77,6306	12.00
12	4.0	02/05/2005	18:09	-15,7750	-77,8739	172.32
13	4.7	09/04/2005	17:22	0,1427	-81,1021	.00
14	4.1	08/04/2005	11:52	-0,1777	-80,2777	12.00
15	4.2	01/04/2005	11:31	1,3160	-80,3109	12.00
16	4.9	27/03/2005	3:04	-1,0444	-80,0621	16.00
17	4.0	20/03/2005	13:31	-1,0498	-78,2999	12.00
18	4.2	17/03/2005	09:00	-0,0926	-79,9841	27.58
19	4.4	09/03/2005	22:40	-0,2591	-80,8870	12.00
20	4.0	07/03/2005	5:49	-0,8467	-79,4523	14.35
21	4.3	28/02/2005	20:21	-1,6862	-81,8285	14.35
22	4.3	28/02/2005	5:39	-1,6404	-81,1582	55.42
23	3.7	2005/02/26	20:06	-0,5923	-81,2264	12.00
24	4.1	26/02/2005	16:34	-0,5850	-81,5059	12.00
25	3.5	25/02/2005	22:04	0,5433	-78,6605	17.01
26	4.2	2005/02/21	12:54	-1,0012	-81,4711	14.35
27	4.0	20/02/2005	5:56	-1,5381	-81,3045	12.50
28	4.0	2005/02/19	11:37	-1,5040	-81,5326	14.00
29	4.2	2005/02/19	11:31	-1,5273	-81,5382	12.02
30	4.6	2005/02/19	1:15	-1,5968	-81,5260	15.50
31	4.1	18/02/2005	5:23	-1,5252	-81,3186	10.42
32	4.6	17/02/2005	18:40	-0,6794	-81,6200	14.35
33	5.2	17/02/2005	15:43	-1,5650	-81,6509	11.50
34	4.7	17/02/2005	3:12	-1,0281	-81,2808	12.00
35	4.7	16/02/2005	21:34	-1,1320	-81,5844	12.00
36	4.4	16/02/2005	14:39	-1,0293	-81,3973	12.00
37	4.7	2005/02/16	13:16	-1,2110	-81,1971	13.54
38	4.8	16/02/2005	4:01	-0,9792	-81,8241	16.00
39	4.5	15/02/2005	21:28	-1,2809	-81,9400	16.00
40	4.1	15/02/2005	00:44	-0,3216	-81,3474	12.00
41	4.7	14/02/2005	21:28	-1,6744	-81,4425	12.00
42	4.3	13/02/2005	1:02	-1,1152	-81,3117	12.00
43	4.3	12/02/2005	7:41	-1,0868	-81,7140	5.00
44	4.2	2005/02/11	03:05	-1,4938	-81,6601	14.35
45	4.1	2005/02/11	02:36	0,1098	-79,9313	12.00
46	4.7	02/02/2005	21:43	-0,6892	-81,2233	12.00
47	4.7	01/02/2005	1:40	-0,8725	-81,1989	16.69
48	4.6	31/01/2005	20:27	-1,3538	-81,0705	15.02
49	4.8	2005/01/30	6:37	-0,9777	-81,5406	3.94
50	5.2	30/01/2005	2:06	-0,7302	-81,3043	17.34
51	4.4	30/01/2005	0:47	-1,6211	-81,1947	5.41
52	4.2	30/01/2005	00:00	-1,4802	-81,0325	21.90
53	5.3	2005/01/28	10:46	-0,9207	-81,3484	14.13
54	5.5	2005/01/28	4:26	-0,9238	-81,5910	4.62
55	4.8	28/01/2005	0:45	-1,3198	-81,4353	4.87
56	4.8	25/01/2005	5:28	-1,5869	-81,5115	12.00
57	4.7	24/01/2005	18:59	-1,4698	-81,2739	22.03
58	6.0	24/01/2005	18:23	-1,4820	-81,7089	5.00
59	4.5	23/01/2005	12:06	-1,2107	-81,3804	6.31
60	5.1	2005/01/23	5:06	-1,1741	-81,2369	19.91
61	4.8	23/01/2005	00:24	-0,8154	-81,2540	9.33
62	4.6	22/01/2005	00:55	-1,2776	-81,1888	12.00
63	5.0	21/01/2005	20:12	-1,2542	-81,4679	12.00
64	4.5	2005/01/21	17:47	-1,2448	-81,4701	12.00
65	4.9	21/01/2005	11:15	-1,2006	-81,7473	12.00
66	4.4	21/01/2005	10:58	-1,2656	-81,3991	12.00
67	5.0	21/01/2005	10:27	-1,0087	-81,5737	12.00
68	5.2	2005/01/21	8:45	-1,0611	-82,1451	5.00
69	5.3	20/01/2005	23:31	-1,0588	-81,9664	17.00
70	4.8	20/01/2005	14:07	-1,0187	-81,9510	36.67
71	4.7	20/01/2005	11:46	-1,1952	-81,9816	12.00
72	4.8	2005/01/08	21:36	-1,4870	-81,2687	5.00
73	4.3	2005/01/08	05:46	0,6276	-80,5360	12.00
74	4.4	05/01/2005	03:05	0,2929	-79,8140	16.00

Fuente: http://www.igepn.edu.ec/boletin/2005/boletin.htm

1.2 Geología de la Región

La zona de estudio se encuentra ubicada en el Litoral Ecuatoriano, delimitado al Este por la Cordillera de los Andes, al Sur por el Arco Volcánico Macushi Cordillerano, hacia el Oeste por el Basamento Ultrabásico de Fondo Marino que también puede ser considerado de la Formación Macushi y que sólo aflora en ciertos sitios de la costa ecuatoriana y hacia el Norte por la falla geológica activa Jama-Quinindé**. (**Ver Apéndice: Mapa Geológico).

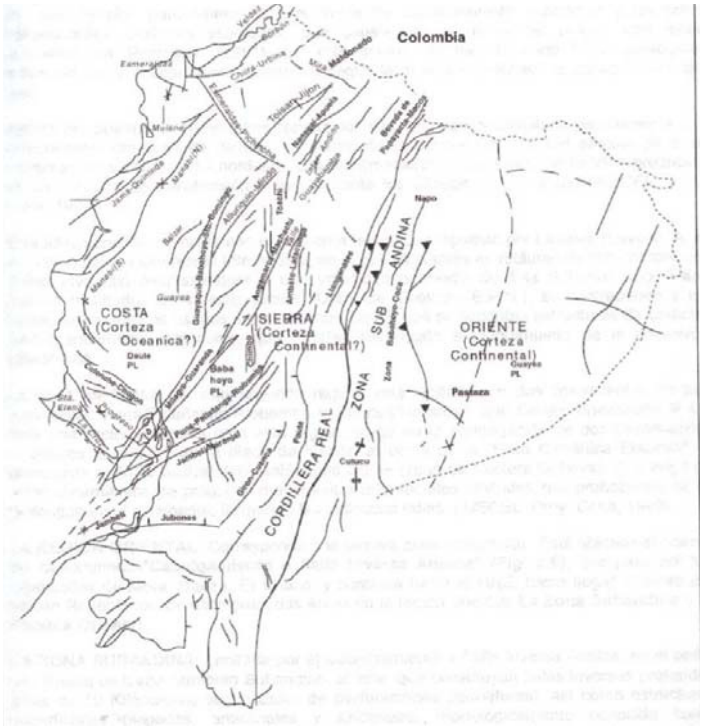


Figura1.2.1:Rasgos Estructurales dominantes del Ecuador

Fuente: Cortesía Ing. Núñez del Arco

La cordillera costera que atraviesa esta región, está constituida por terrenos cuyas elevaciones fluctúan entre los 200 y 600 m de altura, constituidas en más de un noventa por ciento por rocas sedimentarias terciarias y cuaternarias, poco consolidadas y con una estratificación indefinida. Los principales tipos de roca que se encuentran son: lutitas arcillosas, lutitas y limolitas tobáceas, areniscas pobremente cementadas y en ocasiones, en pocos sectores, extrusivos de rocas ígneas-basálticas.

Los suelos residuales son arcillas muy plásticas y expansivas, también existen grandes áreas cubiertas de limos con un alto grado de colapsibilidad y dispersión; materiales estos que por sus características son muy fáciles de movilizar y que al poco tiempo de ser excavados pierden sus propiedades de resistencia, por lo que son fácilmente erosionables, en particular por los efectos de las corrientes de agua.

Se considera que existe una gran sutura denominada Guayaquil-Babahoyo-Santo Domingo, la que continúa hasta Venezuela. Esta estructura geológica se considera que es un límite de las estructuras que se encuentran en las diferentes cuencas del Litoral Ecuatoriano.

En esta región se presentan numerosas cuencas sedimentarias, siendo las más importantes: la Cuenca Progreso en la Península de Santa Elena, la cuenca Manabí en la parte central que es en forma alargada y la Cuenca Borbón al norte del Litoral Ecuatoriano.

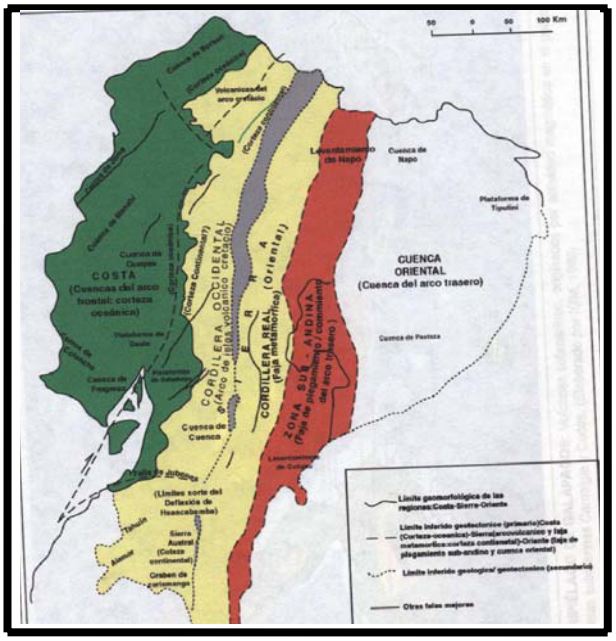


Fig.1.2.2:Marco Geomorfológico del Ecuador

Fuente: Cortesía Ing. Núñez del Arco

A continuación se hace una descripción de la geología regional de la provincia de Manabí, para lo que se divide en dos zonas de estudio; la norte y central y la zona sur.

1.2.1 Zona Norte y Central de Manabí

En esta zona se encuentran generalmente rocas de edad miocénica, que son lutitas arcillosas, limolitas y otras rocas blandas intermedias, poco consolidadas y con una estratificación sin definir, de aspecto fragmentado en las capas aflorantes por efecto de la actividad antrópica. A excepción de sectores muy perturbados, que presentan pequeñas fallas o en los casos de cuerpos deslizados, donde se observan buzamientos pronunciados, en la mayoría de los casos, la deposición es subhorizontal-horizontal que corresponde estructuralmente a la cuenca Borbón.

Las formaciones geológicas más representativas que se presentan en esta zona son: la formación Viche, la formación Tosagua, formación Charapotó, formación Onzole, la formación San Mateo, formación Piñón, formación San Eduardo, formación Cerro y la formaciçón Borbón. También se describe las terrazas y depósitos aluviales del Holoceno y recientes, respectivamente.

"***Formación Viche.-*** Es integrante de la cuenca Borbón se encuentra a 40 kilómetros al sur oeste de la ciudad de

Esmeraldas, yace estratigráficamente en discordancia sobre la formación Pambil, en la cuenca Borbón de la Provincias de Manabí y Esmeraldas. Su litología se caracteriza por conglomerados, areniscas mal clasificadas argiláceas y localmente calcáreas, en parte tobáceas y localmente glauconíticas se emplazan en la sección superior de la serie. Se presenta con estratos discordantes a la formación Pambil. Se considera que es posible que la sección inferior de esta unidad, corresponde al miembro Zapotal de la formación Tosagua, de la cuenca Progreso " (21).

Formación Tosagua.- Empieza por una transgresión marina y luego continua por una sedimentación circolitoral. Se encuentra emplazada entre la cuencas geológicas Progreso y Manabí, depositada en forma discordante sobre el complejo Santa Elena que es parte de la cuenca Progreso. Esta formación está dividida en tres miembros o grupos litológicos, el más antiguo de los cuales está en la cuenca Progreso. Los miembros de la Formación Tosagua se definen litológicamente:

"Miembro Zapotal .-Yace discordante sobre el grupo Ancón, tanto en la cuenca Progreso como en al cuenca de Manabí.

Está formado por capas decimétricas a pluridecimétricas, de areniscas de grano medio, con limolitas alternantes. La base, es un conglomerado con guijarros subangulares, de tamaño variable de cuarzo, chert, areniscas y calizas. Su espesor se estima en 600 metros y aflora en los alrededores de la cuenca Progreso" (21).



Figura 1.2.3: Formación Tosagua-Miembro Zapotal

Fuente: Cortesía Ing. Núñez del Arco

Miembro Dos Bocas.- Comprende la mayoría de la formación Tosagua. Descansa gradacionalmente sobre las arenas Zapotal alrededor de la margen de la Cuenca Progreso. Está constituida principalmente de lutitas suaves limosas, de color gris, que intemperizadas adquieren el color chocolate y otras litologías, tales como limolitas, areniscas, bentonitas y horizontes de

lignito, indicando depósitos de mar somero y alcanzando un espesor máximo de 2400 metros en la cuencas Progreso y mil metros en la Manabí. La edad varía entre mioceno inferior a medio.

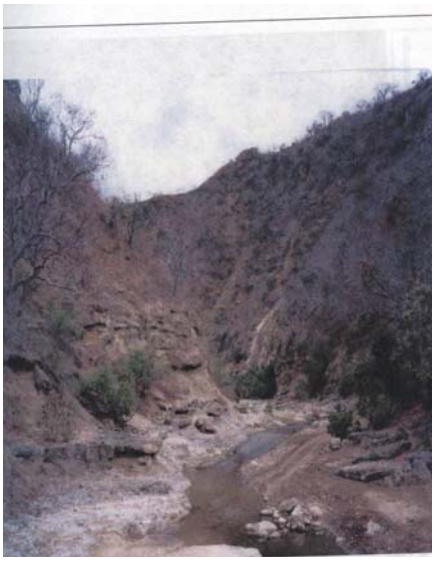


Figura 1.2.4: Formación Tosagua –Miembro Dos Bocas

Fuente: Cortesía Ing. Núñez del Arco (21)

Miembro Villingota.- Corresponde a la parte superior de la formación Tosagua. Consiste de lutitas laminadas diatomáceas grises o habanas con un color blanco de meteorización, su espesor varía de 250 a 650 metros, sobreyace transicionalmente a las lutitas chocolates del miembro Dos Bocas. Este miembro también se lo identifica como Formación Charapotó.



Figura 1.2.5: Formación Tosagua – Miembro Villingota

Fuente: Cortesía Ing. Núñez del Arco (21)

“Formación. Charapotó (MC).- Mioceno medio. Definida por los geólogos del IEPC, 1947 y Stainforth, 1948, tiene sus afloramientos típicos en los acantilados al sur de Crucita. Corresponde a lutitas tobáceas habanas y blancas, con diatomeas y capas delgadas de arenisca amarillenta. Sobreyace en contacto transicional y progresivo con la Fm Tosagüa, Miembro Dos Bocas. Esta fromación es reconocida por algunos autores como Miembro Villingota “ (13).

Formación Onzole (MO).- Mioceno medio superior. Está formada por lutitas y limolitas laminadas de color gris azulado y café verdoso tornándose más arenosa al tope.

Formación San Mateo.-Posee una similitud litológica con unidades del grupo Ancón de la península de Santa Elena, Provincia del Guayas. Se presenta en el este y oeste de la cordillera de Chongón Colonche, en la Provincia de Manabí. Se encuentra subyaciendo a la formación Tosagua, está constituida por dos fases superpuestas: la más antigua, formada por un flysch turbidítico blando amarillento y gris verdoso, con capas delgadas de limolitas y areniscas de grano fino, alternantes con lutitas, que hacia arriba de la sección se vuelven más delgadas y limosas (Ver fig.1.2.6) y la fase superior, compuesta por tobas blancas, calizas y argilitas del eoceno superior en su base y hacia el tope, un potente conjunto conglomerático de flujo de detritos con bloques anormalmente grandes, que muestran un mecanismo de hundimiento en ambiente marino no torrencial con buzamiento subhorizontal o ligeramente inclinado hacia el suroeste.(ver Fig 1.2.6). Al sur de la cuenca Manabí, esta formación sobreyace a las calizas de San Eduardo y su espesor se estima en 800 metros (21).



Figura 1.2.6: Formación San Mateo

Fuente: Cortesía Ing. Núñez del Arco (21)

Formación Piñón .- De edad cretácica inferior-superior (albiano-cenomiano) aflora únicamente en los sectores más altos de Manabí tal es el caso del Cerro de Montecristi, donde por su edad está en discordancia con las formaciones sedimentarias mucho más jóvenes. (Ver Figura. 1.2.7)



Figura 1.2.7: Formación Piñón

Fuente: Cortesía Ing. Núñez del Arco (21)

Es una serie volcánica que varía de sector en sector. Cerca de Guayaquil, la porción baja consiste en flujos de diabasa, las cuales se hacen amigdaloides en esta sección. Se observan pocos estratos de toba y arenisca tobácea entrelazados con la diabasa. La parte superior constituida por porfirita, lutitas tobáceas, y toba presentan un color verde claro y comúnmente se las encuentra alterada por meteorización esferoidal finamente cristalina (21).

Esta formación tiene segregaciones locales de características granodioríticas y cerca de estos ambientes se observan en algunas ocasiones, incrustaciones de especuladita que es un tipo de mineral de hierro.

En el cerro de Hojas, del área de Manabí, al oeste de Portoviejo, el cretáceo volcánico consiste en aglomerados basálticos con lapillo y lechos de toba. Estas rocas están penetradas localmente por diques basálticos porfíricos y en general, por rocas ígneas básicas de color gris oscuro a negro, tales como gabros y diabasas. En la sección tipo del noroeste del puerto de Cayo, las series volcánicas se componen de rocas piroclásticas no estratificadas, con Inter. Sedimentación de lavas profíricas, brechas y aglomerados, del tipo diabasa-basalto. Unos pocos horizontes menores, arcillosos y arenosos pueden observarse (21).

Dado que el espesor de esta formación no ha podido ser medido pues su base no ha sido encontrada, se estima un espesor de 1000 metros en el sector de Guayaquil. La parte alta está en contacto con la Formación Cayo y es usualmente fallada (21).

"Formaciones. San Eduardo (ES) y Cerro (EC).- Eoceno Medio. Las calizas arrecifales de San Eduardo son descritas por Landes et, al, 1944; y Cushman y Stainforth, 1951. Afloran en zonas tectonizadas de poca extensión: Sta Marianita, la

Travesía y en La Pila.. La Fm Cerro aflora en el Cerro de Hojas y en las colinas sobre Montecristi como areniscas y microbrechas oscuras a la base, localmente con cemento calcáreo y lutitas silíceas grises, cherts y margas tobáceas color crema al tope “(13)..

“Formación Borbón (MPlb).- Mioceno superior – Plioceno se la describe en contacto transicional sobre la Fm Onzole. Esta formada por areniscas de grano medio, conglomeráticas, en bancos métricos de color amarillento intercalada con algunos niveles calcáreos que contienen abundantes areniscas y limolitas. Aflora en las cumbres abruptas de las colinas alrededor de la zona de Sta. Ana” (13).

“***Terrazas aluviales modernas (Qt).- Holoceno***. Terrazas formadas por gravas, arenas, limos y arcillas que cubren las zonas de inundación antiguas de las cuencas de los ríos Portoviejo, Oro y Chilán.

Depósitos aluviales recientes (Qa).- Holoceno. Corresponde a los depósitos de arcillas, limos, arenas arcillosas y gravas sueltos presentes en las llanuras de divagación e inundación

recientes de las principales cuencas y sus tributarios, así como en los deltas costaneros" (13).

1.2.2 Zona Sur de Manabí

Existen dos elementos de gran importancia que son la Cordillera Chongón- Colonche y la Cuenca Progreso.

Formación Cayo** (KC)**.- Se la encuentra en Puerto López, Jipijapa (ver Apéndice Mapa: Geológico), la que tiene tres miembros litológicos: Cayo Calentura, Cayo S.S y Guayaquil Chert, (cabe señalar que en ocasiones se designa a este último como formación). Esta formación está constituida por una serie de sedimentos volcano-sedimentarios muy potentes con espesores de hasta tres mil metros que descansan mediante un aglomerado basal sobre la formación Piñón. La edad de esta formación es Cretáceo Superior (Turoriano Cenomaniano).

En la zona de estudio, en el sector situado cerca de Puerto Cayo, provincia de Manabí, estos sedimentos resistentes a la meteorización, están altamente salificados, y contienen, una gran cantidad de argilitas tobáceas de un verde que oscila de oscuro a gris. En otras localidades, de la provincia de Manabí,

la formación Cayo se caracteriza por presentar capas potentes de hasta varios metros de espesor de areniscas graywáckicas, que alternan con areniscas, limonitas y lutitas muy finas.

"Miembro Calentura.- Es la base de la formación Cayo y está constituida una estratificación delgada de color gris oscuro a negro, dura, de lutitas blancas, silíceas y cálcareas y areniscas silíceas y calcáreas. Está esparcida de foraminíferos y contiene algo de radiolarios" (13)

"Miembro Cayo SS.- Aparece cerca de Guayaquil y se extiende hacia el noroeste, a lo largo de la cordillera Chongón Colonche, hacia la provincia de Manabí. Definido por una alternancia de bancos decimétricos de lutitas verdes a grises, pasando rápidamente a potentes bancos de aglomerados piroclásticos altamente silicificados con lutitas tobáceas y areniscas finas" (13).

"Miembro Guayaqui-Chert.- Se caracteriza por la presencia de lutitas tobáceas silicificadas y Chert. El paquete de estratos que constituye el miembro Guayaquil-Chert está afectado por

plegamientos internos, de tal forma que el buzamiento de los estratos, que en general varía en un rango de 15 a 20 grados hacia el Sur se ve alternado en algunos sitios por este efecto “ (13).

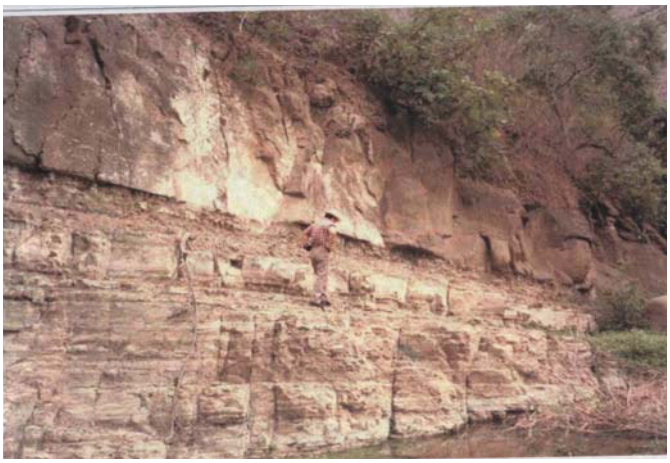


Figura 1.2.8: Formación Cayo

Fuente: Cortesía Ing. Núñez del Arco (21)

“**Formación. Canoa (Plc).-** Plioceno medio a superior.- En la carta geológica de Montecristi se la define como discordante sobre la Fm Tosagüa y desapareciendo en la zona de El Aromo bajo una discordancia débil con la Fm Tablazo. En la zona de interés está formada por limos arcillosos y arcillas siltosas gris verdes sueltas, localmente conchíferas y esencialmente con arenas y arenas arcillosas poco consolidadas; con zonas concresionadas y un nivel de diatomeas. Aflora en la margen

izquierda del río Portoviejo en la zona de La Victoria y sobre todo al sur y este de La Cieneguita” (13).

“Coluviales (Qc).- Cuaternario. Incluyen a los antiguos escombros de pie de talud presentes en la zona de Montecristi y en la zona entre Río de Oro y Estancia Las Palmas. Constituyen mezclas heterogéneas de bloques, boleos y gravas de rocas ígneas y sedimentarias en una matriz predominantemente arcillosa. También pertenecen a este grupo, los coluviones recién formados por la reptación y el deslizamiento de suelos arcillosos especialmente aquellos provenientes de las Fms Onzole, Tosagüa y Charapotó “ (13).

1.3 Hidrología e Hidrogeología de la Región

Las cuencas geológicas de Manabí tienen un alto predominio de rocas sedimentarias de grano fino, las capas de suelo residual existente sobre dichas formaciones geológicas son arcillosas y en algunos casos limosas. Existen eventualmente formaciones geológicas tipo granular tales como los tablazos, areniscas de grano fino y limonitas, en algunos sitios existen también microconglomerados y conglomerados. Los depósitos aluviales tienen un alto porcentaje de suelos finos con presencia eventual de acumulaciones de arena media y arena fina con poco porcentaje de fragmentos clásticos (gravas y gravillas).

De acuerdo a la información hidrológica existente, en períodos normales Manabí presenta lo que se denomina un déficit hídrico. La saturación cambia notablemente cuando ocurren los fenómenos El Niño, en los cuales la provincia de Manabí se torna verde debido a la presencia de alta humedad.

1.3.1 Evaluación de las formaciones acuíferas

Considerando la descripción geológica antes realizada se establece que las formaciones geológicas que tienen potencial acuífero son las siguientes:

Debido a que los acuíferos se forman a partir de condiciones geológicas favorables, es decir, en rocas y sedimentos permeables y porosos , para que se produzca la acumulación de agua, es importante que converjan otros elementos como lo son: la precipitación, la intensidad de las precipitaciones, la infiltración del agua de los terrenos superficiales y en esta últimas condiciones , la acumulación de este líquido en los estratos y capas permeables y porosas.

Otro elemento necesario para la formación de estos depósitos acuíferos, es la existencia de barreras impermeables que lo constituyen principalmente las lutitas y arcillas. Dentro de este aspecto se puede establecer que dentro de las formaciones geológicas existen litologías o estratos que son impermeables, tal es el caso de los estros en las formaciones:

Consecuentemente la existencia de acuíferos depende en su mayoría de que existan condiciones favorables para la infiltración, la acumulación, es decir, para la recarga de dichos acuíferos y por supuesto que el agua que se acumule tenga barreras impermeables, para así asegurar la existencia de depósitos de dichos acuíferos.

En los párrafos anteriores se pretende demostrar las ventajas que representa la existencia de acuíferos, sin embargo dentro del punto de vista geotécnico, las acumulaciones acuíferas y en general, el flujo de agua en las capas de suelo y estratos rocosos pueden constituirse en elementos desestabilizadores de las laderas y taludes.

Uno de los acuíferos más conocidos en Manabí se encuentra en el Cerro de Montecristi, existen datos que hablan de la época de la Colonia Española, cuando loa aborígenes utilizaban aguas subterráneas del acuífero denominado Canta Gallo, el cual ha tenido un almacenamiento importante de agua debido a las recargas que se origina en el Cerro de Montecristi, las cuales en forma natural se han acumulado en estratos permeables de la Formación San Mateo. Este acuífero ha existido por varios siglos, sin embargo, la acción antrópica determinó un cambio negativo en su forma de manto natural.

Hace 23 años, los moradores de Montecristi decidieron realizar la excavación de una gran explanada sobre el depósito acuífero para después construir canchas deportivas. Esta excavación

determinó la fácil infiltración de las aguas lluvias en el depósito acuífero y según el reporte técnico elaborado por la ESPOL en el año de 1999, fue la causa principal de la ocurrencia de un gran deslizamiento de Montecristi. En dicho reporte se habla de un desborde del acuífero generando un flujo de agua anormal por la capa de suelo coluvial, la misma que luego de ser afectada por las líneas de flujo, se deslizaron.

Esta situación demuestra claramente la incidencia que puede tener la hidrogeología en el comportamiento dinámico de los suelos.

1.3.2 Incidencia de la Saturación en los suelos limosos

Si bien lo que se describe a continuación no se enmarca dentro de los conceptos hidrogeológicos de acumulaciones acuíferas, las precipitaciones sobre materiales sueltos, generan importantes acumulaciones de que en un momento dado movilizan los suelos debido a fenómenos que se analizan en la Mecánica de Suelos, sobre los cuales se discutirá posteriormente.

En el acápite 1.2 se mencionó en la parte geológica, la descripción de los suelos superficiales de Manabí que en su mayoría son limosos y en muchos casos sin gran vegetación.

Esta situación se presenta especialmente en sectores donde ha ocurrido desarrollo urbano y en sus alrededores.

La situación típica más conocida son los aludes ocurridos en Bahía de Caráquez en el Niño de 1998, Alajuela, 2001, donde se evidenció que los suelos que previamente tenían muy baja humedad, se saturaron sucesivamente con la presencia de las lluvias y luego se movilizaron, generando los aludes destructivos que han sido reportados.

1.4 Análisis Bibliográfico

En la Bibliografía se encuentran varios reportes dentro de los aspectos geológicos, sísmicos, geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos. Dentro del contexto de la presente investigación la Bibliografía más relacionada constituye la que tiene que ver con el comportamiento geodinámico del algunos sectores de Manabí ocurridos luego de fenómenos meteorológicos intensos, los cuales son los más importantes ya que constituyen los mejores intentos para realizar el estudio aplicado que permita un mejor conocimiento de las críticas condiciones de la provincia de Manabí y el posterior análisis de su manejo y eventuales soluciones.

Los reportes de deslizamientos ocurridos en el Cantón Sucre (Bahía de Caráquez y San Vicente), Alajuela, Portoviejo, Montecristi, Manta, Jipijapa, Puerto López, Puerto Cayo, Paján, Canoa, Jama, Sta Ana y otros lugares, determinan en primera instancia la susceptibilidad que presentan los terrenos de Manabí a los procesos de deslizamiento.

La información existente permite determinar que han ocurrido diferentes tipos de deslizamientos tales como: traslacionales, rotacionales, volcamientos de las laderas de los cauces, ver Tabla 1.4.1 (12) .

Tabla 1.4.1: Clasificación de Movimientos de Masas (Varnes, 1975)

TIPO DE MOVIMIENTO		TIPO DE MATERIAL		
		ROCA	SUELO	
			GRUESO	FINO
Caídas (falls)		Caída de rocas	Caída de detritos	Caída de suelos
Basculamientos (topples)		Basculamiento de rocas	Basculamiento de detritos	Basculamiento de suelos
Deslizamientos (landslides, glissements)	***Rotacional***	Deslizamiento rotacional de rocas blandas	Deslizamiento rotacional de detritos	Deslizamiento rotacional de suelos
	Traslacional	Deslizamiento traslacional en rocas	Deslizamiento rotacional de detritos	Deslizamiento traslacional de suelos
Separaciones y desplazamientos laterales (lateral spread)		Separación y desplazamiento lateral de rocas	Separaciones y desplazamientos laterales de detritos	Separaciones y desplazamientos laterales de suelos
Flujos y avalanchas		Flujos y avalanchas de rocas	Flujos y avalanchas de detritos	Flujos y avalanchas de suelos
Complejos y Compuestos		Combinación de 2 o más tipos		

Fuente: Cortesía Ing. Miguel Ángel Chávez (12)

A continuación se presentan varios esquemas de deslizamientos que permiten encuadrar su clasificación en función de los accidentes ya ocurridos, ver Figura 1.4.1.

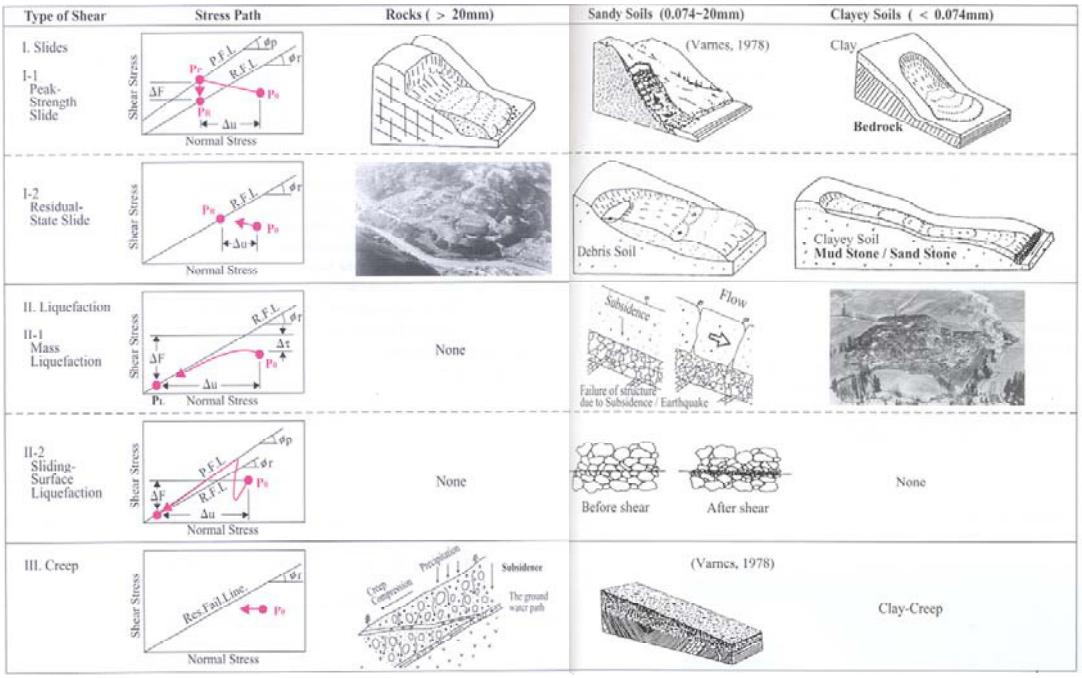
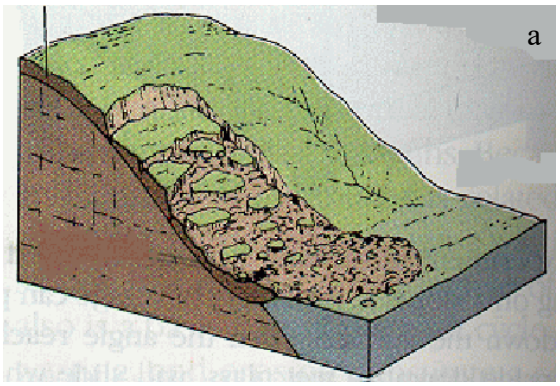


Figura 1.4.1: Clasificación Geotécnica del Mecanismo de Ruptura Inicial (Sassa, 1985)

Fuente: Cortesía Ing. Miguel Ángel Chávez (12)

Se presentan ejemplos reales de estos casos:

1.4.1 Deslizamientos Traslacionales



La Cadena- Jipijapa

Fuente: Cortesía Ing. Miguel Ángel Chávez (12)



Figuras 1.4.1.1 (a,b,c): Deslizamiento Traslacionales en La Cadena-Jipijapa



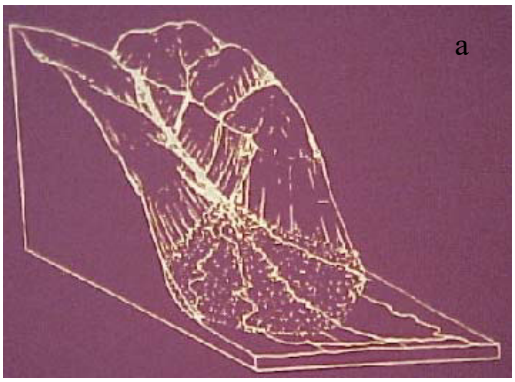


Figuras 1.4.1.2 (a, b, c, d): Deslizamiento Trasnacional en la Vía Tosagua-Bahía de Caráquez

Fuente: Cortesía Ing. Miguel Ángel Chávez (12)

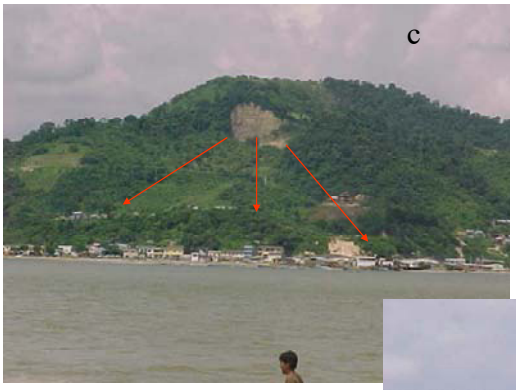
1.4.2 Flujos de Avalancha, Aludes, Deslizamientos Rotacionales

1.4.2.1 Cantón Sucre



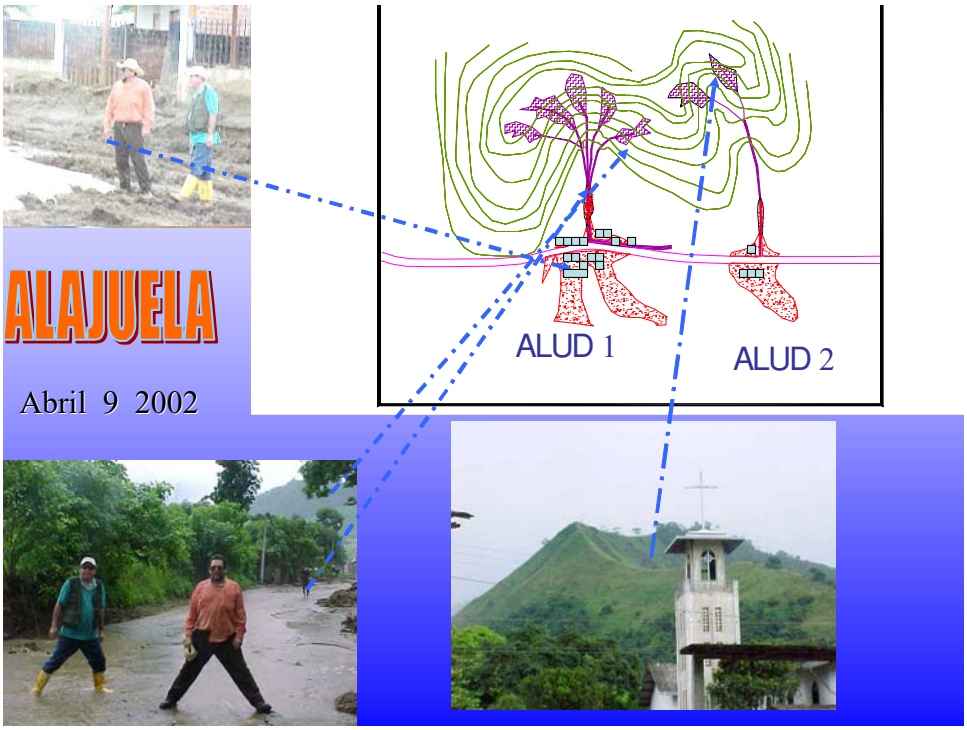


Figuras 1.4.2.1 (a,bc,d): Esquema y foto del alud en Bahía de Caráquez





1.4.2.2 Alajuela

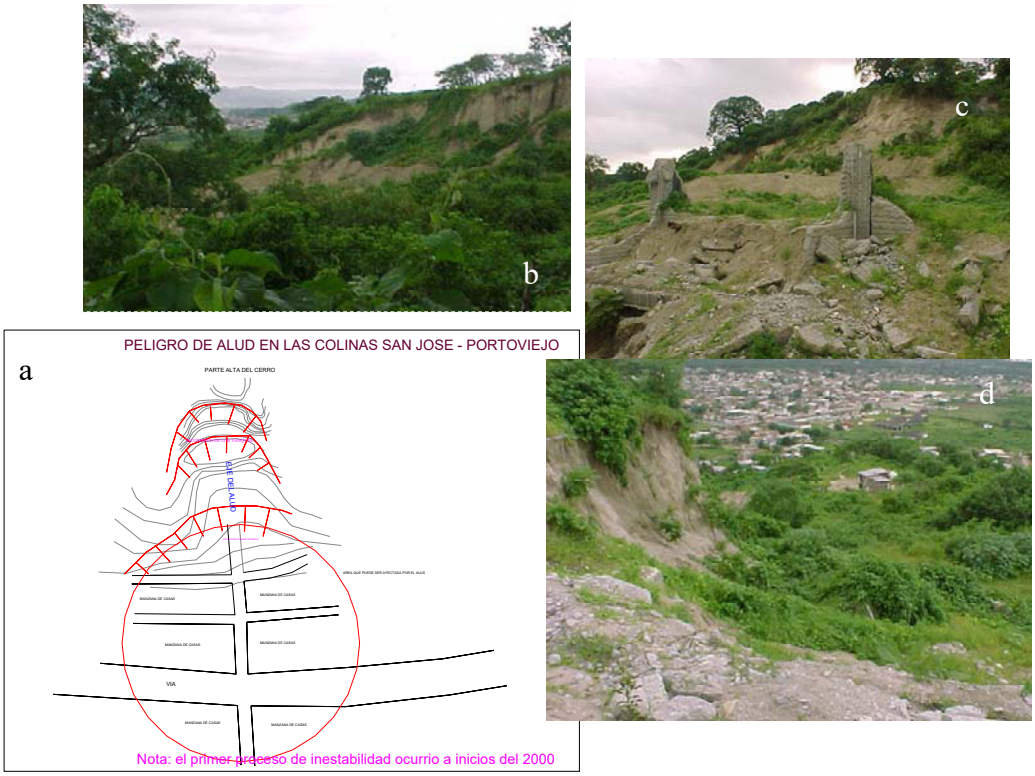


Figuras 1.4.2.2 (a,bc): Esquema y fotos de los aludes en Alajuela

Fuente: Cortesía Ing.

Miguel Ángel Chávez (12)

1.4.2.3 Portoviejo



Fuente: Cortesía Ing. Miguel Ángel Chávez (12)

Figuras 1.4.2.3 (a,bc,d): Esquema y fotos del alud en Portoviejo

1.4.3 Basculamientos



Fuente: Cortesía Ing. Miguel Ángel Chávez (12)

Figuras 1.4.3 (a,bc,): Esquemas y foto del basculamiento en las orillas del Río Portoviejo

1.5 Plan de Investigación Efectuado

El presente trabajo ha requerido la siguiente secuencia de actividades:

1. Búsqueda de la información bibliográfica, que consistió en la obtención y selección de los diferentes reportes, artículos y6 trabajos profesionales efectuados.
2. Búsqueda y obtención de la información cartográfica, geológica y topográfica, consistente en planos escala 1:50000, 1:100000, fotografías aéreas y planos de topografía detallada para casos específicos.
3. Visitas de campo, reconocimiento general de las áreas que han tenido mayor afectación por causa de deslizamientos de suelos y de otras con peligro potencial de movimientos de masas y posibilidad de afectación a la población, por tanto definiéndose tanto por riesgo y vulnerabilidad.
4. Toma de datos de campo, principalmente identificación de las formaciones geológicas y de los tipos de suelos, toma de muestras tipo.
5. Ensayos de laboratorio para obtener la clasificación geotécnica general de suelos y rocas.
6. Análisis de casos estudiados
7. Análisis de los parámetros para determinar la susceptibilidad al deslizamiento.

8. Redacción de la memoria técnica, incluyendo anexos y elaboración de planos.

CAPÌTULO 2

2. ESTUDIOS DE CAMPO Y DE LABORATORIO

Como primer paso se efectuó la recopilación y procesamiento de toda la información existente, a partir de lo cual se planeó las investigaciones de campo a realizarse. En algunos sitios se ampliaron las investigaciones por tratarse de casos ampliamente conocidos.

El primer trabajo consistió en un recorrido de campo para constatar las formaciones geológicas y/o depósitos de suelo en cada sitio de observación. El segundo paso fue tomar muestras para los ensayos de laboratorio, con el fin de caracterizar dichos materiales.

Parte importante del trabajo de campo fue el análisis o apreciación del deterioro de los macizos rocosos estudiados, a partir de la observación de los perfiles de meteorización.

En concordancia con los objetivos de la presente tesis, se visitaron los sitios donde habían ocurridos procesos de inestabilidad. A partir de este

trabajo, se eligieron los sectores o sitios más representativos de la provincia dentro del contexto de esta investigación, así se definieron: Alajuela, Cantón Sucre, Jipijapa, Manta, Montecristi, Portoviejo y Puerto López

2.1 DESCRIPCION DE LA GEOLOGÍA POR SECTORES

2.1.1 ALAJUELA

Geomorfología.- Este sector está caracterizado por presentar elevaciones y pequeñas cuencas, las cuales han sido casi totalmente deforestadas y es fácil observar cuerpos coluviales deslizados de partes superiores. Una característica muy particular del sector de Alajuela, es presentar colinas y montanas que terminan en forma acuchillada, lo cual demuestra la inestabilidad de esos terrenos.

Figuras 2.1.1.1 (a,b): Fotos de la geomorfología de Alajuela

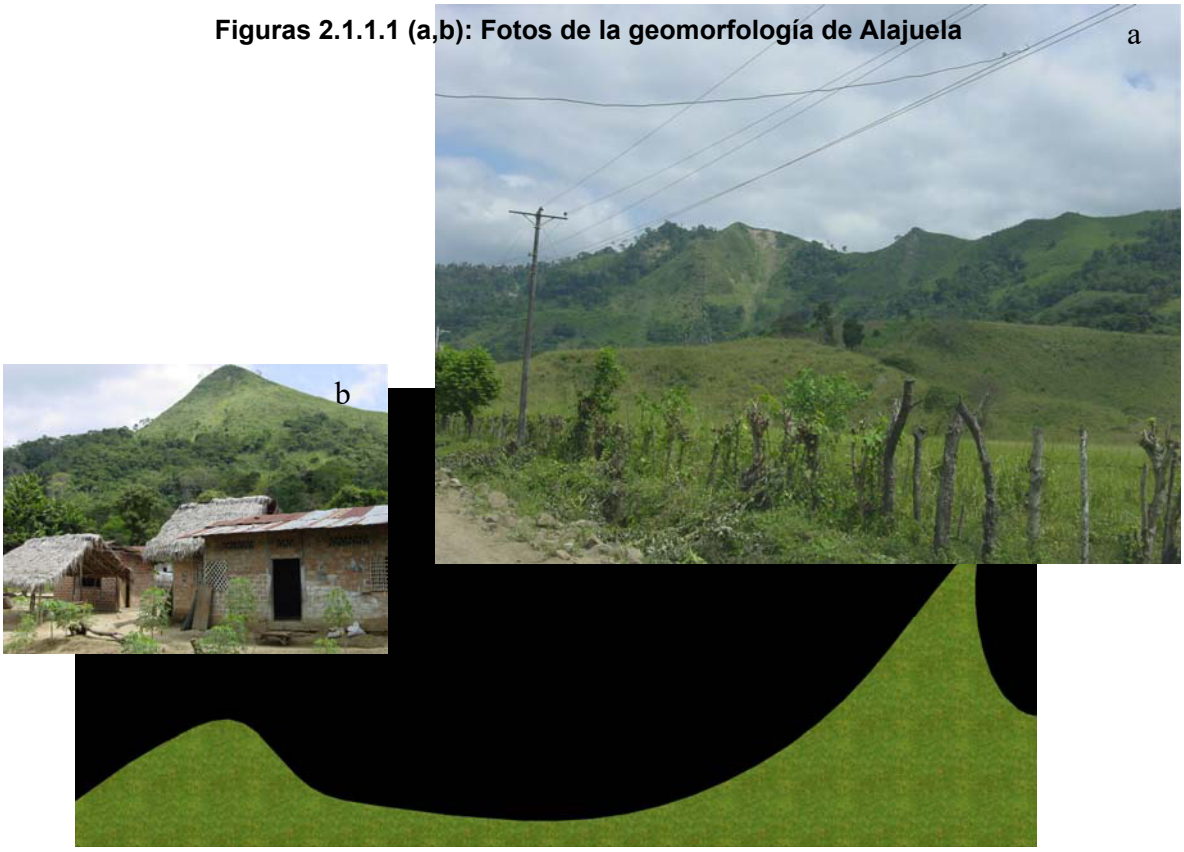


Figura 2.1.1.2: Esquema de la geomorfología de Alajuela

Fuente: Visitas de campo

Formaciones Geológicas.- En el sector de Alajuela se encuentra el Miembro Villingota que es a la vez el paquete de estratos superiores de la Formación Tosagua del Mioceno Inferior al Medio. Consiste de lutitas laminadas diatomáceas grises o habanas con un color blanco de meteorización, su

espesor varía de 250 a 650 metros. Superficialmente se encuentra una capa de suelos residuales, variables en su espesor, desde 30 cm a 1m. Estos suelos son de tipo limo-arcillosos.

Geología Estructural.- Las formaciones que se encuentran en este sector son parte de la denominada Cuenca de Manabí, la cual forma en ese sitio un gran anticlinal cuyo eje está próximo a la población de Rocafuerte, siendo el sector de interés, la parte terminal suroeste de dicho anticlinal ya que a poca distancia han ocurrido gran cantidad de fallas geológicas que constituyen el límite de dicho pliegue.

Estratigrafía.- Se encuentra una secuencia de estratos de lutitas diatomáceas grises que varían en cu contenido calcáreo. Dependiendo del sitio de observación las primeras capas son suelos residuales o suelos coluviales, en el primer caso la secuencia es de arcilla plásticas, debajo de estas, limo arcillosos color café, subyaciendo se encuentran fragmentos de rocas de lutitas diatomáceas grises y finalmente la estratificación del Miembro Villingota, ya descrita.

Tectonismo y Sismicidad.- En este sector no se han observado fallas geológicas, sin embargo, existen por lo menos dos familias de fracturas como producto del tectonismo y de la existencia de fallas geológicas a pocos kilómetros de distancia, al Este.

2.1.2 CANTÓN SUCRE

Geomorfología .- Son terrenos topográficamente montañosos que están bordeando al mar y a una de las más hermosas bahías de América. Las elevaciones máximas son de 350 m, la vegetación es típica de suelos semiáridos siendo considerado

uno de los sectores con el mayor déficit hídrico del Ecuador, ya se tiene sólo un promedio anual de 250 mm en precipitaciones.

Tanto en la zona de playa como en los sectores que rodean a la Bahía, se observan varios deslizamientos antiguos que han dejado grandes escarpas que aparecen como acantilados casi verticales con depósitos de Pie de Monte. Adicionalmente se tiene como una característica importante de este sector, la presencia de escalones topográficos, que incluyen depósitos coluviales, producto de deslizamientos antiguos.

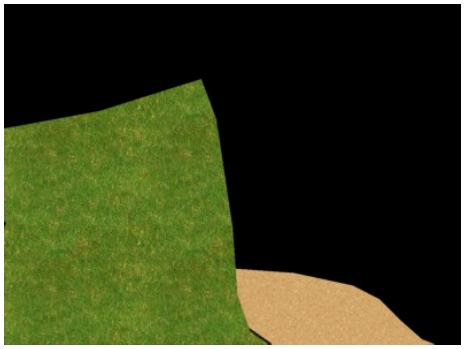


Figura 2.1.2.1: Esquema de acantilado y Pie de Monte



Figura 2.1.2.3: Foto de acantilado y Pie de Monte

Fuente: Visitas de campo

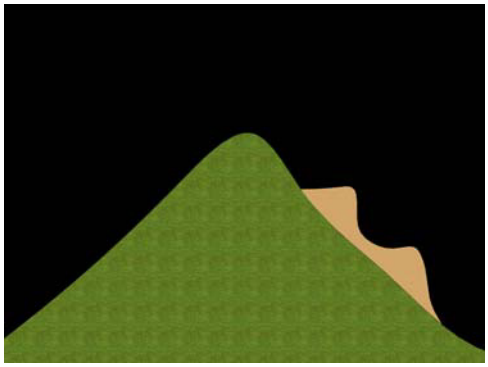


Figura 2.1.2.1: Esquema de depósitos coluviales en forma de escalones topográficos



Figura 2.1.2.4: Foto de depósitos coluviales en forma de escalones topográficos

Fuente: Visitas de campo

En las entradas a la ciudad de Bahía de Caráquez, se observan valles en forma de "U", que incluyen pequeños canales de drenaje en su parte central. También se encuentran depósitos de abanico, con su característica forma de Delta, que se inicia en las partes altas y se amplía en las proximidades a la Bahía.

Formaciones Geológicas.- En esa zona existen únicamente formaciones rocosas sedimentarias del Mioceno y Plioceno. En las partes altas de Bahía de Caráquez y en San Vicente, aflora

la formación Borbón, en taludes verticales y casi verticales, constituida por areniscas tobáceas del Plioceno. Debajo y también aflorante, se encuentra la Formación Onzole caracterizada por la presencia de lutitas y limolitas, que conforman taludes comprendidos entre 30 y 50 Grados. Es decir, en los cerros y colinas que rodean a las ciudades antes mencionadas se tienen tanto la Formación Borbón como la Onzole.

Es importante anotar que las capas de suelo residual pueden llegar a tener más de 3 m, existiendo unos cinco metros, por lo menos, de roca alterada.

Geología Estructural.- El Cantón Sucre está ubicado geológicamente al Sur de una Cuenca Anticlinal, que es interrumpida por la Bahía, la cual seguramente ha sido formada por la existencia de una o más fallas geológicas de desplazamiento de rumbo. Aparte de la estratificación que en algunos sitios no está bien definida, existen tres familias de fracturas, las cuales en algunos casos están rellenas de materiales calcáreos.

***Estratigrafía*.-** Pese a la existencia de varias fallas geológicas, tanto de Norte a Sur como de Este a Oeste, se mantiene la disposición estratigráfica mediante la cual la Formación Borbón está sobre la Formación Onzole. Se conoce que entre las dos formaciones geológicas se tiene una potencia de estratos superior a los 500 m.

Tectonismo y Sismicidad.- El sector del Cantón Sucre es uno de los sitios del Territorio nacional donde más se refleja la incidencia del proceso de Subducción de la Placa Oceánica o Nazca. Una secuencia de fallas geológicas de un rumbo general N30E a N50E, se inicia justamente en la Bahía, hacia el Norte, lo cual determina una gran ruptura interna de la corteza terrestre, por lo que en la práctica se puede considerar una franja de fallamiento que es aproximadamente paralela a una estructura de anticlinal que se encuentra a pocas decenas de kilómetros al Este.

La acción de la placa tectónica ha determinado una serie de rupturas transversales a las fallas prenombradas, lo cual determina la clara existencia de bloques tectónicos individuales

que se mueven unos en relación a otros, con el empuje de la placa (27)

La situación tectónica descrita configura una alta sismicidad, lo cual ya se demostró con la ocurrencia de un gran sismo de 6.2 a 7.1 en la escala de Richter, cuyo epicentro se localizó en el sector de Canoa a tan sólo 14 Km. al Norte de la Población de Bahía de Caráquez, ciudad que sufrió grandes estragos consistentes en la caída de un edificio y danos estructurales y en mampostería de por lo menos 10 edificios más. Según los estudios realizados se establece que en el sector de Canoa ocurrió el fenómeno de licuefacción durante el sismo mencionado (28).

Es importante mencionar que el sismo de Canoa es el de más alta intensidad registrado en el Ecuador tanto por el Servicio Geológico Americano como por el Servicio Geológico en los Estados Unidos, ya que se ha mencionado que otro sismo de más de 9 grados, ocurrió en Esmeraldas a inicios del siglo XX, sin embargo, esa magnitud ha sido deducida en base a descripciones o valoraciones de los danos descritos en el ano del sismo, pero que no ha sido registrado mediante

instrumentos, mas aun considerando que en países como en Chile y Perú, países de mayor sismicidad que el nuestro, no se han registrado sismos de la magnitud mencionada.

2.1.3 JIPIJAPA

Geomorfología.- El sector de Jipijapa es uno de los más elevados de esa zona de la cordillera costera, sin embargo de lo cual constituye un área de hondonada en donde convergen pequeñas cuencas de drenaje, entre ellas el Río Jipijapa. Esta característica hace que la población de Jipijapa esté rodeada de elevaciones y que haya sido construida tanto sobre depósitos de suelos coluviales como aluviales presentes en ese sector.



Figura 2.1.3.1: Foto de la geomorfología de Jipijapa

Fuente:http://www.dlh.lahora.com.ec/paginas/manabita/historia3.htm

Formaciones Geológicas.- En el sector de Jipijapa se encuentran formaciones geológicas del Mioceno cuyo rumbo general es NS con ligeras inclinaciones de buzamiento de 15 a 30 grados hacia el Este.

Estudio de mapeo geológico realizado determinan que en ese sector se encuentran tanto la Formación Tosagua (Miembro Villingota), del Mioceno como la Formación Onzole, del Mioceno Superior, que aflora en áreas menores. Las dos formaciones geológicas han sido descritas anteriormente.

Geología Estructural.- Se considera que la depresión elevada de Jipijapa es colindante en la parte oeste por una falla geológica. Esto significa que Jipijapa está dentro de un área de cuenca geológica y que al borde de ésta se encuentra actuando una falla que ha permitido el levantamiento del sector cordillerano que se encuentra al oeste de Jipijapa.

Estratigrafía.- La secuencia estratigráfica que se encuentra en el sector es la siguiente: lutitas arcillosas, lutitas y limolitas calcáreas con betillas de yeso.

Tectonismo y Sismicidad.- Investigaciones recientes determinan la existencia de una gran falla geológica activa al oeste de la población de Jipijapa al nivel del sector montañoso en donde se detecta un levantamiento de rocas de fondo marino respecto a las formaciones geológicas continentales. Se ha establecido que esta falla geológica tiene un movimiento anual algo menor de 1mm y puede sufrir desplazamientos mayores en circunstancias en que se produzca actividad en la Placa Nazca, la cual a su vez interactúa en el Lomo Carniege, muy próximo a este sector.

2.1.4 MANTA

Geomorfología.- El terreno estudiado es una gran Terraza Cuaternaria, que en el pasado geológico fue fondo marino, que se extiende en todo ese sector en la ciudad de Manta y poblaciones vecinas.

Debido al tectonismo una importante área donde afloraban las rocas Tablazo, ha desaparecido por efecto de la fracturación de dichas rocas sedimentarias frágiles, erosionándose el material fracturado, quedando únicamente residuos de Tablazo y la formación San Mateo: esta última ha sido sometida al proceso de meteorización, por lo que en algunos sectores de la gran

terraza, existen depósitos granulares y de suelos finos no consolidados como los que se encuentran presentes en el aeropuerto de Manta.

Los tablazos se caracterizan por tener relieves suaves y de muy bajas pendientes, en donde el drenaje no tiene una orientación preferencial.



Figura 2.1.4.1: Foto de Manta

Fuente: http://www.thebestofecuador.com/manta/manta.jpg



Figura 2.1.4.2: Foto de la geomorfología de Manta

Fuente:http://toddsproule.com/cruise2002/Ecuador%20-%20Manta/slides/View%20of%20Manta.JPG

Formaciones Geológicas.- De mayor a menor edad, se tiene en primer lugar la Formación San Mateo constituida por margas tobáceas, lutitas, areniscas y brechas que pueden ser localmente calcáreas.

Sobre la Formación San Mateo se encuentra la Formación Tablazo, donde predominan conglomerados y micro conglomerados. Superficialmente se tienen los suelos granulares: arenas, gravillas, en menor porcentaje gravas redondeadas, suelos limosos y limo arcillosos, siendo estos el producto de la meteorización de los estratos tablazos.

Los depósitos de suelo allí existentes, han sufrido procesos de cambio, no sólo meteorológicos, sino también de su composición química y mineralógica, ya que experimentan cambios tales como pérdidas de cationes, que según las observaciones efectuadas son las responsables del comportamiento de deformabilidad de dichos suelos, tal es el caso del colapso y la expansividad (26).

Estratigrafía.- Dependiendo del sector de análisis, en Manta se puede tener la siguiente secuencia estratigráfica: en

condiciones normales, aparece primero una capa de suelos granulares constituidos de gravillas, arenas y limos, inmediatamente debajo se tienen los estratos de conglomerados y micro conglomerados marinos de la Formación Tablazo, bajo ésta se encuentra la Formación San Mateo, constituida por margas tobáceas, lutitas y areniscas calcáreas. En los sitios donde no aflora la Formación Tablazo se encuentran depósitos de suelos limo arenosos con eventuales clastos redondeados, bajo los cuales aparece la Formación San Mateo.

Geología Estructural.- El sector de Manta constituye un flanco de una gran falla geológica de desplazamiento de rumbo de dirección E-W que cruza la Cordillera de la Costa. A un lado de esta falla se encuentra la terraza antes descrita, también afectada por un sinnúmero de fallas menores que aparecen desde San Lorenzo, pasando por San Mateo, por la ciudad de Manta hasta Jaramijó. Investigaciones realizadas determinan que el sector de Jaramijó constituye un horst, lo que señala la presencia de una estructura dinámica.

Tectonismo y Sismicidad.- El sector de Manta es considerado tectónicamente activo ya que se ha determinado numerosos epicentros sísmicos, la mayoría en el fondo marino y un número muy importante en la gran terraza de Manta y Jaramijó. Evidentemente el proceso de subducción de la denominada Placa Nazca o Placa Oceánica, se subducta con el mayor ángulo de todo el territorio ecuatoriano, ya que se ha establecido que el Fondo Marino, en el sector de Manta es más profundo, por lo que considera que existe, en ese sector, la mayor trinchera de subducción.

El horst antes mencionado que determina una condición de alta sismicidad, no aflora en superficie por la presencia de la Formación Tablazo, pero ha sido interpretado mediante estudios gravimétricos, como la prolongación hacia el norte del horst de Montecristi.

2.1.5 MONTECRISTI

Geomorfología.- La tectónica regional produjo el fallamiento y la formación de una secuencia de horst y graven. Esto ha permitido la configuración del relieve actual del sector teniendo en cuenta que en la dirección SW-NE está la Cordillera de la Costa, en tanto que en la dirección E-W están los cerros de Montecristi y de Hojas. La meteorización actúa de forma diferencial según la litología formando relieves con colinas suaves, aunque se observan algunas de pendiente fuerte asociadas a los horst con rocas Piñón y sedimentarias duras, que es el caso del Cerro de Montecristi.

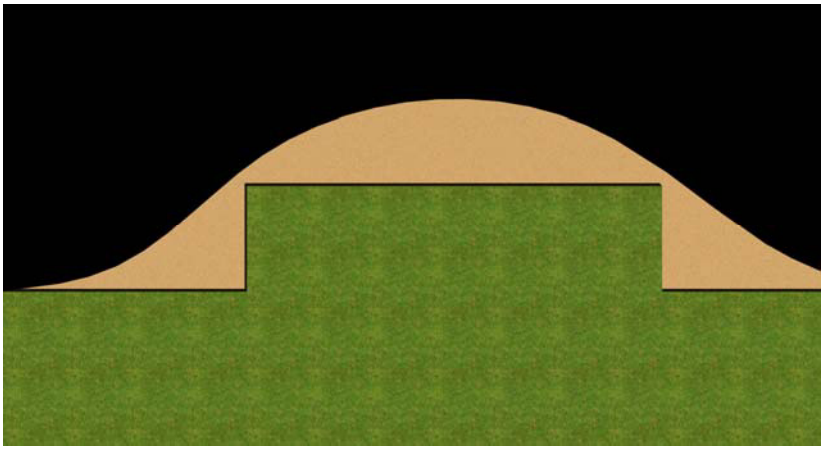


Figura 2.1.5.1: Esquema de Horst

Fuente: Visita de campo



Figura 2.1.5.2: Foto de Horst

Fuente: Visita de campo

Parte de la configuración geomorfológica del sector constituye la acumulación de suelos coluviales, producto de la erosión y/o deslizamientos de materiales de las partes altas. En este mismo sector se puede encontrar depósitos en forma de abanicos que son parte también de los depósitos coluviales. En relación a perfiles geomorfológicos, se tiene que el cuerpo rocoso de la Formación Piñón, forma taludes que tienden a verticales, en tanto que los depósitos coluviales se han estabilizado en suaves pendientes, para el caso de condiciones naturales.

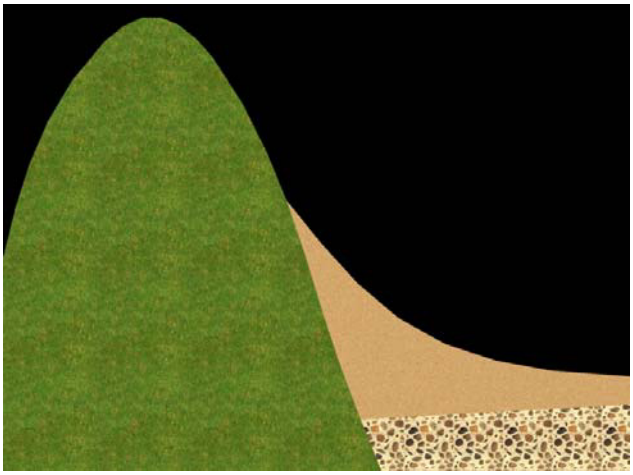


Figura 2.1.5.3: Esquema de la geomorfología de Montecristi

Fuente: Visita de campo





Figura 2.1.5.4 (a,b): Fotos de la geomorfología de Montecristi

Fuente: Visita de campo

Formaciones Geológicas.- en el sector de Montecristi, se tiene principalmente, dos tipos de formaciones geológicas, a saber, Piñón del Cretácico y San Mateo del Eoceno Medio. Esto implica que existe una formación constituida por rocas ígneas basálticas y por otro lado un paquete de rocas sedimentarias.

Estratigrafía.- En Montecristi puede señalarse la siguiente secuencia estratigráfica***.*** Superficialmente se tienen los depósitos coluviales, algunos de los cuales pueden ser conos de eyección, que se encuentran cubriendo a los estratos de la Formación San Mateo. Tanto la formación mencionada como los cuerpos coluviales se apoyan y en parte descansan sobre el cuerpo masivo de la Formación Piñón.

Como parte de los depósitos coluviales se tiene suelos impermeables y también porosos y permeables, los cuales han dado lugar a un depósito acuífero debido a la recarga de agua que se produce desde las cumbres y laderas del Cerro Montecristi. Es importante notar que los acuíferos de Canta Gallo y Montecristi han sido reportados desde la época del inicio de la Colonización Española (25).

Geología Estructural.- El cerro de Montecristi que es uno de los de mayor altura de Manabí es una protuberancia prismática de extrusivo ígneo, o cuello alargado hacia el interior, de roca ígnea basáltica de la Formación Piñón, cuyo talud rocoso, según las investigaciones realizadas, es prácticamente vertical. Siendo dicho macizo rocoso formado en la edad cretácica, se ha trasformado en una barrera de depositación de las rocas sedimentarias blandas del Cuaternario, paquetes sedimentarios lutíticos y arcillosos de la Formación San Mateo, cuya estructura de estratificación se inclina ligeramente hacia el cuerpo basáltico, formando una discordancia angular. Sobre los estratos existen fragmentos de roca ígnea (escombros), constituyendo así una estructura hidrogeológica acuífera.

Tectonismo y Sismicidad.- Durante el Cretácico Superior, la subducción activa provocó el rompimiento de la corteza oceánica dejándola en parte como basamento de la costa actual. El complejo ígneo volcánico conocido como formación (Fm) Piñón constituye el mencionado basamento y aflora debido a la presencia de horst.

Durante el Terciario y en el Paleoceno se produjo una intensa actividad tectónica con el levantamiento de la cordillera casi hasta la posición actual y dio origen a la depositación continental. Una fase de erosión se evidencia en el Eoceno Inferior y una transgresión marina generalizada invade la región en el Eoceno Medio originando una depositación marina, tal es el caso de los sedimentos detríticos y silíceos de la Formación San Mateo.

Debido a la tectónica, también ocurrieron procesos erosivos y fenómenos geodinámicos, tales como deslizamientos que dieron lugar a los materiales que actualmente aparecen en el pie del Cerro Montecristi. En la actualidad, estos procesos continúan.

La historia geológica antes descrita, demuestra que el sector estudiado ha tenido una gran actividad tectónica, la que evidentemente fue acompañada por fenómenos sísmicos, siendo posible que pueda presentarse epicentros en el sitio de Montecristi o en lugares muy cercanos como Manta y Jaramijó, determinando así en consecuencia un alto grado de sismicidad.

2.1.6 PORTOVIEJO

Geomorfología.- En el sector se identifican dos unidades de características morfológicas bien definidas: valles fluviales y colinas.

Algunos procesos de hundimiento y levantamiento ligados a la tectónica del cuaternario han permitido la formación de terrazas aluviales disectadas por la erosión fluvial reciente. Estos valles, entre los que sobresale el del río Portoviejo, tienen una morfología casi plana y de poca pendiente lo que favorece la migración lateral y divagación de los cursos fluviales; resulta evidente que en los valles prevalece un proceso de depositación proveniente de las partes más altas.

En el sector de Portoviejo existe gran cantidad de colinas. Los terrenos de éstas son moldeados por la erosión con laderas de pendientes bajas en terrenos constituidos por rocas relativamente blandas o cubiertas por potentes suelos residuales. Al contrario, en las colinas donde el basamento es duro la erosión está presente, siendo comunes las aristas y laderas con pendientes moderadas a fuertes. En general el drenaje en las zonas de colinas es subparalelo a reticulado a

causa de las orientaciones NNE-SSW predominante y NW-SE que tienen las quebradas y serían consecuencia de sistemas de diaclasamiento y de fallamiento que afectaron al basamento rocoso.

Debido a la presencia de El Fenómeno El Nino se ha producido erosiones a gran escala, cuyos sedimentos han sido arrastrados y depositados en los valles, lo cual ha causado modificaciones en la geomorfología general de estos terrenos.



Figura 2.1.6.1: Esquema de la geomorfología de Portoviejo

Fuente: Visita de campo

Formaciones Geológicas.- La población de Portoviejo está asentada principalmente en el valle aluvial del Río Portoviejo, el

cual presenta una clara tendencia al cambio de cauce. Rodeando a la parte central de la población, se encuentran varias colinas en las cuales aflora la Formación Charapotó o Miembro Villingota, caracterizado por la presencia de lutitas tobáceas y lutitas calcáreas.

Geología Estructural.- El área de interés es parte de la cuenca sedimentaria cuyo eje anticlinal se desarrolla de NNE a SSW. Justamente en el límite SSW ocurre un cambio estructural por la presencia de numerosas fallas algunas identificadas y denominadas como horst, porque han provocado el levantamiento de bloques que incluyen formaciones geológicas más antiguas.

Estratigrafía.- La estratigrafía presente en Portoviejo está relacionada a la presencia de la Formación Charapotó o Miembro Villingota que corresponde a lutitas tobáceas habanas y blancas, con diatomeas y capas delgadas de arenisca amarillenta, las mismas que están presentes en las partes altas de Portoviejo. En las depresiones o partes bajas del valle, sobre los estratos rocosos mencionados, se encuentra un depósito de suelos aluviales, cuyo espesor puede ser de 10 a 40 m.

En casi todo los sitios de pie de monte o pie de ladera se tienen también depósitos coluviales que incluyen suelos englobando a fragmentos de lutitas tobáceas, que son el producto del proceso de erosión de los suelos de las partes altas y/o deslizamientos. En cambio, los suelos residuales, son el producto de la meteorización de los estratos de la formación Charapotó que por lo general son arcillosos, pudiendo también ser limo-arcillosos, que están en un claro proceso de erosión.

Tectonismo y Sismicidad.- Portoviejo está ubicada en las proximidades de una zona intensamente fallada en donde algunas fallas han dado lugar al levantamiento de rocas cretácicas, tal es el caso de la Formación Piñón (que no aflora en Portoviejo).

Se han detectado numerosas fallas geológicas en algunas de las cuales se ha establecido la presencia de epicentros, demostrando así que el sector de Portoviejo está incidido significativamente por procesos sísmicos.

Debido a ese importante grado de sismicidad y a que los depósitos aluviales son areno-limosos arcillosos, se tiene grandes posibilidades de que en dichos depósitos de suelos ocurran fenómenos de licuefacción.

2.1.7 PUERTO LÓPEZ

Geomorfología.- El terreno estudiado es un pie de monte. Es la población más próxima a elevaciones considerables, por ello su drenaje y erosión son factores que influyen notablemente en su relieve. Constituye al parecer, un delta aluvial, existiendo evidencia de este hecho, ya que la población recibió un alud de 0.5 a 1.2 m de sedimentos descargados de las partes altas.



Figura 2.1.7.1: Esquema de la geomorfología de Puerto López

Fuente: Visita de campo

Formaciones Geológicas.- De edad menor a mayor edad se tiene lo siguiente:

Depósitos coluviales y aluviales, constituidos por suelos limo arenosos arcillosos provenientes tanto de los cauces como de las laderas.

Formación San Mateo.- Se encuentra en la parte sur de Puerto López y está constituida por areniscas grauvaquicas, lutitas arcillosas y en la base conglomerados. Corresponde al Eoceno.

Formación Cayo.- Es la formación sobre la cual la mayoría de la población se encuentra asentada y está representada en este sector por areniscas grauvaquica y micro brechas volcánicas con material arcilloso. Corresponde al Cretáceo y cubre una extensa área del sector.

Estratigrafía.- En Puerto López se tiene la siguiente secuencia estratigráfica: suelos coluviales y aluviales de pocos metros a decenas de metros, en el sitio donde está asentada la población, debajo de los cuales, se tiene la Formación Cayo antes descrita.

Debido a que en el sector de Puerto López existe un contacto fallado entre la Formación San Mateo y la Formación Cayo, la primera es aflorante en la parte sur de la población.

Geología Estructural.- En este sector se tiene un gran fallamiento, en donde aparecen estructuras de falla predominantes de dirección NW- SE y también otras estructuras de falla,. Transversales a las primeras NE-SW. De esta forma se han definido numerosos bloques, limitados por fallas.

Como ya se ha indicado, el contacto entre la Formación Cayo y la Formación San Mateo es una falla geológica de rumbo NW-SE. El resultado que muestran los terrenos por existir un intenso fallamiento, es la presencia de numerosas fracturas, pudiéndose contabilizar más de 4 familias de fracturas.

En los recorridos efectuados se determina que la Formación Cayo presenta un rumbo general NW-SE con un buzamiento al Sur comprendido entre 14 y 20 grados. Sólo en los sitios donde se encuentra fallas estos rumbos y buzamientos cambian.

Igual comentario se puede hacer de la Formación San Mateo que también presenta un rumbo NW-SE y un buzamiento hacia el Sur del orden de 4 a 10 grados, asimismo con variaciones en los numerosos sitios donde se encuentran fallas geológicas.

Tectonismo y Sismicidad.- Puerto López es considerado un sector de altísima sismicidad pues como se ha mencionado existen numerosas fallas geológicas, las cuales evidentemente forman bloques tectónicos (27), que pueden movilizarse en función de la actividad de la Placa Oceánica.

Se han efectuado numerosos registros de secuencias de sismicidad en el sector. Entre los anos 2004 y 2005 se produjeron muchos sismos. Este hecho confirma la existencia de períodos de sismicidad ocurridos en el pasado que siguen presentándose y ocurrirán también en el futuro.

2.2 Hidrología

En la Provincia de Manabí se han efectuado algunos proyectos en los cuales se han desarrollado principalmente estudios hidrológicos aplicados para cada caso, realizados especialmente para estudiar los caudales que se desarrollan en los diferentes ríos, a partir de las precipitaciones que es la información que realmente se requiere para esta investigación.

2.2.1 Estudio Hidrológico del Área Representativa

Para efectos de determinar un área de estudio que permita deducir parámetros para los otros sectores incluidos en la presente tesis, se considera que el cantón Portoviejo, que es el más extenso, puede caracterizar el comportamiento hidrológico de la Provincia de Manabí, en lo que concierne a las áreas de estudio.

Se ha llegado a esta conclusión mediante la observación directa de los mapas de isoyetas elaborados por el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) ver Apéndice: Mapa de Isoyetas, en donde se observa que los valores de precipitación encontrados en Portoviejo corresponden a los que

según las isoyetas pueden determinarse en los otros sitios estudiados.

Con la finalidad de obtener parámetros que permitan determinar la intensidad y frecuencia de las precipitaciones, además los caudales que pueden tenerse en los diferentes cauces, aplicando el Método Racional, es posible obtener, para los fines de la presente investigación, los parámetros más importantes dentro de un análisis hidrológico.

A continuación se describe en forma detallada el estudio hidrológico realizado para la cuenca del Río Portoviejo, parte del cual es el Río Chico, que es la subcuenca del sector Alajuela así también el Río Jipijapa. Por esta razón lo que se deduce del estudio mostrado a continuación es aplicable a los otros sectores de estudio.

2.2.2 Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Portoviejo

El presente estudio se basa en su totalidad en la recopilación y análisis del Estudio para el Encauzamiento y Rescate del Río Portoviejo del Ilustre Municipio de Portoviejo (13).

2.2.2.1 Fisiografía de las Cuencas

"Las características físicas de las cuencas se obtienen de la cartografía 1:400.000 y 1:50.000, así como de los informes de JICA (Empresa Consultora). Los valores así obtenidos se presentan a continuación.

Tabla No. 2.2.2.1: Cuencas

Sitio	**Área de drenaje (Km^2)**
Río Pata de Pájaro	48
Poza Honda	170
Río Chico en Alajuela	184
Río Portoviejo en Portoviejo	1090
Río Portoviejo desembocadura	2060

Entre los tributarios más importantes del Río Portoviejo se cuentan en la cuenca alta los ríos Mineral, Pata de Pájaro y otros esteros que conforman el vaso del embalse de Poza Honda con una cuenca de 170 Km^2; el Río Lodana o Estero La Balsa que drena un área aproximada de 285 Km^2 y se une en Lodana, la cuenca intermedia entre Honorato Vásquez y Santa Ana (A= 215 Km^2) y entre Santa Ana y Portoviejo (A= 262 Km^2), incluyendo las Quebradas El Cade y Monte Santo (A = 182 Km^2); el Río Chico (A = 585 Km2) que se une a la altura de El Ceibal y el estero Bachillero (A=203 Km^2).

Desde su nacimiento hasta Portoviejo, la longitud del cauce principal es de 72 Km y el desnivel es de 330 metros.

La cuenca del Río Portoviejo está comprendida en los cantones Portoviejo (45% del área de la cuenca), Santa Ana (27%), Rocafuerte (11%) y 17% principalmente

entre los cantones 24 de Mayo y Jipijapa y en menor medida en los cantones Pichincha y Junín.

2.2.2.2 Pluviometría

La pluviometría está constituida por las siguientes estaciones en toda la cuenca:

- Estación Chamotete
- Estación Santa Ana
- Estación Portoviejo
- Estación Rocafuerte

Los valores de las estaciones fueron verificados mediante la técnica de las dobles masas entre cada estación y el promedio del grupo. Como se puede ver en las respectivas figuras todas tienen un comportamiento adecuado.

Para extender los datos faltantes se usaron regresiones lineales con valores anuales, resultando coeficientes de correlación adecuados con excepción de la correlación entre Chamotete y Santa Ana que es bastante baja. Por tener mayor confiabilidad y

representar adecuadamente la pluviometría de gran parte de la cuenca, se trabaja fundamentalmente con las estaciones de Santa Ana y Portoviejo.

La precipitación media multianual para los 35 años del período homogéneo 1964-1998 es de 1243.2 mm/año en la cuenca alta (Est. Chamotete), 794.1 mm/año en la cuenca media alta (Est. Santa Ana), 529.4 mm/año en la cuenca media (Est. Portoviejo) y 420.0 mm/año en la cuenca baja (Est. Rocafuerte). La precipitación media en la cuenca es de 760 mm/año aproximadamente y la evaporación potencial en el Tanque tipo A es de 1618 mm/año.

La serie registrada está caracterizada por la presencia de dos picos muy altos de precipitación anual coincidentes con la ocurrencia de los Fenómenos de El Niño 82-83 y 97-98.

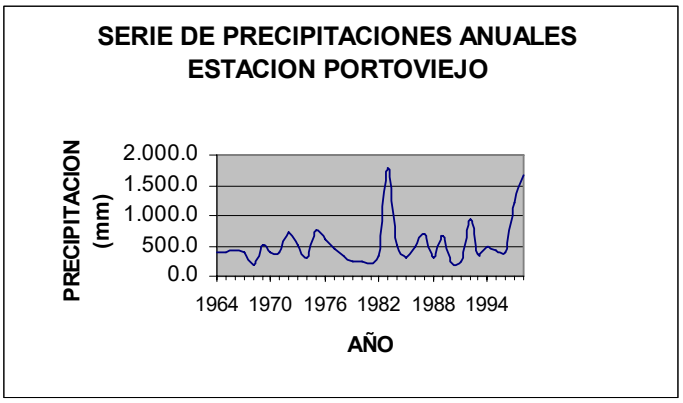


Figura 2.2.2.2.1: Serie de Precipitaciones anuales de la Estación Portoviejo

Para la estimación de intensidades de precipitación se usaron las curvas de Intensidad – duración – frecuencia determinadas por JICA en 1995.

De la graficación de la serie de precipitaciones anuales de Portoviejo para el período 1964-1998, se determina la ocurrencia de años secos medios y húmedos y de años extraordinariamente húmedos como los de los Niños 83 y 97-98. Graficando las desviaciones respecto a la media acumuladas, se demuestra la ocurrencia de un ciclo seco o de precipitación decreciente entre 1964 y 1981 y un ciclo húmedo o de precipitación creciente a partir de 1982 hasta la presente.

Del ajuste probabilístico de la serie de caudales anuales se determina la ocurrencia de años húmedos con probabilidad 10% de ser igualados o excedidos con valores mayores a 760 mm tales como los años 75 o 92; o caudales con 25% de excedencia mayores a 600 mm como los años 76.

Los años de pluviosidad media como el 77, 65, 66 o 71, con precipitaciones en el rango de los 400 mm tienen un 50% de probabilidad de ser igualados o excedidos.

Por último los años secos con una probabilidad de 75% de ser igualados o excedidos como loas años 74 u 88, están en el rango de los 290 mm, mientras los años muy secos como el 68, 81 o el 90 en el rango de los 220 mm tienen 90% de probabilidad de ser excedidos.

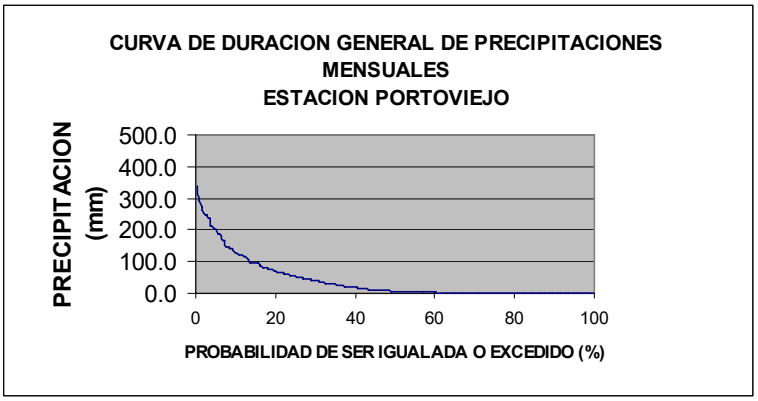


Figura 2.2.2.2.2: Curva de duración general de precipitaciones mensuales de la Estación Portoviejo

2.2.2.3 Régimen de Caudales Mensuales y Diarios

Caudales naturales

Como una primera aproximación se procesaron los caudales medios mensuales naturales en Portoviejo, obtenidos a partir de los caudales generados para la estación Río Portoviejo antes de la junta con el Río Chico. A partir de la correlación areal se obtuvieron los caudales cuyo histograma de valores mensuales máximos medio y mínimo se presentan.

Hidrológicamente el río muestra dos períodos muy marcados: el período seco entre agosto y noviembre y le período lluvioso entre enero y mayo, quedando los meses entre estos períodos como una transición

variable cuando se adelantan o atrasan estos periodos (Ver figura).

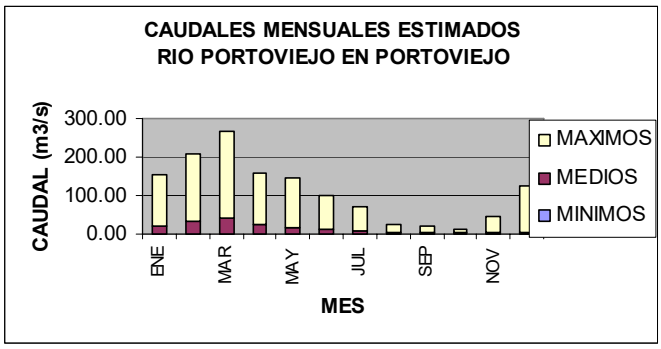


Figura 2.2.2.3.1: Caudales mensuales estimados en Río Portoviejo en Portoviejo

Se calibró la pequeña cuenca del Río Pata de Pájaro con los caudales mensuales medidos en los períodos 1989 – 1990 y 1986 – 1990 y las precipitaciones en las estaciones Chamotete, Santa Ana y Portoviejo de los respectivos meses. La correlación así obtenida es de 0.953 y 0.827 con diferencias entre escorrentía observada y simulada de 0.8 y 12.6%. (Ver Anexo).

Los parámetros de calibración obtenidos para la cuenca comparados con los de JICA, así como los adoptados se presentan a continuación:

Tabla 2.2.2.3.1: Parámetros de calibración obtenidos

	P. Pájaro 89-90	P. Pájaro 86-90	JICA	Adoptado
CINF	120	120	200	120
HSN	50	60	200	100
CT	0.8	0.8	0.4	0.8
PQB	0.3	0.3	0.6	0.3

Donde:

CINF: Coeficiente de infiltración

HSN: Almacenamiento de humedad en el suelo

CT: Coeficiente de tanque que transforma evaporación potencial a real

PQB: Fracción del almacenamiento que se transforma en escurrimiento

Caudales estimados considerando usos

Con los parámetros obtenidos de la calibración y los datos correspondientes de precipitación y características de la cuenca se generan caudales naturales para la intercuenca del Río Portoviejo entre Poza Honda y Portoviejo. Los caudales regulados registrados en Poza Honda se suman a los de la intercuenca y de ellos se sustraen los usos de riego y agua potable.

Qportoviejo = **Q**regulado PH + **Q**intercuenca – **Q**riego – **Q**agua potable

Tabla 2.2.2.3.2:Caudales de uso según JICA (m^3/s)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO(mmc)
QGuarumo	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	14.0
QcazaLag	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	5.0
Qriego	1.03	1.02	2.96	4.0	4.26	2.76	3.54	5.12	6.76	6.09	5.12	2.73	120.0

Como caudales de riego se extrae el equivalente a un área efectiva de riego de 4.500 Ha frente a las 6.500

proyectadas, multiplicados por un factor de 0.65, correspondiente al retorno de agua de riego al cauce. En el caso de agua potable no se considera retorno pues los caudales de Guarumo que sirven a Portoviejo se retornan aguas abajo del sitio de proyecto y el caso de Caza Lagarto que sirve a Manta el agua sale de la cuenca. Los caudales de 4 Esquinas y Ceibal tampoco han sido considerados pues apenas empiezan a operar. Tampoco se consideran los caudales de trasvases desde La Esperanza, pues este sistema apenas está en construcción.

Para los períodos antes de que empiece a operar la Presa de Poza Honda (1971) o para los que no se dispone de datos registrados se trabaja con los caudales naturales generados y se extrae de ellos los usos. A continuación se presentan los caudales medios, mínimos y máximos de la serie así obtenida para los 35 años comprendidos entre 1964 y 1998.

Caudales mensuales

Tabla 2.2.2.3.3: Caudales Mensuales Estimados (m3/s) Río Portoviejo en Portoviejo

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
MAX	136.0	173.3	224.2	133.2	128.8	88.3	65.0	19.7	16.0	9.2	43.7	119.9	70.0
MED	18.6	33.3	40.3	23.5	15.5	10.5	6.3	3.9	3.2	2.3	3.0	5.9	13.9
MIN	0.49	0.50	0.84	0.59	0.28	0.13	0.09	0.07	0.05	0.06	0.05	0.03	0.6

En el largo plazo los caudales presentan una variabilidad marcada semejante a las precipitaciones, destacando los períodos secos 64-71 (exceptuando el 67) y 78-82 previo a El Niño. Los períodos húmedos son el 71-77 y 87-89 y los extraordinariamente húmedos ya conocidos, los Niños de 83 y 97-98.

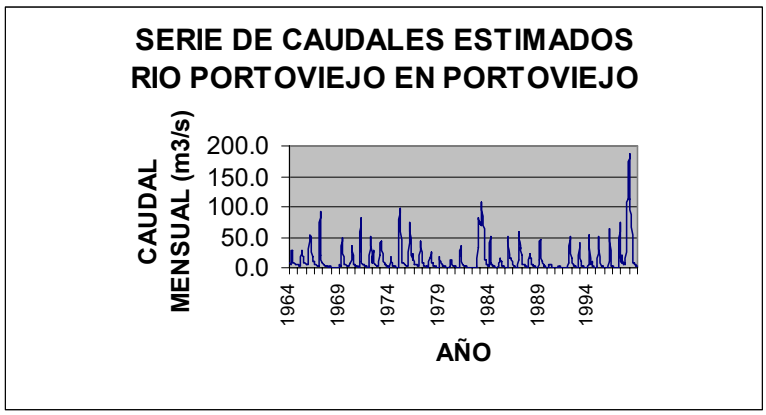


Figura 2.2.2.3.2: Serie de Caudales Estimados del Río Portoviejo en Portoviejo

Análisis probabilístico

En primer lugar se realizó el análisis de frecuencia de los caudales mensuales resultando una distribución cuya moda o rango de valores más frecuentes está entre 1 y 5 m^3/s, es decir corresponde al rango más bajo de caudales. Esto indica una distribución de probabilidades sesgada con cola en los caudales altos. La frecuencia así obtenida se presenta en la figura y cuadro a continuación.

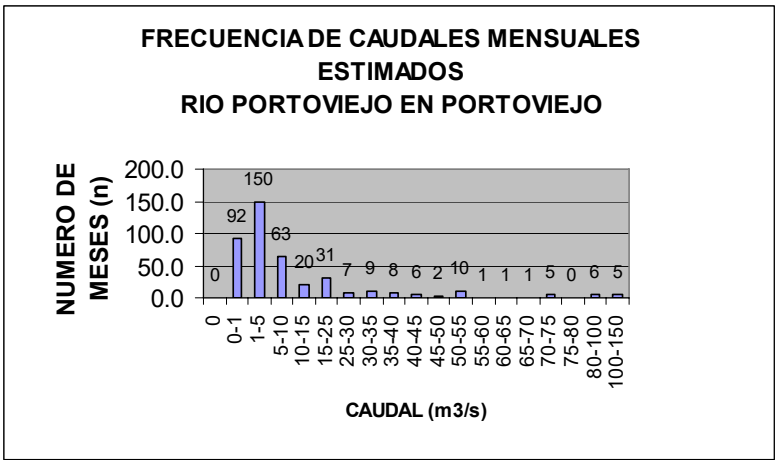


Figura 2.2.2.3.3: Frecuencia de caudales mensuales estimados en el Río Portoviejo en Portoviejo

Tabla 2.2.2.3.4: Resumen de distribución de Frecuencia de Caudales Mensuales

Rango de Caudal (m3/s)	0-1	1-5	5-10	10-15	15-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50
Frecuencia n	92	150	69	20	31	7	9	8	6	2

Curva de duración general

Por otra parte los caudales mensuales fueron ajustados a una distribución probabilística biparamétrica tipo Gamma y comparados con los valores de la distribución empírica para los 417 valores como se observa en la figura.

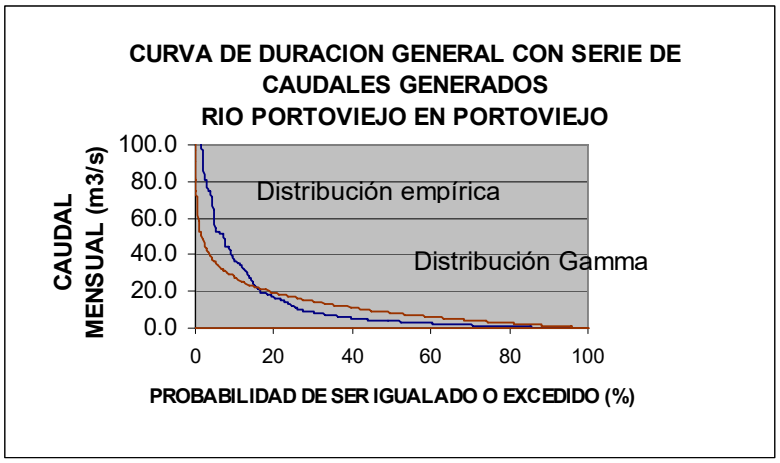


Figura 2.2.2.3.4: Curva de duración general con serie de caudales generados Río Portoviejo en Portoviejo

De la distribución de valores empíricos se determina que los caudales en años húmedos con probabilidad 10% de ser igualados o excedidos están en el rango de los 35 m3/s . El promedio es cerca de 12.4 m3/s, el caudal con 50% de probabilidad de ser mayor o menor

es 3.8 m3/s y el caudal de estiaje con 90% de ser excedido es 0.1m3/s.

Debido a que los caudales más altos y que más sedimentos acarrean son caudales de crecida con muy baja frecuencia de ocurrencia, se requiere realizar un análisis específico para este tema.

Análisis de caudales diarios

Para este análisis se procesaron los caudales diarios registrados en el embalse de Poza Honda, para el período septiembre 97 – Mayo de 99, es decir incluyendo el extraordinario Niño 97-98.

La serie resultante es una serie parcial de caudales diarios, pero que por concordar con un período lluvioso es de utilidad para el propósito de caracterizar hidrológicamente al río. Como se puede ver en la gráfica de comparación adimensional, los caudales diarios menores tienen una persistencia más alta por ser un período húmedo y un régimen más regular como

corresponde a la curva de caudales mensuales que incluye un régimen con gran variabilidad con altos caudales de crecida eventuales y una alta persistencia de caudales bajos incluso cercanos a cero como corresponde al régimen semiárido como el del río Portoviejo.

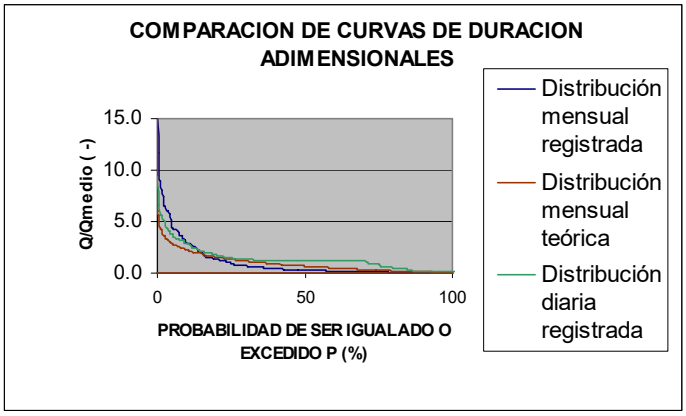


Figura 2.2.2.3.5: Comparación de curvas de duración adimensionales

El Niño 97-98

En la figura a continuación se presenta los caudales mensuales registrados en Poza Honda para el período 1982-1999, en el que sobresale muy claramente el pico de caudales del Fenómeno El Niño 97-98.

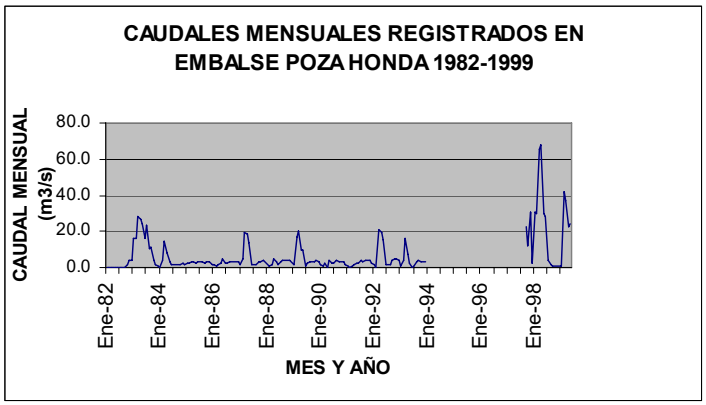


Figura 2.2.2.3.6: Caudales mensuales registrados en embalse Poza Honda 1982-1999

Graficando este período con caudales diarios, se observan picos de mayor magnitud que corresponden principalmente a los meses de marzo y abril de 1998, el período de mayor afectación del reciente Fenómeno de El Niño.

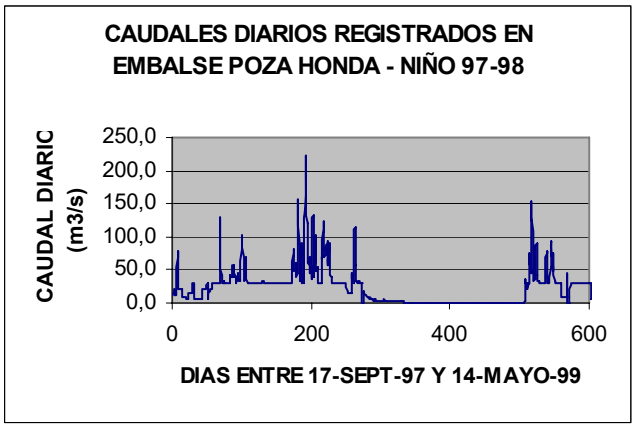


Figura 2.2.2.3.7: Caudales diarios registrados en Embalse Poza Honda –Niño 97-98

De este período se obtuvieron los registros de caudales horarios, que corresponden a varios hidrogramas de crecida registrados a la salida del embalse Poza Honda. A fines de 1997 se presentaron 2 crecidas de mediana magnitud. Entre marzo y abril de 1998 se presentaron 6 crecidas de las cuales 3 de extraordinaria magnitud. Todavía en junio de 1998 se registró una crecida adicional de mediana magnitud y otra similar en el invierno de 1999.

Para tener una mejor aproximación de los caudales naturales de crecida en el ingreso al embalse de Poza Honda, se reconstruyeron los hidrogramas a partir de la ecuación de balance hídrico y con los datos de

volúmenes de almacenamiento y caudales de descarga por los túneles y por el vertedero de excesos. Se observa que la laminación es significativa en particular para las crecidas de menor tamaño.

Tabla 2.2.2.3.5: Crecidas Registradas en Poza Honda

Período El Niño 97-98

FECHA DE CRECIDA	CAUDAL PICO INGRESO	CAUDAL PICO SALIDA	VOLUMEN TOTAL	LAMINA EQUIVALENTE DE LLUVIA EF.
	(m3/s)	(m3/s)	(m3*10¨6)	(m3*10¨6)
24-Nov-97	212	148	15.2	89.4
25/27-Dic-97	387	138	21.8	128.2
16/18-Mar-98	724	222	21.2	124.7
22/24-Mar-98	246	107	16.0	94.1
25/31-Mar-98	690	322	27.4	161.2
6/8-Abr-98	605	232	22.6	132.9
10/13-Abr-98	306	134	10.8	63.5
20/23-Abr-98	424	148	26.3	154.7
26/29-Abr-98	349	130	9.9	58.2
5/6-Jun-98	168	105	20.5	120.6
15/17-Feb-99	142	84	26.2	154.2

Tomando la crecida del 25 al 31 de marzo y con las características de la cuenca y la lluvia, se reproduce las características de los hidrogramas de entrada y salida al embalse. Con ello se verifican de manera aproximada los parámetros adecuados para generar las crecidas en Portoviejo.

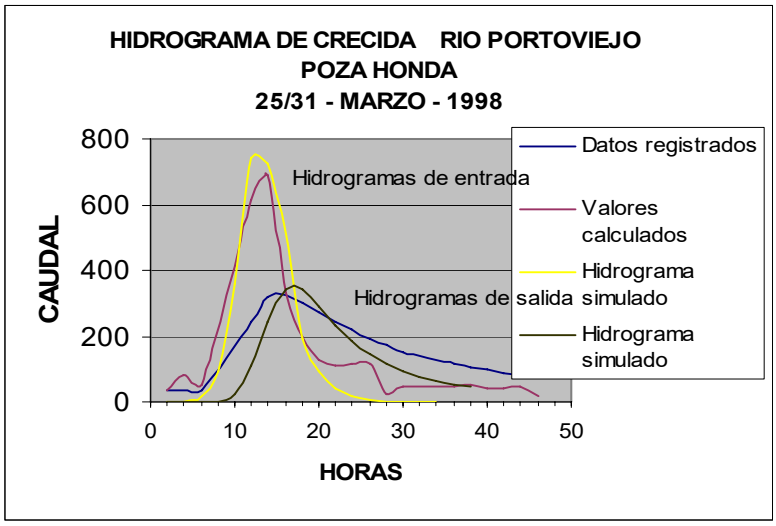


Figura 2.2.2.3.8: Hidrograma de crecida Río Portoviejo en Poza Honda

2.2.2.4 Estudio de Caudales de Crecida

Análisis de los hidrogramas

Del análisis de los 11 hidrogramas registrados, se obtiene que el tiempo base de los hidrogramas varía entre los 8 y 14 horas de duración con un promedio de 11 horas. El tiempo al pico varía entre 4 y 8 horas con un promedio de 5 horas equivalente al 45% del tiempo base. Ello significa un hidrograma bastante simétrico y con un ascenso y descenso bastante rápido ocasionado por la pequeña extensión de la cuenca.

Duración de las lluvias

De manera correspondiente, la duración de la lluvia está en el rango de las 6 horas, aproximadamente coincidente con la duración del tiempo al pico. Para fines de cálculo se adopta esta misma duración. Ello no significa que no llueva más allá de este tiempo, sino que en éste período se produce un alto porcentaje de

la precipitación que es la que justamente da origen al hidrograma de crecida.

Lluvia de cálculo

La intensidad dada por las curvas I-D-F Zona 1, elaboradas por la NIPON KOEI CO., LTD. durante el Estudio de Diseño Detallado de los Esquemas de Trasvase de Agua para las Cuencas de los Ríos Chone y Portoviejo, arroja los valores de intensidad presentados en el cuadro. Como se puede observar los valores ocurridos durante El Niño 97-98 superan los estimados por el estudio de JICA.

De los registros de lámina de lluvia efectiva calculada a partir de los hidrogramas registrados en Poza Honda se obtienen lluvias extraordinarias alrededor de 150 mm que equivalen a aproximadamente 170 mm de lámina total usando un factor de mayoración obtenido de la calibración realizada con el modelo HIDRO1. Otro grupo de lluvias fuertes alrededor de los 120 mm equivalen a una lluvia total de 135 mm. Por último el

grupo de las lluvias moderadas en el rango de los 70 mm equivale a una lluvia total de 80 mm. **El registro de la tormenta máxima registrada en la estación Manta durante el Fenómeno de El Niño 97-98 fue de 169.2 mm en 6 horas, equivalentes a una intensidad media de 28.2 mm/h.**

Tabla 2.2.2.4.1: Intensidad y lámina de lluvia para 6 horas

Tr	100	50	25	10
I Jica (mm/h)	18.0	16.0	14.0	12.5
P Jica (mm)	108	96.0	84.0	75.0
P estimado(mm)	170	135	100	80
P cuenca (mm)	114	90	67	54

Como aproximación se adoptan los valores estimados asignando a los grupos los períodos de retorno de 100, 50 y 10 años respectivamente. Para el período de retorno de 25 años se adopta un valor intermedio. Como coeficiente de reducción areal se adopta la curva del estudio de JICA, que arroja un coeficiente de 67% para una cuenca de aproximadamente 1000 Km2, obteniéndose las lluvias de cálculo para la cuenca y

para los distintos períodos de retorno que se presentan en el cuadro anterior.

Generación de crecidas para Portoviejo

Con los valores de área, desnivel, longitud de cauce, características de la lluvia, más los parámetros de calibración obtenidos, se aplica el modelo HIDRO1 para generar las crecidas requeridas en el sitio de proyecto.

Para la simulación de la cuenca se genera el hidrograma en la cuenca de Poza Honda y se lamina el mismo a través del embalse, ingresando para ello los datos de la curva cota-almacenamiento y las características del vertedero de excesos. La crecida así laminada se transita a través del cauce mediante el método de Muskingum-Cunge. Posteriormente se genera el hidrograma en la intercuenca entre Poza Honda y Portoviejo y se acumulan los resultados de ambos.

Los hidrogramas resultantes del Río Portoviejo en Portoviejo para los distintos periodos de retorno calculados se presentan en la figura adjunta.

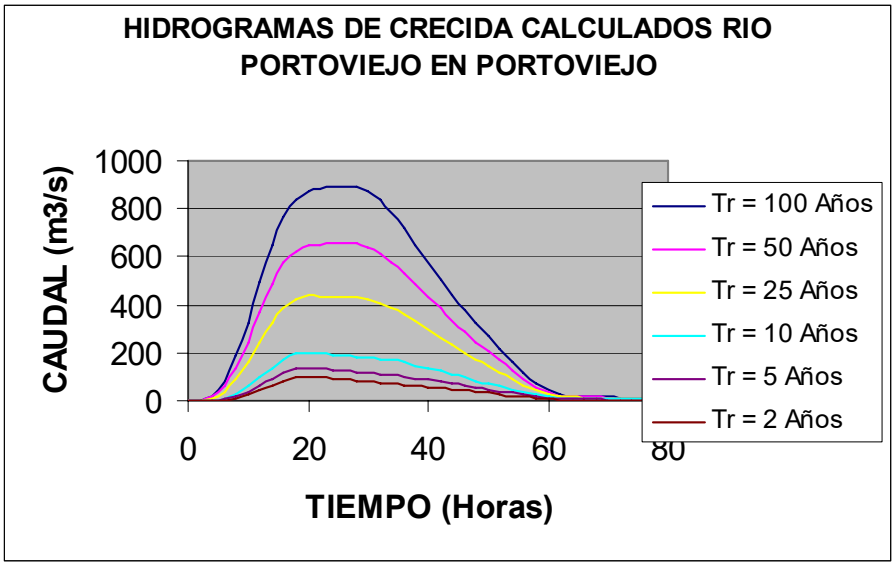


Figura 2.2.2.4.: Hidrogramas de crecida calculadas en el Río Portoviejo en Portoviejo

Los resultados en forma numérica se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 2.2.2.4.2: Tiempos de retorno, caudales, volúmenes y Tiempo pico de los Hidrogramas de las crecidas del Río Portoviejo en Portoviejo

Tr (Años)	**Qmax** (m3/s)	**Vol** (m3 x 10^6)	**T pico** (Horas)
100	895	107.3	24
50	657	80.3	24
25	440	54.4	18
10	203	24.6	18
5	138	16.1	18
2	103	11.2	18

2.3 Hidrogeología

2.3.1 Alajuela

Alajuela está comprendida dentro de la Cuenca del Río Portoviejo por lo que su descripción a nivel hidrogeológico también está contenido en esta cuenca.

Cuenca del Río Portoviejo

La información que se describe a continuación fue obtenida en la Ilustre Municipalidad de Portoviejo, destinada a la ejecución de varios proyectos cantonales.

Aguas Subterráneas-Acuíferos

Es la cuenca más extensa de la zona. Recorre una longitud del orden de 100 km desde sus nacientes en la prolongación al NE de la cordillera de Colonche hasta su confluencia en el océano Pacífico (13).

La longitud de recorrido del río Santa Rosa (tributario del río Portoviejo) hasta la zona de Caza Lagarto es del orden de 45

km, asegura una amplia zona de recarga por pluviosidad y es calculada según el IEOS, 1984 en 180 x 10^3 m^3 (13).

En la zona de Caza Lagarto, donde se ubican las fuentes del sistema de Agua Potable para Portoviejo y Manta, se ha definido según el IEOS, 1984, un acuífero semiconfinado formado por una secuencia de estratos aluviales de gravilla en matriz arenosa, areno arcillosa o arcillo arenosa, interestratificados con estratos predominantemente finos (arcillosos) los cuales le otorgan el carácter de semiconfinado. Estos acuíferos relativamente pobres, según son descritos en las perforaciones, permiten tener un caudal específico promedio del orden de 0,5 l/s/m en un espesor no mayor a los 30 m. Tienen una importante reserva para recarga desde el río Portoviejo del orden de 1,67 x 10^3 m^3, actualmente regulada por la presa Rafael Barragán (13).

El potencial hidrogeológico puede ser calificado como bueno por la recarga permanente, por la extensión de la cuenca y el ancho del valle aluvial.

En la cuenca baja del río Portoviejo, cerca de Rocafuerte, el acuífero útil lo constituyen los sedimentos arcillo arenosos o limo arenosos del valle aluvial, alrededor de las márgenes del río. Este acuífero debe ser necesariamente limitado en forma lateral debido al incremento de sales provenientes de la disolución de sulfatos y carbonatos desde las formaciones sedimentarias vecinas. Cerca de las márgenes del río Portoviejo, en la zona de Puerto Cañitas, existen pozos artesanales y perforados a poca profundidad que reciben la recarga principalmente del río Portoviejo.

Cauce del Río Portoviejo

Las cuencas de este río son las más cercanas y entran a la zona urbana de la ciudad de Portoviejo, pero no presentan un caudal permanente, a la vez que el mínimo apreciable no es apto para el consumo humano. Por su contaminación o por el alto contenido de sales en disolución que aportan las formaciones geológicas atravesadas (Fm Tosagüa), se desmejora la calidad del agua para consumo humano. Los aluviales tienen un predominio de sedimentos finos y sus cursos medios y bajos reciben el aporte de aguas negras. Estas cuencas no presentan un recurso hidrogeológico favorable.

Es posible deducir que el río Portoviejo tiene características típicas de los ríos de llanura, con pendientes longitudinales bajas, y cauces compuestos por un canal principal y amplios cauces de inundación. En el caso del río Portoviejo se observa que los cauces de inundación han sido invadidos con la construcción de viviendas, edificios, muros, terraplenes, etc. Es particularmente evidente que varios puentes construidos en la ciudad estrechan importantemente la sección hidráulica del río, influenciando significativamente el comportamiento hidráulico y fluviomorfológico del río, especialmente durante los eventos extraordinarios de crecidas como las que se registran durante el fenómeno del Niño. Por otro lado la presencia natural de vegetación observada en el lecho y cauces de inundación puede aumentar significativamente la resistencia al flujo y elevar los niveles de agua.

La combinación de los factores antes mencionados explican la enorme sedimentación registrada luego del fenómeno del Niño de 1997 y 1998, que en determinados lugares incrementó los niveles de los terrenos aledaños en alrededor de 1.5 a 2 metros, afectando las viviendas y estructuras que se

encontraban en las zonas de inundación.

La Figura 2.3.1.1 ilustra la información batimétrica del cauce y la información granulométrica disponible en el río Portoviejo en diferentes abscisas.

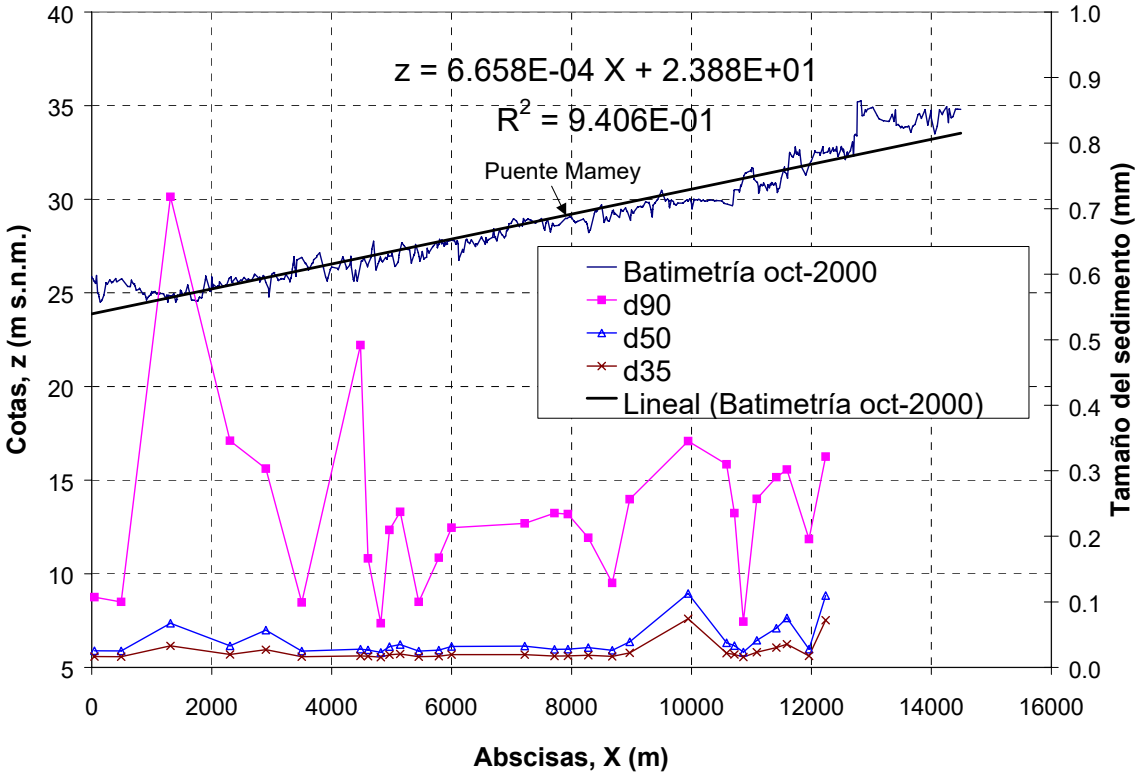
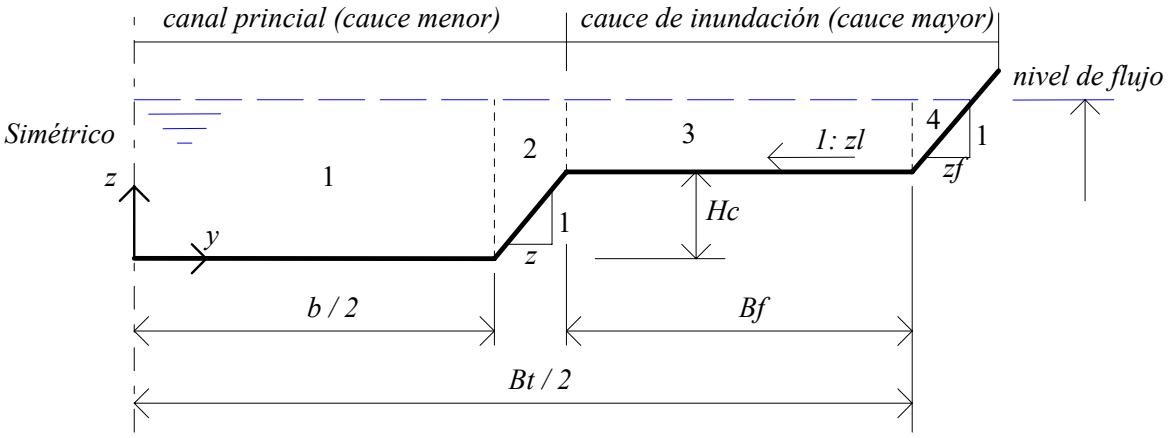
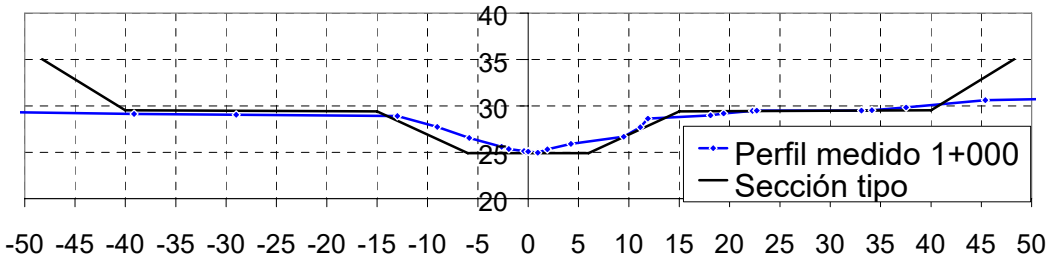
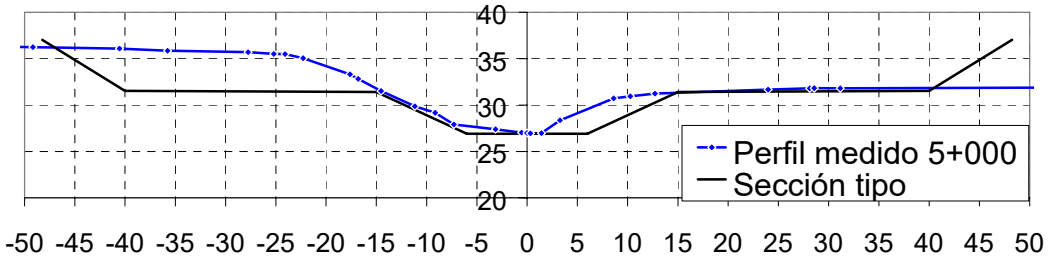


FIGURA 2.3.1.1: **Figura 2.3.1.1 : Información batimétrica y granulométrica del Río Portoviejo**

Fuente: Estudios Hidráulicos y Fluviomorfológicos para el diseño de la Sección Estable del Cauce del Río Portoviejo


canal princial (cauce menor)
cauce de inundación (cauce mayor)
nivel de flujo
Simétrico
z
y
1
2
3
4
1
1
1: zl
zf
z
Hc
b / 2
Bf
Bt / 2


40
35
30
25
20
-50 -45 -40 -35 -30 -25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
Perfil medido 1+000
Sección tipo


40
35
30
25
20
-50 -45 -40 -35 -30 -25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
Perfil medido 5+000
Sección tipo

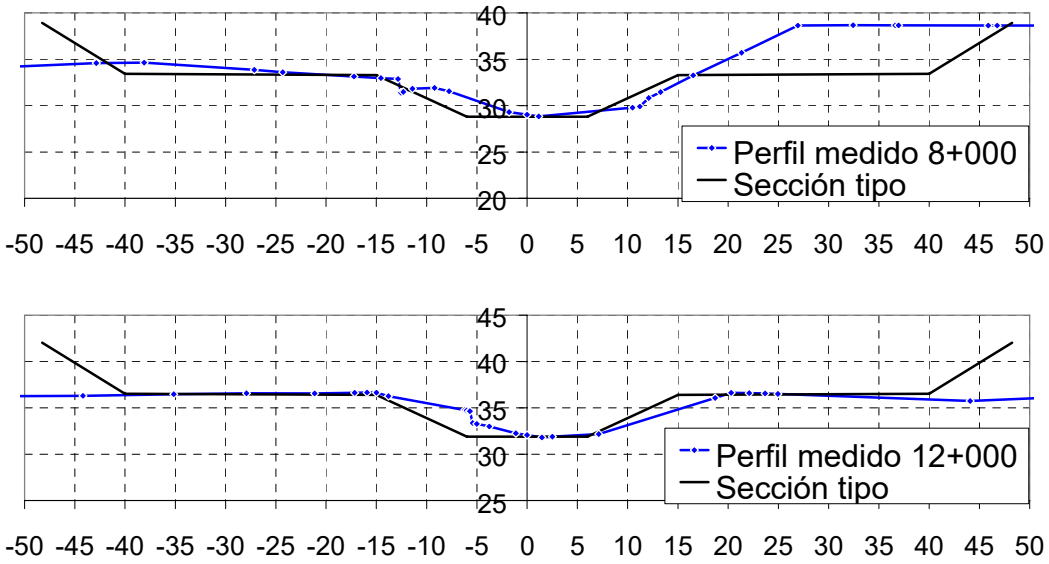


FIGURA 2.3.1.2 :Comparación de la sección estable con perfiles transversales del río Portoviejo

Fuente: Estudios Hidráulicos y Fluviomorfológicos para el diseño de la Sección Estable del Cauce del Río Portoviejo

Procesos Hidrogeológicos en las Laderas

La ciudad de Portoviejo está rodeada por colinas en las cuales se tiene la presencia de la Formación Geológica Tosagua, que tiene estratos de baja resistencia ya que se consideran rocas blandas a muy blandas. La capa de suelos existente oscila entre 30 y 50 cm, hay muy poca vegetación de árboles, pocos arbustos y se evidencia erosión ya que se aprecian grandes áreas de lutitas tobáceas expuestas.

Las precipitaciones que pueden ocurrir en el sector de Portoviejo son variables, como se anotó anteriormente, desde 529 mm/año, las que pueden incrementarse notablemente en el Fenómeno El Niño hasta valores que superan los 2000 mm/año. El efecto de estas precipitaciones sobre dichos terrenos constituidos principalmente por rocas blandas genera en primer lugar un alto grado de erosión, debido a la velocidad de los caudales que no se infiltran en los estratos, lo que genera erosión superficial.

Otro proceso muy importante constituye el flujo a presión que se desarrolla a través de las numerosas fracturas, debidas al tectonismo y grietas de disecación o alterabilidad. Esta infiltración y flujo genera el desprendimiento de gran cantidad de fragmentos y en las fases finales provoca los movimientos de masas.

Tal como se ha mencionado, el Río Portoviejo ha recibido, en la ciudad del mismo nombre, de 1.5 a 2 m de espesor de sedimentos erosionados, siendo un alto porcentaje proveniente de las colinas próximas.

Este análisis permite asegurar que el principal flujo de agua subterráneo en las colinas es subsuperficial y probablemente profundo en los casos donde hay una intensa fracturación de origen tectónico, sobre este último aspecto no se han encontrado suficiente evidencia.

2.3.2 Cantón Sucre

Bahía de Caráquez

El denominado cantón Sucre, tiene como su principal población la ciudad de Bahía de Caráquez, la cual ha sido construida al pie de un grupo de colinas que lindera con el mar y también mediante rellenos que han ganado terrenos a la bahía.

La construcción de esta ciudad ha sido tan anárquica que ha ocupado áreas de esteros y valles aluviales, sin considerar los requerimientos del drenaje natural.

Dentro del punto de vista geohidrológico, las precipitaciones que son poco frecuentes dan lugar a una gran sequía en importantes períodos, únicamente el Fenómeno El Niño genera intensas y prolongadas precipitaciones que caen sobre aquellos terrenos resecados previamente por la ausencia de lluvias, lo cual genera procesos de erosión superficial y profunda, a partir

de esta última deslizamientos de masas de suelos y rocas muy fracturadas.

Los deslizamientos ocurridos fueron de tipo rotacional, en rellenos de quebradas y en laderas. Los más destructivos fueron los aludes de lodo y fragmentos de roca que cubrieron los cauces superiores y los pequeños valles.

Como muchos lugares donde existen períodos de sequía, las lluvias primero saturan los materiales sueltos luego de lo cual empiezan a movilizarlo por la acción de las presiones internas del flujo de agua subsuperficial y profundo.

Un área considerada crítica es aquella que se tiene en los márgenes del malecón en donde se han realizado rellenos, ganando terreno al mar. Estos volúmenes de material son particularmente inestables por cuanto pueden estar sometidos tanto a flujos de agua provenientes de las laderas, como a la acción del cambio de mareas en la bahía; el pero efecto se puede tener cuando hay una coincidencia entre las mareas ascendentes y las grandes precipitaciones que actúan en las laderas.

En el último Fenómeno El Niño (1997-1999), la ciudad de Bahía de Caráquez sufrió la mayor destrucción ocurrida desde su fundación colonial. Se deslizaron muchas laderas y se generaron aludes que cubrieron los valles y hondonadas, destruyendo viviendas y otras obras comunales y causando pérdidas de vidas humanas.

San Vicente

Es el lado opuesto de la bahía en donde también se ha producido una gran incidencia de las precipitaciones, luego de períodos secos, las mismas que han generado aludes y también movimientos de masas tipo deslizamientos.

Las condiciones geohidrológicas son similares a aquellas que se tienen en Bahía de Caráquez, con la diferencia de que existe una mayor área plana, que es el asentamiento urbano y que está bordeada por una colina alargada de fuerte pendiente. Al igual que en Bahía de Caráquez, en el último fenómeno El Niño se produjeron aludes y también deslizamientos rotacionales y traslacionales.

2.3.3 Jipijapa

Es una de las poblaciones que se ha desarrollado en las partes más altas de la provincia de Manabí, ya que está entre las cotas 400 y 450. Los terrenos presentan características muy similares a varios sectores de esta provincia, en donde aflora la Formación Tosagua y donde, desde hace varias décadas, se está produciendo la eliminación sistemática de la vegetación natural.

La población se ha desarrollado en la parte más baja y en los costados de una hoya topográfica por cuya parte central atraviesa el Río Jipijapa, el mismo que ha sido encauzado mediante alcantarillas. Esta población ha sufrido varios deslizamientos, aludes y taponamientos del río, por causa de las acciones antrópicas, que a su vez ha provocado inundaciones.

Lo antes descrito señala que la población de Jipijapa, puede ser muy afectada por la presencia de las lluvias y por la acción geodinámica del agua que puede generar efectos de erosión, flujos de sedimentos y movimientos de masas como ya ha ocurrido. Al igual que en los casos anteriores se considera que la causa principal de la erosión y movimientos de masas es el flujo subsuperficial y superficial que puede ocurrir en condiciones anormales (asentamientos irregulares, rellenos de quebradas, cortes de terreno, alcantarillas en cauces para desviar el cauce del río y demás acciones antrópicas).

2.3.4 Manta

La ciudad de Manta se encuentra ubicada en la parte final de un terreno de suave pendiente y en las estribaciones del Cerro de Montecristi. Cuando se producen precipitaciones, en los primeros días ocurre un proceso de infiltración, después empieza a producirse el flujo subsuperficial y finalmente el superficial. Dependiendo del sector de Manta y de las características topográficas, en especial las hondonadas y quebradas, la incidencia del flujo subsuperficial tiene su mayor efecto.

Adicionalmente a esto, se debe considerar que el desarrollo urbano ha requerido la ejecución de varios cortes y rellenos, en algunos casos ocupando los drenajes naturales. Este hecho constituye indudablemente una modificación al régimen natural de flujo, por lo que se puede esperar comportamientos anómalos que en todo caso tiendes a desestabilizar las masas de suelos.

Los casos más notables encontrados en la ciudad de Manta, constituyen la ocupación de los cauces superiores de los ríos y esteros. Es muy conocido el caso del Río Burro, en el cual se han construido varios planes de vivienda que han sido muy afectadas por las crecidas de dicho río, en especial por los flujos subterráneos en las masas de suelos rellenadas. El último Fenómeno El Niño fue uno de los más desastrosos para los habitantes de aquel sector, lamentablemente no se aprende de las experiencias ni se corrigen los errores pues actualmente se puede ver una línea hasta donde llegaron los caudales que es aproximadamente de 1.5m de altura en la pared de una vivienda.

La incidencia de los flujos subsuperficiales es muy importante porque se ha constatado no sólo deslizamientos en laderas habitadas sino también asentamientos o colapsos de viviendas.

2.3.5 Montecristi

Este cantón se ha desarrollado al pie del Cerro de Montecristi, desde hace varios siglos y en las últimas décadas una gran cantidad de viviendas se han asentado en las laderas, arriba de la antigua población.

Desde épocas de la colonia se han reportado la existencia de acuíferos al pie del Cerro Montecristi, que han proporcionado agua dulce tanto a los aborígenes como a los nuevos pobladores. El acuífero ha sido analizado en los últimos años por cuanto en ese mismo sector se produjo en el año de 1998 un gran deslizamiento que estuvo a punto de causar la destrucción de la población de Montecristi.

La interpretación hidrogeológica que se ha dado es que existiendo el Cerro de Montecristi, que está constituido por roca basáltica, está en discordancia angular con depósitos de rocas

sedimentarias más jóvenes, que tienen buzamientos ligeramente inclinados hacia el talud rocoso de la formación basáltica. Esta situación ha dado lugar a que teniéndose rocas permeables como las areniscas de la formación Tosagua, también se tienen niveles lutíticos que pueden por un lado garantizar un fondo impermeable y por otro regular el ingreso de agua hacia las capas acuíferas. La acumulación de agua propiamente dicha se produce por una recarga de agua proveniente de las partes altas montañosas y húmedas del Cerro Montecristi, donde el agua se infiltra hasta llegar a las areniscas y se almacena en virtud a un fondo impermeable.

Antes de la intervención antrópica moderna, el acuífero se mantenía en equilibrio, se acumulaban aguas subterráneas y también se drenaban los excedentes hacia las quebradas naturales del sector. Hace aproximadamente 20 años con la finalidad de aprovechamiento recreacional, se excavó una gran planicie sobre el depósito acuífero, eliminando las suelos arcillosos impermeables que cubrían parte de la ladera, permitiendo el empozamiento y la infiltración de las aguas lluvias hacia el interior del depósito acuífero, dando lugar a un literal desborde de las aguas acumuladas hacia la ladera

natural, generando un nuevo flujo de agua pro el contacto del depósito coluvial y las formaciones rocosas sedimentarias. Se ha determinado que esta fue la causa fundamental al gran deslizamiento de Montecristi.

2.3.6 Puerto López

Se ha determinado que el área en al cual está asentada la población de Puerto López es un delta aluvial que se activa o lo que es lo mismo, transporta y deposita sedimentos cada cierto tiempo. La incidencia que ha tenido este fenómeno ha sido mucho más intensa debido al crecimiento habitacional de la población.

Al hacer un recorrido de campo se observa en el terreno gran cantidad de zanjones de diferentes profundidades en los cuales se aprecia la pérdida de finos con los flujos de agua entre partículas y la caída sucesiva de pequeños volúmenes de suelo, que hacen agrandar progresivamente los zanjones y cauces nuevos, siendo una de las mayores fuentes de sedimentos. Es decir, se evidencia un activo flujo subsuperficial.

Al realizarse el estudio, no se encontraron acuíferos o acumulaciones de agua subterránea de importancia, ya que no existen condiciones en las formaciones geológicas ni en los depósitos, por la presencia predominante de lutitas, limolitas y suelos finos. Los depósitos aluviales de los pequeños ríos allí existentes son areno gravosos de pocos metros de espesor, pese a que actualmente cubren casi todo el cauce.

Se observan muchos sectores inestables, irregulares: zanjones y quebradas claramente erosionadas, áreas planas con canales de drenaje perdidos y terrenos de poca pendiente con señales claras de colapso, terrenos sin vegetación y polvosos (cuando no existen lluvias).

En el último Fenómeno El Niño 97-99, un 60% de la población de Puerto López fue cubierta por una capa de suelos provenientes de la erosión y aludes, cuyo espesor fue de 0.5 a 2 m, causando un grave daño económico a la población. También se pudo constatar la ocurrencia de deslizamientos tipo alud, de grandes masas de suelos y rocas acumuladas por la erosión, las mismas que fueron movilizadas por el efecto del flujo de las aguas superficiales y subsuperficiales a presión.

2.4 Propiedades de los Suelos y Rocas en las Zonas de Estudio

En la tabla que se presenta, se muestran los resultados obtenidos de las prospecciones geomecánicas realizadas para diferentes proyectos, teniendo en cuenta las formaciones geológicas y dentro de éstas, las litologías presentes.

Tabla 2.4: Propiedades de los Tipos de Rocas y Suelos encontrados en la Provincia de Manabí

PROPIEDADES DE LOS TIPOS DE ROCA Y SUELOS ENCONTRADOS EN LA PROVINCIA DE MANABI										
FORMACION O DEPOSITO	DESCRIPCION DE LOS MATERIALES PREDOMINANTES.	RANGO DE PROPIEDADES INDICE				RANGO DE PROPIEDADES GEOMECANICAS				
		)Ton/m^3(γ	LP(%)	IP(%)	Clasif.SUCS	R_c-q_u(ton/m^2)	Φ^o	C(Ton/m^2)	Esfuerzo Expansivo	CSIR
Piñón en canteras	Rocas ígneas muy duras, frescas a poco alteradas, fracturadas a muy fracturadas.	2.2 a 2.5	No tiene	No tiene	Roca Fuerte a muy fuerte	2800 a 4500	31 a 34	Alta	No hay	II a III
Piñón en horizonte alterado.	Rocas ígneas de mediana a alta dureza, alteradas, muy fracturadas.	2.1 a 2.3	No tiene	No tiene	Roca Fuerte	2500 a 2800	30 a 32	Alta	No hay	II a III
Cayo	Rocas sedimentarias silicificadas de mediana a baja dureza, medianamente alteradas a alteradas y muy fracturadas.	1.9 a 2.2	No tiene	No tiene	Roca moderadamente fuerte	1500 a 2000	28 a 32	50 a 300	No hay	IV
San Eduardo	Rocas sedimentarias finas y calcáreas, de baja dureza, alteradas y de muy fracturadas a fragmentadas.	1.8 a 2.1	No tiene	No tiene	Roca moderadamente fuerte	800 a 1200	29 a 32	20 a 60	No hay	IV
San Mateo facie gruesa.	Areniscas y conglomerados de dureza baja, alteradas y poco a medianamente fracturadas.	1.7 a 2.0	No tiene	No tiene	Roca Blanda	350 a 500	25 a 28	5 a 20	No hay	III a IV
San Mateo facie fina.	Areniscas finas, limolitas y lutitas de baja dureza, alteradas a completamente alteradas y fragmentadas.	1.8 a 2.0	No tiene	No tiene	Roca blanda a muy blanda	300 a 400	25 a 28	7 a 28	< de 5	
Tosagua	Lutitas fisibles de muy baja dureza, muy alteradas a descompuestas y fragmentadas.	1.7 a 2.0	No tiene	No tiene	Roca blanda a muy blanda	80 a 150.	25 a 28	6 a 16	10 a 35	V
Charapotó	Limolitas tobáceas y lutitas fisibles, de muy baja dureza, alteradas a descompuestas y fragmentadas.	1.7 a 2.0		CL – ML	Roca blanda a muy blanda	95 a 200	25 a 29	7 a 20	1 a 5	V
Onzole suelo residual.	Suelos arcillo limosos color habano con fragmentos de lutitas del tamaño de gravas. Consistencia media y deleznables en estado seco y blandos en estado húmedo. Indicios de expansividad en los primeros 60 cm de las coberturas.	1.4 a 1.6			CL – ML CH – MH		14 a 21	4 a 14	4 a 20	
Onzole, horizonte alterado.	Horizonte de roca muy alterada y fragmentada formado por limolitas y lutitas blandas a poco consistentes y deleznables.	1.7 a 2.0	No tiene	No tiene	Roca blanda a muy blanda	15 a 50	20 a 26	5 a 20	5 a 15	V

2.5 Deterioro de Suelos y Rocas Blandas: Meteorización y Alterabilidad de las Rocas

2.5.1 Meteorización

Se denomina meteorización a la modificación, en su composición o textura, que sufren las rocas situadas en las superficies o en su proximidad, por la acción de agentes atmosféricos.

El estudio de grado de meteorización del material rocoso, es de particular importancia, ya que la meteorización ha producido efectos significativos en sus propiedades físico-mecánica.

Existen dos clases de meteorización, en dependencia de cómo haya ocurrido el deterioro y la transformación de las rocas y el macizo rocoso: la meteorización química y la física.

Tanto la meteorización física, como la química son procesos complejos y la susceptibilidad de una roca a ser meteorizada, depende además de las condiciones ambientales, de otros muchos factores, tales como: la textura, su composición

mineralógica, la permisividad del flujo y las estructuras secundarias que presenta la roca.

La meteorización física se puede manifestar en muchas formas, por ejemplo: arranque directo de partículas por la erosión, afectaciones por la congelación del agua contenida en grietas y fracturas del macizo por cambios de volúmenes en las rocas, debido a la variación de temperatura, pérdida de resistencia de la roca por efecto del agua, acción de las plantas, en particular de sus raíces y otras.

La meteorización química comprende una serie de reacciones de oxidación, hidratación, hidrólisis, carbonatación y disolución, en las cuales los reactivos más importantes son: el agua, el oxigeno, el dióxido de carbono y los ácidos orgánicos.

La presencia de la vegetación, en particular en zonas húmedas y cálidas, favorece a la meteorización química debido a la presencia de agua, con contenidos significativos de oxígeno, dióxido de carbono y ácidos orgánicos provenientes de la vegetación.

La topografía es un factor muy importante, siendo la meteorización mayor en los sitios de menor pendiente, aumentando la profundidad de meteorización en los sectores inferiores de taludes y ladera.

La meteorización química se ve favorecida en estos casos, ya que se facilita la circulación del agua por el macizo; es por ello que en ocasiones, la presencia de roca muy meteorizada se relaciona con la manifestación e intensidad de estos defectos estructurales en los macizos rocosos.

La meteorización afecta, más significativamente, a las zonas superficiales del macizo rocoso, favoreciendo su ulterior descomposición, la que produce cambios en el estado y composición de la roca, fenómeno éste, que va profundizándose en el macizo con el tiempo.

Es importante señalar que la meteorización como proceso natural ha actuado en largos períodos geológicos, cientos de miles y más seguramente, millones de anos. La máxima etapa de la meteorización es la formación de suelos en la superficie del macizo rocoso, bajo estos suelos, generalmente arcillosos

que incluyen vegetación, se encuentran suelos de mayor granulometría y empiezan a aparecer clastos en la base de esta segunda capa. A continuación se tienen clastos englobados en una matriz de suelos, luego fragmentos de roca y finalmente la roca fracturada y a una cierta profundidad, la roca sana; consecuentemente la meteorización proporciona parámetros medibles y cuantificables previo a la ejecución de los diseños y construcción de las obras de ingeniería (28).

2.5.2 Alterabilidad

Es el proceso de deterioro a corto plazo, que afecta a los macizos rocosos que previamente han sufrido de meteorización (28), aparenta ser predominantemente físico, en el sentido que él se produce por la pérdida de adhesión entre los granos minerales y por la generación de microfisuras y no por la transformación de los minerales a causa de procesos químicos, que es un procesos que ocurrió en la meteorización. Sin embargo, a este proceso habría que denominarlo preferiblemente químico-físico, por la acción de las aguas que se infiltran en condiciones que le son brindadas y que consiguen vías de acceso (erosionan, lavan los rellenos de las

juntas), a través de los planos de debilitamiento y por la ocurrencia de ciclos de humedecimiento y secado.

Las condiciones climáticas es el factor, que más condiciona el tipo de alterabilidad que se produce; así tenemos que la alterabilidad física ocurre preponderantemente en un clima seco; cálido o frío; en tanto que la química en un clima húmedo.

Otros factores que determinan el proceso de alterabilidad son: composición y estructura de los macizos rocosos, tiempo, cambio de la pendiente natural y el cambio del drenaje superficial y subterráneo (28).

Como se mencionó, anteriormente, el clima es un factor determinante en el desarrollo del proceso de erosión y en sus características morfológicas.

Numerosas investigaciones se han realizado desde los inicios del pasado siglo, sobre el efecto de la alterabilidad en las rocas y se han propuesto muchos índices para cuantificar el deterioro que sufren los macizos rocosos cuando son modificados por la acción antrópica; los que en una u otra forma se ha

correlacionado con sus características geomecánicas. También se ha sido estudiado el tiempo de alterabilidad de los diferentes macizos rocosos intervenidos.

El estudio y valoración del grado de deterioro (pérdida de calidad), que sufren las rocas y el macizo rocoso a causa del efecto de la alterabilidad es un aspecto de gran importancia y muchas veces no tenido en cuenta en los diseños de diferentes obras, lo que sin lugar a duda, puede ocasionar su pérdida de estabilidad con el tiempo.

El conocimiento del grado potencial de deterioro, que pueden sufrir diferentes tipos de rocas, en variadas condiciones ambientales y de cómo, este deterioro puede contribuir a la pérdida de estabilidad, posibilita una mejor interpretación del fenómeno de desestabilización del macizo y por ende, facilita la toma, con el tiempo necesario, de las medidas adecuadas para su prevención, control o mitigación.

Para obtener la información necesaria que permita hacer una correcta evaluación de la pérdida de calidad, que sufren las

rocas en laderas y taludes se realizan investigaciones que tienen como objetivo:

- Hacer una valoración cuantitativa del grado de meteorización y del macizo rocoso.
- Identificar las rocas y sectores del macizo más meteorizados o susceptibles de sufrir alterabilidad, caracterizando los más típicos y/o representativos.
- Delimitar los sectores del macizo más meteorizados y definir y caracterizar los materiales, que en ellos predominan.
- Definir, en cada sector de meteorización, cuáles son las propiedades de las rocas y del macizo, en su conjunto.
- Determinar diferentes índices, que se emplean para obtener una valoración cuantitativa del grado de deterioro de la roca y del macizo rocoso.

2.5.3 Valoración de la Meteorización

En cuanto a la definición de los diferentes grados de meteorización, existen múltiples proposiciones en la literatura especializada, por ello es recomendable que cualquier trabajo,

que se haga el efecto, para facilitar la comprensión de su resultados, se relacione con una de las clasificaciones existentes; en este caso se utiliza como referencial la clasificación dada, por el ISRM en 1981, que se muestra en la Tabla 2.5.3.1 (33).

TABLA 2.5.3.1. Clasificación ISRM de los Macizos Rocosos Meteorizados

Término	Descripción	Grado
Sano	Ningún signo visible de meteorización del material rocoso. Alguna ligera decoloración de las caras de las discontinuidades principales.	I
Ligeramente meteorizado	La decoloración indica la meteorización del material rocoso y las superficies de discontinuidad. Todo el material puede estar decolorado por la meteorización y podría ser algo más débil externamente, que en su estado sano.	II
Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o transformado en suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un entramado discontinuo o como bolos.	III
Altamente meteorizado	Más de la mitad del material rocoso se ha transformado en suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un entramado discontinuo o como bolos.	IV
Completamente meteorizado	Todo el material rocoso se ha descompuesto y/o transformado en suelo. La estructura del macizo original permanece prácticamente intacta.	V
Suelo Residual	Todo el material rocoso se ha convertido en suelo. La estructura del macizo y la textura del material están destruidas. Existe un gran cambio de volumen, pero el suelo no ha sido transportado significativamente.	VI

Fuente: ISRM (33)

Una forma concreta para definir la meteorización en los macizos rocosos puede ser la observación directa, mediante el empleo de calicatas y afloramientos naturales y artificiales de roca, para definir en ellos la composición de las capas meteorizadas, desde el suelo hasta llegar a la roca fracturada, definiéndose este espesor total como perfil de meteorización, el cual puede ser estudiado y caracterizado en todas sus capas, mediante ensayos in situ y de laboratorio (28) .

2.5.4 Índices para cuantificar el grado de alterabilidad

Los índices para cuantificar la alterabilidad se han dividido en: químicos, micropetrográficos y físicos.

Los índices químicos en los estudios geotécnicos son difíciles de utilizar, ya que además de tener un alto costo; la selección de un índice adecuado, depende de la composición mineralógica de la roca original y del tipo de alterabilidad que se produce.

Los índices micropetrográficos, pueden brindar aportes muy valiosos para evaluar los grados de alterabilidad en el macizo rocoso, sin embargo, lastimosamente, aún son poco utilizados a nuestro entender, por la gran trabajosidad que su determinación conlleva y que en parte, limita la realización de ensayos masivos.

Los índices físicos son los más usados en la práctica de ingeniería, ya que su determinación es más simple y menos costosa, además de ofrecer una adecuada confiabilidad, cuando los ensayos se diseñan correctamente.

A continuación se hace un breve análisis de los índices, actualmente, más empleados para cuantificar el grado de alterabilidad de los macizos rocosos.

Índices climáticos (N).-El clima ejerce una gran influencia en la alterabilidad, especialmente la humedad relativa y la temperatura. Este efecto se puede relacionar por el índice N, empleado por primera vez por Weinert´s en 1974 en Sudáfrica (34).

$$N = \frac{12E_M}{Pa}$$

Siendo:

E_M .- La evaporación en un mes; para su empleo se debe tomar el mes más cálido.

Pa .- Precipitación anual.

Un valor de N > 5 indica condiciones semiáridas, en las que predominan los fenómenos de alterabilidad física, como por ejemplo en algunas regiones andinas del Ecuador y Perú, en tanto que cuando N < 5, situación en la que predomina un clima húmedo, pueden existir grandes espesores de macizos meteorizados, como por ejemplo los de los países trópico andinos y en regiones de la costa ecuatoriana.

Índice de Arenosidad (I_a).- Se obtiene a partir de la facilidad con que un material (en nuestro caso la roca), puede ser cortado con un cuchillo, cuchilla u otro instrumento cortante. Como criterio para valorar este índice, se puede usar la

clasificación dada por Suárez en 1998 (35), que se ofrece a continuación en la Tabla 2.5.3.4 .

TABLA 2.5.3.4: Índice de Arenosidad

Grado de descomposición	Término de arenosidad	Modo de Reconocimiento
Fresco	Duro	No puede ser cortado, ni grabado.
Moderado	Arenoso	Puede ser cortado o grabado
Alto	Deleznable	Puede ser desmoronado con las manos.
Completo	Blando	Puede ser moldeado fácilmente con las manos

Fuente: Suárez (34)

Índice de Schmidt.- Se obtiene midiendo el rebote del martillo de Schmidt, que como se conoce se utiliza para dar un criterio de resistencia (37). Para poder determinar el grado de meteorización, por este método, es necesario elaborar previamente una carta de calibración como la presentada por Cascini en 1992 (36).Este método puede ser empleado en rocas que no estén muy meteorizadas.

Ensayos de penetración.- Los ensayos de penetración (de cono y el estándar) se pueden relacionar con la alterabilidad en

macizos blandos y con su empleo se puede diferenciar el suelo, propiamente dicho, de la roca meteorizada.

Sin embargo, para su uso adecuado, se requiere una calibración del sistema, para cada formación que se estudie, la que se sustenta en un gran número de datos. Es por ello, que en ocasiones, a pesar de contar con un gran volumen de datos obtenidos de ensayos de penetración, éstos no se pueden utilizar.

Índice Micropetrográfico (IMP).- Consiste en determinar los porcentajes de material sin afectar y los afectados referidos a un cien por ciento; para ello se recomienda, en cada ensayo, analizar un mínimo de tres secciones delgadas y noventa puntos en cada sección (38). El valor de este índice se obtiene:

$$IMP = \frac{\%dematerialesnoafectados}{\%dematerialesafectados}$$

o por:

$$IMP = \frac{\%de(cuarzomásfeldespatosnoafectadosmasbiotitasnoafectadas)}{\%(\min eralesafectadosmásvacíosmásmicrogrietas)}$$

Índice de Resistencia Relativa (I_R).- Define la relación, entre la resistencia lineal a compresión de un material meteorizado (R_C^M), con respecto a la resistencia que tenía ese material en su estado inicial (R_C^i) (39) (40).

$$I_R = \frac{R_C^M}{R_C^i}$$

Como es obvio los valores de I_R son menores que la unidad e indican en cuánto se ve afectada la resistencia de la roca por el proceso de meteorización. Resultados de este índice para macizos rocosos ofiolíticos en Cuba oriental fueron obtenidos por Blanco y Almaguer .

Índice de Estoicidad (Tesura) de la Roca (K_T).- Define la relación, entre la pérdida de resistencia, a compresión lineal, que sufre la roca por efecto de la meteorización, con respecto a la resistencia de esa roca en su estado sano (no meteorizado) (41) (42).

$$K_T = \frac{R_C^i - R_C^M}{R_C^i}$$

Los valores de K_T son siempre menores que la unidad. Este índice nos indica la pérdida relativa de resistencia que sufre la roca, con respecto a su valor inicial (en estado no meteorizado). Su valor ha sido determinado por Blanco, 1984, para algunos macizos cromíticos del noreste de Holguín.

Siguiendo el mismo concepto, algunos autores (Ladeira y Minet), plantean también el uso del índice de cizallamiento (I_c) que indica la pérdida de resistencia relativa al cortante (diferencia entre τ_i y τ_M), con respecto a su valor inicial (τ_i), que sufre la roca. Este índice se obtiene por la relación:

$$I_C = \frac{\tau_i - \tau_M}{\tau_i}$$

Es conveniente señalar, que para rocas esquistosas y filíticas u otras que por sus características mineralógicas, cuando se meteorizan se transforman en suelos con contenido limo-

arcillosos, es necesario tener en cuenta lo siguiente: a medida que estas rocas se van meteorizando y convirtiendo en una roca alterada y de hay van pasando hasta llegar a un suelo residual, ellas van perdiendo sus características originales, tales como: textura, estructura, consistencia y cambios en su composición química, pudiendo producirse, en un momento dado, una ganancia en sus características de resistencia.

Esto se debe al incremento de las fuerzas de cohesión, generalmente a causa de la presencia de material tipo arcilloso (producido por el proceso de meteorización) y por la cementación, causada por óxidos de hierro depositados en las rocas por agua de percolación.

De igual forma se puede proceder a determinar el Índice de Elasticidad (I_E) utilizando para ello la siguiente expresión:

$$I_E = \frac{E_i - E_M}{E_i}$$

Resistencia a la Carga Puntual (I_s).- Dada por Franklin en 1972. Se define a partir de la disminución que experimenta la magnitud de I_s a medida, que aumenta el grado de deterioro de las rocas. El valor de I_s, se determina por la expresión (43).

$$I_s = \frac{P}{D^2}$$

Este método se utiliza poco y sólo es recomendable para el caso de rocas que posean poco deterioro.

Índice de alteración de la roca (I_A).- Propuesto por Hamrol en 1961, consiste en determinar la relación entre la diferencia de peso; entre una muestra de roca saturada en agua por absorción rápida (W_{sat}), en una hora aproximadamente y el peso de una muestra seca (Ws), en una estufa a 105-110 ªC, con respecto al peso de la muestra seca (Ws). (44) |

$$I_A = \frac{W_{sat} - W_S}{W_S}$$

Índice de Durabilidad (I_D).- Propuesto por Chapman, 1975. Se obtiene a partir de relacionar la diferencia existente, entre el peso inicial de una muestra de roca (W_i) en su estado natural y el peso del material seco retenido en un tamiz No. 10 (W_s), con respecto al peso inicial de la muestra (W_i), (45) o sea:

$$I_D = \frac{W_i - W_s}{W_i}$$

Coeficiente de Reblandecimiento (K_R).- Relaciona la resistencia lineal a compresión de una roca saturada (R_c^s) con respecto a su valor en estado natural (R_c^n) (46), o sea

$$K_R = \frac{R_c^s}{R_c^n}$$

El valor de K_R permite determinar en cuanto la roca es afectada por la acción del agua, lo que lógicamente está influenciado por el grado de deterioro que ella presenta. Valores

de este coeficiente para los macizos rocosos de Cuba Oriental, han sido obtenidos por Blanco, 1984, Mondejar y Cartaya, 1999.

El estado actual del conocimiento, sobre estos índices y su aplicabilidad en los trabajos de proyecto de diferentes obras, hace necesario que se realicen trabajos de investigación dirigidos a obtener índices que reúnan los siguientes requisitos (47,48,49):

- Que sean sencillos, fácilmente comparables y prácticos para los fines de ingeniería.
- Que puedan ser utilizados, en todo el rango de meteorización de una roca o macizo; desde su estado fresco o sano hasta el estado de formación de suelo residual.
- Que puedan ser correlacionados, sin dificultad, con las propiedades geomecánicas del macizo estudiado.

2.5.5 Clasificación de las rocas meteorizadas

La clasificación dada por el ISRM, vista anteriormente, se utiliza habitualmente para realizar un estudio preliminar de los macizos rocosos.

Para lograr cuantificar, el grado de meteorización del macizo se conocen diferentes clasificaciones tales como: la de Rao y Gupta y el método dado por Nicholson y Hencher en 1987-Rock Slope Deterioration Asssesments- RDA según sus siglas en Inglés.

Clasificación dada por Rao y Gupta

Esta clasificación es un intento de cuantificar el grado de meteorización y se basa en una investigación visual de campo, en la realización de algunas pruebas y en estudios del perfil de meteorización.

Para elaborar esta clasificación, es necesario estudiar en detalle cada propiedad del macizo rocoso susceptible de ser afectado por la alterabilidad, para ello se realizan las siguientes actividades:

- Se identifica y caracteriza el material rocoso meteorizado.

- Se efectúa una delimitación de cada zona meteorizada y se establece qué material predomina en cada zona.
- Se estudian los parámetros del macizo, afectados por la meteorización.
- Se le asigna un valor a cada zona meteorizada y se establece la clasificación del macizo según su grado de deterioro.

La identificación visual de los parámetros, que varían, al ser meteorizada la roca; se establece según la decoloración, los cambios de textura, etc.

Para caracterizar el grado de meteorización de las rocas Rao y Gupta, proponen cuatro índices:

- El índice denominado por ellos, Nivel de Resistencia (R_s), que introducen en su publicación de 1996. Este índice fue definido por Blanco Torrens,1984, en su tesis doctoral, bajo el nombre de índice de Resistencia de las Rocas (I_R) (50).
- El coeficiente de meteorización de la roca (K), dado por Iliev en 1966.
- El índice de durabilidad (S_D).

- Índice de absorción rápida (QAI) propuesto por Hamrol en 1961.

Según los autores de la clasificación, los posibles valores de estos índices, en dependencia al grado de meteorización, para rocas cristalinas, se dan en la Tabla 2.5.5.1, adecuada por Blanco.

Tabla 2.5.5.1 : Valores sugeridos para los Índices de Meteorización

Índices	Grado de Meteorización según ISRM				
	I	II	III	IV	V
R_s , %	80-100	50-80	25-50	10-25	<10
K	0.0	0.0 a 0.4	0.4 a 0.7	0.7 a 0.8	0.8 a 1.0
S_D	>99	95 a 99	80 a 95	50-80	<50
QAI	<0.2	0.2 a 1.0	1.0 a 2.0	2.0 a 4.0	>4.0

Para delimitar las diferentes zonas meteorizadas, se procede a dividir el afloramiento (o la roca denudada, para condiciones subterráneas) en pequeñas subzonas, que se clasifican por separado. Cada zona se caracteriza por los materiales meteorizados que contiene, en cada una de ellas se estima el porcentaje volumétrico de cada material meteorizado para poder posteriormente asignar la puntuación correspondiente.

Para la asignación de la puntuación, se define los parámetros del macizo, que se van a considerar como importantes, aunque a cada uno de ellos se le asigna un peso diferente, en dependencia de la influencia e importancia que tiene la meteorización en ellos.

La puntuación final dada al macizo, sirve para clasificarlo, según su grado de deterioro, en ningún caso, esta clasificación debe utilizarse para caracterizar su resistencia, ya que sólo ofrece un valor orientativo de ella.

A medida que el valor R_W (puntuación final según Rao y Gupta) es mayor, menor será el grado de meteorización del macizo.

En la Tabla 2.5.5.2 se resume la puntuación recomendada, para cada parámetro utilizado como índices principales y el grado de meteorización de las rocas. Por Blanco Torrens, se hace una pequeña adecuación de ajuste a la tabla original de Rao y Gupta, para su mejor presentación y se hace referencia a los grados de meteorización, según lo establecido en la clasificación del ISRM.

Tabla 2.5.5.2: Puntuación recomendada por Rao y Gupta según el grado de meteorización

Índices de medición	**Grado de meteorización del macizo rocoso**				
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**
Índice de resistencia (I_R)	80-100	50-80	25-50	10-25	<10
Puntuación asignada	**30**	**25**	**15**	**7**	**3**
Estado de meteorización de las diaclasas (J_{WT})	Sano	Ligeramente meteorizado	Moderadamente meteorizado	Fuertemente meteorizado	Completamente meteorizado
puntuación asignada	**35**	**25**	**17**	**8**	**3**
Número de diaclasas (J_M)	<2	2 a 4	4-8	8-16	>16
Puntuación asignada	**25**	**20**	**13**	**6**	**2**
Abertura de las diaclasas (J_{WD})	<1	1 a 2	2 a 5	5-20	>20
Puntuación asignada	**10**	**8**	**5**	**2**	**1**

A partir de la puntuación final (R_W) , se pueden clasificar las zonas estudiadas del macizo, según el grado de meteorización.

Rao y Gupta recomiendan, para los casos en que no se puedan obtener los parámetros de campo, adecuar la clasificación a los

parámetros que se obtengan del nivel de resistencia (R_s), dados en la tabla No. 3. La clasificación anterior, a pesar de basarse en la clasificación geomecánica de Bienawski de 1974, se orienta a la valoración del grado de deterioro de las rocas, por la meteorización.

Teniendo en cuenta lo anterior y debido a que los resultados de la clasificación dada son cuantitativos, se han llevado a cabo esfuerzos, para relacionar numéricamente los valores obtenidos, con otras propiedades del macizo rocoso, lo cual, en alguna medida podrá ayudar a estimar el comportamiento de un macizo meteorizado, en cualquier obra de ingeniería.

A partir de los resultados de investigaciones experimentales, llevadas a efecto por diferentes autores, se han propuesto, para algunos tipos de rocas, expresiones que relacionan el R_W con; el RMR de Bienawski, con los criterios de estimación de la resistencia de Hoek y Brown y con el módulo de deformación. Es válido decir, que el empleo de tales relaciones, en determinados casos, podría ser útil.

Otro método para evaluar la degradación del macizo, que ha alcanzado alguna aplicación, es el propuesto por Nicholson y Hencher en 1997, que se denomina según sus siglas en inglés RDA (Rock Slope, Deterioration, Assesments) . Este método se aplica, fundamentalmente para evaluar el deterioro potencial en taludes recién excavados, aunque también es aplicable a taludes existentes.

El procedimiento se realiza en dos etapas; en la primera se efectúa una valoración del macizo rocoso, basada en principios similares a los propuestos por Romana en 1988, es decir, se clasifica al macizo rocoso y el puntaje obtenido se corrige mediante el empleo de un factor de ajuste, que tiene en cuenta los aspectos ingenieriles, tensionales y ambientales que presumiblemente influyen en el proceso de deterioro.

En la segunda etapa se hace una interpretación de la naturaleza de la degradación potencial y de la necesidad de métodos preventivos.

La clasificación propuesta se basa en los estudios realizados, por sus autores en taludes de Inglaterra, en donde predomina

un régimen climático húmedo y de zonas costeras; por lo que, para su empleo en zonas áridas, continentales de clima seco o de otras características climáticas debe tenerse en cuenta el empleo de factores de corrección.

2.5.6 Primera Etapa: Evaluación de la Susceptibilidad del talud a la degradación.

Criterios Iniciales.- el enfoque que tienen los numerales anteriores está relacionado principalmente a la evaluación del grado de deterioro que han sufrido los macizos rocosos, por causa del fenómeno natural de meteorización y de su predisposición a la alterabilidad, lo cual se ha aplicado principalmente para el caso de rocas ígneas cristalinas y en algunos de los casos ha sido analizado dicho deterioro en macizos rocosos en donde se ha hecho excavaciones subterráneas, por esto último se han demostrado varios parámetros que incluyen la compresión simple, como la base para la deducción de los diferentes valoraciones y coeficientes que se presentan.

A continuación se presenta la metodología que se considera más apropiada para el área en donde se han realizado las investigaciones.

Susceptibilidad de taludes al deterioro

En primer término se caracteriza al macizo rocoso mediante la evaluación de cuatro parámetros geomecánicos, que se asumen como principales: resistencia de la roca, espaciamiento de discontinuidades, abertura de las discontinuidades y meteorización de la roca, ver Tabla 2.5.5.3.

Tabla 2.5.6.1 : Cuantificación de los parámetros valorados, puntos.

ParámetroA. Espaciamiento entre discontinuidades, mm. Puntuación máxima 35	**Parámetro B. Abertura de las discontinuidades, mm. Puntuación máxima 15**	**Parámetro C. Resistencia Lineal a compresión de la roca sana, MPa. Puntuación máxima 35**	**Parámetro D. Grado de meteorización, según ISRM. Puntuación máxima 15**
2000 ---------- 2 ptos.	Cerrada, <0.1 - 1pto.	>200----------2ptos.	Grado I - 1 ptos.
600 a 2000 – 8ptos.	0.1 a 0.5 - 3pto.	100 a 200 - 5ptos.	Grado II - 5 ptos.
200 a 600 - 16ptos.	0.5 a 1.0 - 6pto.	50 a 100 - 10ptos.	Grado III - 8 ptos.
100 a 200 - 22ptos.	1.0 a 2.5 - 9pto.	12.5 a 50 - 18ptos.	Grado IV - 10 ptos.
50 a 100 - 28ptos.	2.5 a 5.0 - 12pto.	5.0 a 12.5 - 27ptos.	Grado V - 12 ptos.
<50----------35ptos.	>5.0 -15pto.	<5.0 - 35ptos.	Grado VI - 15 ptos.

Cada parámetro principal, antes mencionado, se valora de acuerdo a su influencia sobre la susceptibilidad a la degradación del macizo rocoso, su suma puede dar un valor que oscila de 1 a 100. Esta tabla ha sido modificada, de la dada originalmente por Nicholson y Hencher, por Blanco Torrens, para su adecuación con la clasificación dada por el ISRM del grado de meteorización.

La puntuación total, que se le da a cada talud o pendiente, según su susceptibilidad al deterioro (Sd), se obtiene de la expresión:

$$S_d = f_a\left(A + B + C + D\right) + Ajuste$$

Esta puntuación se aplica a tramos más o menos uniformes dentro del macizo rocoso estudiado. La puntuación obtenida, por la suma de los parámetros valorados, se afecta mediante un coeficiente (f_a), que depende de las condiciones tensionales, ingenieriles y medio-ambientales del lugar.

Los factores tensionales incluyen los esfuerzos dinámicos ocasionados por los trabajos de voladura, así como los cambios tensionales originados por trabajos de excavación y por las sobrecargas.

Los factores ingenieriles se refieren al método de excavación empleado, geometría del talud, tratamiento del talud y sistemas de drenaje empleados.

Los factores ambientales tienen en cuenta principalmente la humedad y la temperatura, aspectos estos que están muy relacionados con el proceso de alterabilidad.

En cada situación de análisis se debe definir el valor del coeficiente f_a, que se debe utilizar.

A continuación en la Tabla 2.5.5.4, se mencionan distintos factores adversos que se pueden presentar y los intervalos de puntuación de cada uno de ellos.

Tabla 2.5.6.2: Factores adversos y su puntuación.

Factor adverso	Puntuación
Localizado en una alta elevación	5 a 12
Excavación con explosivos, Sin empleo de voladura de contorno	7 a 9
Situado próximo a una cantera en donde se empleen trabajos de voladura	2 a 5
Estructura desfavorable del macizo	6 a 10

Con la puntuación total, así obtenida, se puede estimar el nivel de susceptibilidad de la ladera o talud al deterioro y de esta forma proponer un tratamiento adecuado. En la Tabla 2.5.5.5, propuesta por López Jimeno (52), se clasifica al macizo rocoso en cinco clases, según la puntuación obtenida y se define el

grado de susceptibilidad al deterioro del talud y además se propone el tratamiento correspondiente.

Tabla 2.5.6.3: Susceptibilidad del talud al deterioro.

Clase	Puntuación	Descripción	Tratamiento que se propone para el talud
1	0 a 20	Muy baja	Mantenimiento y conservación mecánica, revestimiento de canales de desvío, drenajes de pie, limpieza de derrubios, saneo si se requiere. Inspección regular.
2	20 a 40	Baja	Control de las consecuencias de la degradación mediante contención y protección del talud: mallas de alambre, geotextiles, técnicas de bio-ingeniería, cunetas de protección, bermas intermedias.
3	40 a 60	Media	Refuerzo del talud para controlar los procesos de degradación, protección de la superficie: gunitado, recubrimiento con vegetación, bulones y cables de anclaje, etc.
4	60 a 80	Alta	Medidas de contención y soporte: construcción de estructuras de hormigón, gaviones, apuntalamientos y zanjeo. Sistemas de drenaje.
5	80 a 100	Muy Alta	Rediseño del talud; reducir su ángulo, empleo de bermas, aumentar ancho de las cunetas. Colocación de pantallas al pie del talud.

2.5.7 Segunda Etapa: Valoración de la naturaleza del deterioro y su probabilidad

La naturaleza del deterioro caracteriza el riesgo resultante y define el tratamiento necesario. Muchos autores enmarcan la naturaleza del deterioro dentro de ocho grupos lito-estructurales, tipificados por estilos particulares de deterioro: masivo resistente, discontinuo resistente, compuesto,

tectónicamente meteorizable, granular meteorizable, kárstico, anisótropo y suelos residuales.

El método RDA introducido por Nicholson y Hencher para la caracterización y clasificación de la degradación potencial de taludes rocosos, ha sido implementado en el programa informático DEGTalud desarrollado por la U. D. de Proyectos de la E.T.S.I. de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid.

En el presente trabajo se han introducido fórmulas y valoraciones apropiadas acordes a lo existente en las zonas de estudio.

CAPÍTULO 3

3. CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y ROCAS BLANDAS SEGÚN SU SUSCEPTIBILIDAD ALDESLIZAMIENTO

A continuación se pre4senta en primera instancia la valoración de la estabilidad de los macizos rocosos.

3.1 Estabilidad de los macizos en las zonas de estudio

La clasificación geotécnica que más se adopta para intentar analizar la estabilidad de las diferentes zonas de estudio es la de Bienawski (CSIR para los macizos rocosos fisurados) que incluye los siguientes parámetros:

1. Resistencia a la roca inalterada
2. RQD (índice de calidad de la Roca, Deere)
3. Espaciamiento de fisuras, en donde se aplica el criterio de Deere

4. El estado de las fisuras
5. Las condiciones del agua subterránea

Evidentemente, que dada las condiciones de los terrenos estudiados en el presente trabajo no es fácil encuadrar un listado de parámetros en las condiciones de tanta heterogeneidad y muy bajos rangos de resistencia existentes en casi todas las formaciones geológicas estudiadas y en particular, las más nuevas, tal el caso de las formaciones que se tienen en el Eoceno, Mioceno, en el Pleistoceno y el Holoceno del Cuaternario.

La principal causa de esta afirmación tiene que ver con la imposibilidad de poder obtener el RQD, exceptuando la Formación Cayo y la Formación Piñón, no se puede determinar el RQD, en las formaciones geológicas ya descritas. En todo caso, se asume la calidad de roca como muy mala (RQD de menos del 25%). Para el efecto se ha caracterizado las formaciones geológicas existentes en el área estudiada:

Tabla 3.1: Caracterización geotécnica de las Formaciones encontradas según criterio de Bienawski

FORMACIONES				*Piñón en canteras*	*Piñón en horizonte alterado.*	*Cayo*	*San Mateo facie gruesa.*	*San Mateo facie fina.*	*Tosagua*	*Charapotó*	*Onzole, horizonte alterado.*	*Borbón, horizonte alterado.*	*Tablazo y Canoa*
PARÁMETROS				**ESCALAS DE VALORES**									
1	**RESISTENCIA DE LA ROCA INALTERADA**	**ÍNDICE DE CARGA DE PUNTA**		>8 Mpa	4-8 MPa	1-2 Mpa	Para esta escala tan baja se prefiere la prueba de la resistencia a la comp. uniaxial	Para esta escala tan baja se prefiere la prueba de la resistencia a la comp. uniaxial	Para esta escala tan baja se prefiere la prueba de la resistencia a la comp. uniaxial	Para esta escala tan baja se prefiere la prueba de la resistencia a la comp. uniaxial	Para esta escala tan baja se prefiere la prueba de la resistencia a la comp. uniaxial	Para esta escala tan baja se prefiere la prueba de la resistencia a la comp. uniaxial	Para esta escala tan baja se prefiere la prueba de la resistencia a la comp. uniaxial
		RESISTENCIA A COMP. UNIAXIAL		> 200MPa	100-200 Mpa	25-50 Mpa	3-10 Mpa	1-3 Mpa	3-10 Mpa	3-10 Mpa	10-25 Mpa	10-25 Mpa	10-25 Mpa
	VALUACIÓN			15	12	4	1	0	1	1	1	1	1
2	**CALIDAD DE CORAZONES EXPLOSIÓN, RQD**			90%-100%	75%-90%	25%-50%	< 25%	< 25%	< 25%	< 25%	< 25%	< 25%	< 25%
	VALUACIÓN			20	17	8	3	3	3	3	3	3	3
3	**ESPACIAMIENTO DE JUNTAS**			> 3 m	1-3 m	50-300 mm	< 50 mm	< 50 mm	< 50 mm	< 50 mm	< 50 mm	< 50 mm	< 50 mm
	VALUACIÓN			30	25	10	5	5	5	5	5	5	5
4	**ESTADO DE LAS FISURAS**			Superficies muy rugosas, sin continuidad, sinm separación. Paredes de roca dura	0	Superficies pulidas o relleno < 5 mm Esp. o fisuras abiertas 1-5 mm fisuras continuas	Relleno blando < 5 mm o fisuras abiertas < 5 mm fisuras continuas	Relleno blando < 5 mm o fisuras abiertas < 5 mm fisuras continuas	Relleno blando < 5 mm o fisuras abiertas < 5 mm fisuras continuas	Relleno blando < 5 mm o fisuras abiertas < 5 mm fisuras continuas	Relleno blando < 5 mm o fisuras abiertas < 5 mm fisuras continuas	Relleno blando < 5 mm o fisuras abiertas < 5 mm fisuras continuas	Relleno blando < 5 mm o fisuras abiertas < 5 mm fisuras continuas
	VALUACIÓN			25	20	6	0	0	0	0	0	0	0
5	**AGUAS SUBTERRÁNEAS**	**Cantidad de infiltración losio m de**		Ninguna	< 25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min	> 125 litros/min	> 125 litros/min	> 125 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min	25-125 litros/min
		Relación	**Presión de agua o en la fisura**	Cero	0.0-0.2	0.2-0.5	> 0.5	> 0.5	> 0.5	> 0.5	0.2-0.5	> 0.5	0.2-0.5
			Esfuerzo principal o mayor	Totalmente seco	Sólo húmedo (agua de intersticios)	Ligera presión de agua	Serios problemas de agua	Serios problemas de agua	Serios problemas de agua	Serios problemas de agua	Ligera presión de agua	Serios problemas de agua	Ligera presión de agua
	VALUACIÓN			10	7	4	0	0	0	0	4	0	4

B. AJUSTE EN LA VALUACIÓN POR ORIENTACIÓN DE FISURAS

ORIENTACIÓN DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS FISURAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VALUACIÓN **TALUDES**	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60

C. CLASIFICACIÓN DE ROCAS SEGÚN EL TOTAL DE VALUACIÓN

VALUACIÓN	40	21	-28	-51	-52	-51	-51	-47	-51	-47
CLASIFICACIÓN No.	II	III	V	V	V	V	V	V	V	V
DESCRIPCIÓN	Buena roca	Roca regular	Roca muy mala	Roca muy mala	Roca muy mala	Roca muy mala	Roca muy mala	Roca muy mala	Roca muy mala	Roca muy mala

D. SIGNIFICADO DE LA CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

CLASIFICACIÓN No.	II	III	V	V	V	V	V	V	V	V
TIEMPO MEDIO DEL SOSTÉN	6 meses para claro de 4 m	1 semana para claro de 3 m	10 minutos para claro de 0.5 m	10 minutos para claro de 0.5 m	10 minutos para claro de 0.5 m	10 minutos para claro de 0.5 m	10 minutos para claro de 0.5 m	10 minutos para claro de 0.5 m	10 minutos para claro de 0.5 m	10 minutos para claro de 0.5 m
COHESIÓN DE LA ROCA	< 100 Kg Pa	< 100 Kg Pa	< 100 Kg Pa	< 100 Kg Pa	< 100 Kg Pa	< 100 Kg Pa	< 100 Kg Pa	< 100 Kg Pa	< 100 Kg Pa	< 100 Kg Pa
ANGULO DE FRICCIÓN DE LA ROCA	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30

3.1.1 Evaluación del grado de estabilidad

A la edad geológica de las formaciones estudiadas, además de los parámetros considerados por Bienawski, debe sumarse el parámetro del tectonismo que tiene enorme incidencia tanto en el estado actual de las formaciones geológicas (estratificación incipiente, no estratificación, muchas fracturas) y el comportamiento que dichos terrenos pueden tener con los sismos. Más aún, existe otro fenómeno geodinámico que al parecer es el que tiene la mayor incidencia, dadas las observaciones efectuadas, pues se trata del destructivo Fenómeno El Niño.

En consecuencia no es recomendable adoptar o seguir completamente una de las diferentes clasificaciones que han sido formuladas en regiones o sectores de condiciones físicas, acompañadas de fenómenos, en muchos casos bastante diferentes. Para resolver esta incompatibilidad es necesario considerar otros elementos relacionados al medio físico o ambiental, tal es el caso de los períodos de sequía, intercalados con períodos de muy intensas precipitaciones como son los Fenómenos El Niño, que determinan también diferentes grados de meteorización en los macizos rocosos.

La mejor forma de obtener parámetros para evaluar la incidencia ambiental constituye establecer una valoración tanto del espesor de meteorización como de la alterabilidad que presentan las rocas cuando sufren cortes de talud, adicionalmente es necesario establecer un nuevo parámetro que para el efecto se denomina Masividad, consistente en una relación existente entre el Grado de Litificación y el Grado de separación de bloques por m^2.

Grado de Litificación (ξ).- Se define con los siguientes parámetros.

Tabla 3.1.1.1: Grado de Litificación

Descripción	**Valoración**
Estratificación no definida	1
Estratificación algo definida	2
Estratificación regularmente definida	3
Estratificación medianamente definida	4
Estratificación bien definida	5

El cuadro arriba mostrado representa los grados de Litificación que pueden tener las rocas sedimentarias estudiadas, cuya característica más generalizada es no presentar estratificación o tener una estratificación incipiente o muy poco definida (53).

Grado de separación de bloques por m^2 (&).- Es el parámetro que permite valorar la incidencia del tectonismo, mediante el cual los terrenos rocosos mencionados han sido separados por varios eventos tectónicos dando lugar a discontinuidades tanto en su época de Litificación como posteriormente, se asume como unidad de observación 1 m^2 (53)

Tabla 3.1.1.2: Grado de separación de bloques por m^2

DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
5< discontinuidades	1
3 < discontinuidades ≤ 5	2
2< discontinuidades ≤ 3	3
≤ 2 discontinuidades	4
Parte de un bloque o bloque sin discontinuidades	5

La Masividad (MM) se define mediante la siguiente ecuación:

$$MM = \frac{\left(\& - \xi + \xi \right)}{5}$$

Con la finalidad de establecer una clasificación del comportamiento de los diferentes materiales estudiados de acuerdo a la Masividad, se realiza el siguiente análisis para las litologías encontradas:

Tabla 3.1.1.3: Valoración de la Pasividad de los Terrenos de la Provincia de Manabí

VALORACION DE LA MASIVIDAD DE LOS TERRENOS DE LA PROVINCIA DE MANABI				
FORMACION O DEPOSITO DE SUELOS	OBSERVACIONES DE CAMPO: Lititficacion (), Separaci'on de bloques por m^2, Masividad (MM)			OBSERVACIONES
	&	ξ	MM	
Piñón en canteras	5	5	1	Muy alta
Piñón en horizonte alterado.	4	5	0.95	Muy alta
Cayo	2	5	0.70	media alta
San Mateo facie gruesa.	2	2	0.40	baja
San Mateo facie fina.	1	1	0.20	muy baja
Tosagua	3	1	0.33	muy baja
Charapotó	2	1	0.30	muy baja
Onzole, horizonte alterado.	2	2	0.40	baja
Borbón, horizonte alterado.	2	1	0.30	muy baja
Tablazo y Canoa	2	3	0.50	media

El parámetro de Masividad propuesto, permite establecer cuan fragmentado está un frente rocoso y las posibilidades que éste empiece a desestabilizarse.

Los valores altos de Masividad señalan condiciones de estabilidad en un talud, los medianos posibilidad de falla de taludes por bloques o cunas, en tanto que los valores bajos y muy bajos indican una condición de fragmentación, muy afectable por el proceso de erosión y que puede generar la caída de fragmentos rocosos, como proceso inicial de desestabilización.

3.1.2 Estabilidad considerando la altura del talud, sin la presencia de agua

La altura es uno de los parámetros de mayor importancia a considerar, bajo el concepto de la Masividad. Se efectúa este análisis tomando en cuenta un espesor unitario del talud y una pendiente totalmente vertical (90º), la Masividad podrá señalar el grado de inestabilidad dependiendo de la altura del talud, por lo que es preciso denominar otro concepto que es el Factor de

Fragmentación (FF) (53), que se expresa por la siguiente relación:

$$FF = \frac{H \bullet H}{MM}$$

de donde:

$H =$ Altura de talud expresadas en m.

$MM =$ Masividad

Para enfatizar este planteamiento se presenta la siguiente tabla:

Tabla 3.1.2.1: Valoración de la estabilidad frente a deslizamientos de los terrenos de la Provincia de Manabí, considerando Pasividad y altura del talud.

VALORACION DE LA ESTABILIDAD FRENTE A DESLIZAMIENTOS DE LOS TERRENOS DE LA PROVINCIA DE MANABI, CONSIDERANDO MASIVIDAD Y ALTURA DEL TALUD											
FORMACION O DEPOSITO DE SUELOS	OBSERVACIONES DE CAMPO: altura del talud(H), masividad (MM)						FACTOR DE FRAGMENTACION (FF)				
	H(m)					MM	Valoración				
Piñón en canteras	3	5	10	15	20	1	9.00	25.00	100.00	225.00	400.00
Piñón en horizonte alterado.	3	5	10	15	20	0.95	9.47	26.32	105.26	236.84	421.05
Cayo	3	5	10	15	20	0.7	12.86	35.71	142.86	321.43	571.43
San Mateo facie gruesa.	3	5	10	15	20	0.4	22.50	62.50	250.00	562.50	1000.00
San Mateo facie fina.	3	5	10	15	20	0.2	45.00	125.00	500.00	1125.00	2000.00
Tosagua	3	5	10	15	20	0.333	27.00	75.00	300.00	675.00	1200.00
Charapotó	3	5	10	15	20	0.3	30.00	83.33	333.33	750.00	1333.33
Onzole, horizonte alterado.	3	5	10	15	20	0.4	22.50	62.50	250.00	562.50	1000.00
Borbón, horizonte alterado.	3	5	10	15	20	0.3	30.00	83.33	333.33	750.00	1333.33
Tablazo y Canoa	3	5	10	15	20	0.5	18.00	50.00	200.00	450.00	800.00

Haciendo una correlación de los datos obtenidos, demuestra en forma gráfica el comportamiento de las diferentes Formaciones con la altura del talud.

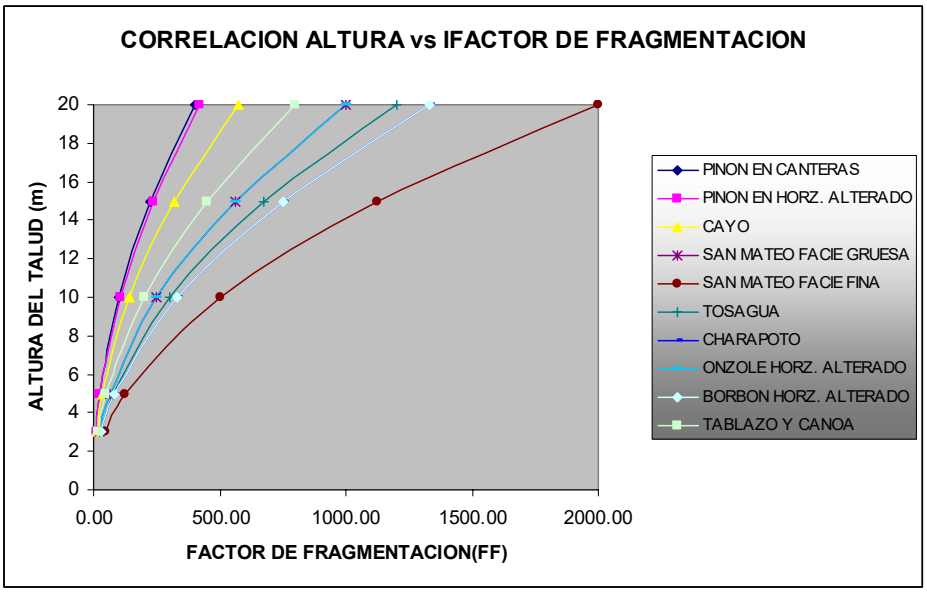


Figura 3.1.2.1: Correlación Altura vs. Factor de Fragmentación

3.1.3 Estabilidad considerando la altura del talud, la pendiente y la presencia de agua

La presencia de agua tiene directa relación con la altura de un talud, ya que a mayor altura de éste, mayor será la incidencia de la presencia de agua, debido a que existe un mayor Factor de Fragmentación, lo que significa además, que existe un

mayor número de fracturas, a través de las cuales se puede infiltrar el agua y también fluir mediante flujos a presión.

La pendiente del talud es otro parámetro primordial con la presencia del agua. Un talud vertical es evidentemente, el que tiene la condición más crítica cuando existe flujo de agua, debido a que el flujo a presión puede actuar arealmente. La misma consideración se debe hacer a taludes menores que 90º, es decir, más tendidos, siempre y cuando estén conectados a laderas de mayor altitud; y en este último caso, un talud vertical tendría la peor condición de estabilidad.

Debido a que en el área estudiada, la mayor cantidad de terrenos tienen una predominancia de discontinuidades o lo que es lo mismo tienen índices de Masividad bajos, se considera interesante hacer un análisis tomando en cuenta la pendiente del talud y la proyección horizontal de ésta, considerada como área real de infiltración, esto se verifica teniendo en cuenta que un talud vertical no tiene un área de infiltración, en tanto que un tendido si la tiene.

En las observaciones de campo, se han constatado problemas de inestabilidad en taludes de corte tendidos, en los cuales ha existido primeramente un proceso de infiltración y luego el flujo a presión. Este hecho está en directa relación con el número de fracturas existentes y en consecuencia con el Factor de Fragmentación.

Para simular el efecto de la infiltración en un talud con una determinada inclinación, se considera la proyección horizontal del talud considerado y el Factor de Fragmentación. Para efectuar la correlación se considera una vez más la altura como el factor predominante, siendo el otro factor, la incidencia del agua.

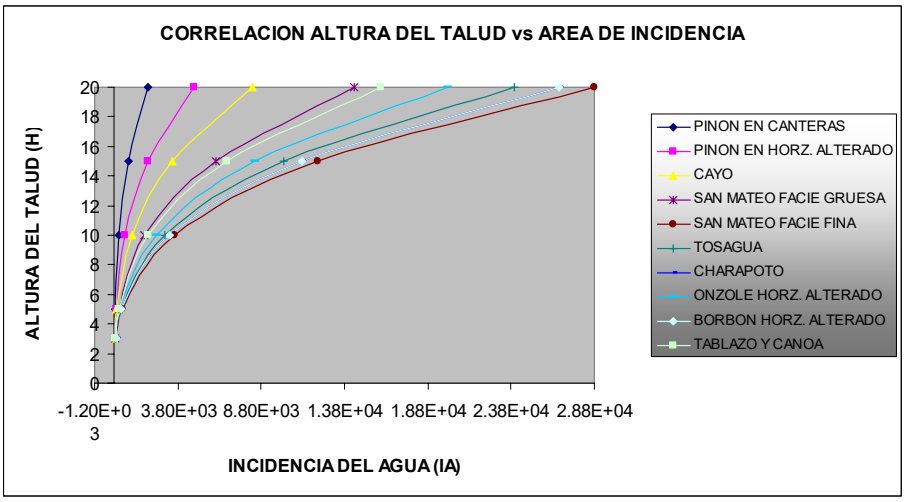


Figura 3.1.3.1: Correlación Altura del talud vs. Área de Incidencia

3.1.4 Relación entre el Perfil de Meteorización, el Grado de Alterabilidad y la Estabilidad del Macizo Rocoso

Para concretar este análisis se considera a continuación el espesor de meteorización promedial que tienen las diferentes formaciones geológicas y depósitos de suelos.

De acuerdo a lo descrito en los capítulos precedentes, el perfil de meteorización determina el espesor de la capa de suelos finos, los suelos subyacentes más gruesos, los bloques de roca y la roca de la formación geológica, este último nivel señala el espesor total de la capa de meteorización.

La roca que se encuentra bajo el perfil de meteorización puede también tener diferentes grados de alteración y en casi todos los casos estudiados, las rocas sedimentarias presentan un estado de meteorización de medio a avanzado.

En las diferentes formaciones geológicas, los siguientes espesores de la capa de meteorización:

Tabla 3.1.4.1: Espesor de meteorización de las Formaciones encontradas

FORMACION O DEPOSITO DE SUELOS	OBSERVACIONES DE CAMPO: espesor de meteorizacion (e)
	e(m) suelos
Piñón en canteras	0 a 5
Piñón en horizonte alterado.	5 a 10
Cayo	1 a 3
San Mateo facie gruesa.	0.5 a 1
San Mateo facie fina.	0.5 a 1.5
Tosagua	0.5 a 2
Charapotó	0.5 a 2
Onzole suelo residual.	2 a 5
Onzole, horizonte alterado.	0.5 a 2
Borbón suelo residual.	0.5 a 2
Borbón, horizonte alterado.	0.5 a 2
Tablazo y Canoa	0.5 a 2
Depósitos Coluviales	0.5 a 2
Terrazas aluviales	0.5 a 1.5
Aluviales recientes	0.5 a 2

La alterabilidad interviene necesariamente en el momento en el cual se cambian las condiciones naturales, es decir, cuando las pendientes cambian a taludes excavados. Los niveles que más son susceptibles de la alterabilidad son aquellos en donde la roca está más meteorizada, ya que ésta es menos resistente.

En realidad, para valorar una relación entre la meteorización y la alterabilidad es importante aplicar también los conceptos ya

expuestos de Masividad, Factor de Fragmentación y en especial, este último que está en directa relación a la estabilidad, es decir, cuanto mayor sea el Factor de Fragmentación, mayor podrá ser la alterabilidad de la roca y este efecto podrá ocurrir en tiempos menores.

No es posible establecer una relación numérica para valorar la alterabilidad en función de la meteorización porque se tienen muchas variables.

3.2 Caracterización Geotécnica de la Zona de estudio

En los estudios efectuados en el área de interés, es posible establecer la siguiente caracterización geotécnica:

Terrenos del Pleistoceno hasta el Holoceno.- Son las acumulaciones denominadas suelos coluviales que incluyen deslizamientos antiguos. Estos materiales deben ser caracterizados como completamente heterogéneos ya que incluyen indistintamente suelos finos, suelos granulares, que no están en capas sino más bien distribuidos al azar. En estos casos se asume que la masa heterogénea de los suelos coluviales es un todo y que la superficie deslizante es necesariamente el contacto entre estos depósitos o masas de suelo movilizadas y el terreno natural preexistente, debido a que involucra el mayor volumen inestable (54).

Los parámetros del cortante quedan restringidos únicamente a un ángulo de fricción residual que está en un rango de 20 a 25 grados, lo cual se define mediante retroanálisis, al equilibrio límite (54) .

Formaciones geológicas del Mioceno.- Las formaciones Borbón y Charapotó, encontradas en el área de estudio tienen como características comunes, de estar presentes en un área muy tectonizada y por tener la presencia de lutitas, limolitas y areniscas calcáreas. Esta presencia de componentes calcáreos les ha conferido no solamente una coloración blanquecina, sino también un comportamiento frágil, por lo que tienen incorporadas en su estructura fracturas concoideas y laminaciones, que generan cierta rugosidad y que aparecen en toda su incipiente estratificación. Sin embargo, siendo estas masas de rocas muy blandas, su pérdida de resistencia ocurre en pocas semanas (muy baja alterabilidad), son significativamente afectadas por las condiciones ambientales, tales como períodos de sequía y muy especialmente las lluvias que generan caída de pequeños fragmentos y también de bloques que al golpear con el suelo se fragmentan (28)

Los parámetros del cortante que rigen estas rocas, se definen en base a experiencias prácticas, que se presentan en este trabajo. Se admite que tienen muy baja cohesión de 1 a 5 Ton/m^2, por que pueden desprenderse con la mano, y una resistencia friccionante definida por la suma del un ángulo de fricción de 18° a 20° más un valor de i

(ángulo de inclinación de fracturas rugosas) variable entre 5° y 15° (28).

Formaciones geológicas del Eoceno Oligoceno.- Representadas en el área de estudio por las Formaciones San Mateo y Tosagua, también están presentes en un área de alto tectonismo, son lutitas, areniscas, micro conglomerados y hasta conglomerados. En varios casos existe un componente arcillolítico y de arcilla como cementante, que tiene gran importancia.

Rocas muy blandas, sin estratificación:

En varias secuencias estratigráficas aparecen las arcillolitas que son a veces mal denominadas arcillas, por que se presentan como arcillas sobre consolidadas en forma de grumos, pero tienen poca resistencia a la deformación, ya que pueden ser aplastadas con los dedos y también pueden separarse en pequeñas masas moldeables como las arcillas; este tipo de capas, que no presentan estratificación, son más afectadas por los períodos de sequía, que los de lluvia, aunque también son fácilmente erosionables con el agua, teniendo en consecuencia una muy alta alterabilidad.

Las capas de arcillolita pueden ser caracterizadas asumiendo que son masas que tienen cohesión y ángulo de fricción de bajo a muy bajos. La cohesión variando entre 3 y 8 ton/m^2 y el ángulo de fricción variando entre 12° y 20°, los taludes naturales compuestos por arcillas superficiales y arcillolitas, por lo general no exceden los 45° (54).

Rocas blandas, estratificadas

Las secuencia de lutitas, limolitas, areniscas y en algunos casos micro conglomerados, presentan estratificación definida y a veces poco definida, además una intensa fracturación en las areniscas y lutitas, en especial en las sectores mas próximos a la línea de costa.

Las secuencias de lutitas, limolitas, areniscas y micro conglomerados se presentan, en condiciones naturales, a veces, con taludes casi verticales, sin embargo, dependiendo de la intensidad de fracturación, taludes de 60° con la horizontal, son inestables en fallas por cuñas de roca, muy pequeños bloques en las lutitas, medianos o grandes, con algunas toneladas de peso en las areniscas y micro conglomerados.

Para definir los parámetros de resistencia en una secuencia de estratos como la mencionada, es importante considerar que la más

baja resistencia al cortante se presenta en los estratos de menor espesor que casi siempre son las lutitas y limolitas. Debido al alto grado de fracturación y fragmentación de dichos estratos finos, es conveniente asumir ausencia de cohesión y un ángulo de fricción residual que puede variar entre 22° a 30° (54).

Formaciones geológicas del Cretácico.- La única Formación geológica presente en el área de estudio se denomina Cayo que aflora en la parte Sur del área estudiada. Exceptuando las poblaciones de Puerto López y Puerto Cayo y su área de incidencia, en los otros sectores accesibles de la provincia de Manabí, no se encontraron dichas rocas.

Como se conoce, la Formación Cayo tiene tres Miembros geológicos y también se encuentra en las provincia de Guayas. En el área estudiada aflora únicamente el Miembro intermedio constituido por la alternancia de areniscas y grauvacas de tamaño medio en estratos bien potentes de alrededor de 10 m, también estratos de lutitas intercalados algo silicificadas, tobas volcánicas bien consolidadas, similares a limolitas.

Evidentemente los estratos rocosos de la Formación Cayo son los más resistentes del área estudiada, en condiciones de poca meteorización pueden asumirse parámetros medianos a altos de resistencia al cortante, así por ejemplo pueden tener cohesiones variables entre 300 y 1800 Ton/m^2, su ángulo de fricción, puede variar entre 30 y 35 grados. El criterio que debe primar para definir los parámetros en los cálculos es el espesor de los estratos siendo los estratos más finos, los que constituyen la superficie de menor resistencia en dicho macizo rocoso.

Formaciones geológicas del Jurásico y del Cretácico Inferior.- En los sectores como Montecristi, Picoazá, del área estudiada se encuentran las rocas extrusivas del denominado Complejo Ígneo Volcánico Piñón. Son las rocas de mayor resistencia geomecánica en el área estudiada, incluyendo en esta comparación la Formación Cayo (rocas sedimentarias).

Debido a que se trata de rocas basálticas, los parámetros de mayor incidencia constituyes los grados de meteorización y de fracturación. Las rocas encontradas pueden ser consideradas como medianamente meteorizadas, pudiendo tener hasta tres familias de fracturas de

mediana a alta rugosidad. En estos casos puede asumirse como parámetros del esfuerzo cortante, cero cohesión en medios fracturados y un ángulo de fricción que incluye la inclinación de la rugosidad que puede ser superior a los 50 grados. La cohesión de un medio no fracturado es superior a las 5000 Ton /m^2 .

3.3 Zonificación según la susceptibilidad al deslizamiento.

En el la tabla siguiente se describe en forma esquemática la valoración de los siguientes parámetros para cada una de las formaciones geológicas y depósitos de suelos estudiados:

Espesor de meteorización (e)

Altura del talud (H)

Pendiente (S)

Discontinuidades

Grietas de tensión verticales

Carga de agua

Esfuerzo Cortante (τ)

Factor de Seguridad (F)

Estabilidad de talud o ladera y comentarios

Susceptibilidad al deslizamiento

Tabla 3.3.1: Valoración de la Susceptibilidad frente a Deslizamientos de los Terrenos de la Provincia de Manabí

VALORACION DE LA SUSCPETIBILIDAD FRENTE A DESLIZAMIENTOS DE LOS TERRENOS DE LA PROVINCIA DE MANABI												
FORMACION O DEPOSITO DE SUELOS	OBSERVACIONES DE CAMPO: espesor de meteorizacion (e) altura del talud(H) pendiente del talud (S); presencia de familias de fracturas F; presencia de grietas de tension; Carga por flujo de agua. Alta sismicidad						Resistencia a la ruptura Mohr Coulomb $\tau = c + (\sigma - u)\tan\varphi$	Rango del Factor de seguridad al deslizamiento (F)= F resist / F actuan	ESTABILIDAD DEL TALUD O LADERA Y COMENTARIOS			SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO
	e(m) suelos	H(m) talud	S	Discontinuidades	Grietas de tensión verticales(m)	Carga de Agua(m)	τ	F	Estable	Equilibrio precario	Inestable	Valoración
Piñón en canteras	0 a 5	20 a 80	Vertical a 0.25:1	2F/cda 5m	0 a 5	0 a 5	Alta	1.5 a 3	Fractura rugosas	Por efecto de voladuras pobres		Baja
Piñón en horizonte alterado.	5 a 10	20 a 40	Vertical a 0.25:1	2F/cda 5m	0 a 10	0 a 10	Media a baja	1.05 a 1.8	Si el espesor de meteorización es <5m	En un 70% de casos		Baja a media
Cayo	1 a 3	10 a 30	0.25:1 a 1:1	3F/cda 5m	0 a 10	0 a 10	Media a baja	1 a 2	En un 50% de casos	Taludes verticales		Baja a media
San Mateo facie gruesa.	0.5 a 1	5 a 10	0.5:1 a 1:1	No apreciables	0.5 a 2	0.5 a 2	Baja	0.9 a 1.2		En un 60% de casos		Media
San Mateo facie fina.	0.5 a 1.5	5 a 10	0.5:1 a 1:1	No apreciables	0.5 a 2	0.5 a 2	Baja	0.9 a 1.2		En un 80% de casos		Media
Tosagua	0.5 a 2	5 a 10	0.5:1 a 1:1	Múltiples fracturas	0.5 a 2	0.5 a 2	Muy Baja	0.6 a 1			En un 90% de casos	Alta a muy alta
Charapotó	0.5 a 2	5 a 10	0.5:1 a 1:1	Múltiples fracturas	0.5 a 2	0.5 a 2	Muy Baja	0.8 a 1.1			En un 80% de casos	Alta a muy alta
Onzole suelo residual.	2 a 5	3 a 5	1: 1	No apreciables	Grietas superficiales	No apreciable	Baja	0.8 a 1			En un 50% de casos	Alta
Onzole, horizonte alterado.	0.5 a 2	5 a 10	0.5:1 a 1:1	Múltiples fracturas	0.5 a 2	No apreciable	Muy Baja	0.8 a 1			En un 80% de casos	Alta a muy alta
Borbón suelo residual.	0.5 a 2	3 a 5	1: 1	No apreciables	Grietas superficiales	No apreciable	Muy Baja	0.8 a 1			En un 50% de casos	Alta a muy alta
Borbón, horizonte alterado.	0.5 a 2	3 a 5	1: 1	No apreciables	Grietas superficiales	No apreciable	Muy Baja	0.8 a 1			En un 50% de casos	Alta a muy alta
Tablazo y Canoa	0.5 a 2	3 a 5	1: 1	No apreciables	2F/cda4m	No apreciable	Baja a media	1 a 1.3	En un 50% de casos			Media
Depósitos Coluviales	0.5 a 2	5 a 12	1: 1	No apreciables	Grietas superficiales	No apreciable	Baja	0.8 a 1.1		En un 80% de casos		Alta
Terrazas aluviales	0.5 a 1.5	3 a 5	1: 1	No apreciables	Grietas superficiales	No apreciable	Baja	0.8 a 1.1		En un 80% de casos		Alta
Aluviales recientes	0.5 a 2	3 a 5	0.25:1	No apreciables	Grietas superficiales	No apreciable	Baja	0.9 a 1			En un 80% de casos	Muy alta

CAPÍTULO 4

3. ANÁLISIS DE CASOS

Para obtener conclusiones aplicables a una caracterización de los fenómenos geodinámicos ocurridos y con posibilidad de ocurrencia en la Provincia de Manabí, se efectúa a continuación una síntesis con los correspondientes comentarios.

4.1 Aludes de Alajuela

Luego de las intensas precipitaciones en el año 2001, un terreno de aproximadamente 100 Ha. se desestabilizó como consecuencia de un violento alud de suelos y fragmentos finos de rocas, provenientes de las parte altas de las elevaciones que rodea al poblado de Alajuela.

El análisis efectuado determina que la movilización de una delgada capa de suelos en un área de varias decenas de hectáreas con la ayuda del drenaje de las aguas lluvias, se movilizó con gran energía,

llegando a tener velocidades de 3 a 5 m/s en la parte plana donde justamente está asentada la población. Este alud causó 2 víctimas mortales y la destrucción del 30% de las viviendas de la población.

En el recorrido de campo efectuado se constató que en el sector ha ocurrido en el pasado tanto deslizamientos rotacionales como aludes debido a que se observa una geomorfología característica de sitios deslizados pues presenta “cuchillas” en las partes más altas y también superficies casi circulares en el terreno superficial, la misma que terminan en “cuchillas”, ver Figura 4.1.1.



Figura 4.1.1: Identificación de los deslizamientos rotacionales y aludes de Alajuela

Fuente: Visitas de campo

En Alajuela ocurrieron 2 procesos de alud violentos (15 H00: 00 del Martes 9 de Abril 2002 y 16H:00 del 9 Abril en el sitio denominado Madera y Cascabel), que según Varnes se clasifican como flujos o avalanchas, ya que mientras se realizaba la inspección del primer evento ocurrido (55) ocurrió un segundo alud en el sector señalado en la foto anterior, ver esquema siguiente:

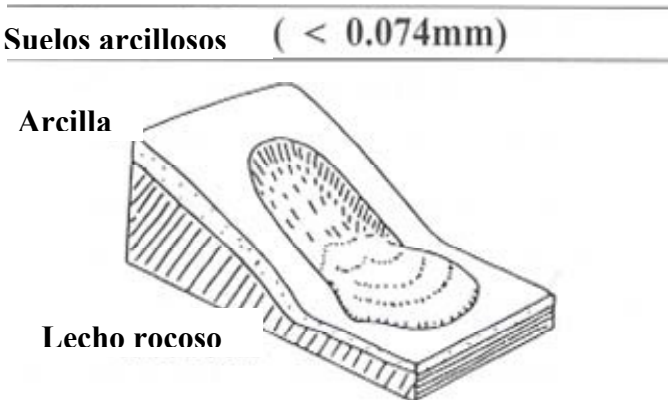


Figura 4.1.2: Esquema del alud ocurrido en Alajuela

Fuente: Clasificación de Varnes (12)

Todo el sector de Alajuela sufrió un proceso de desestabilización por la movilización de la capa superficial de suelos (0.5 a 2 m) de grandes áreas de las cuencas altas circundantes, este proceso continua y se observa sobre todo en épocas de lluvias seguidos de períodos secos, que se repiten en cada estación invernal.

Estos aludes son el producto de la acumulación de grandes volúmenes de sedimentos en la base de las laderas, éstas se saturan y se movilizan en grandes caudales, dotados de alta energía que saca muchos árboles de raíz, los “pela” en el trayecto y avanzan junto a sedimentos y lodo cubriendo y destruyendo casi todo a su paso, sobrepasan la carretera y se depositan en la planicie.

En el caso del primer alud, los escombros circularon por una pequeña quebrada, la misma que fue sobre excavada por erosión y después asolvada. Antes de ocurrido el problema, dicha quebrada fue “encauzada” desviando su curso por un canal casi perpendicular al flujo natural, lo cual constituye un obstáculo hidráulico que atraviesa la población, siguiendo la dirección de la vía, esto afectó a la mayoría de edificaciones y viviendas de la población, que presentaban destrucción total y parcial. En muchos casos el lodo se depositó en la primera planta en espesores de casi 1 m.

Este caso, permite caracterizar varios sectores de Manabí en donde existen geomorfologías con lomas afiladas o “acuchilladas”, lo que demuestra la inestabilidad de los terrenos y su característica

superficial que muestra vegetación de pasto (restos de árboles y arbustos), demuestra la existencia previa a los deslizamientos y aludes, señalando sobre todo una alta susceptibilidad a la erosión que constituye a su vez el inicio de procesos de inestabilidad mayores, como los aludes ocurridos.

4.2 Cantón Sucre

En este sector existen 2 sitios muy conocidos por los daños causados que son: Bahía de Caráquez y San Vicente, en los cuales también ocurrieron violentos aludes (Abril, 1998), debido en gran parte al Fenómenos geodinámico El Niño, que causaron 12 pérdidas de vidas humanas, el destrozo de 48 viviendas y de por lo menos 9 edificaciones de más de 2 plantas.

Estos aludes ocurrieron debido a que lo asentamientos en las laderas, que han cambiado notablemente sus condiciones de equilibrio natural, tanto por efecto de excavaciones, en materiales suaves, arrojando los escombros a los costados, como por la eliminación casi total de la vegetación protectora. De esta forma se han dado todas las condiciones para que los terrenos, constituidos por formaciones geológicas sedimentarias blandas, sean fácilmente erosionables y que ocurra un proceso de acumulación peligrosa de materiales sueltos, desequilibrando las laderas, es decir, creando condiciones de colapso y falla de taludes.

Luego del Fenómeno El Niño 1997-98, se ha constado que prácticamente todas las poblaciones del cantón Sucre han sido afectadas por colapsos, deslizamientos de tipo plano, erosión

incontrolada, correntadas con gran de sedimentos, aludes, que han causado daños incalculables incluyendo lamentables pérdidas de vidas humanas. Lo mayores impactos ocurrieron en la ciudad de Bahía de Caráquez, por ser la más habitada y de modo especial en los barrios pobres que habían ocupado hondonadas (valles en forma de "U") y quebradas rellenadas (centro de Bahía de Caráquez). Este crecimiento de barriadas e inclusive la construcción de obras de ingeniería importantes dada en los valles, en los cuales no se había visto circular agua en muchos años. La mayor cantidad de obras son viviendas construidas tipo "invasiones" de las grandes ciudades, ocupando las partes bajas y los costados de estos valles, donde se han construidos calles y avenidas atravesadas en los sistemas de drenaje, sin considerar su funcionamiento. El resultado de este proceso ha sido crear las condiciones más favorables para que ocurra erosión a gran escala, acumulación de sedimentos como barreras de los flujos de agua, es decir, crear condiciones de generación de aludes.

En base a las investigaciones y visitas de campo, considerando la etapa más activa del Fenómeno El Niño, se establece lo siguiente (57):

Para el caso de los Suelos

En las partes altas de los cerros se tiene típicamente suelos residuales limosos (**SRB)** sujetos a procesos de disolución por su contenido de carbonatos, la relación de vacíos es muy alta, por lo que son colapsibles, ha sido el detonante e inicio de las superficies de ruptura (57).

En las faldas de los cerros se tienen suelos residuales arcillosos (**SRAO)** cuya característica principal es ser expansivos y también dispersivos, en estos suelos se han desarrollado las superficies de deslizamiento (57).

Suelos coluviales en las faldas de los cerros (**SFO)** que son masas heterogéneas que incluyen tanto suelos SRB como SRAO, indistintamente y constituyen las masas deslizantes y en proceso de erosión en incremento (57).

Para el caso de las Rocas

Rocas sujetas a proceso de disolución, **(RDB**), cuyo efecto es la disminución de los cementantes (disminución de ϕ y C), el incremento de su porosidad efectiva y por tanto de la capacidad de permitir un alto

porcentaje de saturación y el flujo de aguas subterráneas hacia el interior del macizo rocoso (57).

Rocas arcillosas expansivas **(RAE),** de un alto grado de alterabilidad, es decir, de perdida muy rápida de sus propiedades de resistencia, principalmente ϕ y C, cuando están expuestas, principalmente en taludes (57).

Para el presente caso, se caracterizó también lugares específicos y vías tales como:

Vía Tosagua – Bahía.- Esta vía siempre ha presentado serios problemas de interrupción vehicular. Estos inconvenientes se deben en gran parte a que en los primeros kilómetros, en la planicie, en los puentes, se produce el arrastre excesivo de sedimentos con grandes cantidades de palizada, lo que as uve se convierte en un embalsamiento, provocando desbordes ocasionales y afectando seriamente la capa de rodadura (55). Ver apéndice Fotos.

- Sitio Cacical: Río azolvado por sedimentación del flujo de lodo. Palizada a los dos lados del cauce.
- Deslizamientos sobre la vía. A 500m de Cacical

Deslizamientos en las subidas de la vía

Al inicio de la vía, en varios sectores, es facil identificar varios deslizamientos. Dos se presentan en forma transversal al avance de la vía, es decir, se está formando escalones en el sentido de avance.,En base a esto, se espera que un futuro no muy lejano se forme, por causa de la escarpa, una pared que impida el paso de vehículos (55).

Se requiere estabilizar esos deslizamientos, controlando el drenaje superficial, el flujo subsuperficial y el desequilibrio de las masas que se están movilizando, las mismas que en presencia de períodos se sequía e intensas lluvias se desestabilizan. Ver apéndice Fotos.

Los sitios son:

- A un km de Cacical: Deslizamientos, pérdida de la calzada. Necesidad de señalización del peligro.
- Varios flujos de lodo a lo largo de la vía. N/G 2

Deslizamientos en las laderas inclinadas hacia la bahía

En el tramo de la carretera que bordea la entrante de la Bahía, se tienen al momento cinco deslizamientos principales, cuyo mecanismo de falla se repite:

Fuerte erosión en el talud generando inicialmente el fallamiento de pequeñas masas de las rocas blandas de la que están formados, quedan huecos y taludes en contra pendiente a lo que se suman las lluvias que movilizan grandes masas que cubren la calzada (55).

Otros mecanismo de falla se inicia en la calzada, debido a que los materiales de corte de la vía han sido arrojados a la ladera, para recuperar la mesa, lo cual altera el equilibrio natural de la zona al colocarle más peso y material altamente inestable.

Los deslizamientos de mayor magnitud se tienen en los sitios en donde ya han existido procesos de inestabilidad previos, habiendo sido el tratamiento: recuperar la mesa del talud en base al relleno del área fallada con rocas pesadas o con cuerpos de gaviones, o/y simplemente por que grandes volúmenes se arrojan hacia el talud inferior, recuperando el ancho de la vía (55), que como se mencionó anteriormente constituye un perjuicio a las características naturales del sitio, generando un proceso de inestabilidad. Ver apéndice Fotos.

Considerando su ubicación se tienen los siguientes sitios (55):

- Sector de San Agustín: Alud de sedimentos que cubre gran parte de la población.

- Km. 17 Barrio Puerto Arcila: Deslizamiento y alud. Profundidad 70 m.
- Tramo próximo a Bahía: tres deslizamiento de importancia.

Vía de ingreso a Bahía de Caráquez.- Luego de la catástrofe ocurrida en 1998, se han reconstruido cuatro puentes y se han rectificado los canales de aproximación y de salida.

Casi todos los de puentes y canales están azolvados y tienen actualmente poca sección de flujo. En dos casos los canales de salida, por la existencia de costosa infraestructura, han sido desviados en su dirección, formando un “codo”, siendo está la causa de la acumulación de sedimentos.

La medida de colocación de enrocado como protección de taludes, no ha funcionado ya que lo materiales rocosos ya están amontonados, además de que a simple observación no son de buena calidad; se considera que dicho enrocado causa el entrampamiento de más volúmenes de sedimentos, con el consiguiente desborde de las avenidas a las áreas habitadas. Ver apéndice Fotos.

Vía Bahía – San Clemente.-En la parte de la subida, antes de bajar a las Coronas, se produce la reptación acelerada. Deslizamiento agravado por la pendiente de la vía y volúmenes que se deslizan por la alcantarilla. Así se tiene que en las Coronas y en el Estero Km 10.66, las alcantarillas son insuficientes, por lo que hay embalsamiento de ambos lados del salto hidráulico, lo que a su vez produce erosión profunda. Ver apéndice Fotos.

De esta forma se evidencia los diferentes parámetros que influyen en la susceptibilidad de los taludes al deslizamiento en este importante sector, donde se evidencia los diferentes procesos de inestabilidad.

4.3 Jipijapa

Barrio 8 de Enero.- Se produjo un deslizamiento de la colina, cuya causa fue el flujo de agua del río Jipijapa, el que a su vez, ha erosionado el pie de la ladera. La erosión de aquellos materiales muy blandos, se ha producido por la construcción de obras de conducción de los caudales, inadecuadas, ya que los flujos han sido dirigidos hacia la base de la ladera.

Se ha identificado por lo menos tres grandes superficies de deslizamiento que están destruyendo varias viviendas. La situación es crítica debido a que el riesgo de embalsamiento del río es inminente, pues las masas deslizantes se están desplazando hacia el cauce que constituye una situación de alto riesgo.

Deslizamientos en el Cerro La Mona.- En el cerro denominado La Mona, la Junta de Recursos Hidráulicos (JRH) de Manabí inició la protección de varios deslizamientos que involucran una calle, por donde pasa una tubería principal de conducción de agua potable de la ciudad y varias viviendas ubicadas. El peligro de colapso, era inminente y ha sido controlado mediante trabajos de estabilización tales como: colocación de geomembrana, pantalla de barras pasivas estabilizadoras, canales de drenaje, etc..

El mismo proceso de inestabilidad a dado lugar a la formación de otras escarpas de deslizamiento que amenazan la Av. del Café, situada en las laderas bajas del cerro la Mona, donde existen varias decenas de viviendas (55).

Tanques de agua.- Los tres tanques de agua potable de la ciudad están en peligro debido a la existencia de varias superficies de deslizamientos con escarpas de más de dos metros, rodeando los muros de cerramientos perimetrales, por lo que están a punto de colapsar (55).

Vía a Noboa. Sitio La Pita.- Un tramo de aproximadamente 1 Km de la vía presenta varios deslizamientos tipo alud, de lodo y fragmentos de roca. Se destacan dos grandes deslizamientos uno de ellos ha cobrados posiblemente tres víctimas mortales. La situación está más complicada por cuanto existen tres grandes grietas (en tres sitios) de la ladera donde se producirán otros deslizamientos, si continúan las precipitaciones.

4.4 Manta

Manta es una paradisíaca ciudad en pleno desarrollo. Cuenta con hermosas playas, cuyas elevaciones más próximas se caracterizan por tener alturas entre los 20 y 30m. Estas a su vez constituyen en su mayoría afloramientos de la Formación San Mateo y en la parte superior se evidencia la existencia de gran tectonismo por lo que en algunos lugares aun se encuentra la Formación Tablazo.

De acuerdo a investigaciones geotécnicas realizadas en varias localidades de Manta se ha determinado que en dicha planicie costera, se tienen depósitos de suelos heterogéneos en los que pueden estar presentes capas de arcilla, capas de limos, capa de limos-arcillosos, estos últimos estratificados con suelos granulares del tamaño de arenas medias y gravillas. Los ensayos efectuados demuestran una gran dispersión de valores para suelos granulométricamente similares, así como algunos limos-arcillosos son especialmente expansivos, otros lo son en mucho menor grado. La característica que más se repite en el sector es la baja resistencia a la erosionabilidad de esos suelos, ya que se encuentran numerosos surcos y cárcavas.

Otra característica importante de los suelos de la planicie de Manta constituye la colapsividad de los suelos, los mismos que presentan valores de resistencia a la compresión simple en algunos casos altos y en otros, con el mismo tipo de suelo muy bajos, lo cual demuestra un comportamiento típico de los suelos blandos que pierden súbitamente su resistencia portante.

En esta ciudad se encuentra un sector denominado Barbasquillo, en donde se aprecia con gran facilidad las características antes descritas. Considerando lo antes expuesto y tomando en consideración un trabajo efectuado en esta zona, se procede a describir las condiciones de inestabilidad y deslizamientos propios de Manta, en el Terminal Petrolero Barbasquillo, que constituye el ejemplo clásico de movimientos de masas de Manta.

El Terminal Petrolero Barbasquillo perteneciente a Petrocomercial ha sido construido terrazando pequeñas lomas que están ubicadas al borde del talud de playa. En esta construcción se ha depositado los materiales de desalojo en las partes más bajas de las terrazas y en las quebradas de drenaje. Esto determina la existencia de terrenos de cimentación que están sobre los cortes de los estratos de la formación San Mateo y otros que rodean a esa área en las dos quebradas y en

el talud, que tienen promedialmente 35 m de ancho, han sido rellenados con los materiales producto de la excavación.

Además de lo antes expuesto, dada su cercanía al mar y la intensa erosión eólica, el proceso de inestabilidad de las laderas se ha intensificado y se presenta en la pérdida de más de 5m y en algunos lugares hasta 15 m de borde del talud. Se suma la acción antrópica que con la construcción de un canal de hormigón armado, el cual fue construido sobre el relleno inestable antes mencionado, genera un salto hidráulico de más de 20 m de altura sobre estos suelos y rocas blandas.

En el sector de llenado, es decir, en el despacho de los surtidores, se presentan dos grietas bien definidas como evidencia del desplazamiento vertical, característico del movimiento de roca en forma de “tajada” descrita en Varnes. Estas grietas y escarpas de deslizamiento se ven intensificadas mediante la presencia de fracturas paralelas a dos fallas encontradas en el sector.

Las rocas se presentan como paquetes o bloques separados por fracturas o altamente fragmentados, nos e observa la estratificación. Esta particular presentación denota el alto grado de tectonismo sufrido

por los estratos durante su época de consolidación y mitificación, lo que a su vez se refleja como en movimientos de cizalladura transversales. Sin embargo, en determinados sitios si aparecen los estratos bien definidos pero estos no son continuos sino que se presentan en paquetes de margas lutitas y limolitas

Considerando que no existe cementante entre los bloques, lo que implica una condición de esfuerzo residual cuya cohesión es 0 y considerando un ángulo de fricción residual cuyo valor promedio es de 25º y fracturas lisas o casi lisas pues con la presencia de agua y erosión eólica adquieren estas características, es preciso identificar que el desplazamiento de masas es del tipo deslizamiento plano, que por su lentitud adopta las características de reptación. Ver apéndice Fotos.

4.5 Montecristi

El 21 de abril de 1998 ocurrió un gran deslizamiento de tipo plano, de la ladera situada en la parte alta del cantón Montecristi. Este movimiento de masa fue precedido por movimientos menores en días anteriores al igual que un sismo de 4.5 grados en la escala de Richter, que se considera como el detonante de este proceso de inestabilidad.

Este movimiento de masas fue de tal magnitud que afectó a más de 60 viviendas, destruyó una parte de la calle J.F. Kennedy y del Paseo Chimborazo, con escalinatas, áreas de descanso y la infraestructura existente.

En base a la geomorfología antes descrita, se ha determinado que además del deslizamiento principal, que se presentó como volúmenes parciales en dirección de Montecristi, existía también otro deslizamiento lateral dirigido hacia la quebrada Riecito que si bien no afectaría directamente a la población, si molestaría pues taparía la mencionada quebrada y el sistema de drenaje de la zona.

El deslizamiento se inició prácticamente al pie de la pendiente empinada del cerro, con un volumen aproximado de 1´600.000 m^3. La zona destruida cubre un área mayor a 2 Ha. y el cuerpo deslizante

comprendía en la parte superior más de 6.5 Ha, es decir que en total la masa en movimiento tenía un área mayor a 8.5 Ha con pendiente de 18º, lo cual representaba un elevado riesgo para toda la población.

La causa de este fenómeno fue el cambio de las condiciones naturales del terreno, ya que se había construido una terraza de más de 5 Ha de superficie, al pie de la pendiente más empinada del cerro, justamente en la parte más alta del depósito coluvial del piedemonte, sobre parte del acuífero.

Al remover los materiales existentes en la zona, se produjo el proceso de infiltración de agua a través de la terraza, esto sobrecargó al acuífero y saturó lo s materiales sueltos, elevando la presión de poros. El acuífero se desbordó con grandes caudales subterráneos hacia el depósito coluvial, lo que ocasionó un proceso de ruptura y de desestabilización, posteriormente evidenciado en el movimiento de masas.

En el estudio presentado por la ESPOL (59) se determinó que por lo menos cuatro cuerpos que constituyen subvolúmenes del talud global, podían moverse individualmente o interactuar unos con otros. De igual manera se identificó las partes activas y móviles del deslizamiento.

Estas correspondían a la corona y el pie de la ladera, pues en la corona quedaba un mayor volumen inestable por presentarse más espacios vacíos y grietas, producto de la dilatancia, cambios ocurridos luego del gigantesco esfuerzo de movimiento en cortante.

En base a lo antes expuesto y las investigaciones de campo efectuadas, se entiende que el cuerpo se desplaza debido al empuje de la corona, pero no se descarta el movimiento de los volúmenes menores que se desplazan por la elevación del nivel freático, lo que a su vez hace que la corona se desplace y se generen nuevas escarpas de deslizamientos

Vale mencionar que de las soluciones presentadas por la ESPOL, se ha apreciado en campo solo la implementación de la geomembrana para controlar los procesos de infiltración de agua, lo cual ha detenido el movimiento principal pero no ha evitado el desplazamiento de sedimentos hacia la quebrada y el asentamiento de la gente en las proximidades de esta elevación.

4.6 Portoviejo

Portoviejo se ha desarrollado y asentado en torno a los bordes del Río con el mismo nombre. En los últimos años se ha hecho evidente el cambio de cauce del mismo que se presenta en la erosión de sus bordes, lo que a su vez ocasiona la falla en los taludes y la destrucción de lo que se encuentre a su paso.

Se ha tratado de solucionar esta riesgosa situación mediante la construcción de muros de gaviones, muros de escollera y muros de hormigón, los mimos que se han destruido en poco tiempo, sin lograr el objetivo que se busca. Se pensó en la construcción de un ducto cajón de hormigón armado pero su alto costo y demás obras complementarias no lo hacía un proyecto factible.

En base a los estudios efectuados se determina que en el río existe un proceso de erosión muy activo del cauce que elimina por desgaste la parte baja y media del talud. Esto provoca que su corona o parte alta, quede en contra pendiente, produciéndose así la ruptura o falla del talud. Este proceso causa la inestabilidad progresiva de las riberas, se interpreta también como cambio de curso y se hace más agresivo con los grandes caudales (60).

Este proceso de inestabilidad está íntimamente ligado a la cohesión que presentan los materiales que conforma la ribera, ya que son terrazas de depósitos aluviales del pasado geológico del mismo río. Se encuentran limos y arenas finas pobre a medianamente consolidados, así también lentes de arcillas que se ablandan mucho más ya que pierden su cohesión aparente, cuando se saturan. Esta situación ocurre con mayor fuerza cuando parte de las capas protectoras de limos y arenas finas, que rodean las arcillas, han sido erosionados, de esta forma ocurre un proceso de falla de taludes mucho más acelerado (60).

Acorde con su geomorfología y geohidrología, Portoviejo sufre de grandes procesos de sedimentación producto del área de inundación que es donde se ha asentado la gente además de que este río implica una de las mayores cuencas de Manabí, lo que a su vez muestra una gran taza de recarga subsuperficial por estar rodeado de colinas. Con esto, se evidencia el proceso de transportación y sedimentación que influyen la morfología de la región y en los procesos de inestabilidad de las laderas existentes. Así se tiene como ejemplo, el deslizamiento ocurrido en El Florón, que es uno de los representativos de los procesos de inestabilidad que sufre la región, con ayuda de la acción antrópica.

Sitio: Colinas San José (ubicación anterior de tanques de agua de los tanques de agua potable de Portoviejo.- En enero del 2000 se produjo un deslizamiento en este sector y las autoridades procedieron a tractorar las cabeceras de este deslizamiento y demoler los tanques, acumulando los escombros en este mismo sitio.

“Luego de los trabajos realizados y al no implementar soluciones técnicas, se ha producido una reactivación del deslizamiento, ocurriendo un movimiento rotacional muy pronunciado, que ha provocado la formación de un cráter de forma trapezoidal, de aproximadamente 150 x 120 metros, con un desnivel, en la parte más baja, de casi 15 m” (55).

En el fondo del cráter se acumuló los escombros del hormigón de los tanques, muchos pedazos de rocas, gravas, madera, tubos y otros tipos de desechos, que parecen secos, pero que indudablemente son verdaderos sumideros de las aguas lluvias que se recogen en dicho cráter, y que constituyen en peligrosas infiltraciones de aguas lluvias hacia el interior de las masas de suelo inestable.

La evidencia de esta inestabilidad se presenta en varias grietas al píe del cráter mencionado, lo que determina un movimiento muy activo de las masas del suelo, por la acción de la fuerza hidrostática, lubricadora y erosiva del agua.

La probabilidad de producirse un alud, con la presencia de un período prolongado e intenso de lluvias es de magnitud es muy alta. Esto implica la posible pérdida de vidas humanas, además de graves daños a las casas e infraestructura existente.

4.7 Puerto López



Figura 4.7.1: Vista general de Puerto López

Fuente: Visita de campo

La ciudad de Puerto López está emplazada sobre un delta aluvial, que es un sector de gran belleza paisajística, pues rodea una hermosa ensenada. El desarrollo urbano ha cubierto toda el área del abanico, que es la más plana, y parte de las primeras laderas circundantes; otras acciones antrópicas como la deforestación, el reemplazo de bosques por cultivos, y más que todo las excavaciones, sin un manejo adecuado, conforman el cuadro que favorece la acción destructiva, cada vez mayor, del fenómeno de erosión, considerando que los suelos y rocas existentes en el sector, son calificados como blandos a

muy blandos, prevaleciendo estos últimos; los suelos son expansivos y colapsibles, las rocas pueden ser pedaceadas con la mano ya que son lutitas y limonitas que se fraccionan, cuando están expuestas, sólo con los cambios de humedad.

Se identificaron dos tipos de erosión: "Areal, aquella que afecta superficialmente a grandes sectores, pudiendo haber zanjones distribuidos en terrenos algo regulares, de hasta un metro de altura; erosión profunda, aquella que afecta a los cauces mediante falla de talud y también la que se tiene en sectores donde predominan materiales sueltos, con la presencia de zanjones y cárcavas grandes, en estos casos se tiene además la presencia de pequeños deslizamientos o rupturas de talud progresivos" (55).

Puerto López sufre de un proceso de depositación y arrastre de materiales (lodo: sedimentos limo arcillosos), que cubre aproximadamente 60 cm de al menos la mitad de la ciudad, por lo que constantemente se ve en la necesidad de sacar dichos depósitos. Esta sedimentación masiva provoca y causa serios problemas en la actividad pesquera, comercial y turística del cantón (55).

Se determinó que el 90% de los sedimentos provienen de los terrenos existentes en la población y en los que rodean a la misma; en sitios donde se han efectuado movimientos de tierra previos, caminos, planadas, áreas de prestamos de materiales para rellenos y con menor incidencia en áreas cultivadas (55).

Como medidas de mitigación se construyeron diques de gaviones para controlar a los sedimentos, que se azolvan en pocos días, después se voltean y colapsan debido a la erosión que ocasiona el salto de agua en los materiales blandos sobre los que están asentados. Otra medida es la construcción de un canal para captar el flujo de agua, que ocupa el 60% de la calle. Como es lógico, estas obras no funcionaron y al contrario constituyen depósitos de más sedimentos.

Alud de sedimentos sobre la ciudad y las playas.- Provocado por la erosión a gran escala en las laderas y cauces, debido a que Puerto López es un delta aluvial. La acumulación de sedimentos llegó a los 70 cm de espesor en las calles, esto sumado a las lluvias provoca que en cada estación invernal o lluvia moderada se asolve el sistema de drenaje (55).

Puente sobre el río Bellavista.- Existe un problema de estabilidad debido al estrangulamiento hidráulico del cauce del río. Esto se debe al terraplen de aproximación que funciona como empotramiento del estribo izquierdo. Una estructura muy parecida existe en el estribo derecho por lo que allí se evidencia el proceso de erosión en el talud. Se espera que el río debido a estos problemas del lado izquierdo, socave el empotramiento o cambie de cauce, pues el flujo da directamente sobre la estructura (55).

Puente sobre el río Pital.- Existe un estrangulamiento en el funcionamiento hidráulico del cauce del río, debido a las obras construidas, principalmente los muros de ala y aproximaciones (55).

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

A continuación se presentan las conclusiones y recomendaciones correspondientes:

5.1 Conclusiones

La conclusiones que se escriben a continuación han sido plenamente demostradas en el presente trabajo y en algunos casos pueden permitir el desarrollo de nuevas investigaciones que contribuyan al mejor conocimiento de los heterogéneos e inestables terrenos de la hermosa Provincia de Manabí.

1. El área estudiada de Manabí presenta condiciones naturales que al ser modificada por la acción antrópica, determinan varias posibilidades de procesos de deslizamientos en casi todos los sectores estudiados.

2. Los fenómenos geodinámicos más incidentes son: el Fenómeno el Nino y el tectonismo que incluye la sismicidad, los cuales pueden actuar como elementos generadores de procesos de inestabilidad que pueden afectar principalmente áreas habitadas, también a la infraestructura vial y urbana.

3. Las formaciones geológicas de Manabí, en particular las de edad Eoceno al Mioceno, presentan grados de debilidad a los procesos de deslizamiento que tienen magnitudes similares.

4. Los depósitos coluviales que existen en gran numero en el área estudiada constituyen masas de suelos inestable, sobre todo si existe la intervención antrópica.

5. Se ha demostrado que existen correlaciones entre diferentes parámetros de correlación del macizo rocoso, proponiendo incluso nuevos parámetros como la Masividad y el Factor de Fragmentación, que permiten realizar ajustes a las caracterizaciones geotécnicas propuestas por otros autores.

6. Se han determinado los grados de estabilidad y formas de valoración para cada una de las formaciones geológicas y depósitos de suelos encontrados.

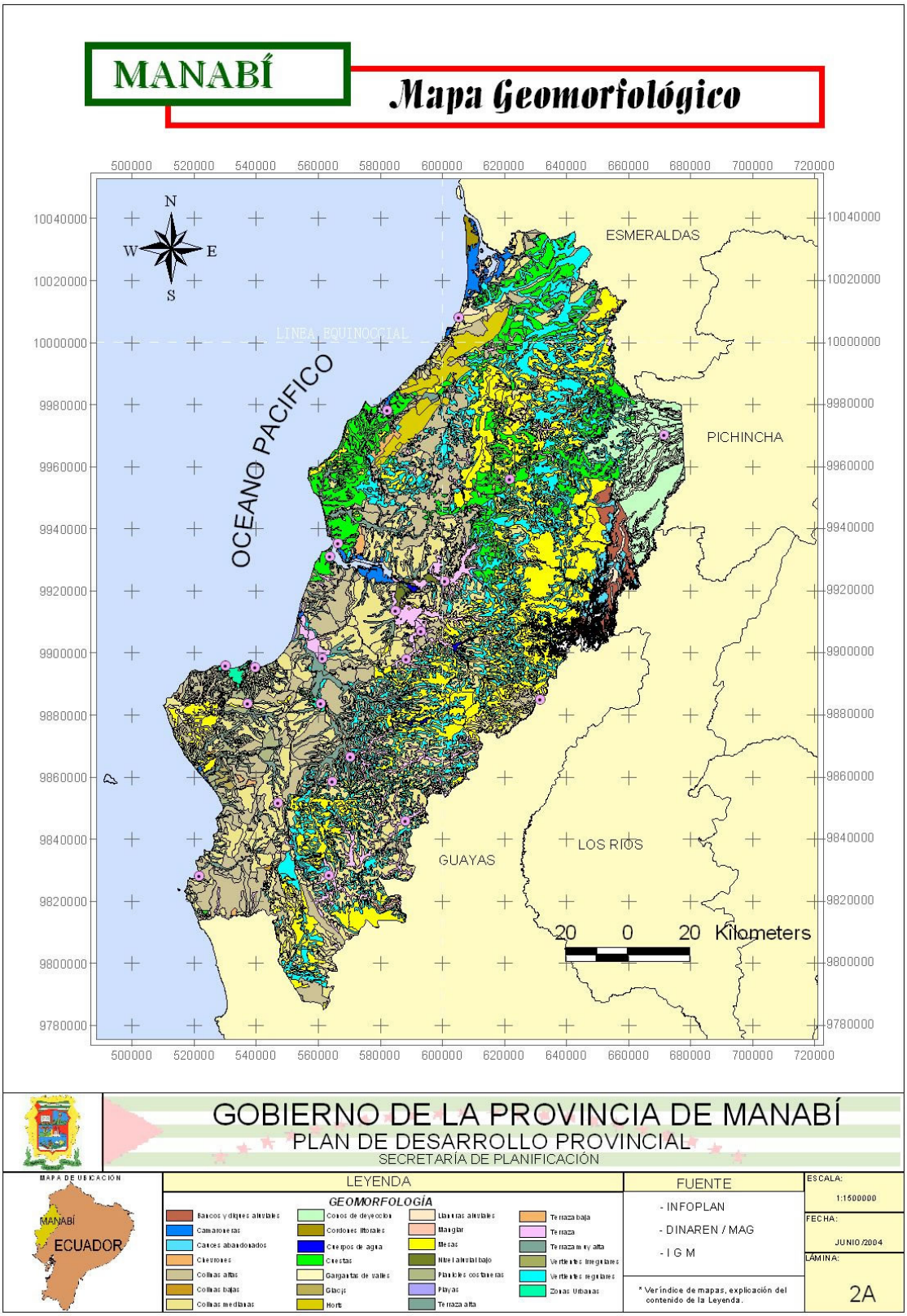
7. Finalmente se ha determinado el grado de susceptibilidad al deslizamiento para todas las formaciones geológicas y depósitos de suelos encontrados.

5.2 RECOMENDACIONES:

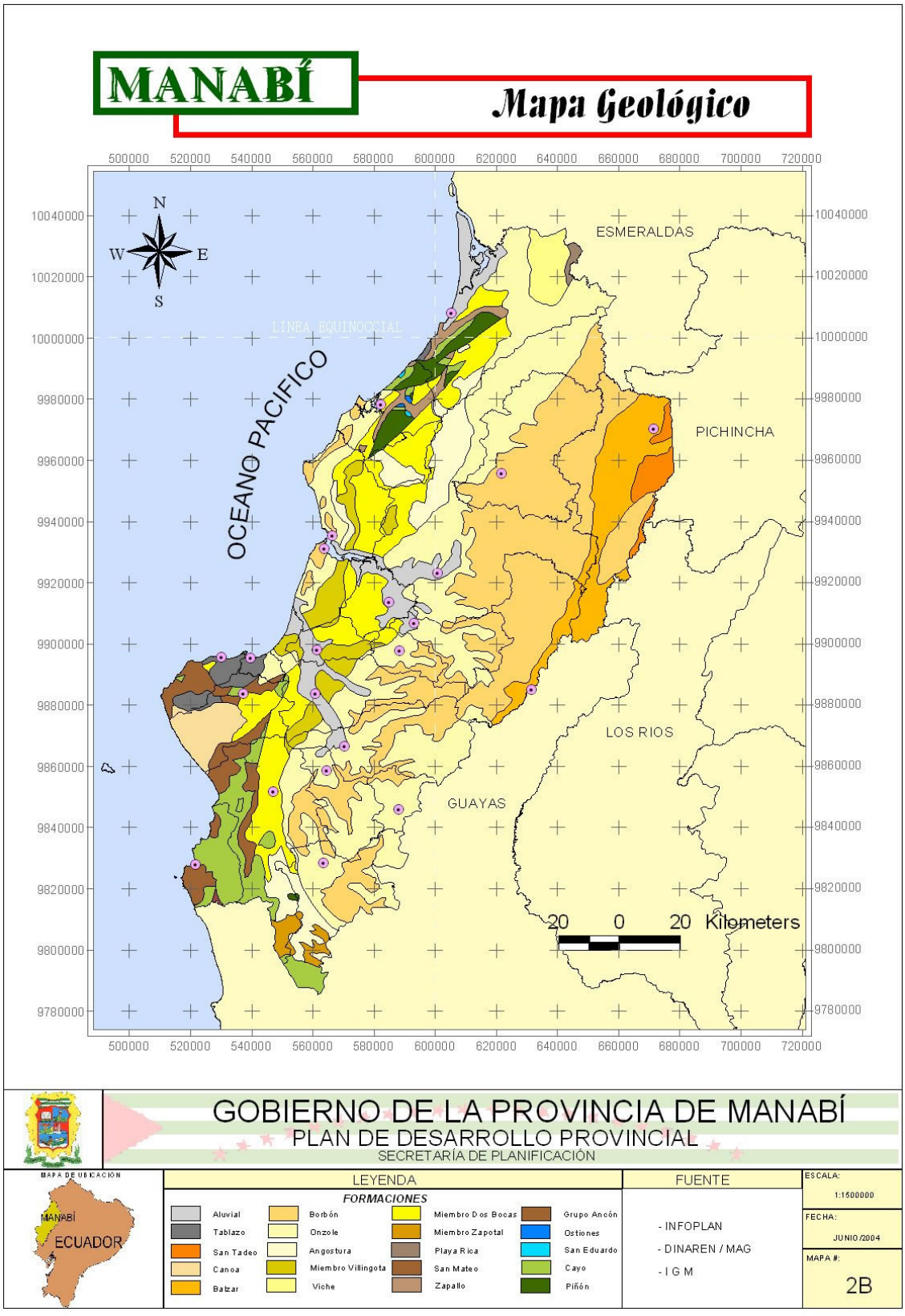
En base a la experiencia tenida en el presente trabajo se sugiere lo siguiente:

1. Mejorar la información cartográfica de las áreas estudiadas
2. Investigar con mayor detalle tanto formaciones como los miembros geológicos
3. Mejorar la información hidrometeorológica en los sitios estudiados que son de los mas críticos en la Provincia de Manabí
4. Realizar una base de datos que permita acumular información y disponer así de una mayor cantidad de parámetros para futuros análisis.
5. Utilizar los nuevos parámetros obtenidos en descripciones estratigráficas y litológicas mas detalladas para cada sector

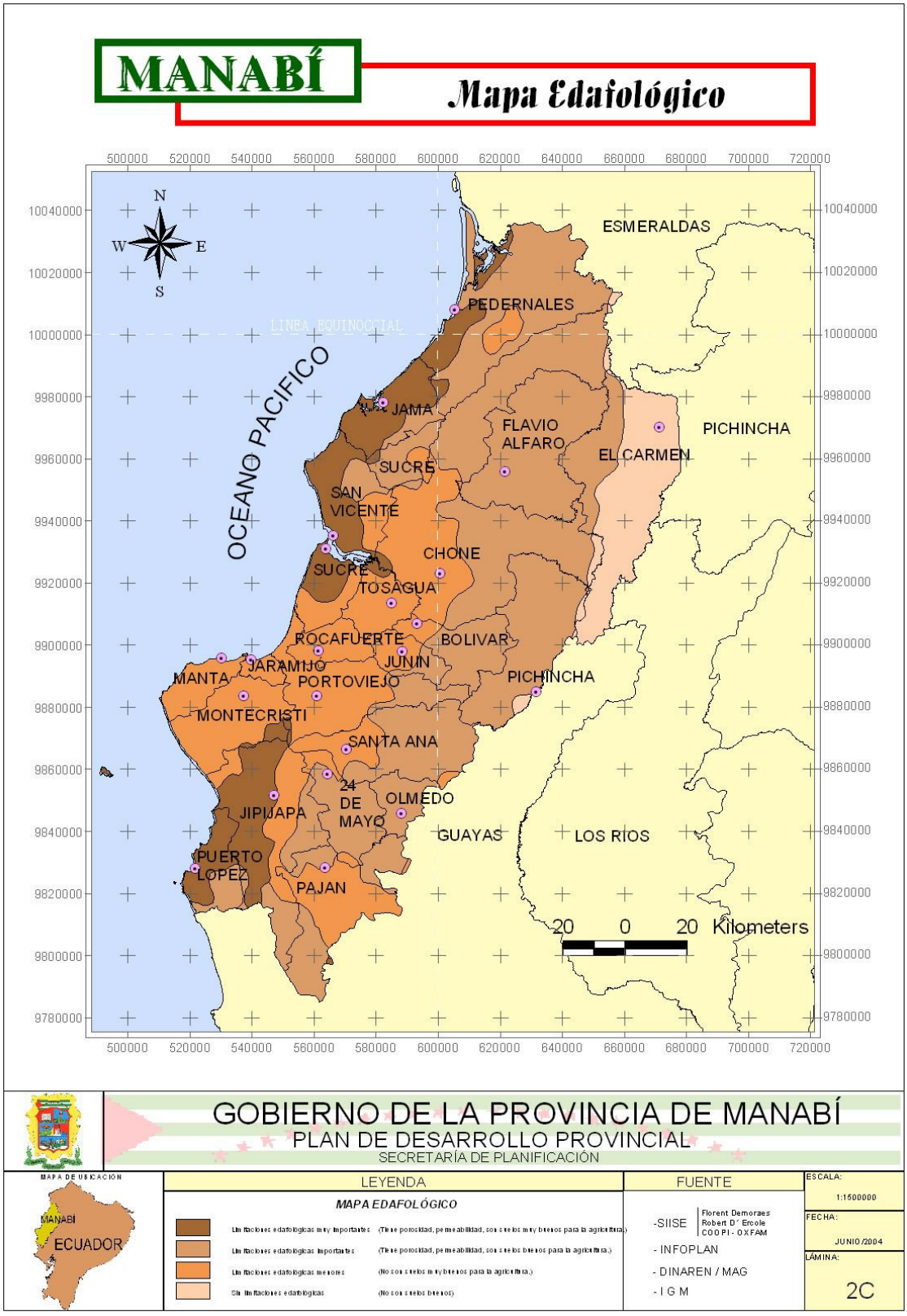
APÉNDICE A: MAPAS



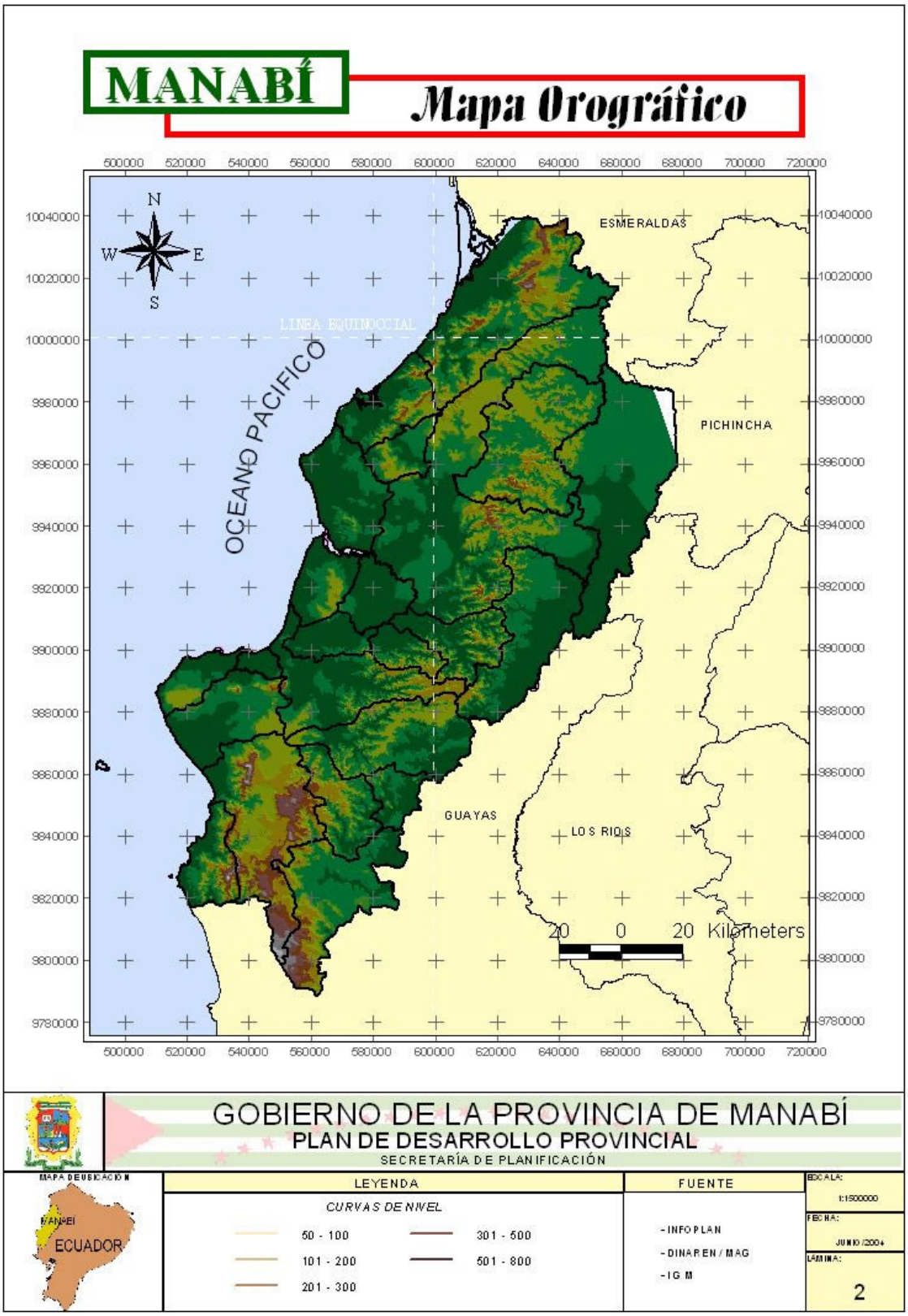
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=46&pariente=95



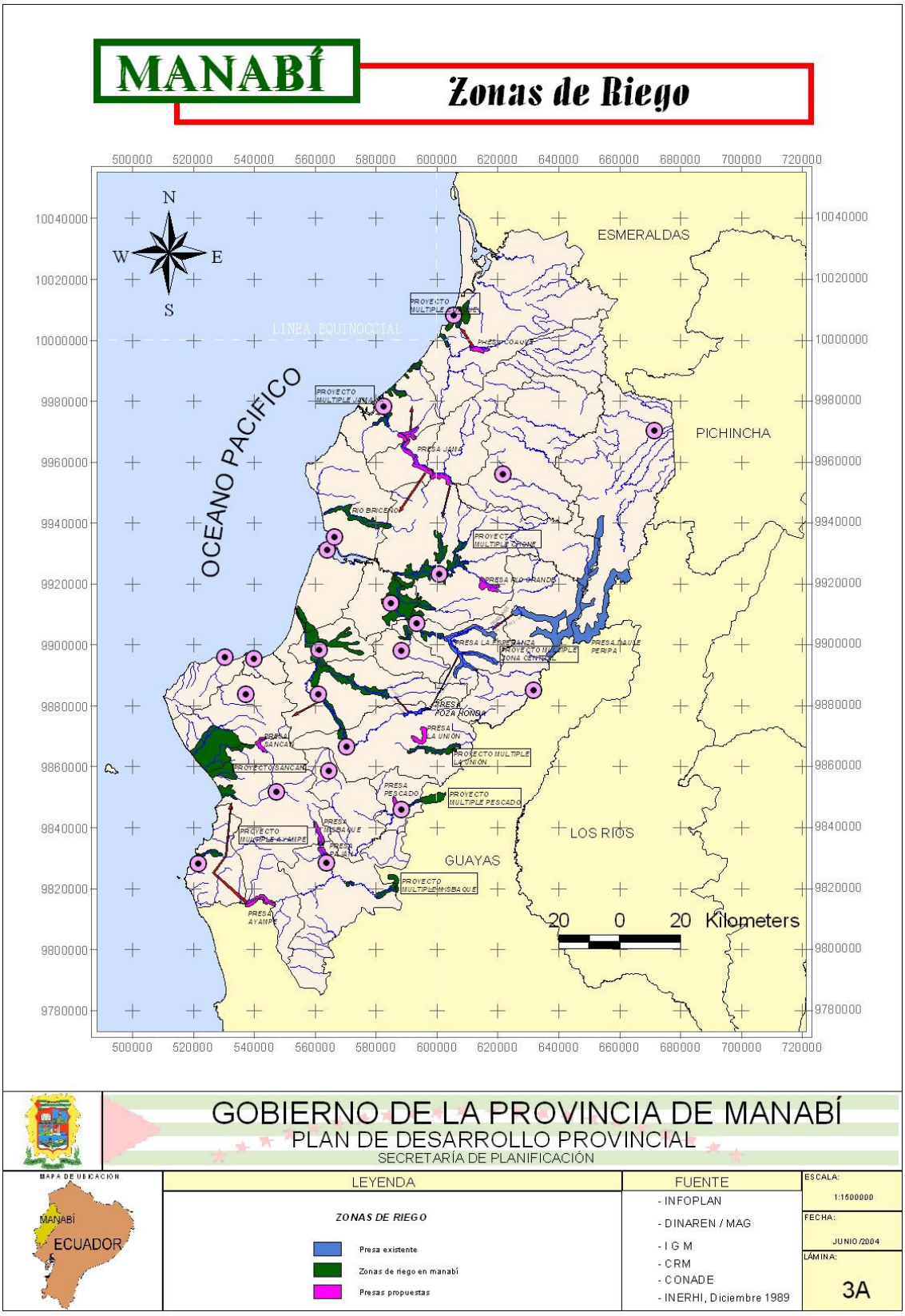
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=47&pariente=95



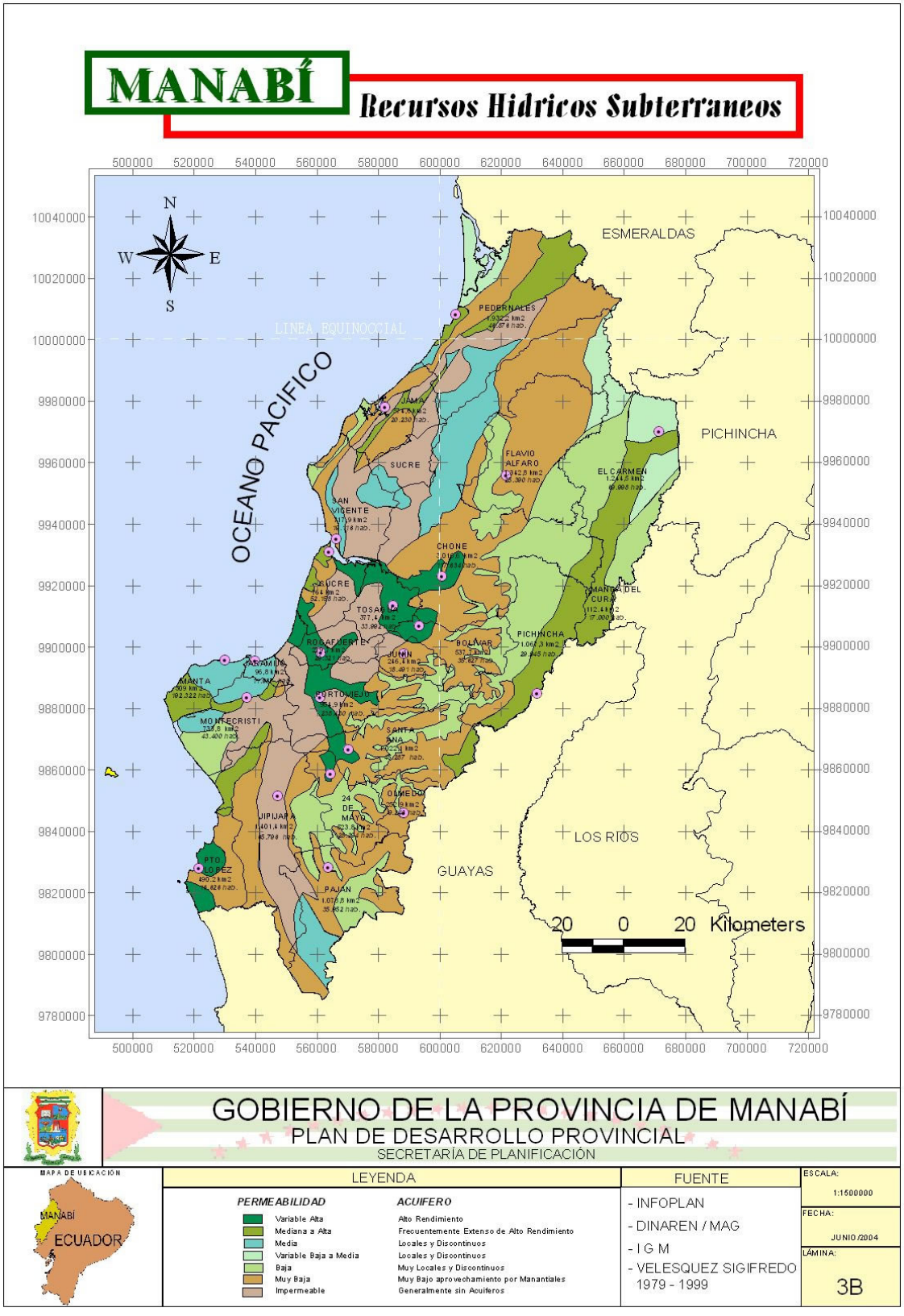
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=48&pariente=95



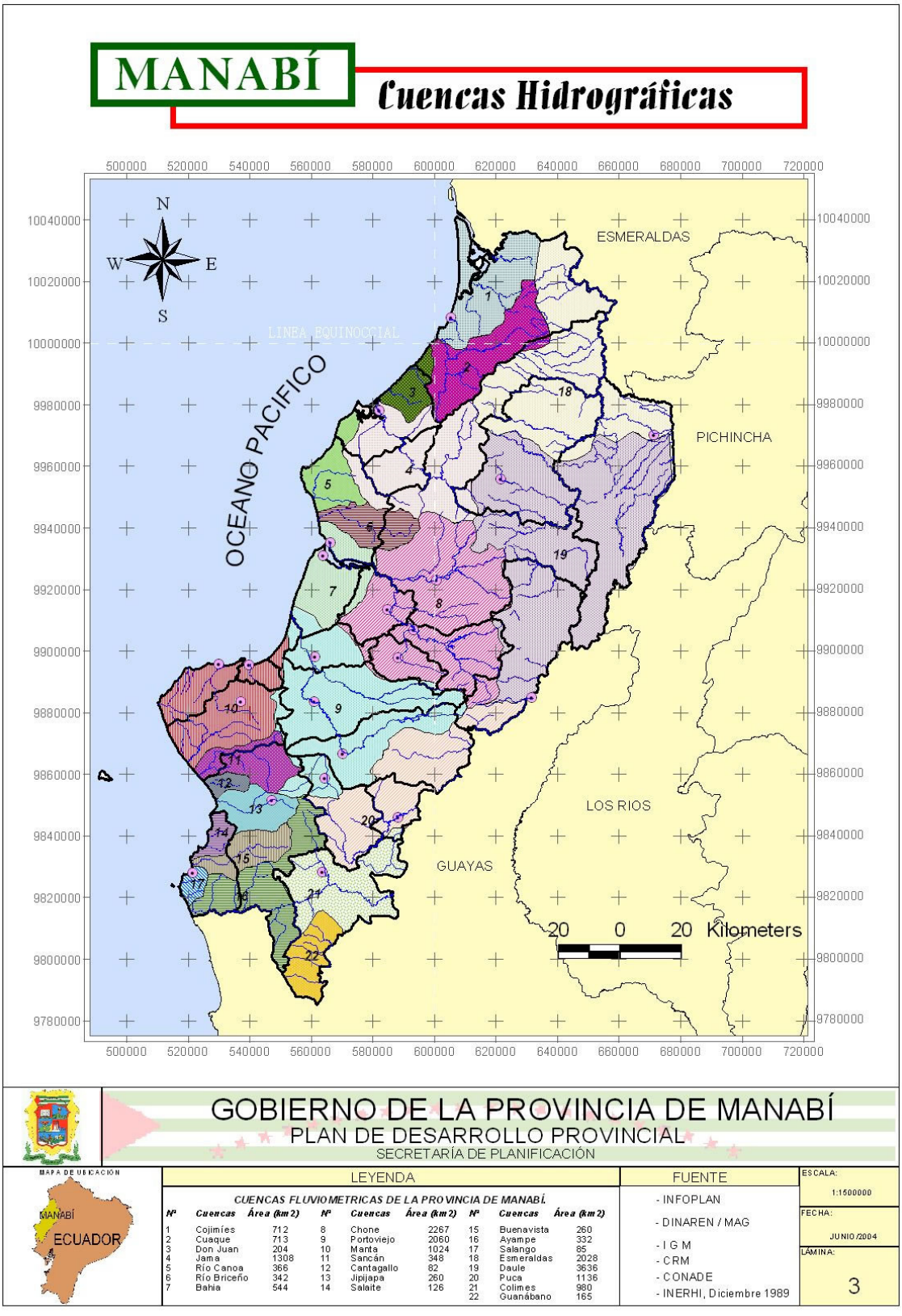
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=49&pariente=95



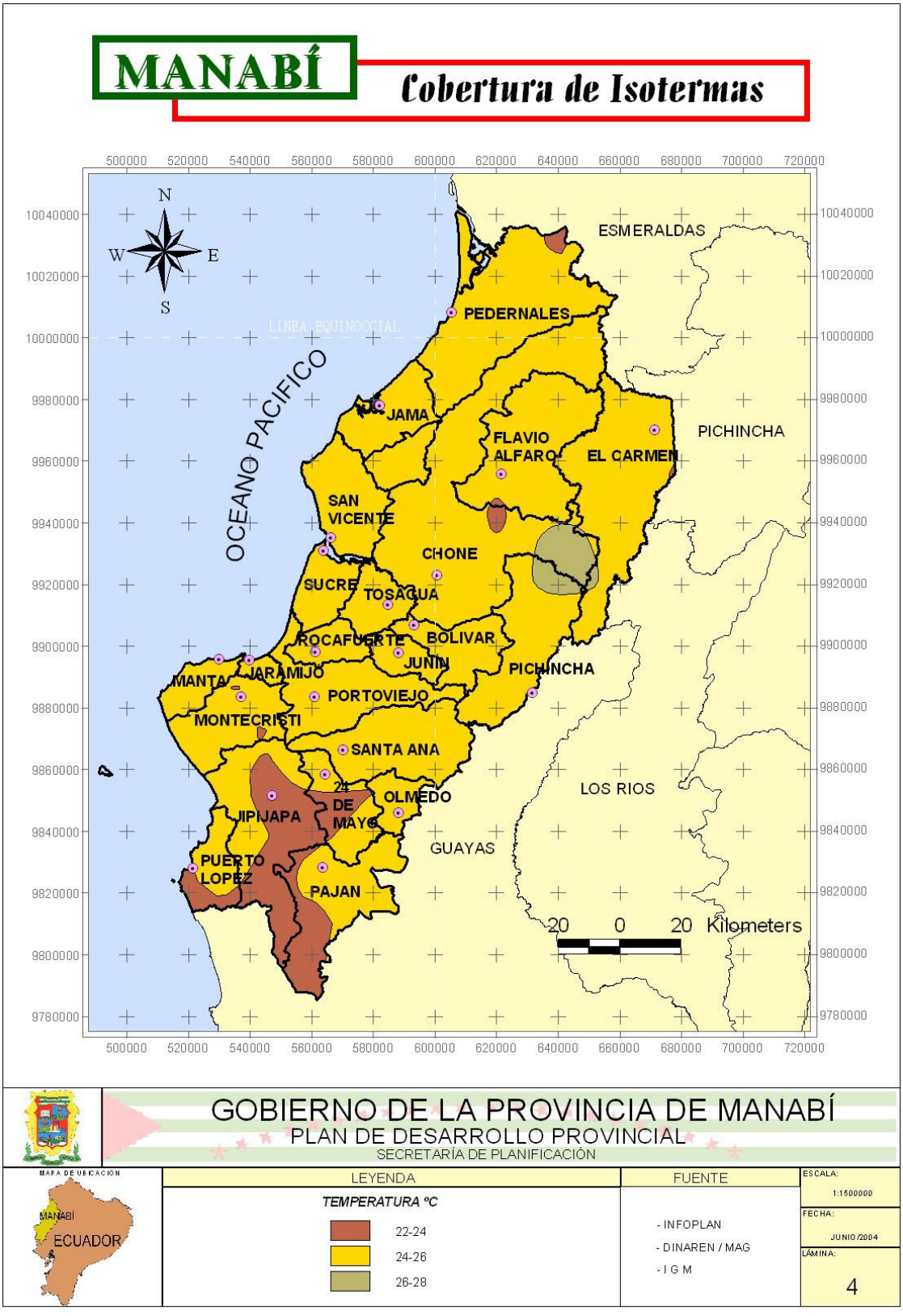
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=50&pariente=95



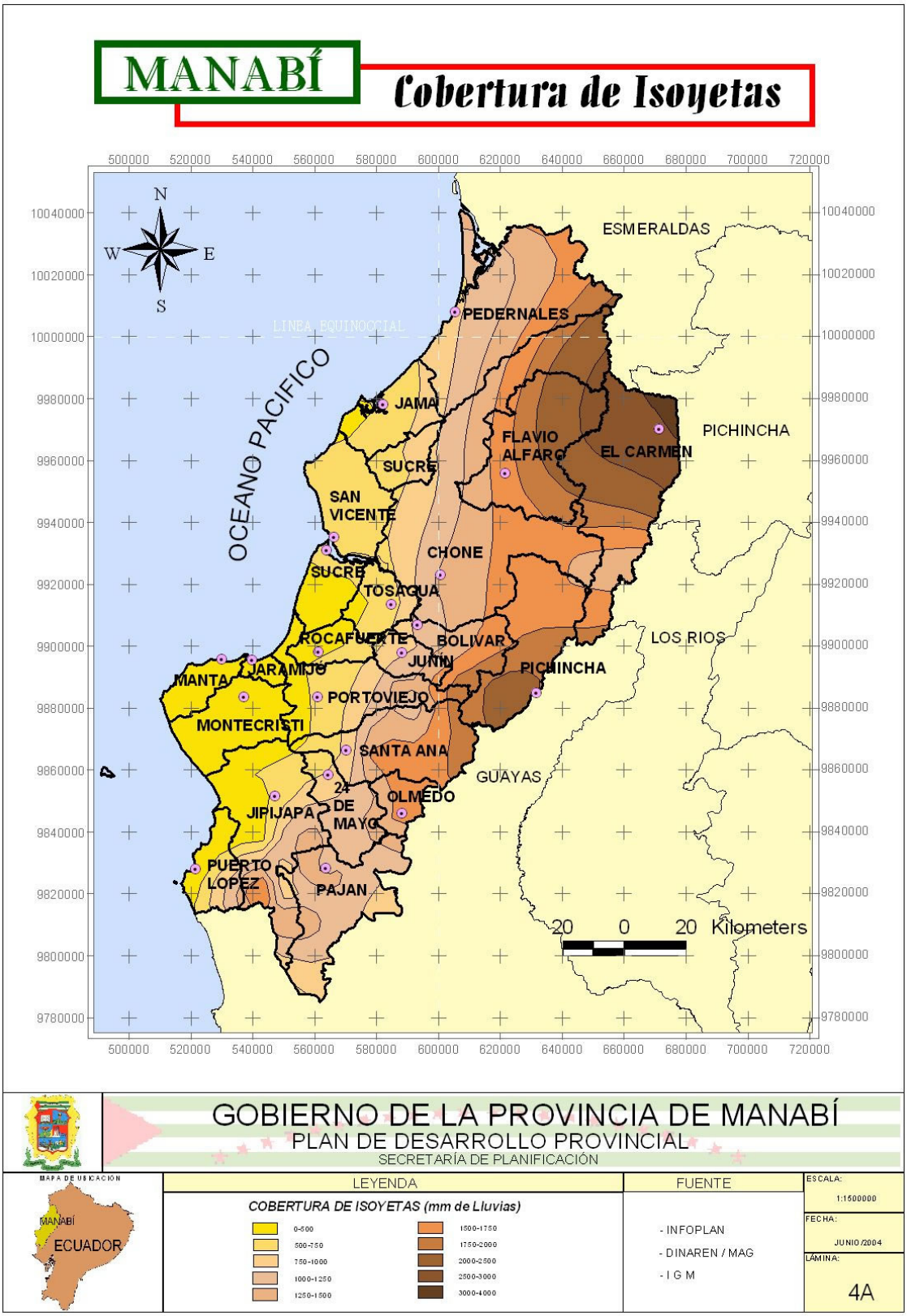
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=51&pariente=95



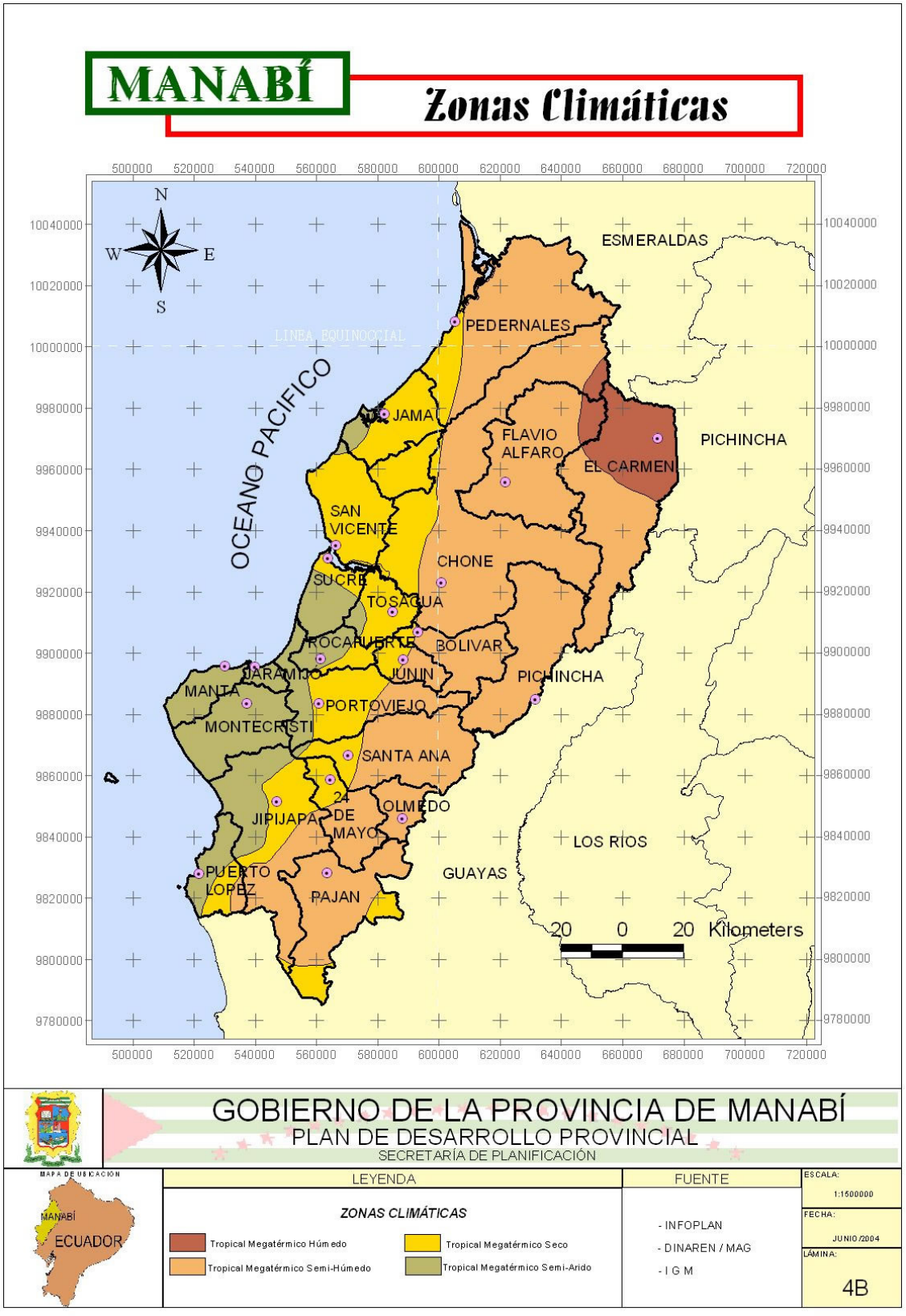
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=53&pariente=95



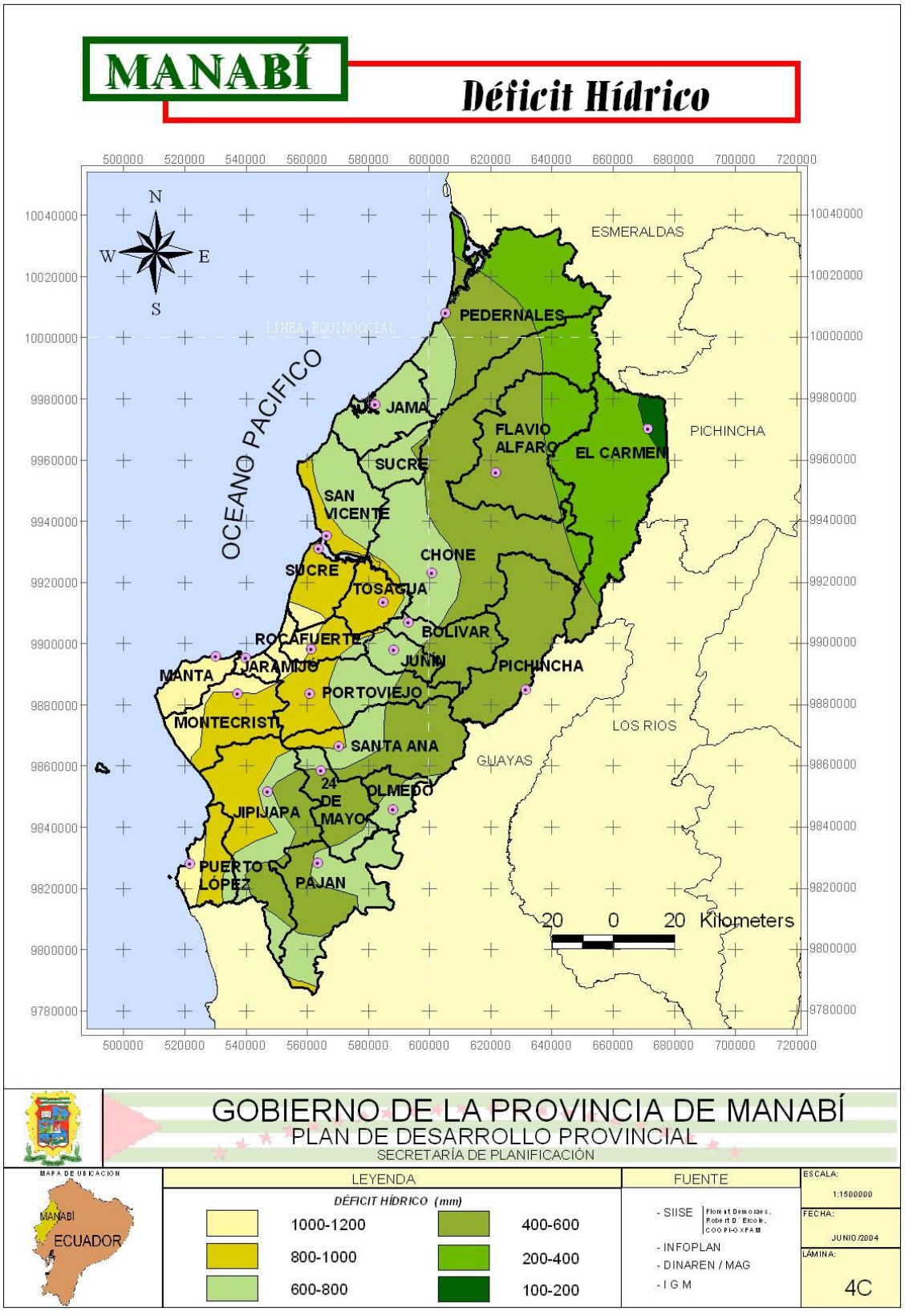
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=54&pariente=95



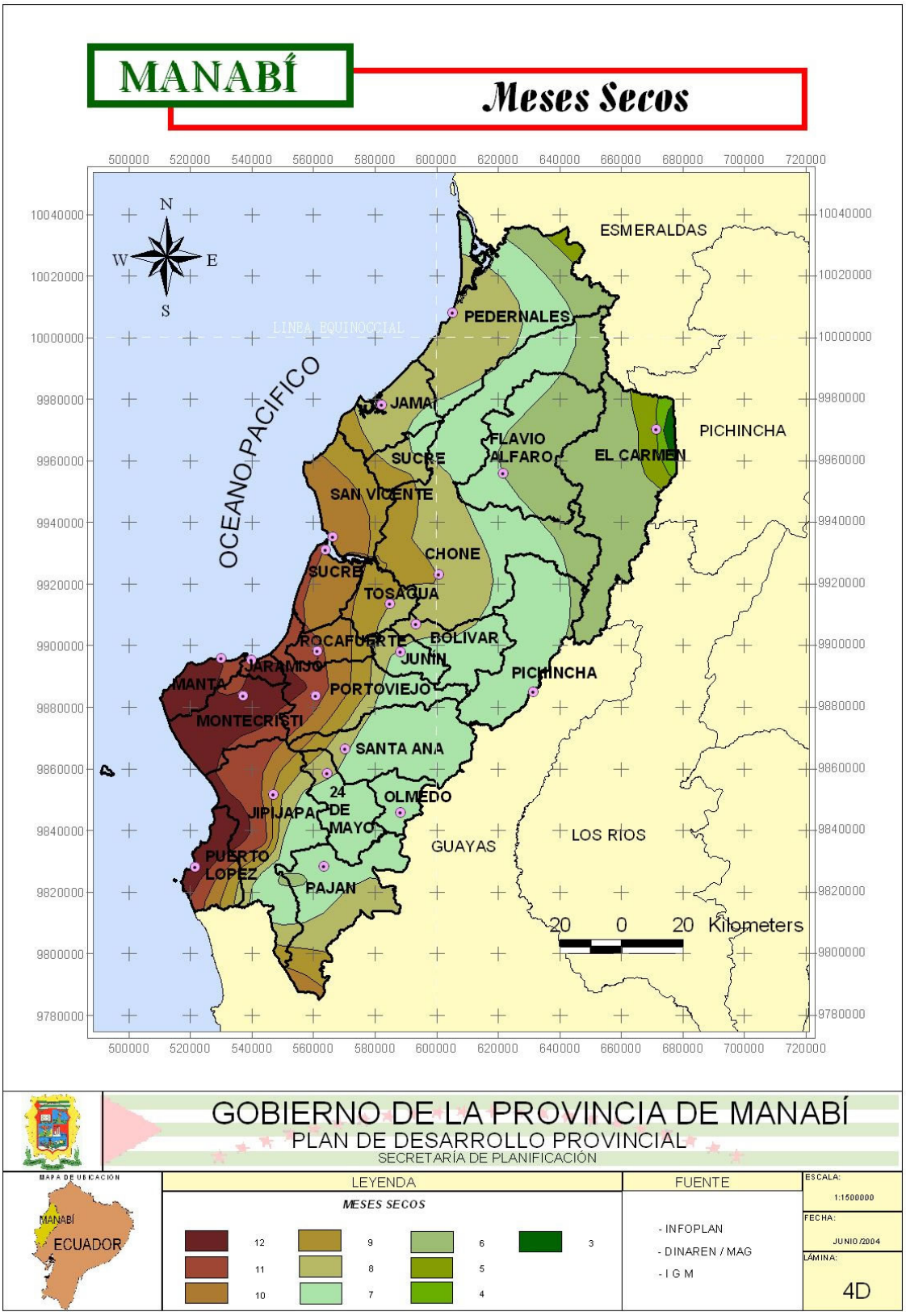
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=55&pariente=95



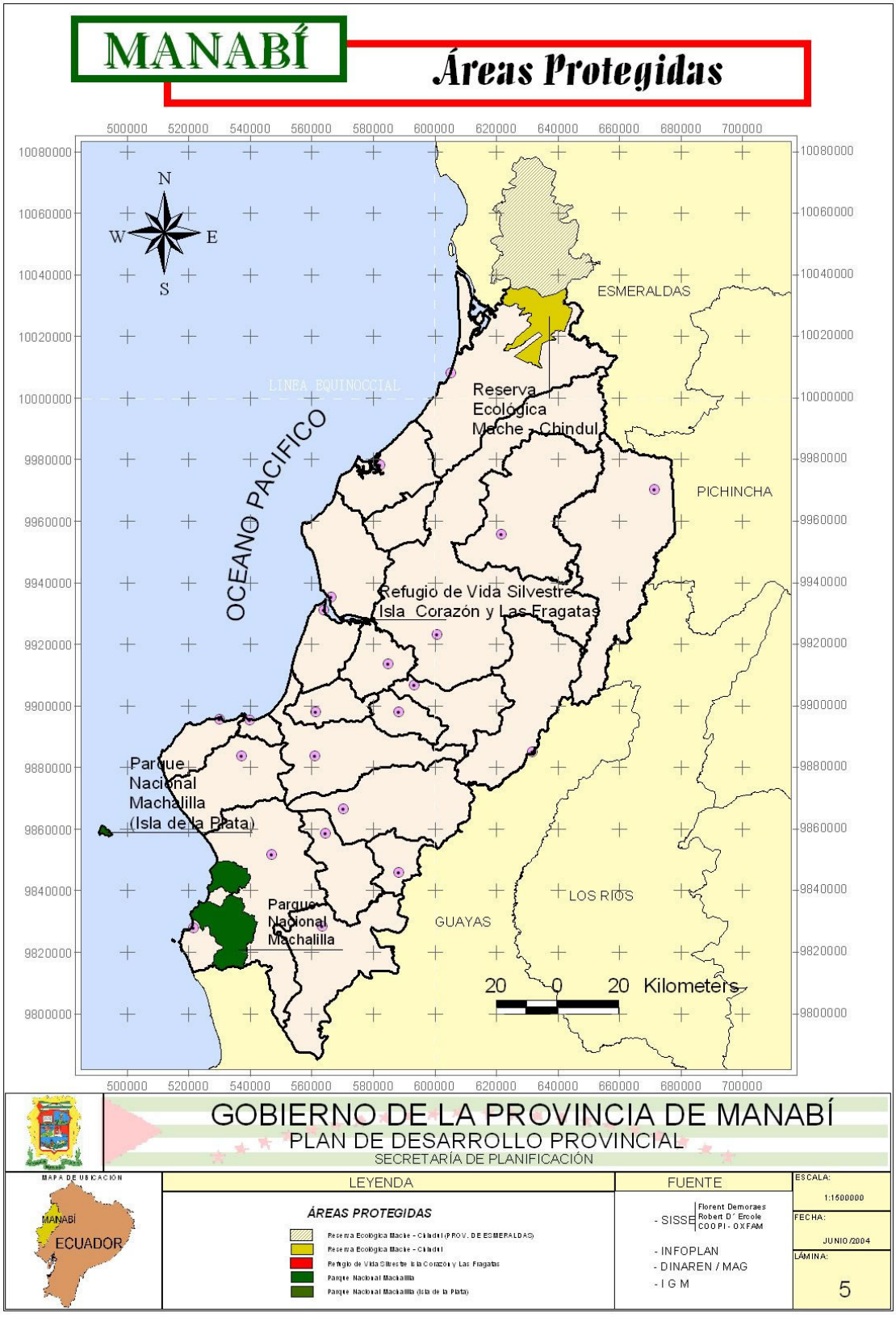
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=56&pariente=95



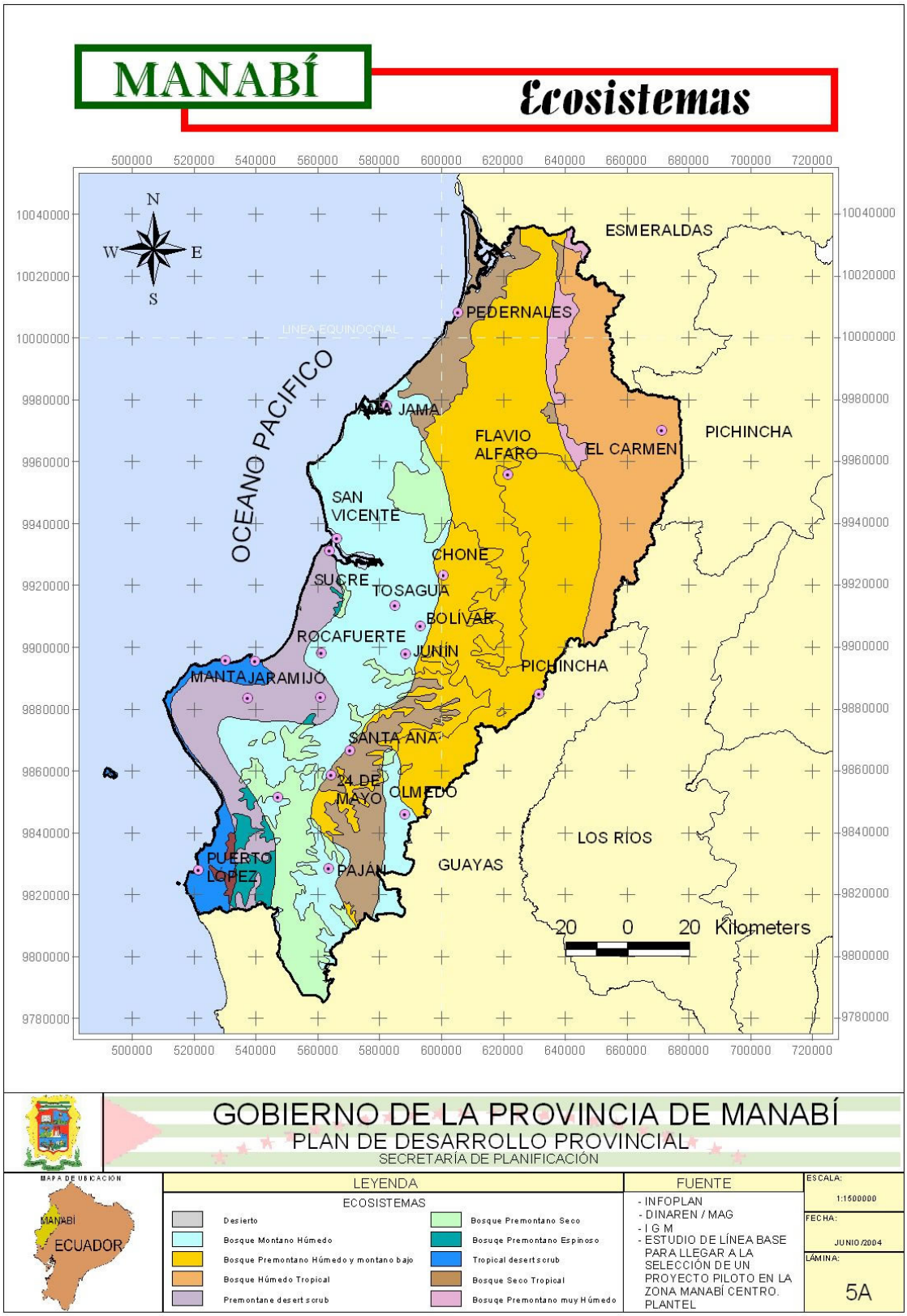
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=57&pariente=95



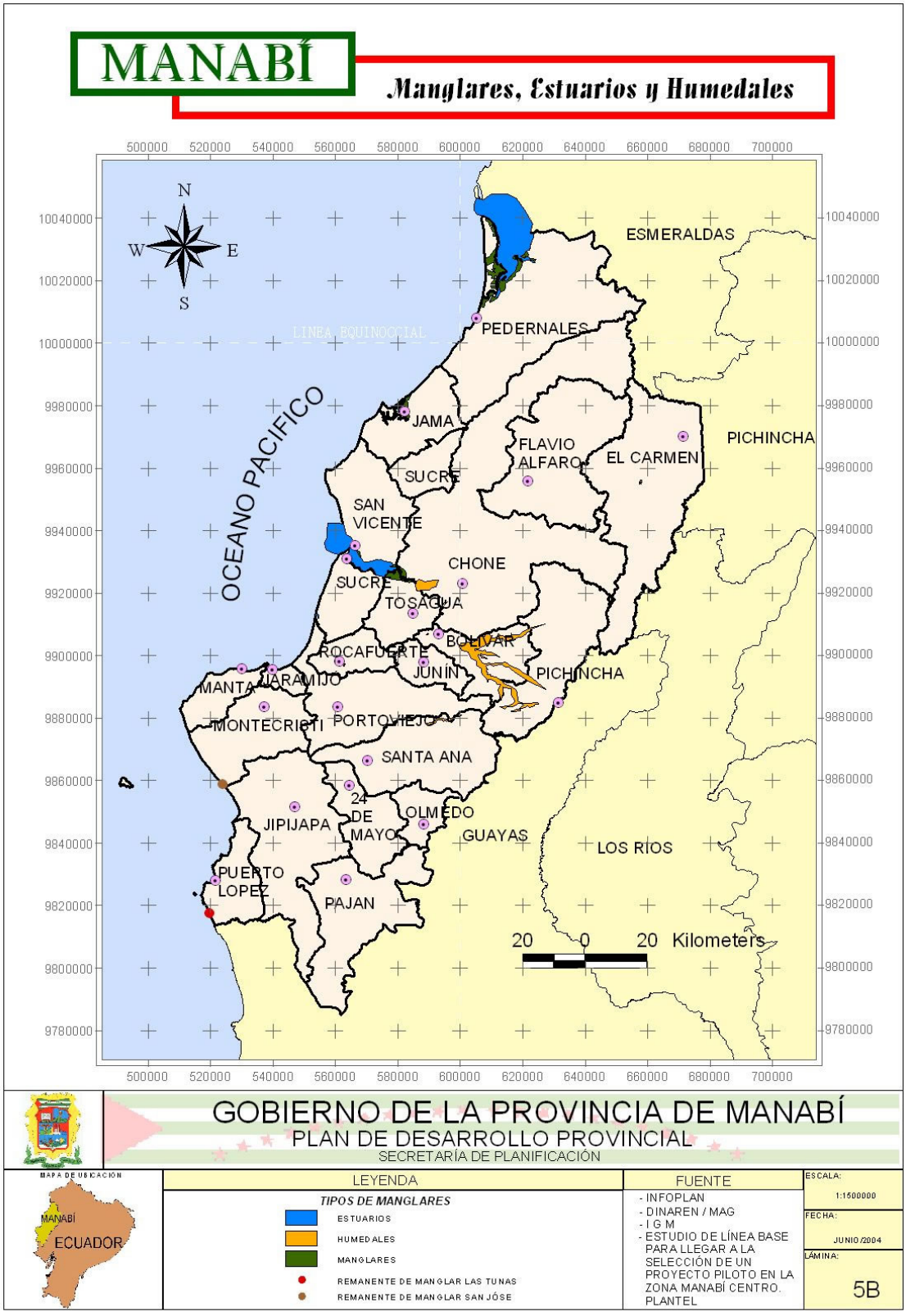
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=58&pariente=95



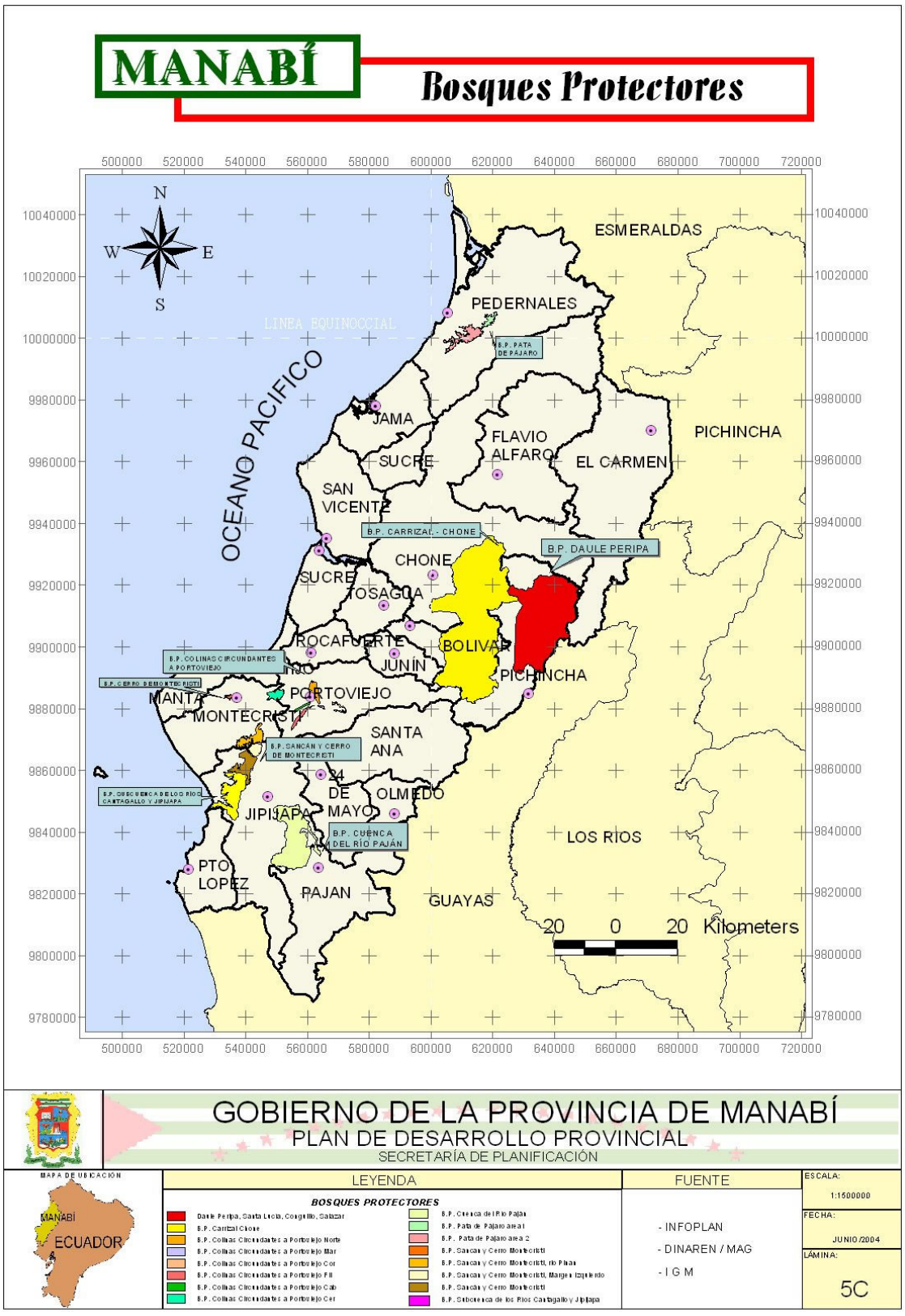
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=59&pariente=95



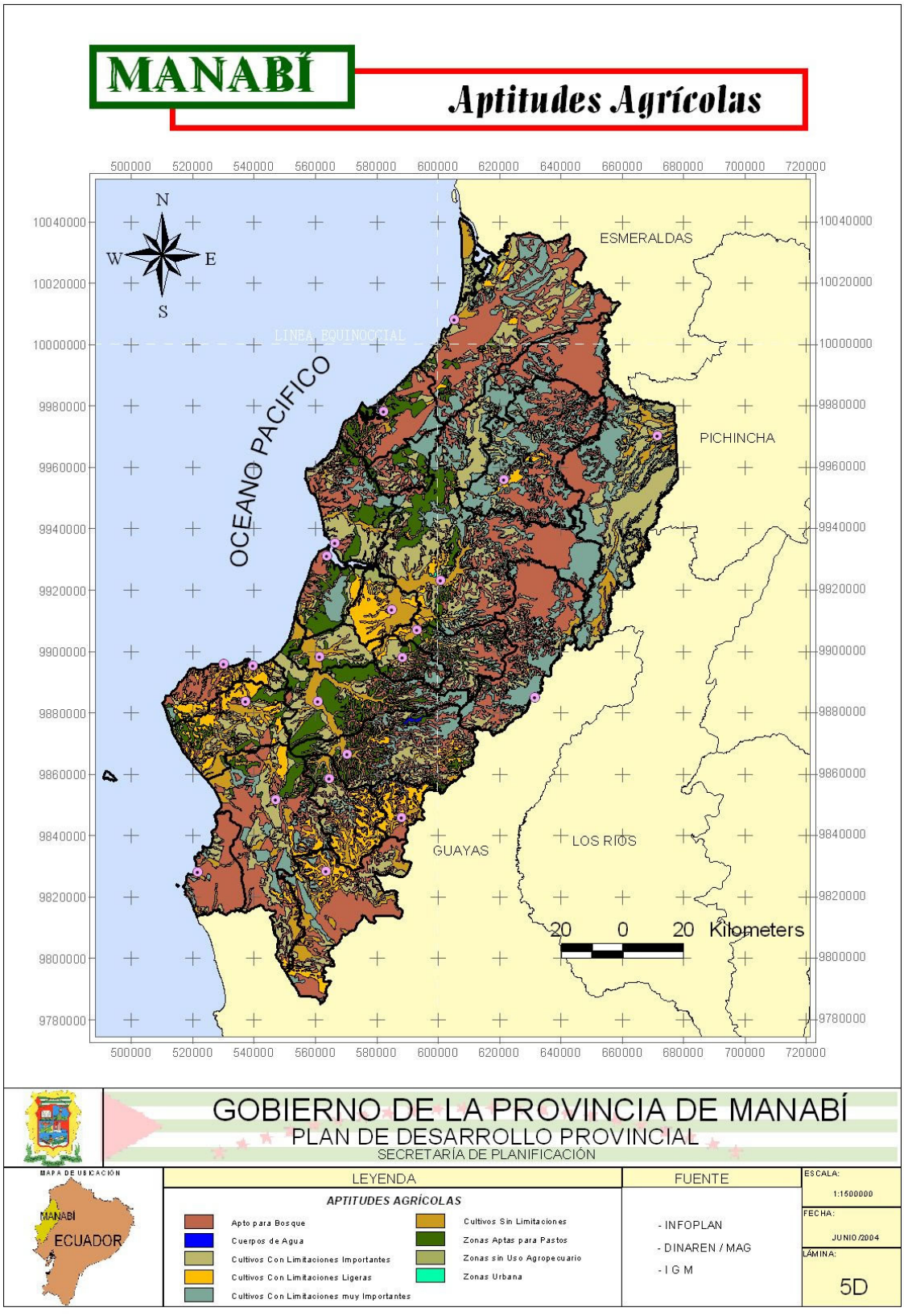
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=60&pariente=95



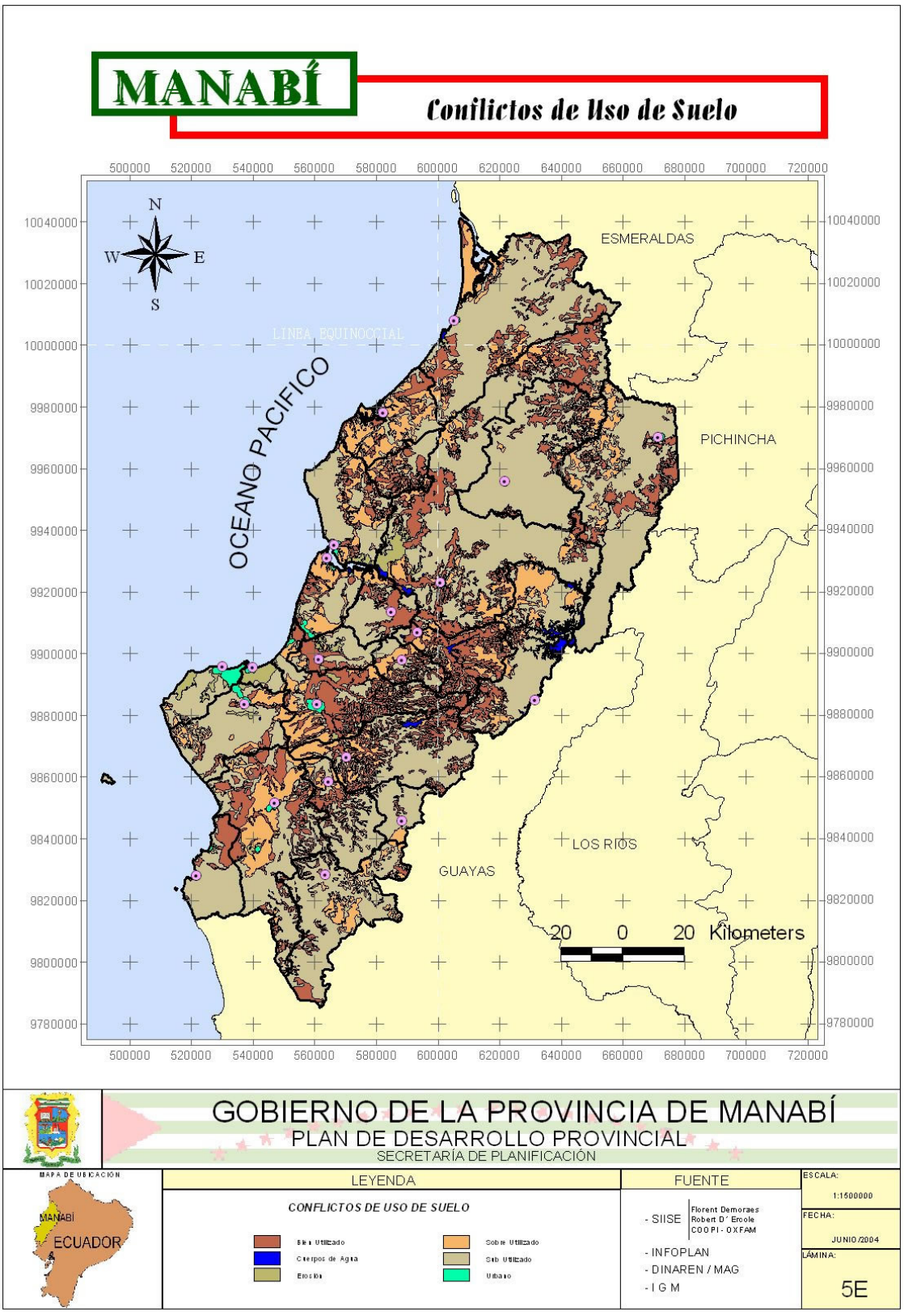
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=61&pariente=95



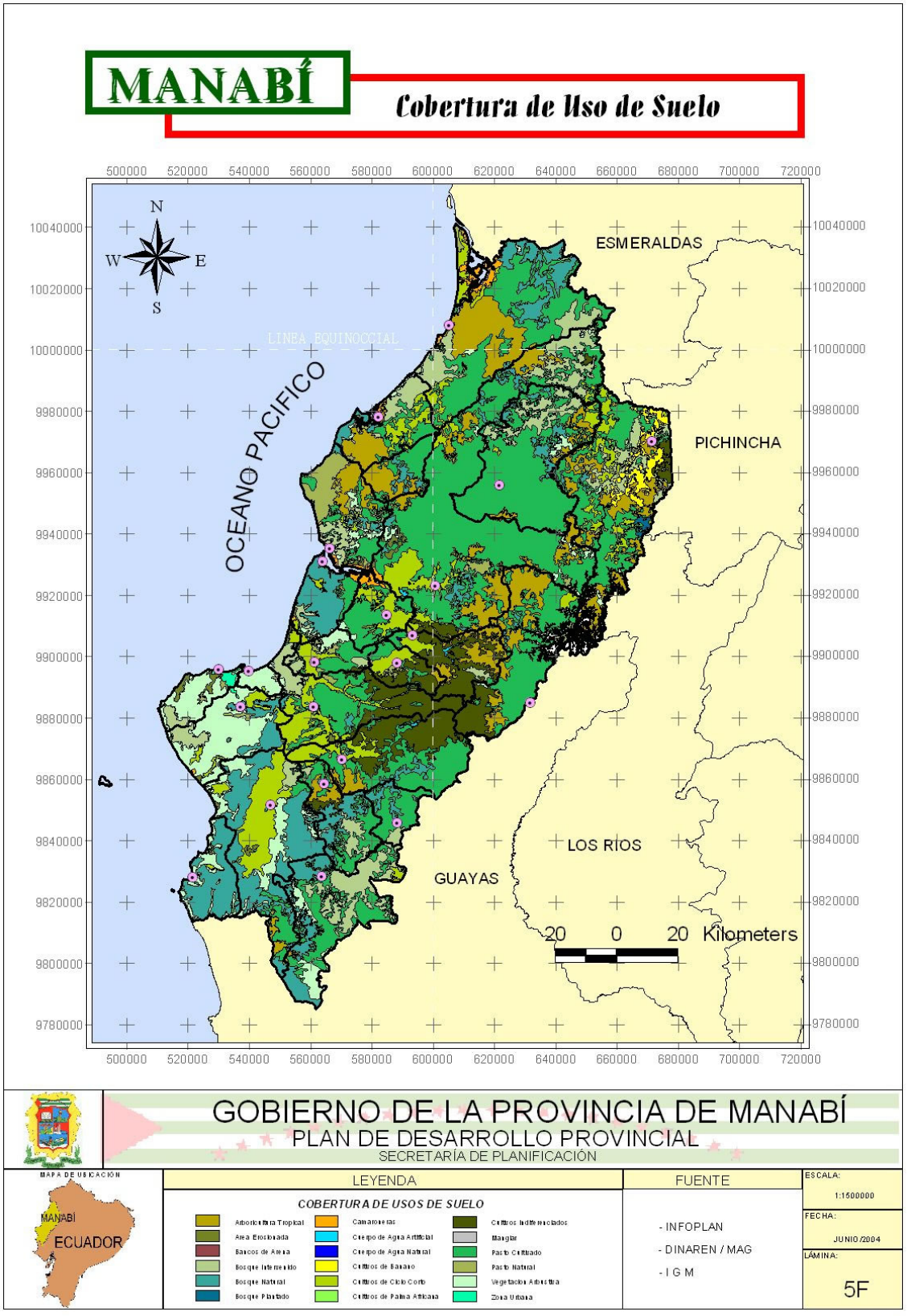
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=62&pariente=95



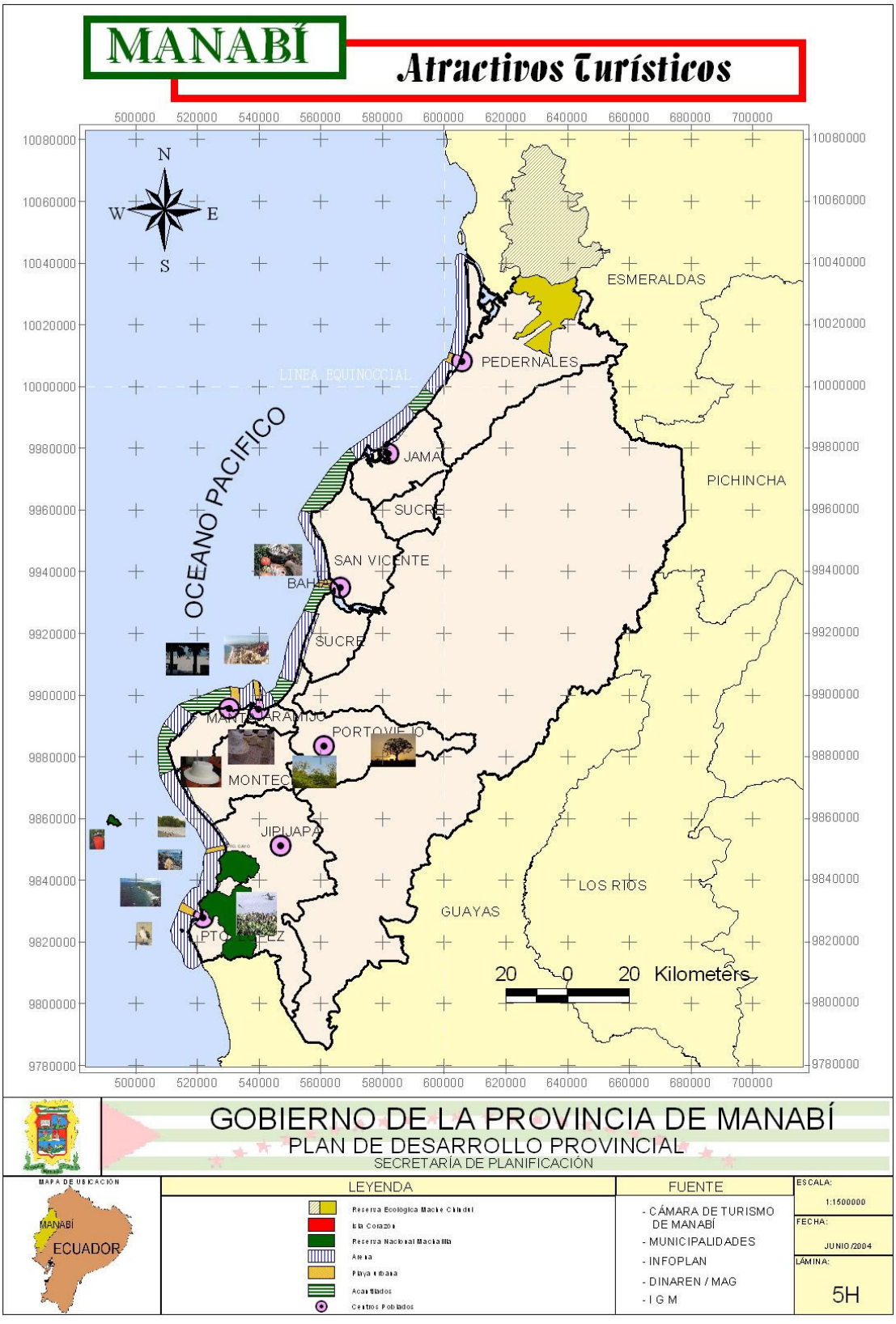
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=63&pariente=95



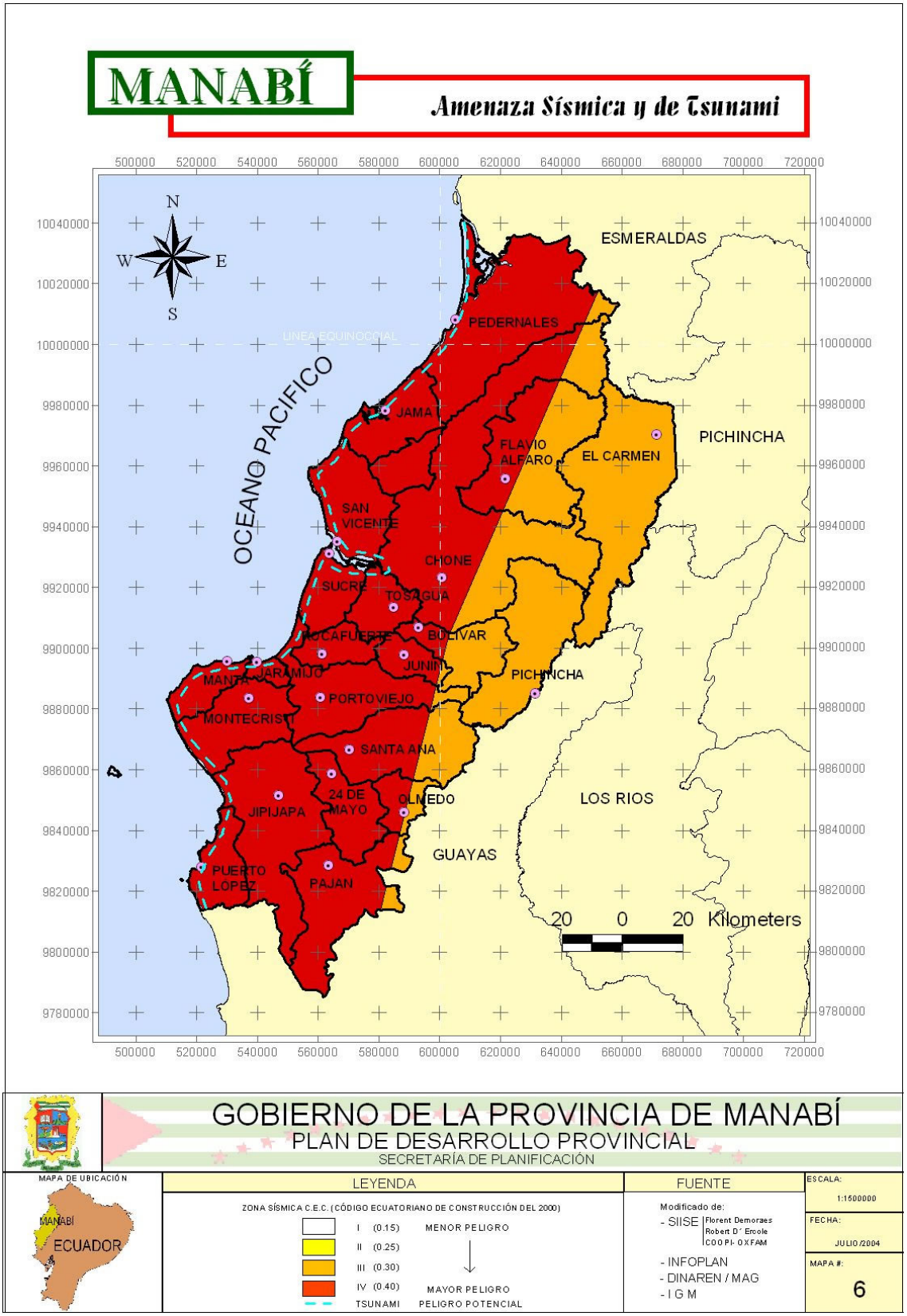
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=64&pariente=95



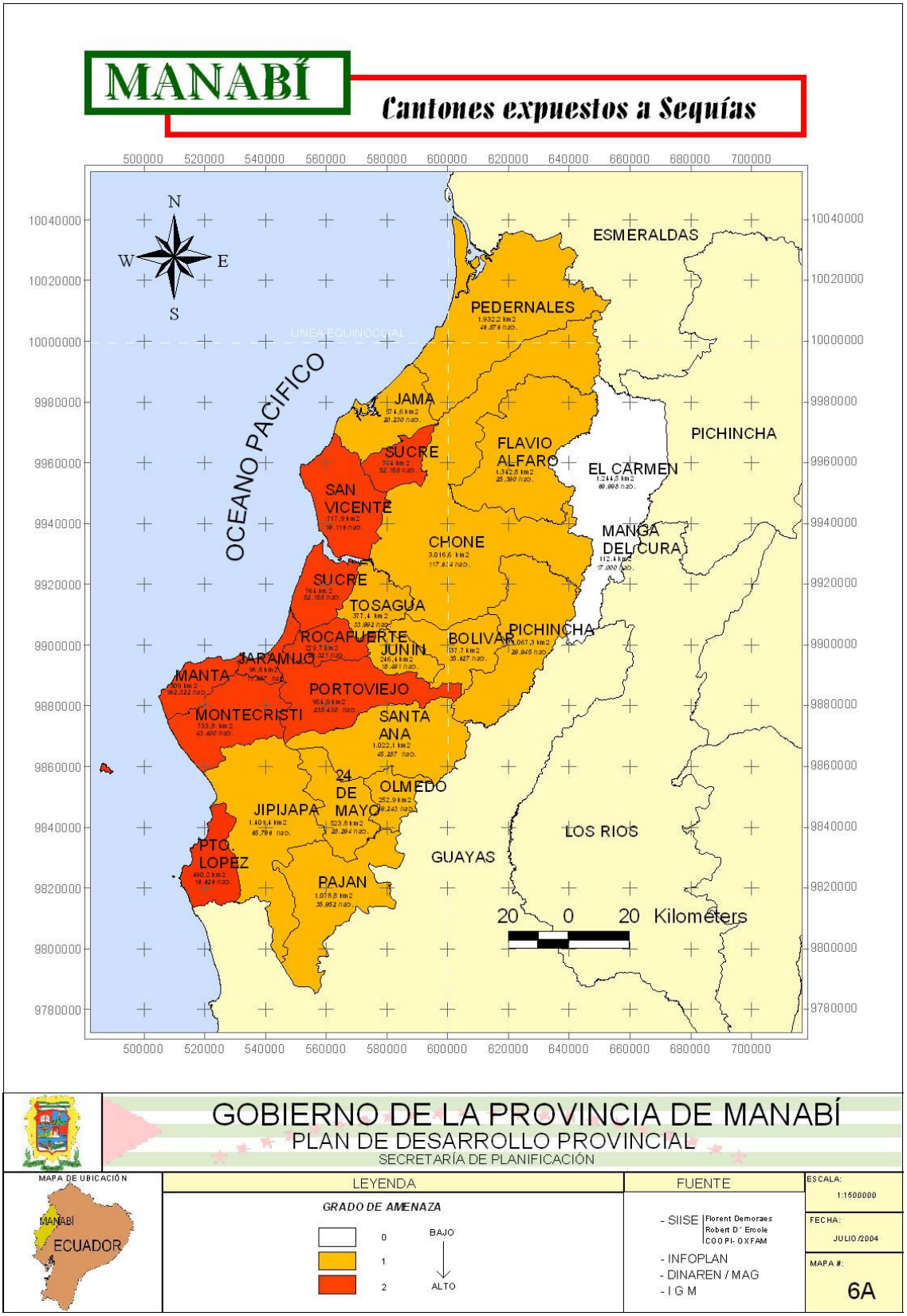
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=65&pariente=95



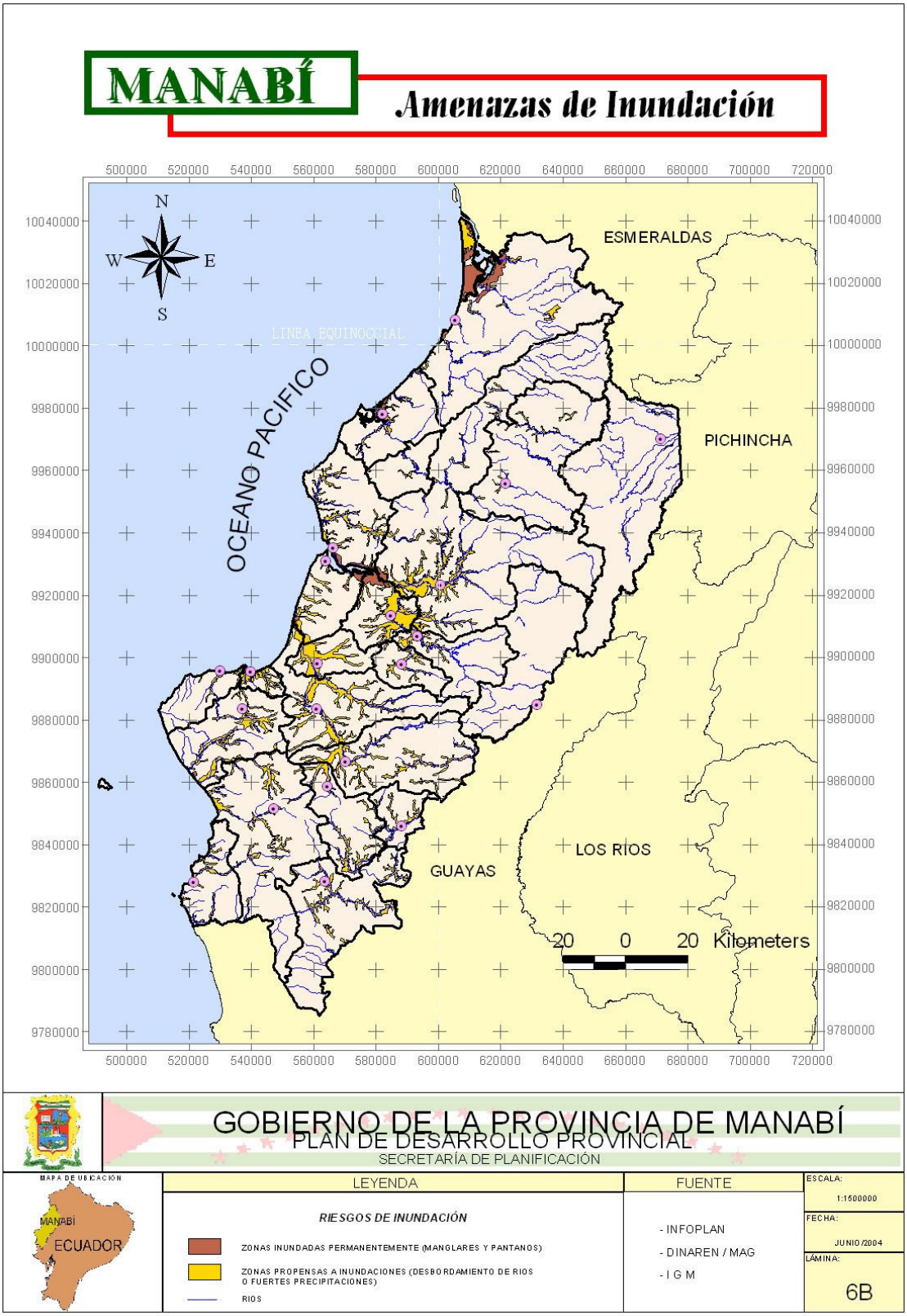
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=67&pariente=95



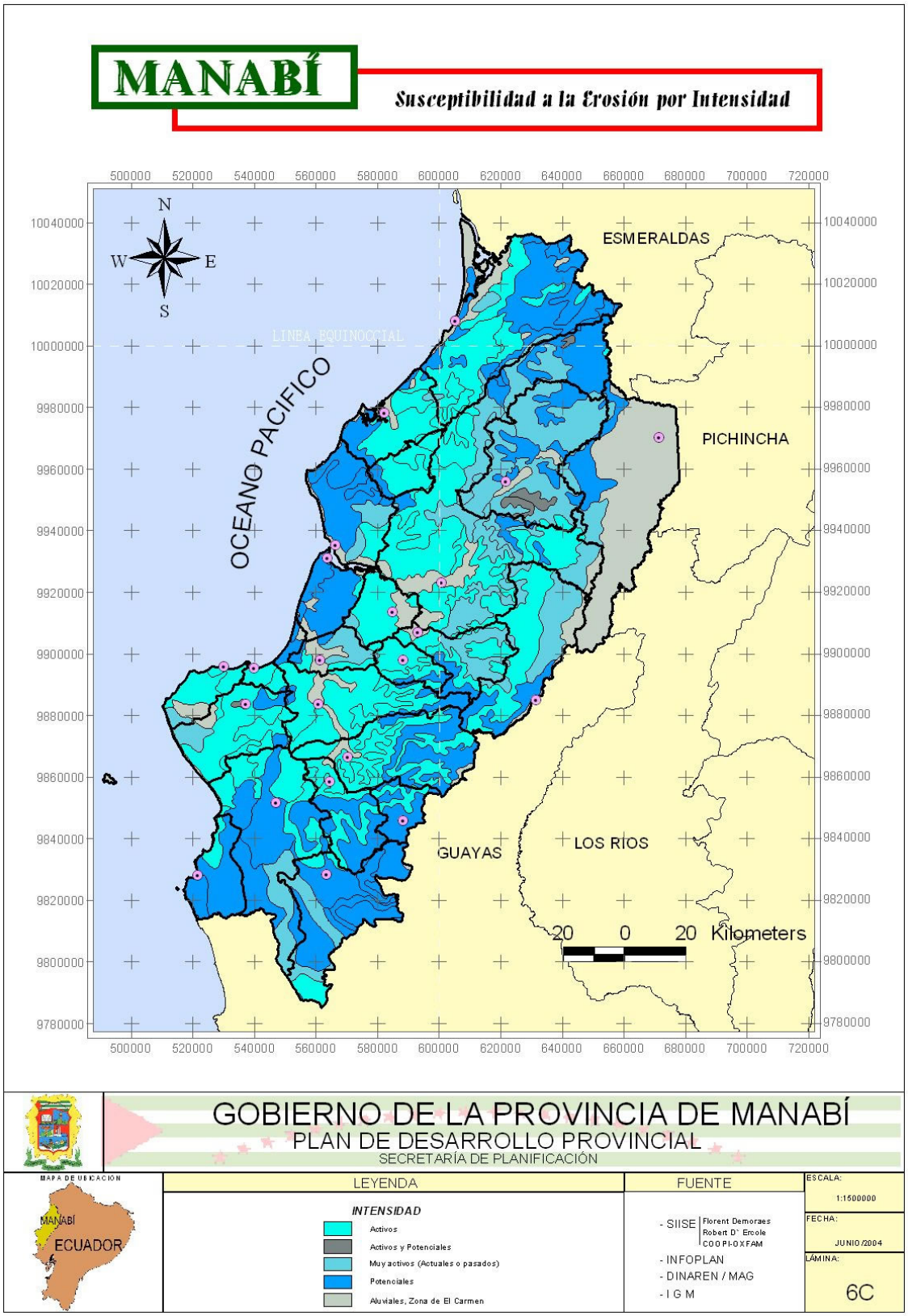
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=68&pariente=95



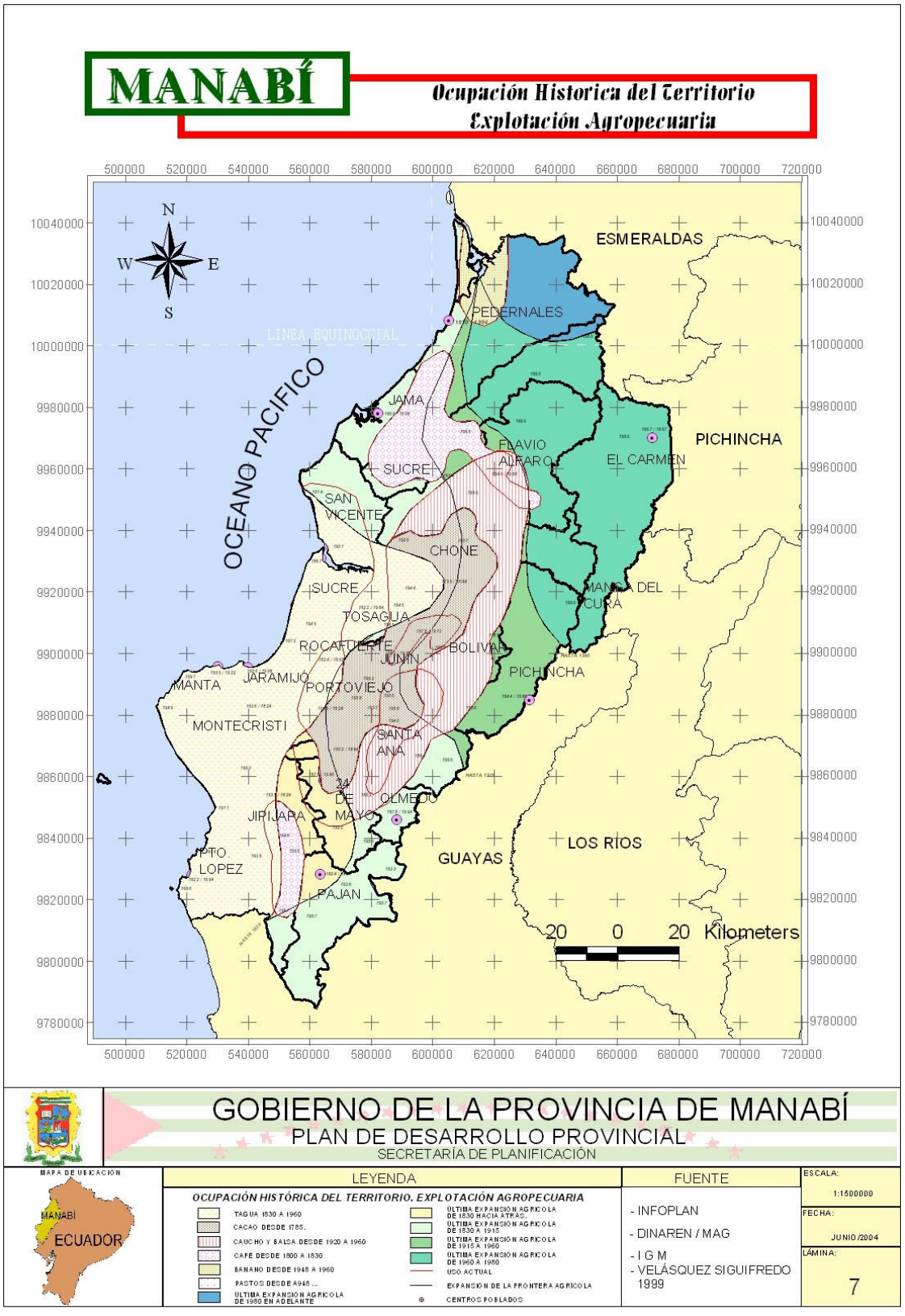
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=69&pariente=95



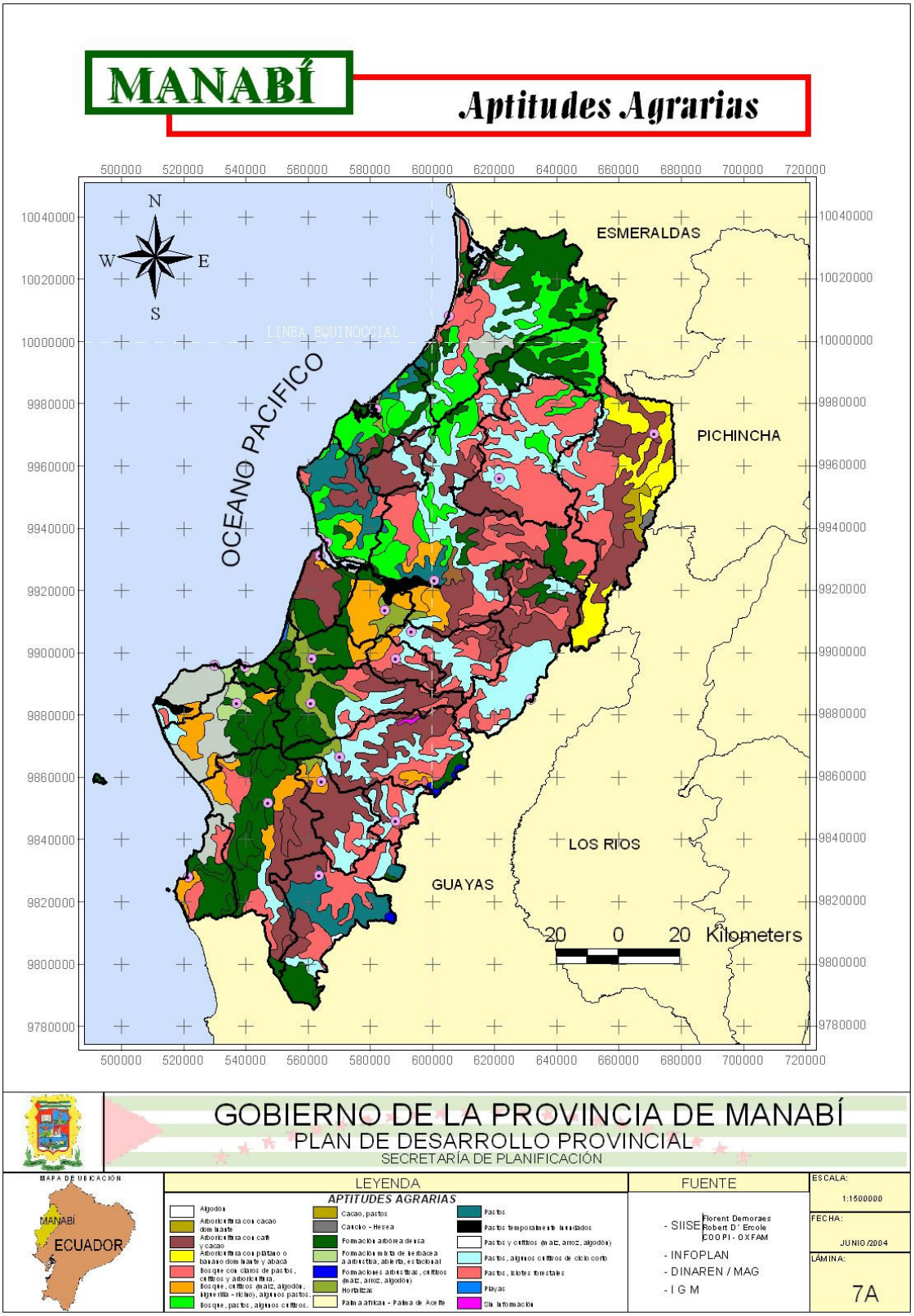
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=70&pariente=95



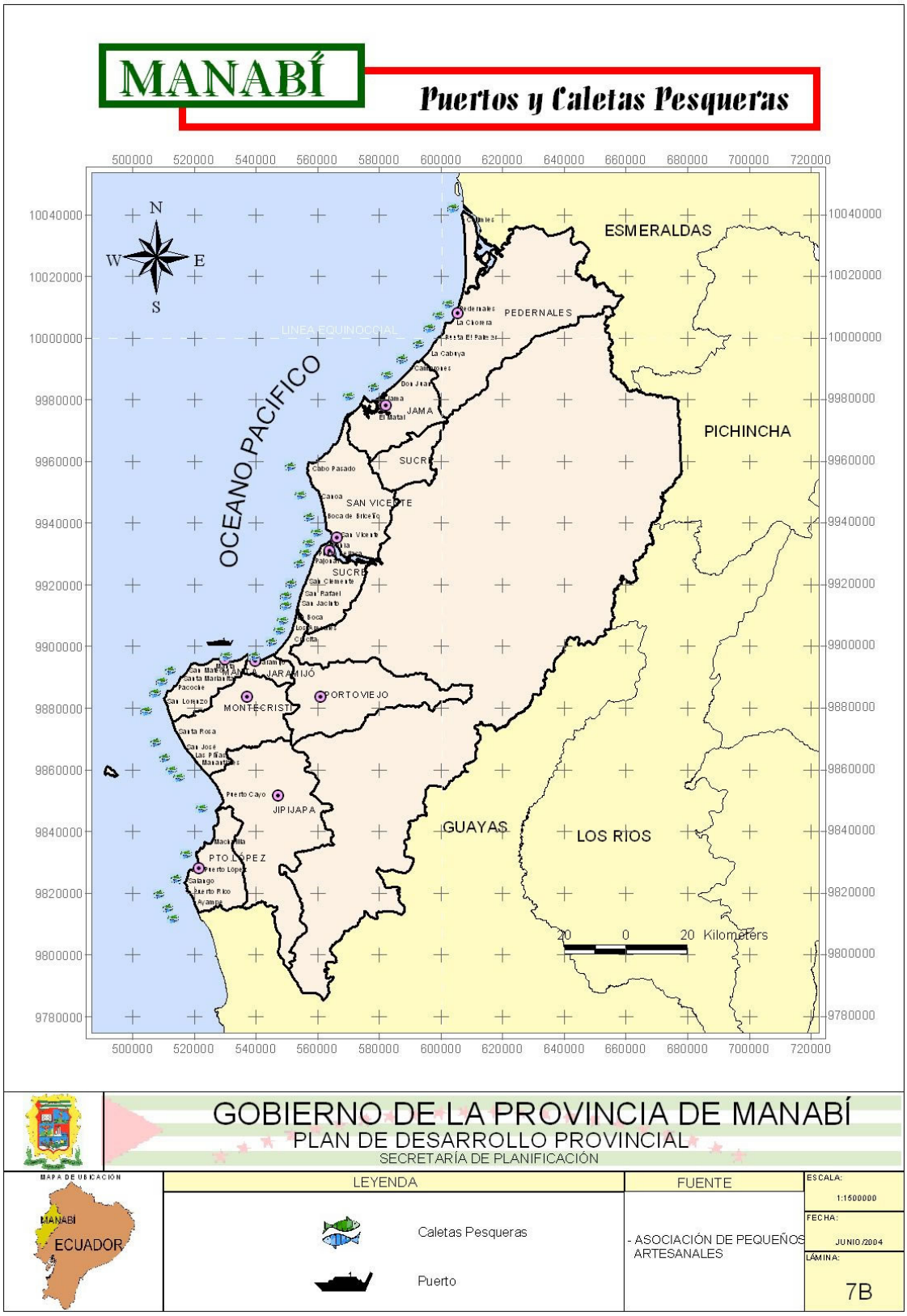
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=71&pariente=95



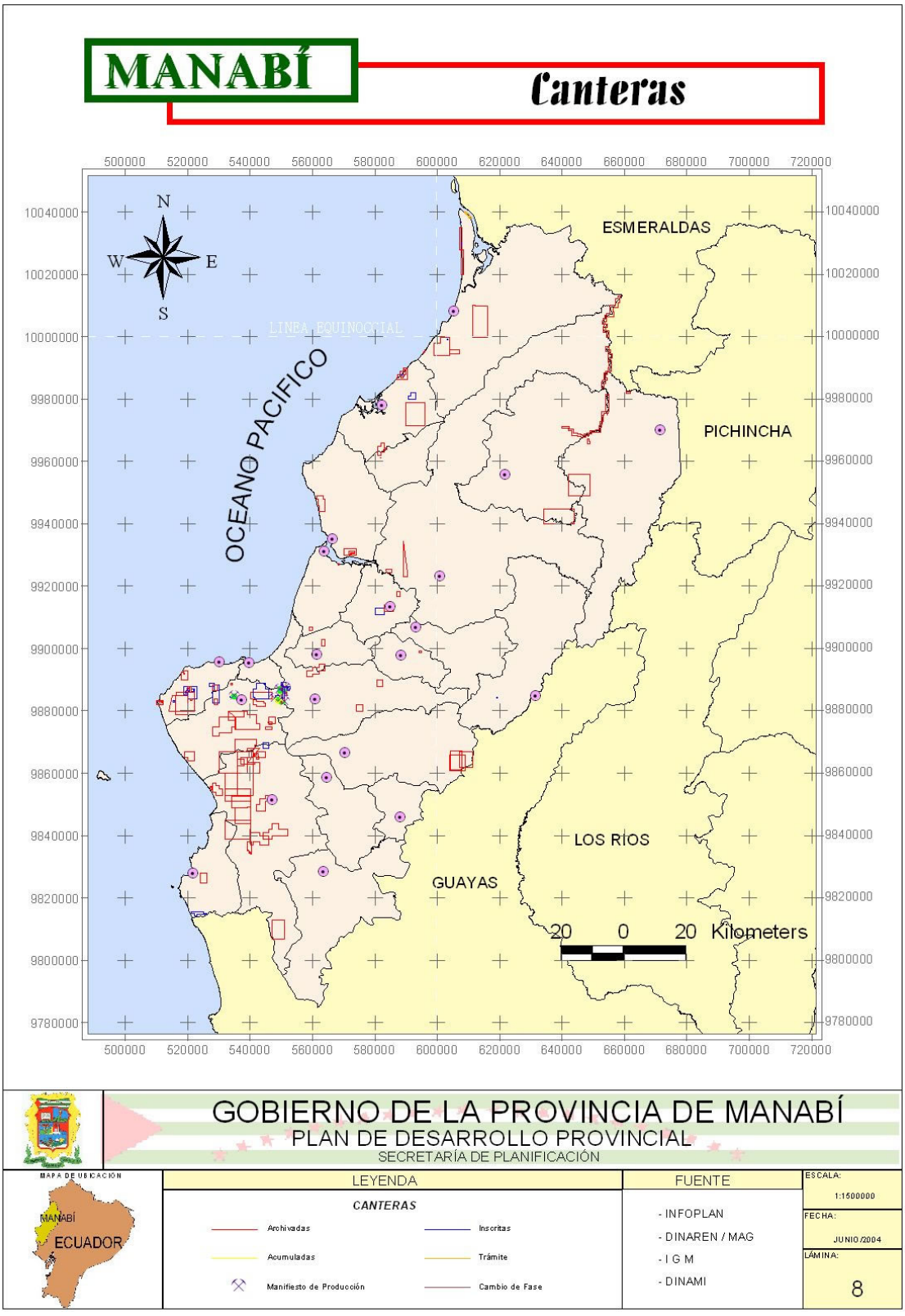
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=72&pariente=95



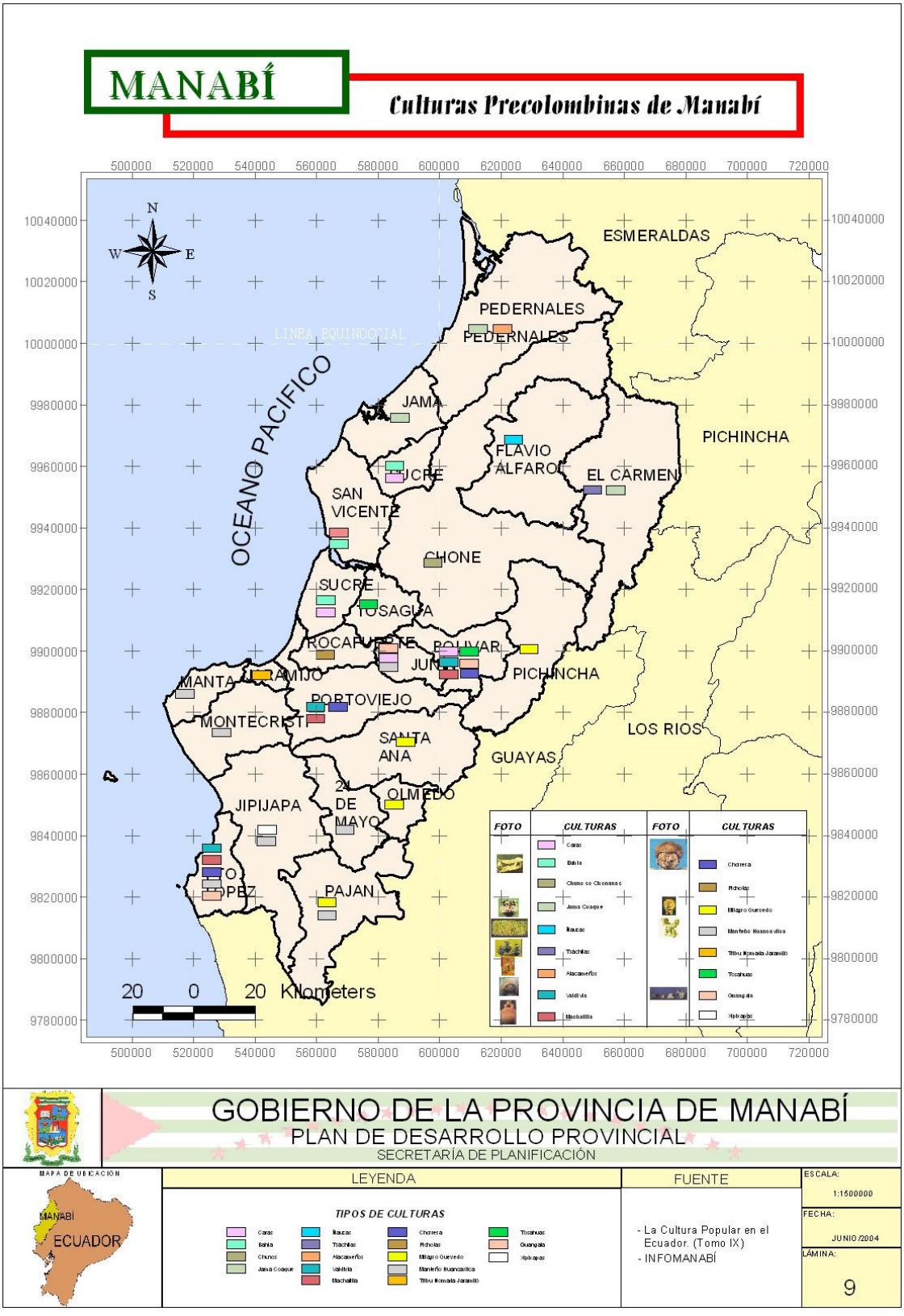
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=73&pariente=95



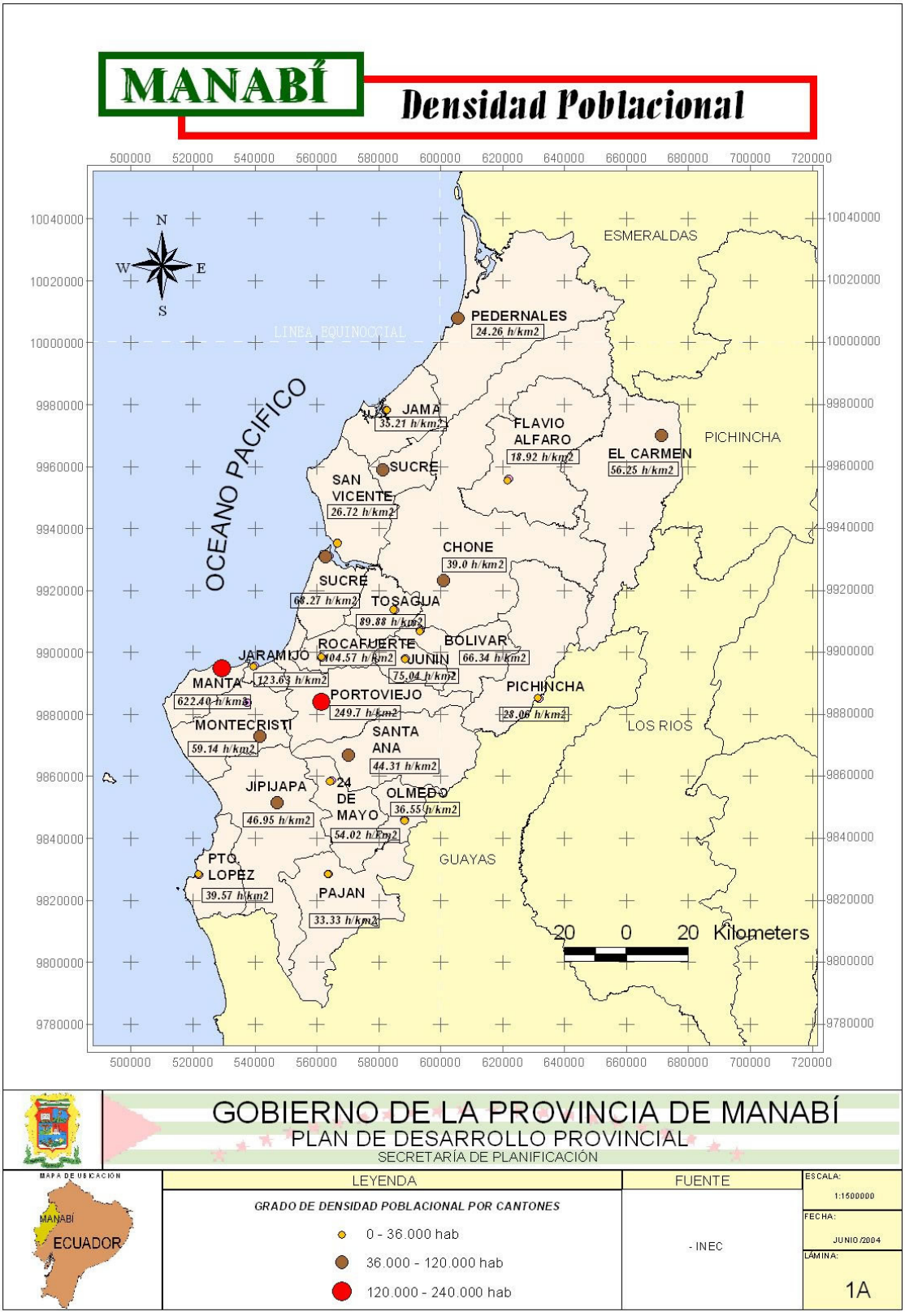
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=74&pariente=95



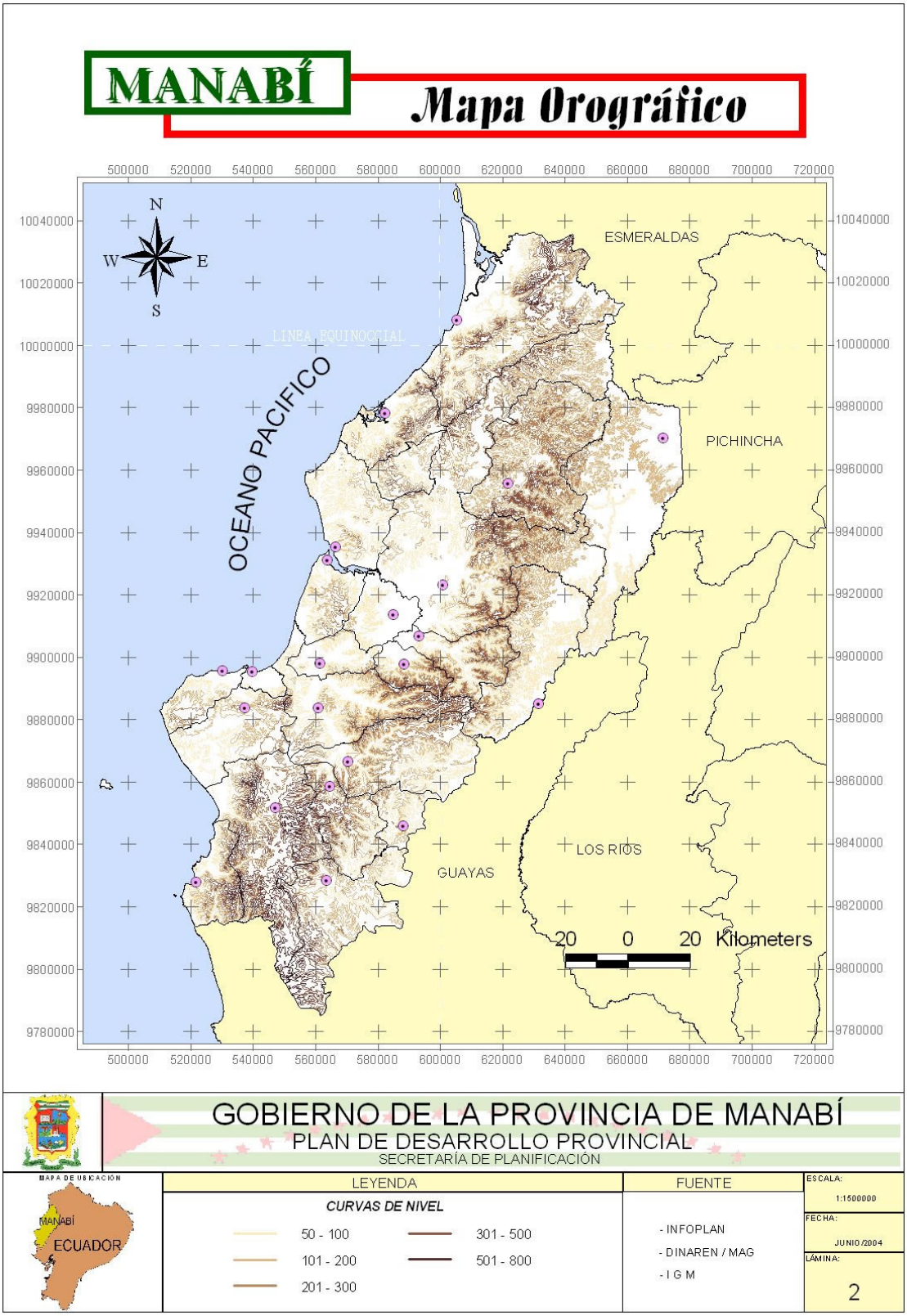
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=75&pariente=95



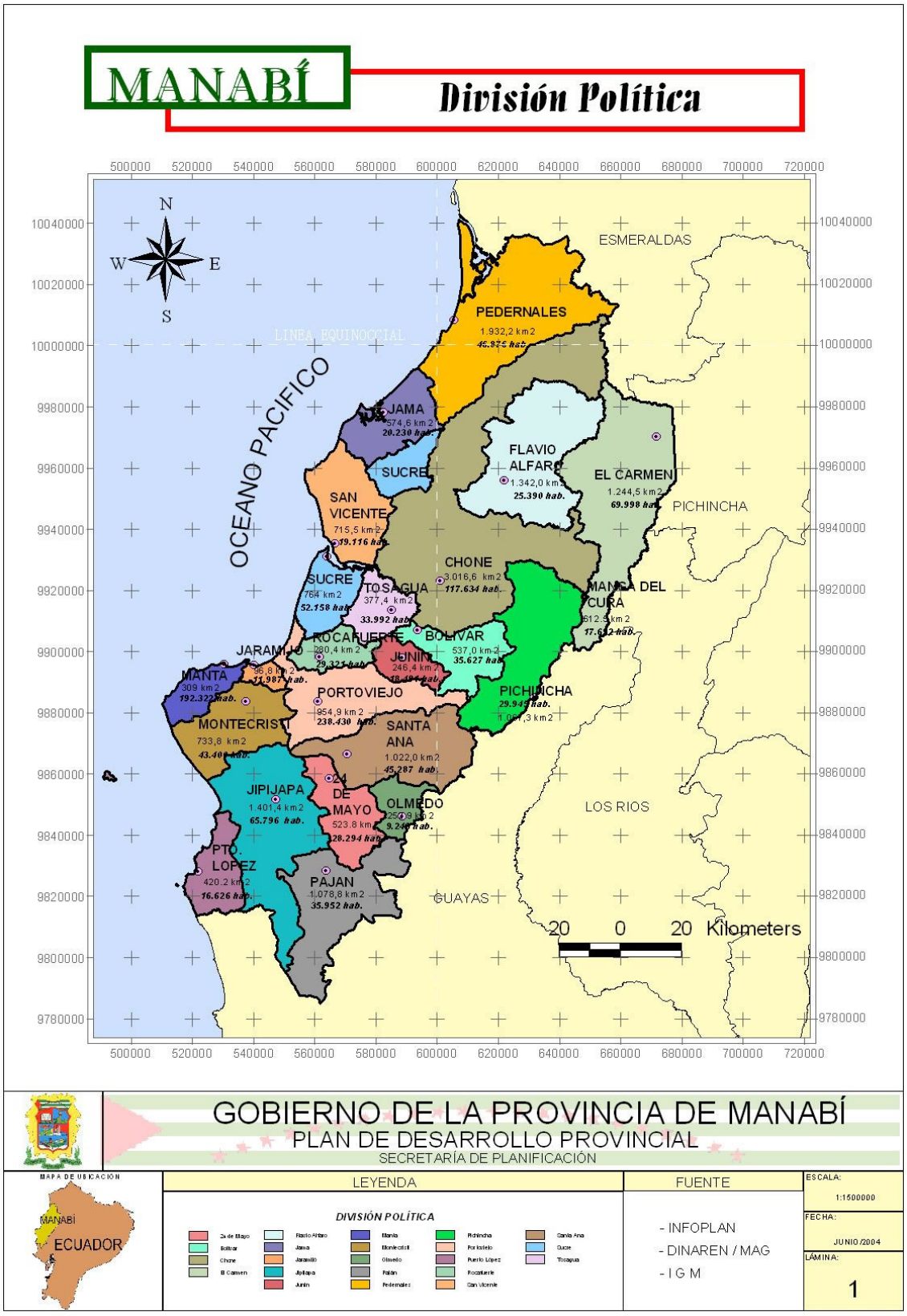
Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=76&pariente=95



Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=44&pariente=95



Fuente: http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=45&pariente=95



GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE MANABÍ
PLAN DE DESARROLLO PROVINCIAL
SECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN

MAPA DE UBICACIÓN

LEYENDA

DIVISIÓN POLÍTICA

24 de Mayo, Bolívar, Chone, El Carmen, Flavio Alfaro, Jama, Jaramijó, Jipijapa, Junín, Manta, Montecristi, Olmedo, Pajan, Pedernales, Pichincha, Portoviejo, Puerto López, Rocafuerte, San Vicente, Santa Ana, Sucre, Tosagua

FUENTE

- INFOPLAN
- DINAREN / MAG
- I G M

ESCALA: 1:1500000

FECHA: JUNIO /2004

LÁMINA: 1

Fuente:http://www.manabi.gov.ec/paginas.php?otraspaginas=43&pariente=95

APENDIDE B: DESARROLLO SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL DE MANABÍ

TABLA 1.2.3:ESCOLARIDAD MEDIA SEGUN CANTONES MANABI

Censos 1990, 2001

CANTONES	censo 1990	censo 2001
Portoviejo	6,5	7,3
Manta	6,3	7,1
Jipijapa	4,9	5,9
Chone	5,2	5,7
Rocafuerte	5,1	5,7
Sucre	4,5	5,6
Bolívar	4,6	5,4
Montecristi	4,5	5,3
El Carmen	4,8	5,2
Tosagua	4,7	5,2
Junín	4,6	5,1
San Vicente.	-	5,0
Puerto López	-	4,9
Jaramijó	-	4,6
Santa Ana	3,9	4,5
Jama	-	4,4
Flavio Alfaro	4,0	4,4
24 de Mayo	3,8	4,3
Olmedo	-	4,1
Pedernales	-	4,1
Paján	3,5	3,9
Pichincha	3,5	3,9

Fuente:. http://www.manabi.gov.ec/consejo_cat.php?id=138&gid=32&gidm=41

TABLA 1.2.4: EXTENSIÓN TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE MANABI Y SUS CANTONES

CANTONES	Extensión km2
Chone	3016,6
Pedernales	1932,2
Jipijapa	1401,4
Flavio Alfaro	1342,8
El Carmen	1244,5
Paján	1078,8
Pichincha	1067,3
Santa Ana	1022,1
Portoviejo	954,9
Sucre	764,0
Montecristi	733,8
San Vicente.	717,5
Jama	574,6
Bolívar	537,0
24 de Mayo	523,8
Puerto López	420,2
Tosagua	377,4
Manta	309,0
Rocafuerte	279,7
Olmedo	252,9
Junín	246,4
Jaramijó	96,8

Fuente:. http://www.manabi.gov.ec/consejo_cat.php?id=138&gid=32&gidm=41

TABLA 1.2.5: ESCOLARIDAD MEDIA SEGÚN CANTONES DE MANABí

Censos 1990, 2001

CANTONES	población total
Portoviejo	238.430
Manta	192.322
Chone	117.634
El Carmen	69.998
Jipijapa	65.769
Sucre	52.158
Pedernales	46.876
Santa Ana	45.287
Montecristi	43.400
Paján	35.952
Bolívar	35.627
Tosagua	33.922
Pichincha	29.945
Rocafuerte	29.321
24 de Mayo	28.294
Flavio Alfaro	25.390
Jama	20.230
San Vicente.	19.116
Junín	18.491
Puerto López	16.626
Jaramijó	11.967
Olmedo	9.243

Fuente:. http://www.manabi.gov.ec/consejo_cat.php?id=138&gid=32&gidm=41

APÉNDICE C: RECORTES DE PERIODICOS

EL UNIVERSO

Domingo 13 de Febrero del 2005

El País

Al menos cinco sismos hubo en el mar frente a Manabí, en 8 horas

QUITO | EFE

Unos cinco temblores con intensidades superiores a los 4,3 grados en la escala de Richter se registraron entre la noche del viernes y la mañana de ayer frente a las costas manabitas, donde ya se comprobó la existencia de un enjambre sísmico.

El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional informó que desde las 23h36 hubo cuatro movimientos, el primero con una fuerza de 4,4 grados, y los otros de 4,3, 4,5 y 4 grados.

Después de cinco horas de relativa calma, el Geofísico registró a las 07h41 de ayer un quinto temblor de 4,3 grados en la misma zona marina, aunque aclaró que ninguno de ellos causó víctimas o daños materiales en las zonas costeras.

Este último sacudón se localizó a unos 11 kilómetros al oeste de Manta, en la zona del nido sísmico que se activó el pasado 20 de enero y que hasta el 31 de enero contabilizó 360 temblores de 4 grados o más.

El Geofísico descartó que estos sismos puedan generar un maremoto como el que asoló a Asia en diciembre.

eluniverso.com Noticias del Ecuador y del mundo

© Derechos Reservados 2004 Compañía Anónima El Universo.
Todos los Derechos Reservados.

EL UNIVERSO

Domingo 13 de Febrero del 2005

El País

Sismo sacudió la provincia de Manabí

QUITO| AFP

Un sismo de cuatro grados de magnitud (escala abierta de Richter) remeció la costa de Ecuador en la madrugada de este domingo, sin dejar víctimas ni daños materiales, informó el Instituto Geofísico (IG) de la estatal Escuela Politécnica Nacional de Quito.

El fenómeno se registró hacia las 01h00 locales (06h00 GMT) y su epicentro se localizó a 0,94 grados de latitud sur y 80,10 grados de longitud oeste, a una profundidad de 12 km.

El núcleo está a unos 12 km al sureste de la población de Junín, a 200 km al suroeste de Quito, en la provincia costera de Manabí. "No se tuvieron reportes de haber sido sentido", señaló el IG.

En la noche del viernes y la mañana del sábado, otros cinco sismos de hasta 4,5 grados de magnitud se registraron en el Pacífico y en la costa ecuatoriana, sin provocar víctimas ni daños materiales.

Desde el 20 de enero pasado se presenta un denominado enjambre sísmico en el océano Pacífico de Ecuador, detectándose 345 temblores con magnitudes iguales o mayores a 4 grados en las primeras dos semanas.

El IG ha descartado la presencia de un tsunami en Ecuador debido al enjambre sísmico.

eluniverso.com Noticias del Ecuador y del mundo

© Derechos Reservados 2004 Compañía Anónima El Universo.
Todos los Derechos Reservados.

EL UNIVERSO

Miércoles 16 de Febrero del 2005

El País

Dos sismos más en zona de Manabí

QUITO|

Dos nuevos temblores se registraron, entre la noche del lunes y la madrugada de ayer, en la zona del enjambre sísmico que afecta a la costa manabita, informó el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

El primer sismo de 4,7 grados en la escala de Richter se produjo a las 21h28 del lunes y fue sentido fuertemente en Puerto López y Manta.

El de ayer fue de 4,1 grados a las 00h44, al noroeste de Manta.

No se reportaron daños materiales ni víctimas.

eluniverso.com Noticias del Ecuador y del mundo

© Derechos Reservados 2004 Compañía Anónima El Universo.
Todos los Derechos Reservados.

EL UNIVERSO

Sábado 19 de Febrero del 2005

El País

Más sismos en costa manabita y en Salinas

QUITO|

Otros dos temblores se registraron entre la tarde del jueves y la madrugada de ayer, en las costas de Salinas y Manta.

A las 18h40, frente a Manta se produjo un sismo de 4,6 grados en la escala de Richter. Ayer, a las 05h23, hubo otro en Salinas con una magnitud de 4,1 grados.

En esta semana han habido 8 temblores y van casi 400 desde el 20 de enero pasado en la zona.

eluniverso.com Noticias del Ecuador y del mundo

© Derechos Reservados 2004 Compañía Anónima El Universo.
Todos los Derechos Reservados.

EL UNIVERSO

Martes 22 de Febrero del 2005

El País

Más sismos frente a Manta y Salinas

Dos sismos de 4 y 4,2 grados en la escala de Richter se registraron ayer en la Costa ecuatoriana, informó el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

El primero se registró a las 05h56, a 81,9 km al noreste de Salinas y el segundo a las 12h54, frente a Manta.

Los temblores forman parte del enjambre sísmico que afecta a la Costa y que registra más de 400 sismos en un mes.

eluniverso.com Noticias del Ecuador y del mundo

© Derechos Reservados 2004 Compañía Anónima El Universo.
Todos los Derechos Reservados.

EL UNIVERSO

Viernes 25 de Febrero del 2005

El País

Costa manabita sufrió 428 sismos en 1 mes

QUITO|

Hasta el miércoles pasado, el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional registró 428 movimientos telúricos de más de 4 grados de intensidad en la escala de Richter, producto del enjambre sísmico que se produce desde el 20 de enero en las costas de Manabí.

El último sismo fue registrado el 21 de febrero, con una magnitud de 4,3 grados. Hugo Yepes, director del Geofísico, asegura que un enjambre sísmico se caracteriza por no tener patrones definidos de inicio y finalización.

Sin embargo, Yepes considera que el fenómeno está bajando de intensidad. El periodo más activo se registró desde el 20 de enero hasta el 4 de febrero. Luego la actividad bajó, hasta un ligero repunte entre el 16 y el 18 de febrero.

Un enjambre sísmico se produce por la liberación de energía en un punto determinado de la corteza terrestre, y se caracteriza por una concentración de sismos que se presentan en un mismo espacio, en intervalos cortos de tiempo.

En el caso del enjambre registrado a 120 kilómetros de la costa de Manabí, entre Manta y Puerto López, la causa es el movimiento de la placa tectónica de Nazca que se introduce bajo la placa sudamericana. En el punto donde se produjo el enjambre, hay menos capacidad de almacenar la energía sísmica producida por el movimiento de las placas, explicó Yepes.

En la zona, previamente se registraron enjambres en los años 1992, 1998 y 2002, no obstante, esos eventos fueron de menor magnitud e intensidad que el actual.

Yepes puso como ejemplo al enjambre registrado en 1992, cuando se presentaron entre 20 y 30 sismos de una magnitud máxima de 4,5 grados, mientras que en el actual evento, los sismos superan el número de 400, y han alcanzado los 6 grados, como fue el ocurrido en Puerto López a fines de enero.

Advirtió que Manabí es una zona de intensa actividad sísmica, y requiere de una preparación para afrontar los seísmos.

Con respecto a la formación de maremotos, el Director del Geofísico insistió en que las posibilidades son bajas, debido a que se requieren condiciones específicas en el fondo marino para que se genere un tsunami, además de un terremoto de gran magnitud.

"Solo una pequeña parte de los sismos genera maremotos, y no todos los maremotos

son mortales”, aclaró y agregó que el problema fundamental, en el caso del enjambre sísmico, son los terremotos.

En ciudades manabitas como Manta, Bahía de Caráquez y Puerto López se vivieron momentos de zozobra hasta antes del feriado de carnaval (del 6 al 8 de febrero), pues los temblores fueron constantes.

Ahora, con la disminución de los temblores en los últimos días, la situación se presenta más tranquila. La población espera además que se brinden charlas para estar preparados ante nuevos sismos.

eluniverso.com Noticias del Ecuador y del mundo

© Derechos Reservados 2004 Compañía Anónima El Universo.
Todos los Derechos Reservados.

APÉNDICE D: ACTIVIDAD SÍSMICA EN EL ECUADOR

ACTIVIDAD SÍSMICA AÑO 2001[1]

Durante el año 2001, la RENSIG (Red Nacional de Sismógrafos y Acelerógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional) ha ubicado 2919 eventos en el territorio continental (Figura 1) De estos eventos, 320 tuvieron magnitudes iguales o superiores a los 4.0 grados (Figura 2).

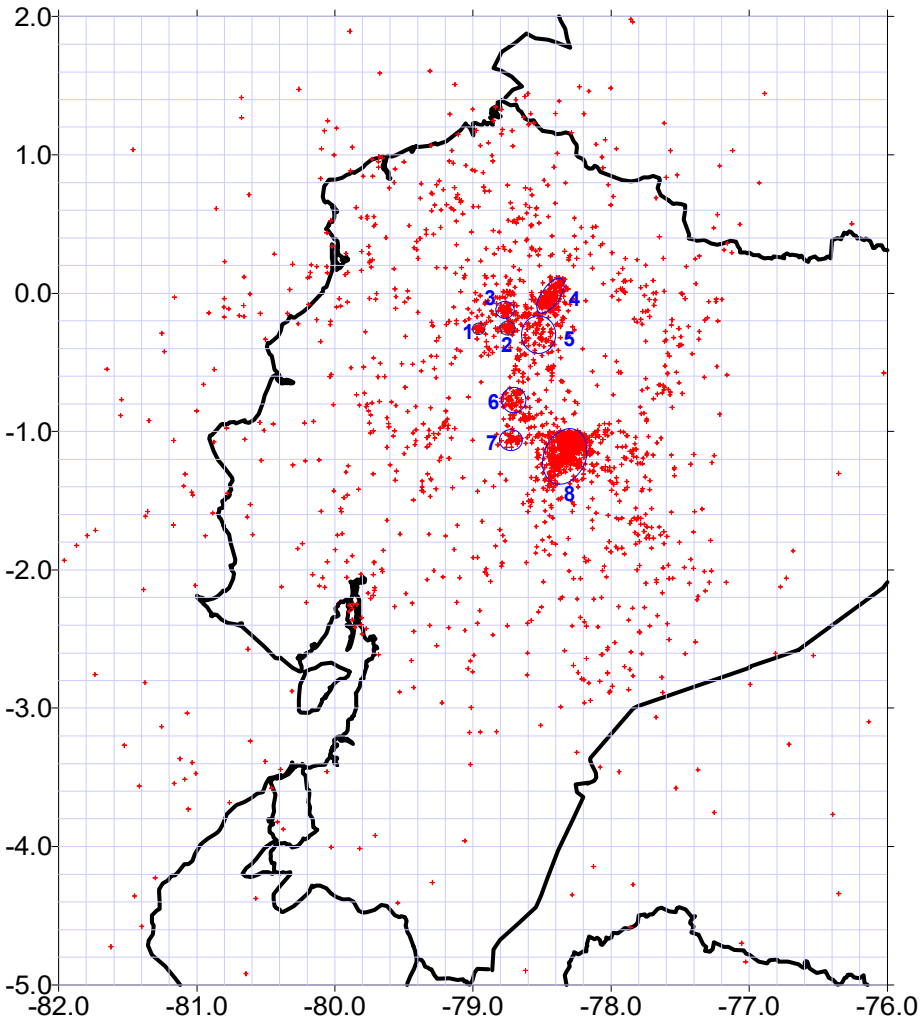


Figura 1. Epicentros de los eventos registrados y localizados por la RENSIG y definición de las zonas con mayor número de eventos (ver texto).

[1]http://www.igepn.edu.ec/sismologia/sismicidad/as_2001.htm

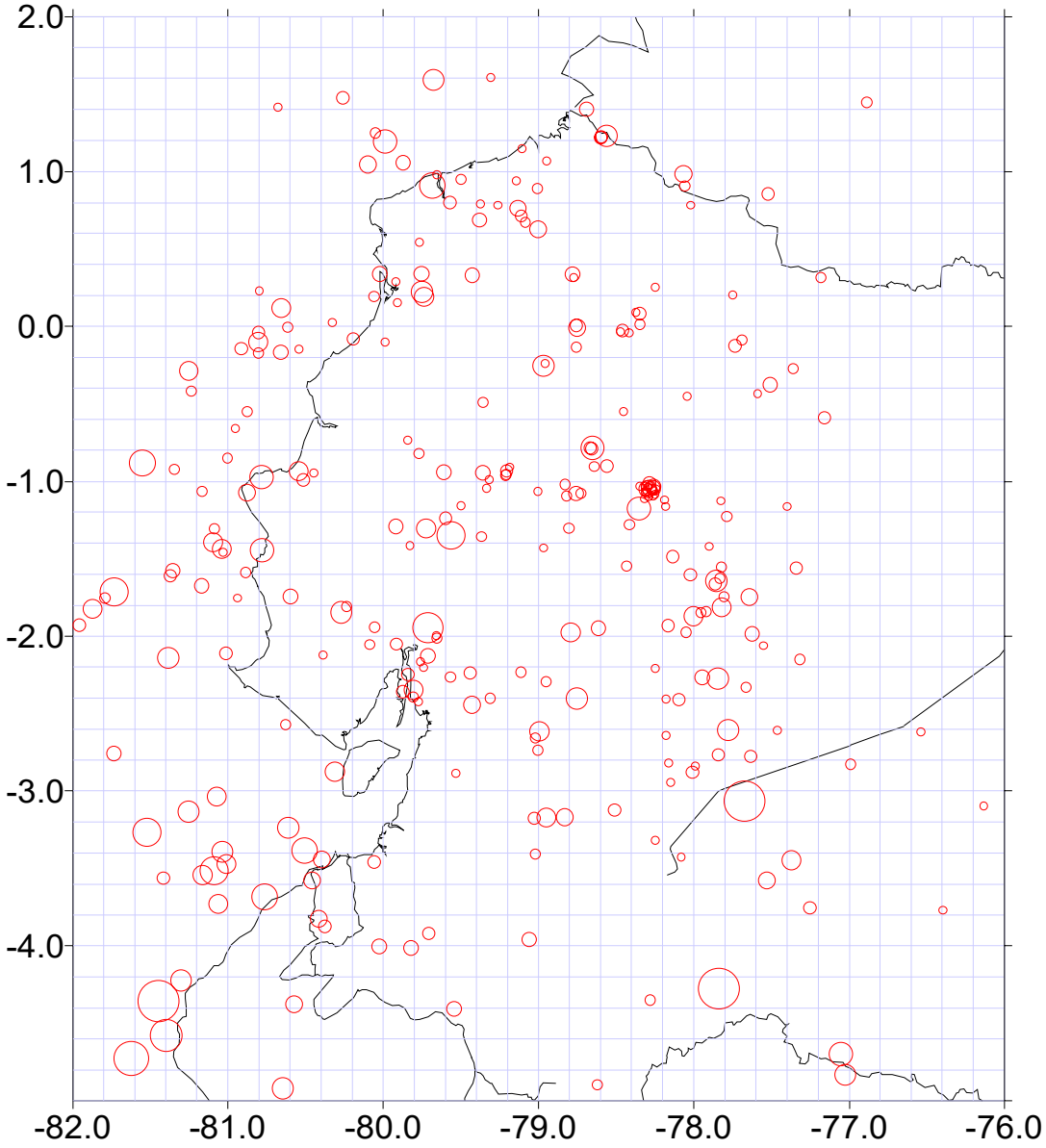


Figura 2. Epicentros de los eventos localizados por la RENSIG con magnitudes iguales o superiores a los 4.0 grados. Los símbolos están escalados con respecto a la magnitud: los mayores tienen magnitudes de 5.5 y los menores 4.0.

[1]http://www.igepn.edu.ec/sismologia/sismicidad/as_2001.htm

Durante este año, no se han registrado eventos de magnitudes importantes, sino más bien se ha observado la concentración de sismos en ciertas zonas. Estas zonas corresponden a la definición clásica de un enjambre o nido sísmico. El resto del país ha presentado, en cambio actividad dispersa tanto en tiempo como en espacio, por lo que no entran en ninguna de las definiciones clásicas.

No.	LOCALIDAD	TIPO	CARACTERÍSTICAS
1	Santo Domingo	Enjambre	Inicio del enjambre: 10 de octubre. Sismo mayor, 9 de septiembre. Mag. 4.6. Actividad registrada hasta el 4 de diciembre. Total de eventos localizados: 23. Magnitudes entre 2.7 y 4.6 grados.
2	Chiriboga	?	Actividad registrada durante todo el año, el mayor número de eventos se registra hasta mayo de este año. Número total de eventos localizados: 41 Magnitudes entre 2.3 y 3.7 grados.
3	Mindo	?	Actividad registrada durante todo el año, ocurren principalmente en el segundo semestre de este año. Número total de eventos localizados: 38. Magnitudes 2.3 y 4.1 grados.
4	Norte de Quito	Enjambre	Actividad registrada durante todo el año. Número total de eventos localizados 307. Número total de eventos registrados: 762. Magnitudes entre 1.4 y 4.2 grados. Relacionado con la actividad del Volcán Guagua Pichincha.
5	Quito	?	Actividad registrada durante todo el año, pero su ubicación es dispersa bajo la ciudad. También relacionada con la actividad del volcán Guagua Pichincha. Número total de eventos localizados: 86. Magnitudes entre 2.1 y 3.9 grados.
6	Pastocalle	Enjambre	Actividad registrada durante todo el año, pero ocurren principalmente a partir de noviembre. Número total de eventos localizados: 57. Magnitudes entre 2.7 y 4.7 grados.El evento más grande se registró el 4 de agosto (4.7) con varias réplicas contabilizadas. Este evento por sí mismo puede ser considerado aparte de esta agrupación de sismos, es decir ser considerado como un evento principal con sus réplicas.
7	Pujilí	?	Actividad registrada durante todo el año. Número total de eventos localizados: 29. Magnitudes entre 2.9 y 4.3 grados.
8	Pisayambo	Nido Sísmico	Actividad registrada durante todo el año. Número total de eventos localizados: 1038. Magnitudes entre 2.6 y 4.7 grados.

Finalmente, se presenta una Tabla (No. 2) con el registro de los sismos más importantes y que fueron sentidos por la población

[1]http://www.igepn.edu.ec/sismologia/sismicidad/as_2001.htm

FECHA	LOCALIDAD	MAG.	OBSERVACIONES
05-01-2001 08h00	Cercanías de Riobamba	3.7	Sentido Riobamba, vidrios rotos
27-01-2001 23h57	250 km ENE de Loja	5.4	Profundo; no sentido
06-02-2001 12h35	Puerto López	5.0	Sentido Puerto López
14-02-2001 08h30	Daule Peripa	4.1	No reportado
19-02-2001 16h15	Guayllabamba	4.1	No reportado
21-02-2001 11h55	Costa afuera de Esmeraldas	4.7	Intensidad III en Súa y Atacames. Una réplica 12h24
23-02-2001 01h19	Insilibí (Norte de Pujilí)	3.6	Se registró un enjambre con una docena de eventos, magnitud máxima registrada 3.6
23-02-2001 15h36	frente a Salinas	4.6	No reportado
28-02-2001 00h45	Costa afuera Puerto López	4.7	No reportado
08-03-2001 10h46	Pisayambo	4.2	Sentido Baños; algunas réplicas
17-03-2001 03h37	Pisayambo	4.3	Sentido Baños, Ambato, Cotaló, Patate
28-03-2001 03h45	El Angel	3.4	Sentido en algunas poblaciones de El Carchi
04-04-2001 08h57	Sector Golfo Guayaquil	5.2	Sentido en Guayaquil y Cuenca
04-04-2001 19h31	Pisayambo	4.7	Sentido; intensidades: Patate V, Ambato IV, Baños III, Quero y Cevallos II-III
09-04-2001 22h28	Playas (Prov. Guayas)	4.7	No reportado
13-04-2001 08h53	Los Bancos	4.3	No reportado
04-05-2001 12h46	Quito	3.3	Sentido en Quito por muy pocos
06-05-2001 01h14	Cerca Machachi	3.3	Sentido por pocos
18-05-2001 23h51	Costa afuera de Bahía	4.1	Sentido levemente
20-05-2001 01h56	entre Muisne y Pedernales	4.5	No reportado
21/05/01	Enjambre al sur de Mindo		
01-06-2001 22h01	Quito	4.1	Sentido
07-06-2001 19h33	entre Latacunga y Ambato	4.2	Sentido levemente en Ambato
17-06-2001 14h35	25 km NE de Quevedo	4.3	No reportado. Profundo
24-06-2001 01h24	Costa afuera del Golfo	4.6	No reportado
04-07-2001 17h16	Pisayambo	3.9	Sentido
04-08-2001 10h51	Saquisilí	4.7	Sentido. Se reporta caída de tejas y cuarteamientos en una vivienda. Intensidad V. Una réplica de 3.9 grados, 21h53, sentida
09-08-2001 17h42	Frente a Jama	4.4	No reportado
11-08-2001 19h27	20 km S de Quevedo	4.2	No reportado
18-08-2001 05h36	Entre Palora y Macas	5.4	Sentido
21-08-2001 11h21	Pisayambo	3.4	Sentido
29-08-2001 23h18	Entre Palora y Macas	4.2	No reportado
14-09-2001 16h04	Frente a las costas de Esmeraldas	4.5	Sentido en Esmeraldas
23-09-2001 04h06	Entre Babahoyo y Guayaquil	5.0	Sentido provincias de Guayas, Manabí, Los Ríos, Azuay
30-09-2001 11h02	Zona fronteriza	4.6	No reportado

[1]http://www.igepn.edu.ec/sismologia/sismicidad/as_2001.htm

	Colombia-Ecuador (Oriente)		
01-10-2001 03h11	45 km NE de Salinas	4.6	Sentido
21-10-2001 01h28	Al SE de Los Bancos	4.0	No reportado
21-10-2001 13h28	Norte de Quito	3.7	Sentido. Intensidades: San Antonio y Pomasqui: II-III
09-11-2001 09h37	20 km al E de Santo Domingo	4.5	Sentido. Intensidades: Santo Domingo, Alluriquín IV, Quito, Ambato, Latacunga II; varias réplicas
15-11-2001 21h34	Cerca a Balzar	4.4	Sentido: Guayaquil, Durán Salitre, Palestina, Ambato
23-11-2001 04h56	60 km ENE de Quinindé	4.6	Sentido levemente en Quito
02-12-2001 06h53	Pisayambo	4.0	No reportado
03-12-2001 05h34	Costa afuera frente a Puerto López	4.5	No reportado
05-12-2001 14h11	El Angel	3.4	Sentido fuertemente por ser muy superficial
06-12-2001 03h10	65 km ESE de Esmeraldas	4.4	No reportado
09-12-2001 19h46	Quevedo	4.2	No reportado
14-12-2001 19h20	Quito	3.5	Evento del enjambre Norte de Quito, sentido
14-12-2001 20h09	Quito	4.0	Evento del enjambre Norte de Quito, sentido

- *Tiempo Universal, para convertir a Hora Local, se deben restar 5 horas.*

Tabla 2. Sismos sentidos por la población

[1]http://www.igepn.edu.ec/sismologia/sismicidad/as_2001.htm

INFORME DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA EN EL ECUADOR, AÑO 2002 [1]

Aspectos generales

Durante este año, la RENSIG (Red Nacional de Sismógrafos y Acelerógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional) ubicó 2673 eventos de origen tectónico en el territorio continental.

Como puede verse en la Figura 1, la actividad sísmica estuvo relacionada en la zona costera con dos procesos:

1. El proceso de subducción frente a la zona entre Bahía y Puerto López (A) y algo más dispersa en la zona entre Cabo Pasado y Punta Galera (B).
2. En la costa propiamente dicha, la sismicidad estuvo asociada a fallas corticales, como es el caso de la zona de Esmeraldas (C), en la zona de la cuenca de Esmeraldas (D), en la zona de Daule-Peripa-La Maná (E) y en la zona de Golfo- Cordillera Chongón y Colonche (F). También se produjo actividad sísmica en la porción de la placa subducida con profundidades entre 80 y 110 km bajo la zona (E) y entre 60 y 80 km bajo la zona (F). En el resto de la costa, se registró actividad dispersa y no claramente correlacionable con alguna estructura en particular, sobre todo porque se trató de sismos de baja magnitud.

En la zona de la Sierra, la actividad se ubicó en:

1. Las estribaciones centro-occidentales de la Cordillera Occidental, en la zonas de Mindo y Alluriquín (G), relacionada con fallas corticales posiblemente asociadas al levantamiento de la Cordillera.
2. En la zona conocida como el Enjambre del Norte de Quito, en el segmento Norte de la Falla de Quito, cuya actividad ha estado estrechamente relacionada con la actividad del Volcán Guagua Pichincha (H).
3. Adicionalmente se registró sismicidad en la sección sur de la Falla de Quito (I).
4. En las fallas de dirección N-S al interior del Valle Interandino en el sector de Pastocalle (J) y Pujilí (K).
5. En el Nido Sísmico de Pisayambo (L).
6. En las vecindades del Volcán Cayambe (M).
7. En las vecindades del Volcán Antisana (N).

[1] http://www.igepn.edu.ec/sismologia/sismicidad/as_2002.htm

En el resto de la Sierra, al sur de 1.5 ° S, la sismicidad fue algo dispersa no claramente asociada a estructuras conocidas, pero sí se observó cierta actividad en la falla de Pallatanga y sistemas paralelos posiblemente relacionados (Ñ).

En la zona Oriental, la actividad se registró en:

1. Sistema transpresivo de El Chaco-Baeza-Reventador (O).
2. En la zona subandina (P) con sismos superficiales en las fallas del *frente subandino* y con sismos profundos (zona centro y sur) por fenómenos de desgarre de la placa subducida, que en esta zona se ubica entre 180 y 220 km de profundidad.

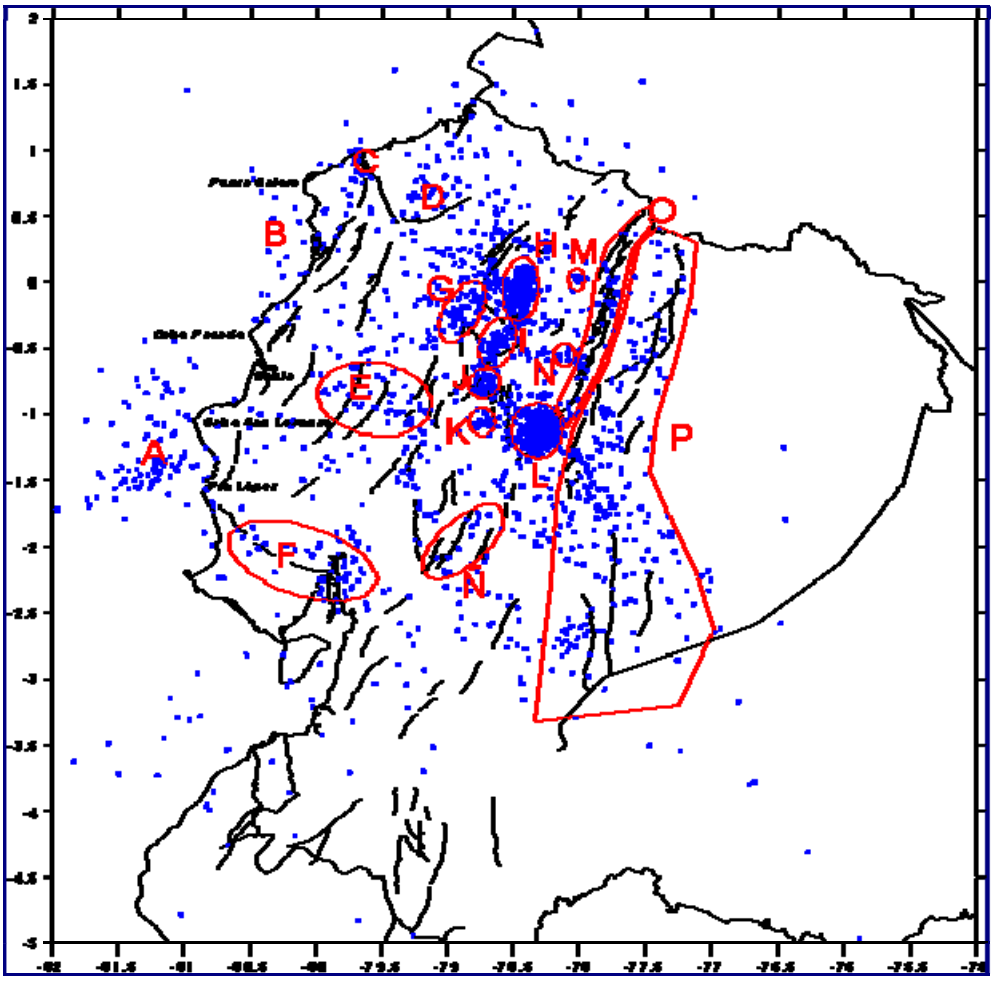


Figura 1. Actividad sísmica durante el año 2002 registrada por la RENSIG.

[1]http://www.igepn.edu.ec/sismologia/sismicidad/as_2002.htm

Características de la sismicidad

Las zonas que registraron mayor número de eventos sísmicos son:

-El enjambre del Norte de Quito, el sur de Quito y en Alluriquín y Mindo, con un total de 637 eventos.

-El nido sísmico de Pisayambo con 846 eventos.

Del número total de eventos tectónicos ubicados, tan sólo un 8% tuvo magnitudes iguales o mayores a 4.0 grados en la escala de Richter.

En cuanto a los niveles de liberación de energía sísmica (Figura 2), esta presenta una mayor liberación frente a las costas de Guayas y Manabí entre Puerto López y Cabo San Lorenzo donde, se registraron 77 eventos con magnitudes iguales o mayores a 4.0 grados. En esta parte de la zona de subducción se ha registrado actividad durante todo el año; particularmente, entre el 22 de marzo y el 28 de abril, cuando se registraron dos pulsos de sismicidad: el primero entre el 22 de marzo y el 7 de abril y el segundo entre el 9 de abril y el 28 de abril. El número total de eventos fue de 431, de los cuales 51 tuvieron magnitudes iguales o mayores a 4.0 grados; el sismo mayor se registró el 16 de abril con una magnitud de 5.0 grados. Durante este enjambre la actividad se localizó primero entre Puerto López y Cabo San Lorenzo y entre el 13 y 18 de abril migró hacia el Norte hasta Cabo Pasado para luego volver nuevamente al sur.

[1]http://www.igepn.edu.ec/sismologia/sismicidad/as_2002.htm

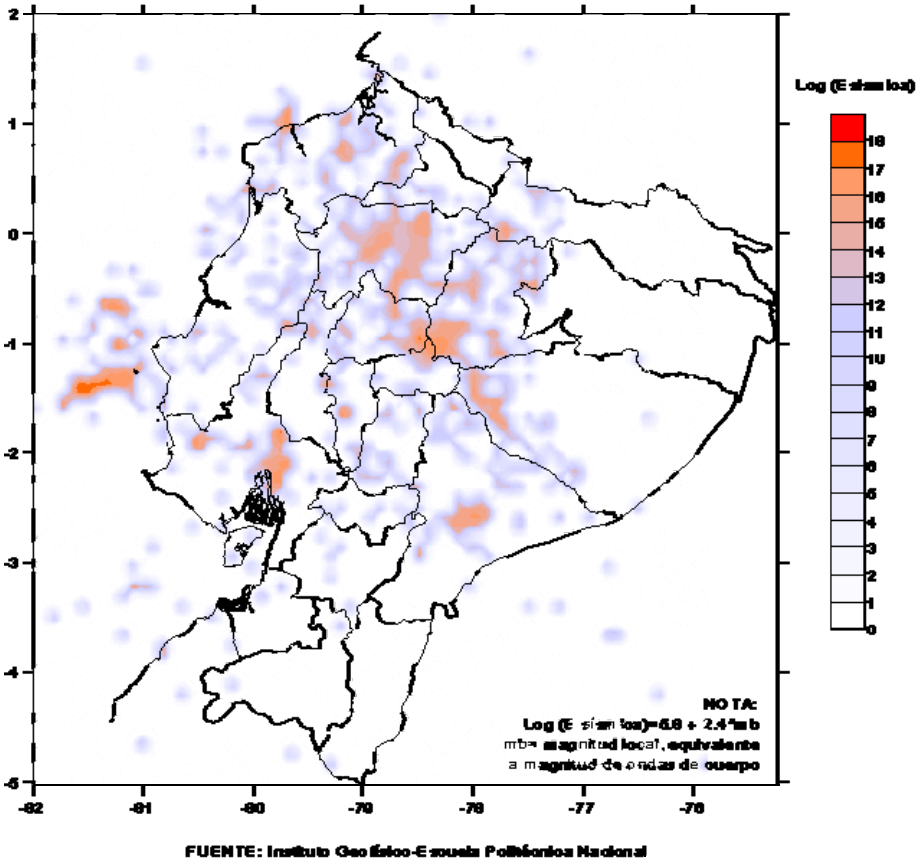


Figura 2. Distribución de la energía sísmica liberada durante el año 2002

La segunda zona con un nivel de liberación de energía alto, es Pisayambo, donde el número total de eventos asciende a 846; los más importantes se registraron el 14 de enero (Mag=4.9) y el 5 de mayo (Mag=4.5).

Las zonas que presentan un nivel algo menor de liberación de energía sísmica son:

Quito: en el Enjambre Norte de Quito con 432 eventos, de los cuales, los mayores, con magnitudes de 3.9 grados, ocurrieron el 5 y 7 de junio y el 21 de julio y, en el segmento sur de la falla de Quito.

Guayaquil-zona del Golfo y Cordillera Chongón y Colonche: con 54 eventos de los cuales 18 tuvieron magnitudes iguales o mayores a 4.0 grados.

Puyo-Palora (zona oriental), con 53 eventos entre profundos y superficiales. Los mayores sismos son justamente los profundos con magnitudes de hasta 4.3 grados.

[1]http://www.igepn.edu.ec/sismologia/sismicidad/as_2002.htm

Sur de Macas (zona oriental): 16 sismos superficiales con magnitudes entre 3.7 y 4.3 grados.

Sinopsis de los sismos reportados como sentidos por la población

Fecha	Hora GMT	Magnitud	Localidad	Observaciones
05-Ene	09h25	3.9	Cerca de Latacunga	sentido?
14-Ene	06h21	4.9	Oeste de Pisayambo	sentido en la zona central de la Sierra, inclusive hasta Quito
14-Ene	17h10	4	Oeste de Pisayambo	Réplica del sismo de las 06h21, sentido
17-Mar	20h22	5.3	Cerca de Machala	Profundo. Sentido en la costa central y en el sector sur del país
31-Mar	07h53	4.6	Costa afuera, Manta	Sentido en Manta y Portoviejo
05-Abr	23h25	4.3	Guayaquil	Sentido levemente en Guayaquil
06-Abr	14h41	5	Tumbes	Sentido en el sur del país
15-Abr	19h11	4.5	Costa afuera, Manta	Sentido en Manabí
16-Abr	06h32	5	Costa afuera, Manta	Sentido Manabí y Guayas
24-Abr	17h00	4.4	Cerca Babahoyo	Sentido levemente en Guayaquil
27-Abr	03h41	4.5	Esmeraldas	Sentido en la zona e incluso en Quito aunque muy levemente. Se registraron varias réplicas
05-May	11h35	4.5	Pisayambo	Sentido en la sierra central
05-Jun	01h44	3.9	San Antonio de Pichincha	Sentido
07-Jun	02h48	3.8	San Antonio de Pichincha	Sentido
26-Jun	19h43	4.4	Cojimíes	Sentido I=III
09-Jul	08h09	4.4	Esmeraldas	Sentido
10-Jul	01h56	4.8	Costa afuera, Puerto López	No hay reportes
27-Jul	05h04	4.2	Paján	Sentido en Bahía de Caráquez
05-Sep	09h19	4.8	A 35 km al E de El Triunfo	Sentido en las provincias de Bolívar, Chimborazo, Guayas y Cañar; en la zona: I=IV en Guayaquil I=III
08-Sep	21h00	4	Los Bancos	Sentido en Quito
30-Sep	21h54	4.1	Montalvo	Sentido en la Prov. de Bolívar
06-Oct	01h10	4.2	Quevedo	Sentido en la Prov. de Bolívar
08-Oct	02h02	4.4	60 km al O de Guayaquil	Sentido en Guayaquil
11-Nov	23h53	4.7	Daule	Sentido en Guayaquil
23-Nov	14h01	4.1	Pisayambo	Sentido en Baños
28-Nov	23h53	4.3	Entre Babahoyo y Daule	Sentido en Guayaquil
03-Dic	13h38	4	Pisayambo	Sentido en Baños
Fecha	**Hora GMT**	**Magnitud**	**Localidad**	**Observaciones**
04-Dic	05h12	4.2	Cercanías Volcán Antisana	Sentido levemente en los valles aledaños a Quito y en El Chaco
10-Dic	01h53	4.3	Volcán Cayambe	Sentido en el refugio del volcán
10-Dic	17h41	4.1	Volcán Cayambe	Sentido en el refugio del volcán

[1]http://www.igepn.edu.ec/sismologia/sismicidad/as_2002.htm

INFORME SÍSMICO PARA EL ECUADOR[1]

AÑO 2003

ASPECTOS GENERALES

Durante este año, la RENSIG (Red Nacional de Sismógrafos y Acelerógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional) localizó 2219 eventos de origen tectónico en el territorio continental. De este número, 179 eventos tuvieron magnitudes iguales o mayores a 4.0 grados.

El 2003 puede calificarse como bajo en actividad sísmica, por cuanto no se registró un número grande de eventos en comparación a los años anteriores, ni eventos de grandes magnitudes, ni eventos agrupados en el espacio y tiempo conocidos como enjambres sísmicos.

En las figuras 1a y 1b, se presenta toda la sismicidad registrada durante este año y los sismos con magnitudes iguales o mayores a 4.0 grados.

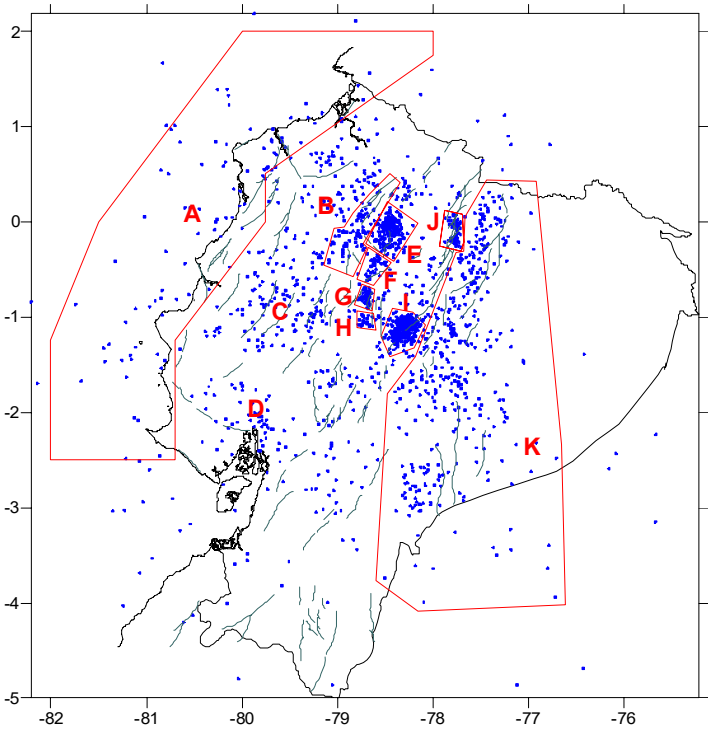


Figura 1a. Localización de eventos durante el año 2003 y definición de zonas de acuerdo a las fuentes sismogénicas.

[1]http://www.igepn.edu.ec/sismologia/sismicidad/as_2003.htm

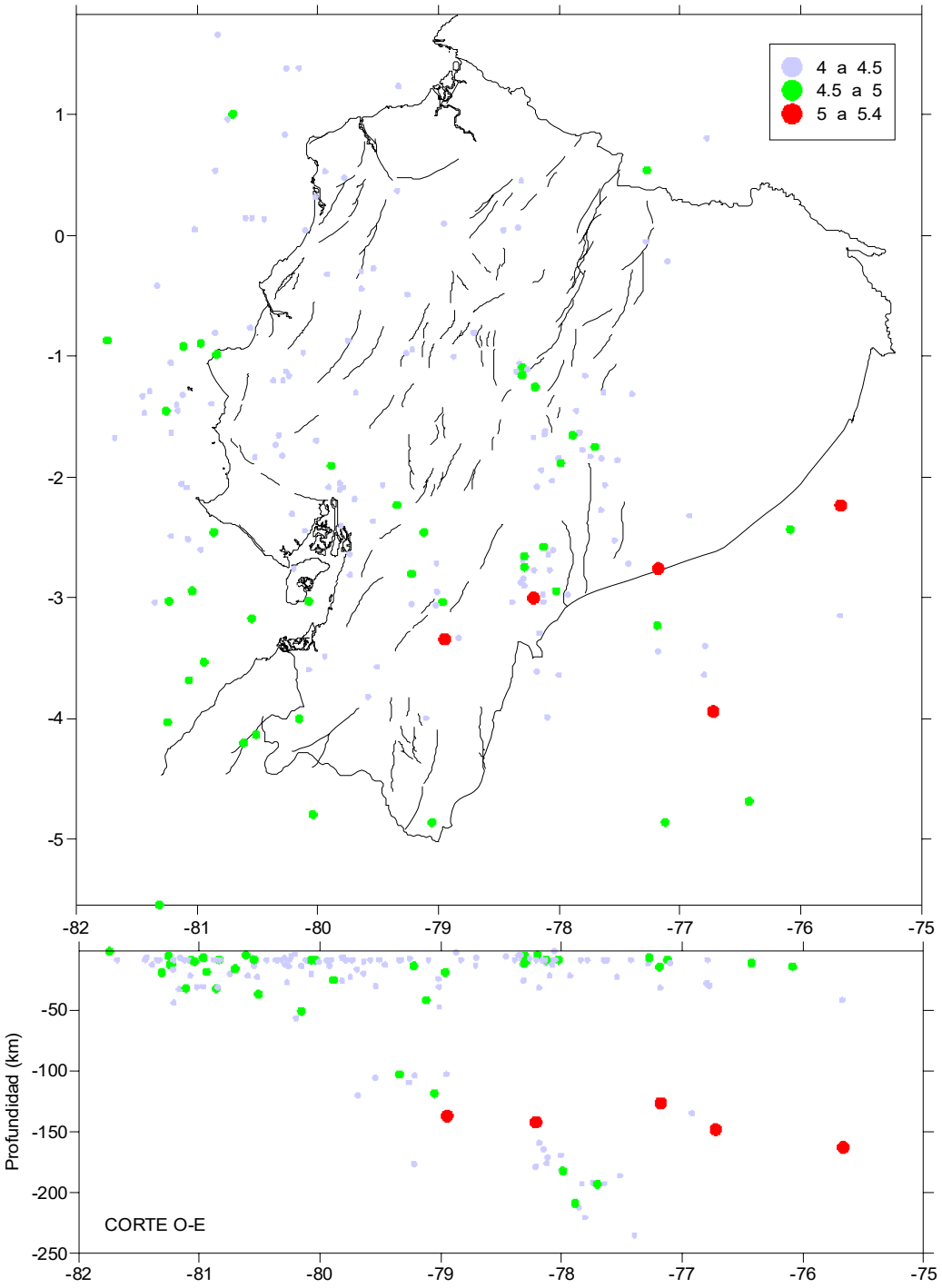


Figura 1b. Eventos registrados durante el año 2003 con magnitudes iguales y mayores a 4.0 grados. Se incluye además un corte Oeste-Este con todos los eventos para indicar su profundidad.

[1]http://www.igepn.edu.ec/sismologia/sismicidad/as_2003.htm

Las zonas sismogénicas que registraron una actividad claramente identificada son:

Zona A (figura 1a): relacionada con la subducción de la Placa Nazca bajo la Sudamericana, tanto con sismos registrados en la interfase de las placas en contacto como con sismos en fallas corticales en el borde costanero, que actúan en respuesta a esta convergencia. A diferencia de años anteriores, en esta zona, los sismos ocurrieron en forma dispersa y tampoco se registraron grandes eventos. El número total de eventos registrados fue de 89, de los cuales, 7 registraron magnitudes iguales o mayores a 4.5 grados y se localizaron: 5 entre Manta y Puerto López, 1 costa afuera de Esmeraldas y el último en la zona de Salinas.

Zona B (Figura 1a): Fallas en el centro y borde occidental de la Cordillera Occidental

Zona C (Figura 1a): Centro de la planicie costera, con sismos superficiales (profundidades menores a 40 km) relacionados con fallas corticales y también sismos profundos (profundidades entre 90 y 120 km) debido a desgarres en la placa subducida.

Zona D (Figura 1a): Zona del Golfo de Guayaquil, con eventos de carácter superficial y magnitudes moderadas, también relacionados con fallas corticales

Zona E (Figura 1a): Zona de Quito. La actividad de la zona de Quito está relacionada con el sistema de fallas que atraviesa la ciudad de N-S, por su lado oriental. La sismicidad en la parte sur y centro del sistema, es más bien dispersa, mientras que en la parte norte, ha estado estrechamente vinculada con la reactivación del Volcán Guagua Pichincha y en este año, pese a que el volcán mantiene una actividad muy baja, aún se registran pequeños eventos. El total registrado este año es de 222, con alrededor de un 50% de eventos con magnitudes menores a 2.0 grados, por lo que no fueron percibidos por la población. El único evento reportado como sentido se registró el 13 de septiembre y tuvo una magnitud de 3.8 grados.

Zona F (Figura 1a): Corresponde a una zona ubicada al sur de Quito, entre Machachi y el volcán Cotopaxi. El número de eventos registrados es de 38; la magnitud máxima registrada fue de 3.8 grados.

Zona G (Figura 1a): Zona de Pastocalle-Saquisilí. El número de eventos fue de 62 y la magnitud máxima registrada fue de 4.4 el 24 de mayo. El 6 de febrero se registró un pequeño enjambre de eventos; el mayor de los sismos en este enjambre alcanzó una magnitud de 3.9 grados.

Zona H (Figura 1a): Zona de Pujilí: 22 eventos, las magnitudes máximas de 3.8 grados se registraron el 21 de marzo y el 29 de septiembre.

---

[1]http://www.igepn.edu.ec/sismologia/sismicidad/as_2003.htm

Un aspecto interesante de las tres últimas zonas (F, G y H) es que registraron una actividad sísmica estrechamente relacionada con incrementos de la actividad del Volcán Cotopaxi, durante los años 2001 y 2002. Durante este año, la relación no ha sido tan evidente, sin embargo, se mantienen como zonas de interés por su carácter predictivo ante posibles incrementos en la actividad del mencionado volcán, debido a que pueden ser un reflejo del cambio de esfuerzos debido a la acción de fluidos que ingresan a los sistemas de fallas ubicados en los alrededores del volcán.

Zona I (Figura 1a): el Nido de Pisayambo, donde la actividad se mantiene constantemente y al igual que los años anteriores, representa alrededor de un 30% del total de la sismicidad registrada. El número total de eventos localizados asciende a 744, de los cuales, 7 tuvieron magnitudes iguales o mayores a 4.0 grados.

A partir del 20 de agosto, la sismicidad registrada en esta zona estuvo estrechamente relacionada con la actividad del Volcán Tungurahua, comportamiento que no fue evidente en años anteriores, así, durante los últimos 4 meses de este año, el volcán reaccionó rápidamente ante estos eventos debido a que las condiciones en el volcán fueron distintas, con un magma relativamente superficial y rico en gases, donde la exsolución de estos gases, rompió el estado de precario equilibrio que mantenía en esos momentos.

Zona J (Figura 1a): Zona Transpresiva El Chaco-Baeza-El Reventador: se registraron 69 eventos, la mayoría de ellos de muy pequeñas magnitudes. Su ocurrencia puede ser una respuesta al ajuste de esfuerzos luego de la erupción del Volcán Reventador, ocurrida en noviembre de 2002.

Zona K (Figura 1a): Zona Subandina: en esta zona geográfica se identifican 2 familias de eventos, la primera agrupa los eventos superficiales relacionadas con fallas corticales originadas por el levantamiento y convergencia de la Cordillera Real hacia el Este y, la segunda familia, la que agrupa a los sismos profundos debidos a fenómenos de desgarre de la placa subducida que en la zona al Norte de 2° Sur, se encuentra a una profundidad de hasta unos 240 km, mientras que hacia el Sur, es menos profunda, alcanzando valores entre 130 y 170 km (Figura 1b).

En el resto del país, la actividad puede calificarse como dispersa y difícil de relacionarla exactamente a estructuras corticales conocidas, sobretodo porque se trata de eventos pequeños o porque al encontrarse fuera de la RENSIG, su ubicación no es muy confiable.

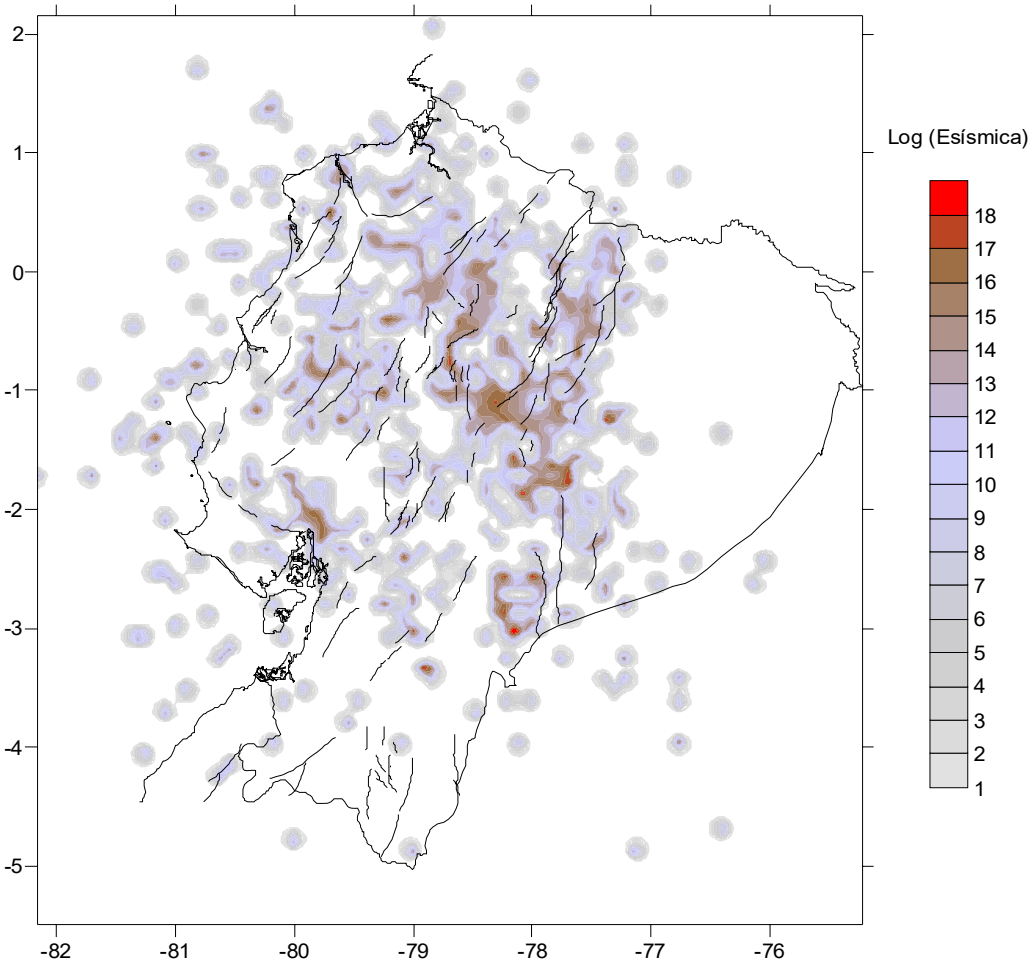
Como se mencionó anteriormente, el nivel de actividad sísmica fue muy bajo durante este año; los sismos más grandes, se registraron en la zona fronteriza con el Perú y se trató de sismos profundos. Para visualizar, el nivel de energía sísmica liberada, se presenta el siguiente mapa (Figura 2) donde se cuantificó la energía liberada utilizando una malla de 10 km x 10 km de lado. De esta forma, se identifica, que las

---

[1]http://www.igepn.edu.ec/sismologia/sismicidad/as_2003.htm

zonas con mayor liberación de energía se encuentran en la zona sur del país, en el límite fronterizo con el Perú, donde justamente ocurrieron los sismos más grandes (magnitudes iguales o mayores a 5.0 grados; ver Figura 1b) pero que por su profundidad y por lo remoto de la zona, no causaron problemas.

La zona que también presenta una alta tasa de liberación de energía, es el Nido de Pisayambo, donde se registró una gran cantidad de eventos que, pese a sus magnitudes moderadas, contribuyen en forma importante al total de energía en la zona.



[1]http://www.igepn.edu.ec/sismologia/sismicidad/as_2003.htm

EVENTOS SÍSMICOS SENTIDOS*

*Según reportes recibidos en el IG.

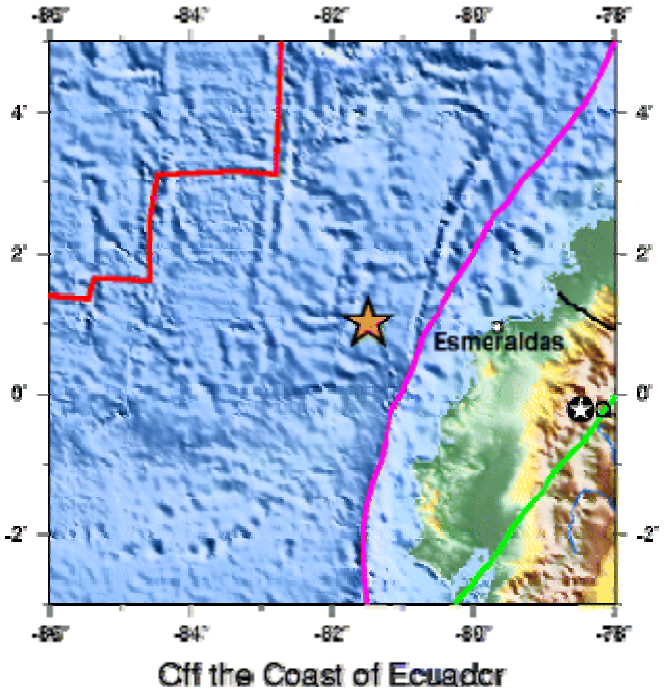
FECHA	HORA*	LOCALIDAD	mb	OBSERVACIONES*
03-Ene	16h58	SE de San Lorenzo (Prov. Esmeraldas)	3,9	Sentido en Santo Domingo
14-Ene	23h08	Pujilí (Prov. Cotopaxi)	4,2	No hay reporte
19-Ene	16h48	El Angel (Prov. Carchi)	3,9	No hay reporte
31-Ene	16h55	Frontera SE con Perú (Prov. Morona Santiago)	5,1	Sentido en los sectores de Macas y Puyo. Se trata de un sismo profundo, por lo que no causó daños
02-Feb	06h33	Manta (Prov. Manabí)	4,5	Sentido en Manta (I=III), Portoviejo y Guayaquil
06-Feb	05h07	Pastocalle (Prov. Cotopaxi)	3,7	Se registra un enjambre de eventos en el sector; no hay reportes.
06-Feb	11H47	Pastocalle (Prov. Cotopaxi)	3,9	No hay reporte
13-Feb	15h57	Manta (Prov. Manabí)	4,5	Sentido en Manta, Portoviejo y Bahía en forma leve
14-Feb	03h33	Chone (Prov. Manabí)	4,0	Sentido en Manta y Bahía en forma fuerte
09-Mar	20h30	Sur de Macas (Prov. Morona Santiago)	4,7	No hay reporte
09-Mar	21h45	Macas (Prov. Morona Santiago)	4,0	No hay reporte
17-Mar	11h16	Cuenca (Prov. Azuay)	4,5	Sentido levemente en Cuenca
27-Mar	12h59	Límite SE Ecuador-Perú (Prov. Pastaza)	5,1	Sismo profundo (115 km). Sentido en Baños
29-Mar	16h31	Daule (Prov. Guayas)	4,5	Sentido en Guayaquil
31-Mar	14h39	Junín (Prov. Manabí)	4,2	Sentido levemente en la zona
18-Abr	01h01	Lumbaqui (Sucumbíos)	4,1	Sentido en el sector del Volcán Reventador
23-Abr	18h42	Lumbaquí (Sucumbíos)	3,9	No hay reporte
06-May	17h26	Pisayambo (Prov Tungurahua)	3,5	Sentido en Baños y Patate
15-May	12h19	Salinas (Prov. Guayas)	4,5	Sentido en Salinas y Ancón.
24-May	03h56	Saquisilí (Prov. Cotopaxi)	4,4	Sentido desde Baños al sur, hasta el Valle de los Chillos al Norte. Pujulí I=III-IV. 9 réplicas con magnitudes entre 3,1 y 3,9
25-May	01h47	cerca Volcán Antisana (Prov. Pichincha)	3,9	Sentido sector Los Chillos, Papallacta
25-May	04h24	Macas (Prov. Morona Santiago)	4,7	Sentido sector Macas
25-May	04h44	Playas (Prov. Guayas)	4,4	Sentido Guayaquil
28-May	02h49	Saquisilí (Prov. Cotopaxi)	4,2	Sentido Saquisilí, Lasso, Latacunga, Pujilí
29-May	08h40	Ibarra (Prov. Imbabura)	3,9	Sentido levemente en Ibarra
31-May	22h53	Costa adentro de Jama (Prov. Manabí)	4,2	Sentido levemente en Bahía de Caráquez
03-Jun	00h02	Costa afuera de Manta (Prov. Manabí)	4,6	Sentido Manta
03-Jun	12h19	La Troncal (Prov. Cañar)	4,7	Sentido en Guayaquil
11-Jun	23h48	Tena (Prov. Napo)	4,2	Sentido en Tena, Baños, Latacunga
20-Jun	06h21	NO de Brasil	7,0	Sentido levemente en el sector del Volcán Reventador. Sismo profundo
24-Jun	04h01	Jipijapa (Prov. Manabí)	4,2	Sentido en Manta
25-Jun	23h36	Costa afuera de Manta (Prov. Manabí)	4,0	Sentido en Portoviejo
15-Jul	03h48	Sector del Tena (Prov. Napo)	4,4	Sentido en Baños y El Puyo
20-Jul	12h21	Pisayambo (Prov Tungurahua)	4,1	Sentido en Ambato, Baños y Patate

[1]http://www.igepn.edu.ec/sismologia/sismicidad/as_2003.htm

31-Jul	01h02	Costa afuera de Pedernales (Prov. Manabí)	4,1	No hay reporte
31-Jul	07h37	Costa afuera de Pedernales (Prov. Manabí)	4,0	No hay reporte
01-Ago	18h31	Pomasqui (Norte de Quito)	3,9	Sentido en el sector norte de la ciudad de Quito
16-Ago	08h38	Pisayambo (Prov Tungurahua)	4,0	Sentido
17-Ago	13h33	Costa afuera de Manta (Prov. Manabí)	4,3	Sentido en Manta
20-Ago	10h05	Pisayambo (Prov Tungurahua)	4,5	Sentido en Latacunga, Ambato, Patate y en algunos sectores de la prov. de Pastaza
01-Sep	23h21	Sector de Cuenca (Prov. Azuay)	5,0	Sentido en Cuenca, Zamora
07-Sep	02h11	Al este de Macas (Prov. Morona Santiago)	4,4	Sentido en Pillate (Prov. Tungurahua)
13-Sep	09h26	Quito (Prov. Pichincha)	3,8	Sentido
15-Sep	04h00	Malchinguí (Prov. Pichincha)	4,1	Sentido, varias réplicas
20-Sep	05h19	Sector Taura (Prov. Guayas)	4,4	Sentido en la Prov. Bolívar
23-Sep	10h33	Sur de Guayaquil (Prov. Guayas)	4,4	No hay reporte
04-Oct	22h08	Jipijapa (Prov. Manabí)	4,4	No hay reporte
05-Oct	12h29	Frontera SE con Perú (Prov. Morona Santiago)	5,0	Sentido levemente en la ciudad de Cuenca; evento profundo: 145 km.
11-Oct	09h07	Riobamba (Prov. Chimborazo)	3,8	Sentido
13-Nov	00h56	Palora (Prov. Morona Santiago)	4,6	Profundo, sentido en Guayaquil
16-Dic	17h18	Flavio Alfaro (Prov. Manabí)	3,9	Sentido

[1]http://www.igepn.edu.ec/sismologia/sismicidad/as_2003.htm

Off the Coast of Ecuador
1906 January 31 15:35 UTC
8.8M



N.B: The magnitude for this earthquake has been recalculated since the following articles were written. Magnitude 8.8 is a better determination of the size of this earthquake.

A catastrophic magnitude 8.2 earthquake off the coast of Ecuador and Colombia generated a strong tsunami that killed 500 to 1500 there. It was observed all along the coast of Central America and as far north as San Francisco and west to Japan.....The wave arrived in Hilo at about 12.5 hours after the earthquake. It covered the floor of the old wharf at the end of Waianuenue Street and the railroad tracks between there and Waiakea. The range of oscillations in water level was 3.6 m and the period 30 minutes. The channels of the Wailuku and Wailoa Rivers alternately dried up, then disappeared under the tidal wave.

Kahului: Three waves arrived at 20-minute intervals. The second wave was larger than the first, and the third was larger than the second. The water rose about 0.30 m above the mean sea level mark. According to other sources, the water surface rose to the level of the old steamship pier and the road running along the coast.

The tide gauge at Honolulu began to register oscillations about 12 hours after the earthquake. The tsunami apparently began with a flood; then the oscillations intensified, and the fourth wave, which was the highest, had a height of 0.25 m. The period of oscillations was 20-30 minutes. Three separate trains of oscillations were registered.

According to the accounts of witnesses, disturbances in water level on Honolulu Bay began to be observed at 3:30 UTC February 1. At 4:15 UTC there as an extremely great ebb. All the steam and sailboats in the bay were turned around. Then a sudden flood tide reached a considerable height."

From Lander and Lockridge, 1989, Tsunami in Hawaii

A magnitude 8.2 earthquake off the coast of Ecuador produced a 5-m local tsunami that destroyed 49 houses and killed 500 people in Colombia. It was recorded at San Diego and San Francisco."

From Lander and Lockridge, 1989, Tsunami on west coast of United States (15)

APÉNDICE E: FOTOS

CASO 1: ALAJUELA

Se observa la geomorfología y sistema de drenaje del sector

















Se aprecia el proceso de arrastre y depositación de sedimentos, los mismos que están solvatando el sistema de drenaje. Todo esto es el producto de los procesos de agricultura y deforestación de la zona







En estas fotos se puede ver el asentamiento de la gente en las laderas y proximidades de las elevaciones, lo cual es un acto irresponsable y muy peligroso









Se aprecia claramente las formas acuchilladas en las partes superiores de las elevaciones lo cual s u vez denota el procesos de deslizamiento y alud que ha sufrido este talud y el peligro en el cual se encuentra la población que se asienta justamente en el sistema de drenaje de estos sedimentos











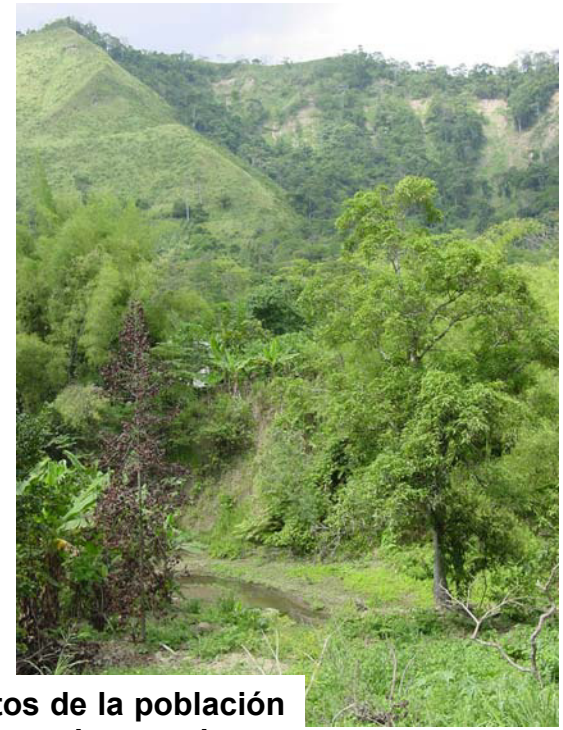
Evidencia de los procesos de deslizamiento rotacional y posteriores aludes (forma acuchillada en al parte superior de las colinas) que ha sufrido la zona, lo cual demuestra su inestbilidad y el procesos de movimiento de masas que sufre el sector











Evidente proceso de deforestación y asentamientos de la población al pie de canales de drenaje de sedimentos, los cuales se siguen solvatando







ALAJUELA



ALUD FORMADO POR EL DESLIZAMIENTO MULTIPLE DE LAS LADERAS EN LA CUENCA DE DRENAJE **DEFORESTADA**

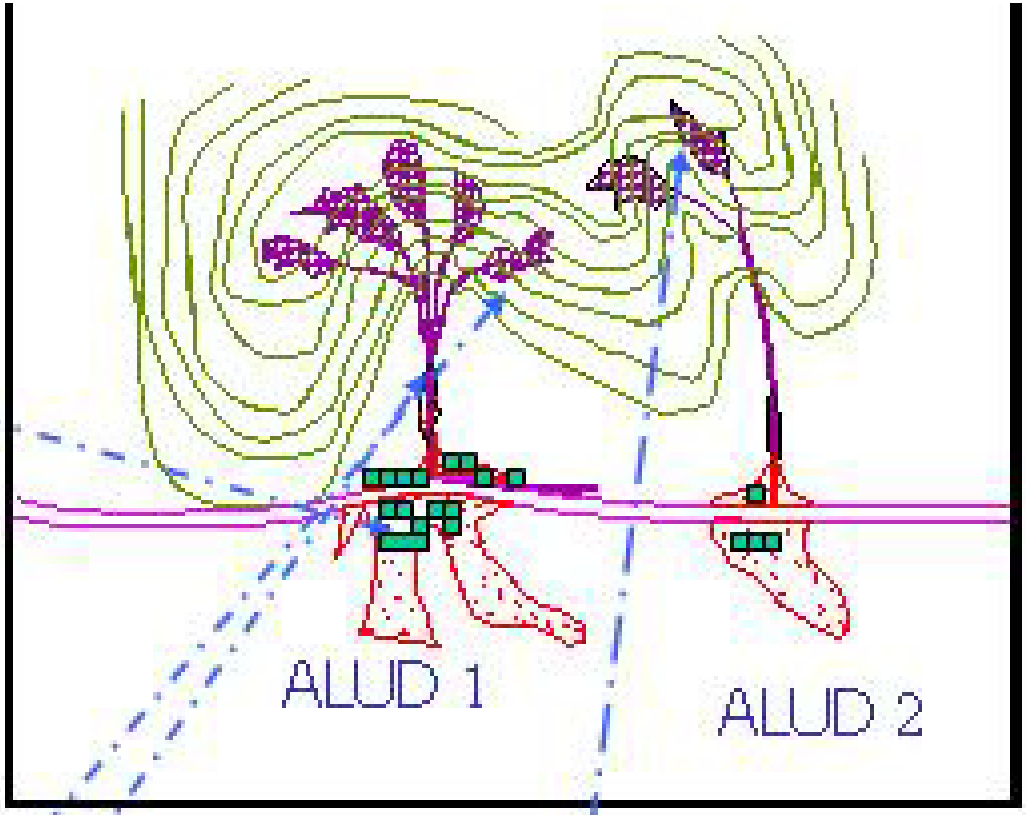






ALAJUELA

Abril 9 2002







Caso 2: Cantón Sucre



Evidente proceso de arrastre y depositación de sedimentos desde las zonas más altas a las más bajas



Asentamientos no controlados al pie de una ladera, interrumpiendo el drenaje natural del talud y exponiendo a la población a futuros aludes y depositación de toda clase de sedimentos



Vía Tosagua-Bahía de Caráquez





Fotos de la geomorfología, donde se videncia los procesos de deforestación y movimientos de masa que se observan a lo largo de la vía









Drenaje ddel sector











Evidencia de los procesos de depositación y erosión masiva en ríos y esteros de la zona











Deslizamientos y sus secuelas









Obras de ingniería, alcantarillas que no funcionan dado los procesos de sedimentación

Bahía de Caráquez





Hermosa Bahía con una geomorfología de mucho respeto debido a sus constantes deslizamientos producto de muchos factores, entre ellos la erosión, arrastre, depositación de sedimentos, fenómenos climatéricos, sismos, procesos de licuefacción, entre otros.



Obras de ingeniería, alcantarillas que no funcionan dado los procesos de sedimentación



Depósitos de pie de monte que forman escalones topográficos





Evidencia de deslizamientos traslacionales y asentamientos de la población al pie de estos, zona de alto riesgo











Obras de ingeniería que han fallado para detener los deslizamientos y han sido sepultadas por los mismos. Estas obras se continúan construyéndose a pesar de que no funcionan.







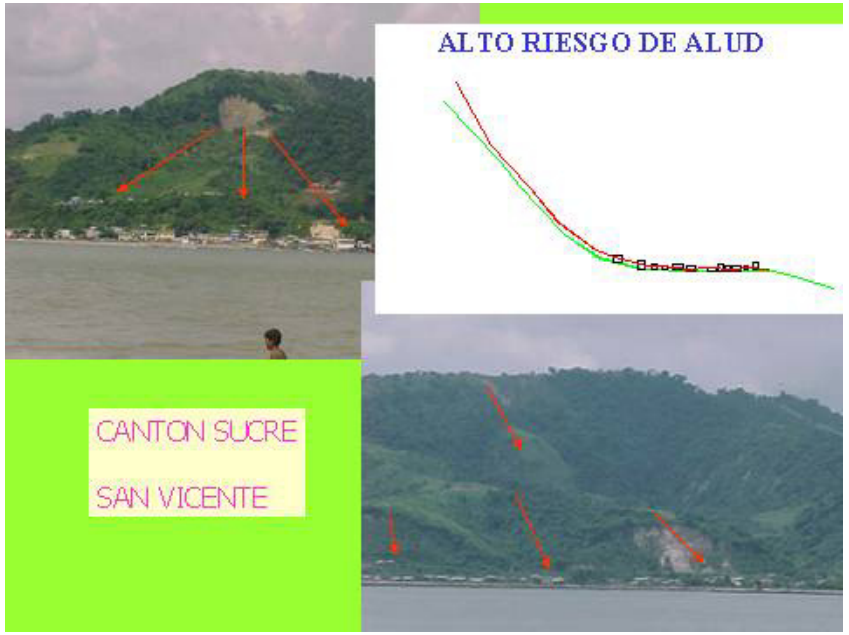


Las vías de acceso sufren de deslizamientos traslacionales de gran magnitud



DESASTRE DE BAHÍA DE CARAQUEZ 1998- UN PELIGRO QUE PERSISTE





Caso 3: Jipijapa



Típica obra de mala ingeniería, donde se estrangula el área por donde pasa el caudal y los alerones en vez de ayudar, achican aún más el área provocando erosión en los costados y ayudando a la destrucción de la obra de infraestructura



Típica obra de mala ingeniería, donde se coloca material extremadamente pesado sobre la cabecera de una quebrada, qu después termina en un deslizamiento traslacional










Deslizamientos característicos de la zona. Por lo general son de tipo trasnacional y rotacional. EN su mayoría se evidencia el proceso de erosión debido que constituye el drenaje natural de las partes altas.












Se evidencia el tipo de material muy blando y el proceso de erosión, arrastre y depositación de sedimentos que sufre



















Asentamiento de la población en las proximidades de deslizamientos y en las laderas, altos riesgo





Caso 4: Manta

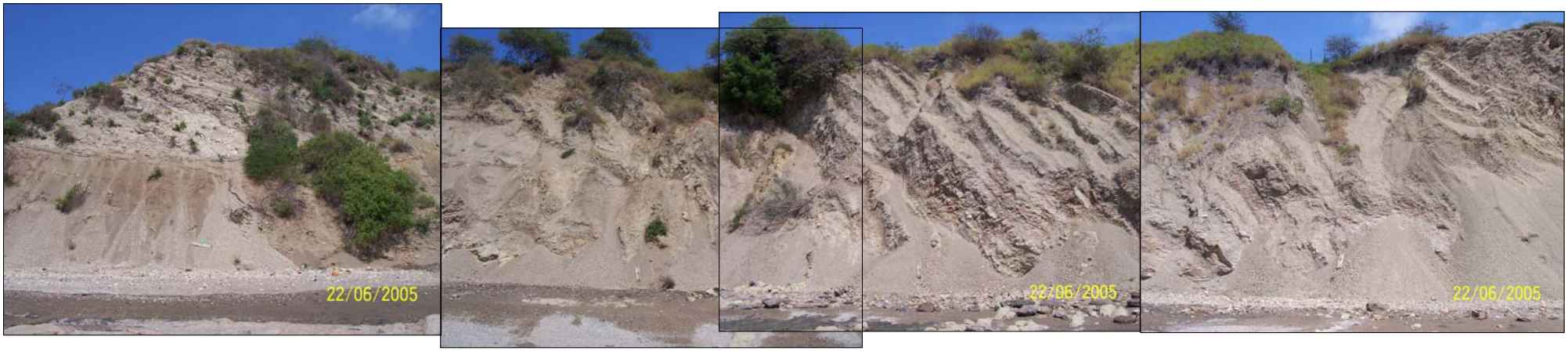






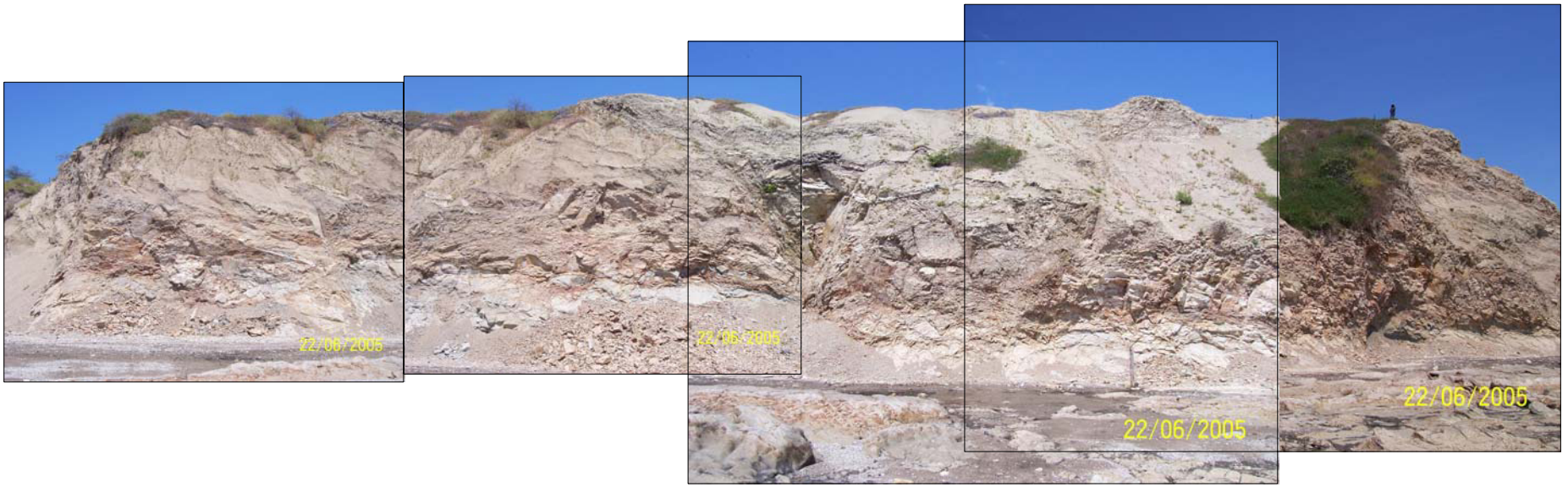


Destrucción masiva debido al movimiento de masas.



TALUD FRENTE AL MAR: Se observa la heterogeneidad del medio en donde existen fallas geológicas, fracturas, estratos discontinuos, planos inclinados, cambios de buzamiento.

TALUD FRENTE AL MAR: Se observa fallas por cuñas, fallas planas y una capa de relleno en la parte superior



TALUID FRENTE AL MAR: Sector donde se destruyó el canal de drenaje y que está contiguo a una falla geológica que ha generado fracturas paralelas



TALUD FRENTE AL MAR: Resto del canal destruido, sitio por donde pasa la falla geológica F1



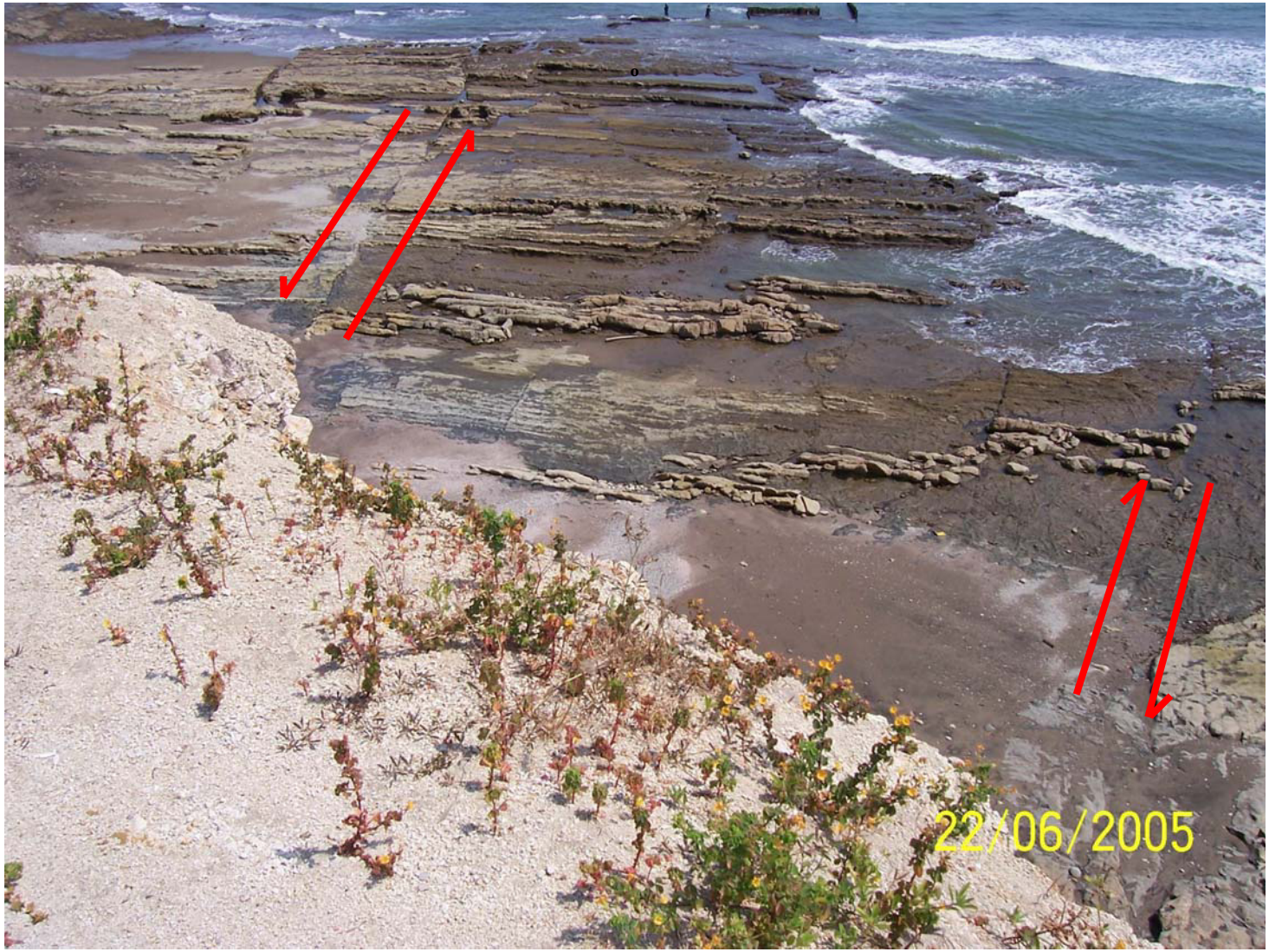
TALUD FRENTE AL MAR: Se aprecia cuñas de roca debido a la estratificación, a los juegos de fracturas y al talud



TALUD FRENTE AL MAR: Se observa las capas de material arrojado con maquinaria sobre el talud.



FALLAS GEOLÓGICAS: Se observa en el piso dos fallas geológicas de desplazamiento de rumbo, denominadas F1-F2, situadas en los dos extremos de la foto



FALLA GEOLÓGICA: Se observa en el piso una falla geológica de desplazamiento de rumbo, denominada F1



Caso 5: Montecristi

Manabí - Los riesgos a causa de más deslizamientos del cerro siguen en la c

El temor no deja a Montecri



TRES AÑOS EN EL SUELO - La escultura al barrio Kennedy, en la parte alta de la urbe, sucumbió por los deslizamientos del cerro.

No hay respu

La población y autori
las esperan un pronu
del Gobierno sobre la
Montecristi. "El cerro
esponja. Basta de 'agu
grande venir mucha s
fuertes lluvias", alert
Washington Arteaga.
Mientras tanto, la Dir
el Comité de Operac
sitos (COE) trabajan
grama educativo sob
sismo, dirigido a quien
en las zonas de riesg
Rocafuerte y Kennedy
lugares potenciales se
lo. Los locales escolar
dad. El lunes último,
salde, se esperaba la v
nistro de Obras Pú
Maccliavello, quien d
un recorrido a la zona
Donde hace dos años
hundieron 400 000 met
de tierra, "pero cancel
Ese trabajo, que fue p
un costo de la Escue
ca del Cumal, como t
ron aportados por el G

Se requiere impermeabilizar una franja de 4 hectáreas en la ladera, aparte del canal de drenaje. Las filtraciones de agua y las grietas no desaparecen.

Redacción Manabí



La estación lluviosa vuelve a escena el drama de 70 familias que habitan a lo largo de la calle Rocafuerte, al pie del cerro Montecristi, en la ciudad del mismo nombre. Las olas de agua y el "rezongado de la tierra detrás sus entrañas" les presagia, en ese sector de alto riesgo, sembrado se levantan las edificios donde funcionan la Alcaldía, el Cuerpo de Bomberos, Policial y las comisarías municipales.

En la parte alta del cerro, la vasta maleza conocida como La Papaya ermana grandes flujos de agua que bajan 300 metros con dirección a la ciudad mediante sus conductos subterráneos, pues el manto acuí

de manera irreversible 87 casas edificadas al pie del macizo, en el barrio Kennedy, en cuenta Rosendo Delgado, tendor de sombreros de paja toquilla que, a pesar del riesgo, no ha salido del lugar. "No puedo, aquí está mi negocio de hace 30 años; de solo viviendas mi esposa, dos hijos y tres nietos. No sé [illegible] en peligro, pero cuando pueda mis finanzas me doy cuenta de que no tengo los recursos para alquilar una casa".

La escalinata de acceso al sector encumbré y los escombros de sus 48 gradas quedan como muros testigos del evento natural de hace más de tres años. Delgado dice que hasta la lecha ha sacado del patio de su casa 20 volquetadas de tierra que se desligan del cerro, "es como si se reprodujera".

El colegio religioso Ciudad de la Juventud, ubicado tras la Basílica de Monserrat, donde dos aulas de un edificio de 12 quedaron inutilizadas, tambien se suma a la lista de bienes en riesgo. "Un ojo de agua atraviesa el plantel desde 1997, cuenta el director, padre Jair Restrepo. En vista del peligro ha solicitado espacio en la casa parroquial de la cabecera cantonal para ubicar a los estudiantes mientras llega la subsidio.



de hace 50 años je intedió explotar una cantera", comenta Humberto Pachay. Ese regresamiento en el que se libra hasta la zona habitada, como ocurre, desde 1997, en la vivienda de Rosendo Delgado, ubicada al lado izquierdo del templo. "La tierra que saco del patio, según me han dicho los técnicos del Municipio, es empujada por los ojos de agua".

cuesta 2 300 000 dólar
pendientes 80 casas, 40
cemento armado, y lo
recibieron a cambio e
tes en un nuevo asenta
En ese lugar, en 199
vieron 300 000 metros
tierra, para allanar s
impedir su desprendi
lente. Los trabajos tom
es y la explanada abor



Linda vista de la geomorfología, donde se evidencia el horst constituye la elevación

Se observa la proximidad e la población y el peligro potencial que esta corre





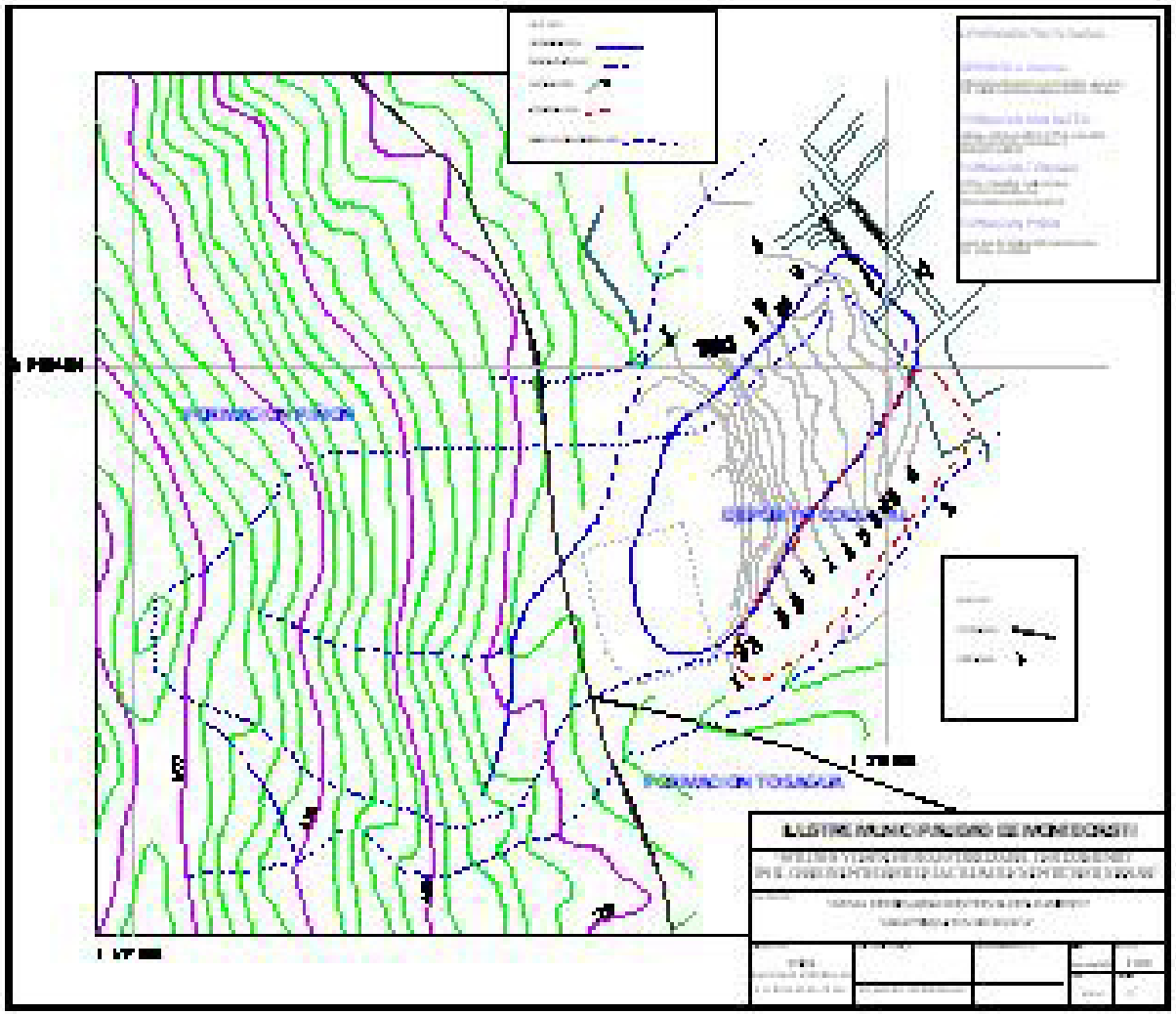


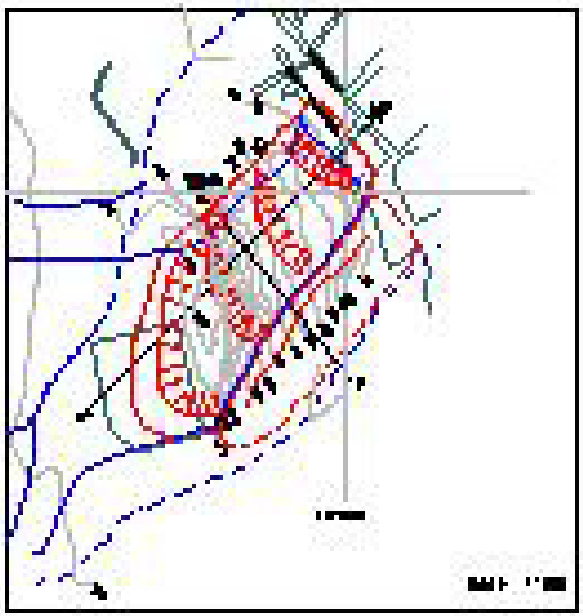


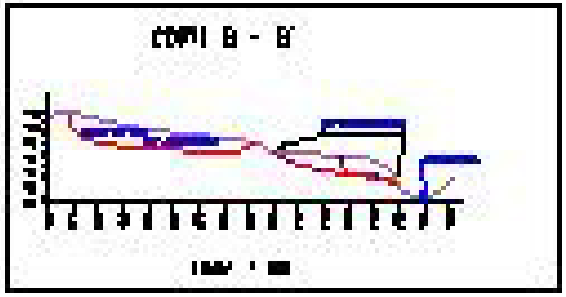
EL DESLIZAMIENTO DE MONTECRISTI ESTA VIGENTE

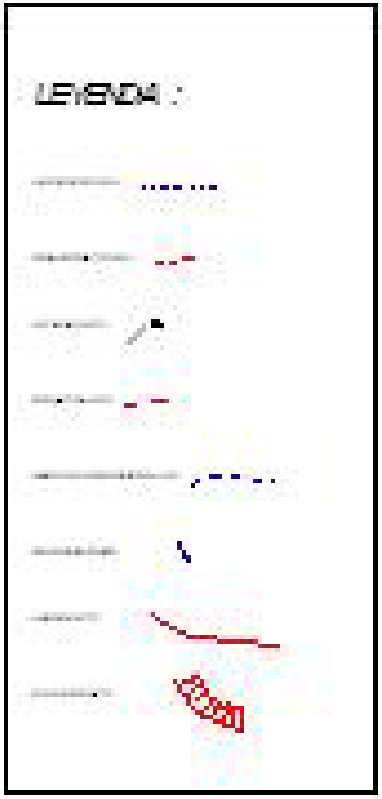


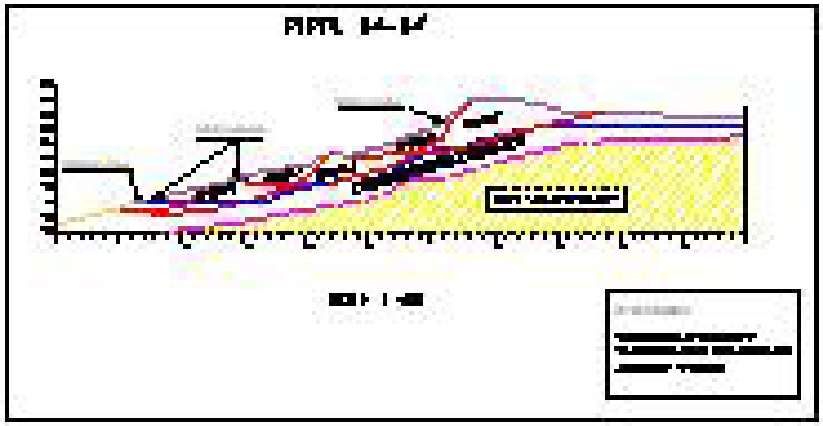
Soluciones para el problema (ESPOL)





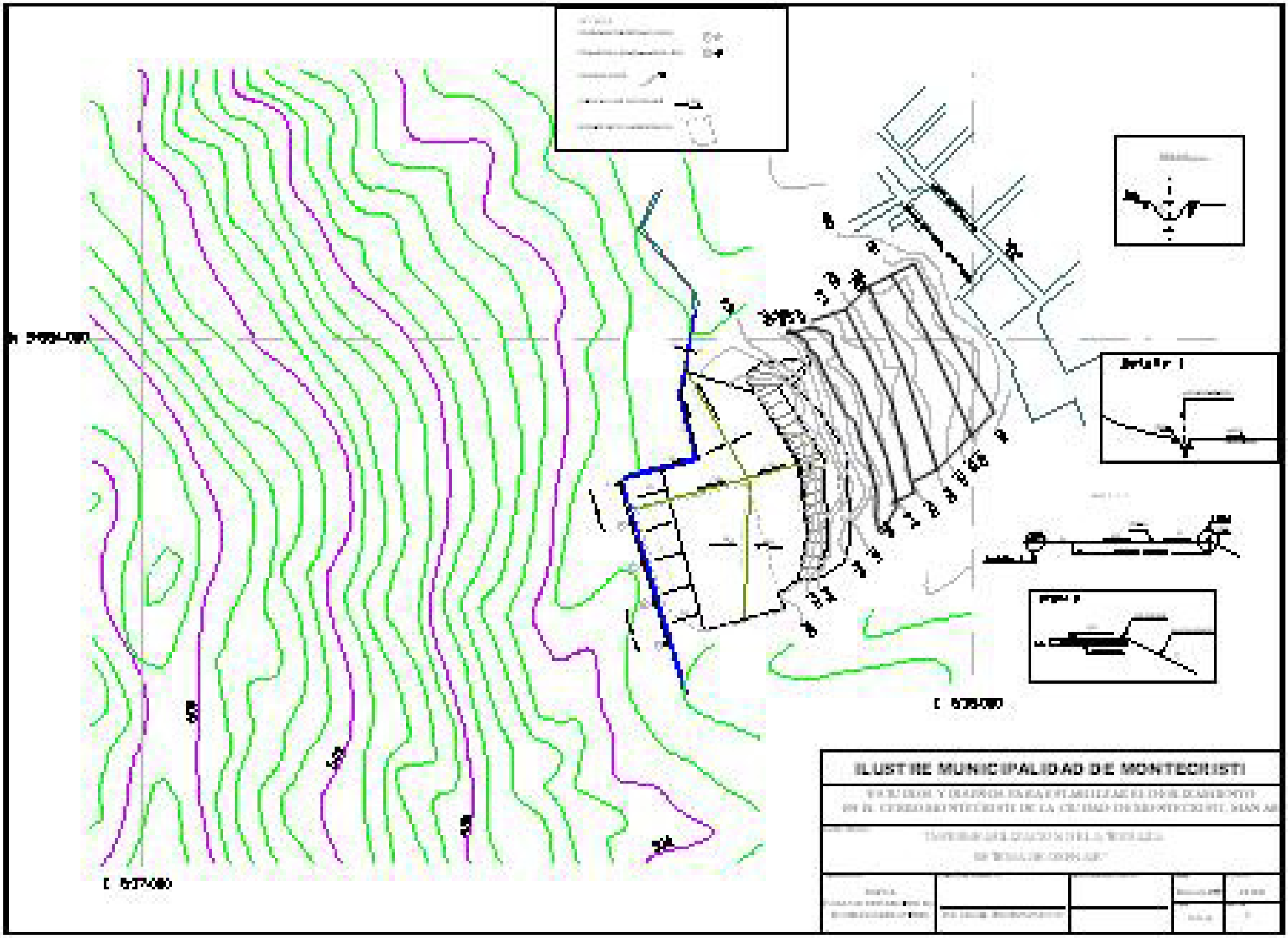


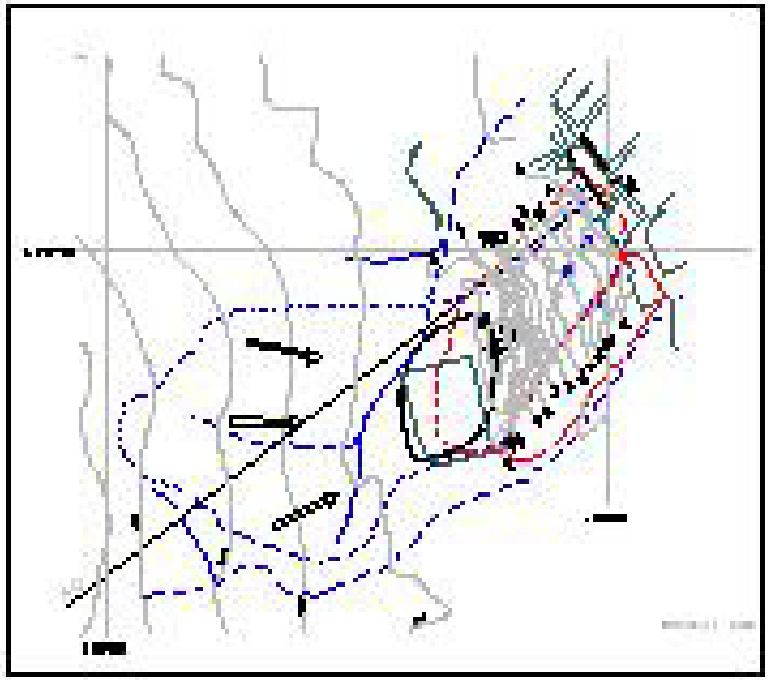


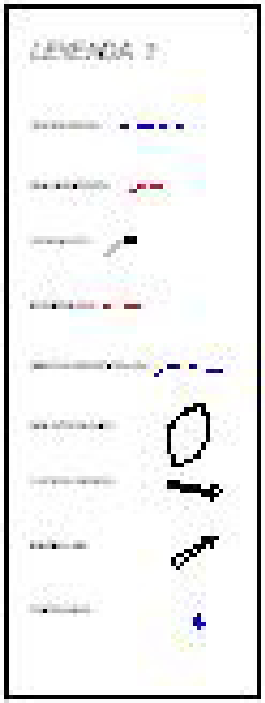


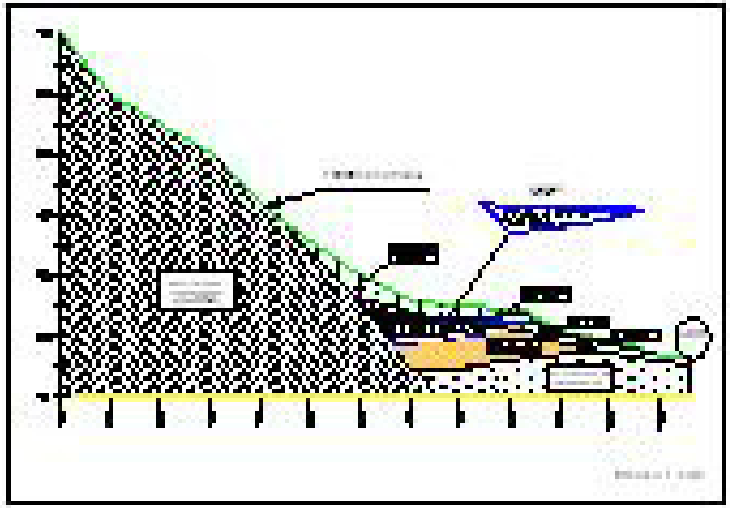
ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE MONTECRISTI

CARACTERIZACION GEOTECNICA


E 537400
E 538000
ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE MONTECRISTI







ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE MONTECRISTO

Caso 6: Portoviejo







Se observa la geomorfología de la región y la irresponsabilidad de los asentamientos de la población en las laderas









Malas obras de ingeniería que no abastecen las necesidad del caudal por lo que provoca acumulación del fluido lo que a su vez ocasiona erosión, arrastre y depositación aguas debajo de los sedimentos





Evidencia de depositación de sedimentos en la población







Sistema de drenaje de la zona con su respectiva solvatación por los sedimentos que bajan de las partes altas













Procesos de deforestación, erosión arrastre que terminan en deslizamientos traslacionales del sector y una morfología bastante agreste





Procesos de asentamiento que aceleran y contribuyen a la desestabilización de las masa de suelo mediante la erosión y remoción de sedimentos al hacer los cortes y rellenos para las respectivas construcciones





ACCIONES INDEBIDAS POR PORTOVIEJO







COLINAS SAN JOSE

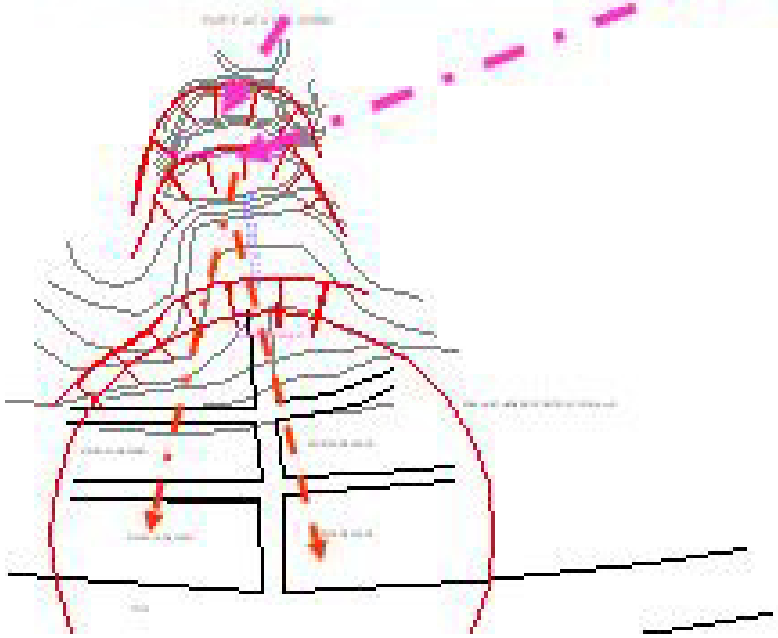




ACCIONES INDEBIDAS
PORTOVIEJO – ALTO RIESGO



PELIGRO DE ALUD EN LAS COLINAS SAN JOSE - PORTOVIEJO





Caso 7: Puerto López







Obras de ingeniería no sustentables e imprácticas: colocaron muros de gaviones para detener el flujo de sedimentos, se produjo depositación masiva y ahora estos muros están cubiertos por los mismos sedimentos que se supone iban a detener











Famoso canal que debería encauzar los sedimentos y flujos, pero que como se aprecia se está solvatando poco a poco y no soluciona el problema











Agresivo proceso de sedimentación, producto de la erosión y deslizamientos de las partes altas. Se evidencia que la obra de ingeniería con los gaviones no detuvo este proceso y constituye un gasto innecesario

APÉNDICE F: APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS A LA ESTABILIDAD DE TALUDES

ANTECEDENTES

Es un hecho que la estabilidad de los taludes en la provincia de Manabí implica un gran área de interés en la Ingeniería Geotécnica. Para esto, se han revisado los diferentes métodos de análisis de estabilidad de taludes, los cuales se encuentran resumidos y detallados en el documento presentado por Duncan en 1996. Entre los métodos descritos se encuentran: el método de las dovelas, método modificado de Bishop, método del equilibrio de fuerzas, el método generalizado de Janbu, el método de Morgenstern y Price así como el método de Spencer.

Estos métodos, en su mayoría se basan en el principio de dividir la masa de suelo en dovelas, en donde las direcciones de las fuerzas actuantes en cada dovela se asumen. Esta presunción juega un papel predominante en la distinción de un método de equilibrio límite de otro.

Los métodos de equilibrio límites requieren de una superficie continua que atraviese la masa de suelo, donde esta superficie es esencial en el cálculo del factor mínimo de seguridad (FS) en caso de deslizamiento o falla por corte. De igual manera, se asume las direcciones de las fuerzas para poder conformar las ecuaciones correspondientes.

Con el desarrollo tecnológico los métodos de equilibrios límites han dejado ser utilizados y han sido reemplazados por el método de elementos finitos, cuya principal ventaja es que no se requieren de presunciones como la posible superficie de falla fuerzas actuantes en los lados y sus direcciones. Así su aplicación es diversa con complejidad de problemas y características. El criterio DE Mohr-Coulomb puede ser aplicado así como métodos similares basados en las características de los suelos. Los esfuerzos de equilibrio, esfuerzos de corte y otros pueden ser calculados fácilmente. El mecanismo de falla puede ser modelado con más precisión sin presentar necesariamente formas circulares o arcos logarítmicos espirales. Su simplicidad permite utilizar este sistema en cálculos de estabilidad con presencia de presas, fallas inducidas, comportamiento heterogéneo de suelos, propiedades aleatorias de los suelos, intervenciones ingenieriles tales como el uso de geotextiles, desbroces, drenajes, presas y barreras de retención y como resultados te da entre otras cosas las posibles deformaciones basados en los niveles de trabajos y esfuerzos y es posible monitorear la o las fallas progresivas.

Es importante mencionar que la heterogeneidad a la que se refiere en elementos finitos es la presencia de estratos bien definidos con sus respectivas propiedades, que en el caso de Manabí no se da, debido a los depósitos de materiales, ya sean estos rellenos y cortes o material

proveniente de deslizamientos anteriores, lo cual hace extremadamente difícil evaluar una superficie de falla pues se asume muchas cosas y se simplifica demasiado el problema, cuando en la realidad intervienen aún más factores.

PRINCIPIOS Y PRESUNCIONES FUNDAMENTALES EN EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Los principios fundamentales que intervienen en la susceptibilidad de deslizamientos de los suelos y rocas en la Provincia de Manabí son: las propiedades de los materiales en el modelo, de allí para su posterior análisis intervienen: el factor de seguridad obtenido y la definición de la superficie de falla.

Propiedades de los materiales en el modelo

Este trabajo sólo es aplicable a problemas bidimensionales de plano de esfuerzos, por lo cual se plica el criterio de Mohr-Coulomb que constituye el modelo usado para describir las propiedades de suelos y rocas, en donde se relaciona el esfuerzo cortante a la cohesión, el esfuerzo normal y ángulo de fricción interna del material. La superficie de falla del modelo de Mohr-Coulomb se lo puede representar como:

$$f = \frac{I_1}{3}\sin\phi + \sqrt{J_2}\left[\cos\Theta - \frac{1}{3}\sin\Theta\sin\phi\right] - C\cos\phi$$

ϕ Donde es el ángulo de fricción interna, C es la cohesión y

$$I_1 = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = 3\sigma_m$$

$$J_2 = \left(\frac{1}{2}\left(s_x^2 + s_y^2 + s_z^2 \right) + \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2 \right)$$

$$\Theta = \frac{1}{3}\sin^{-1}\left[\frac{3\sqrt{3}J_3}{2J_2^{3/2}} \right]$$

$J_3 = s_x s_y s_z + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - s_x\tau_{yz}^2 - s_y\tau_{xz}^2 - s_z\tau_{xy}^2$ Donde

Y $s_x = \sigma_x - \sigma_m, \quad s_y = \sigma_y - \sigma_m, \quad s_z = \sigma_z - \sigma_m$

Para el modelo de Mohr-Coulomb, sólo se requieren de seis propiedades del material, entre los cuales están: el ángulo de fricción,. Cohesión, ángulo de dilatación, modulo de Young, Relación de Poisson y el peso unitario del suelo. Es importante recalcar que el módulo de Young y la relación de Posison influencian la deformación calculada antes de la falla, mientras que tiene poca influencia en el factor de seguridad predecido. El ángulo de dilatación influencia el cambio de volumen durante la falla.

Factor de Seguridad y Reducción del Factor de Esfuerzo

El factor de seguridad se utiliza para evaluar el estadio de estabilidad de los taludes. Si su valor es mayor a 1.5 se dice que el talud es estable mientras que si su valor es menor, este no lo es y requiere de medidas estabilizadoras. Se calcula fácilmente así:

$$FOS = \frac{\tau}{\tau_f}$$

Donde es el esfuerzo cortante en el material del talud, el cual es calculado a través del criterio de Mohr Coulomb

Deslizamientos

Se presentan como una variación muy prominente en el desplazamiento nodal luego de un deslizamiento si se le compara con la características anteriores al movimiento.

A continuación se ha tomado ejemplos característicos de la forma de los deslizamientos que ocurren en Manabí, pero vale mencionar que las tablas que se muestran son simplemente ejemplos, no puede presentarse todas las valoraciones que se efectúan pues los suelos de Manabí tienen mucha heterogeneidad. Estas corridas pertenecen al programa Phases al igual que los valores.

CARACTERIZACIÓN DE LOS CASOS

Alajuela, Jipijapa, Portoviejo

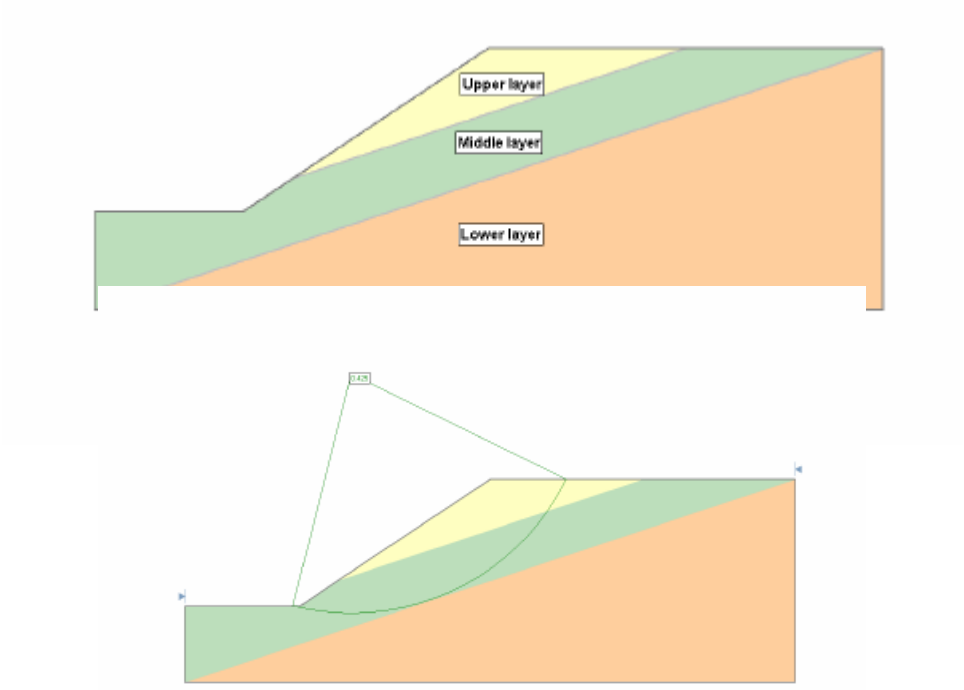


Figure 1.2 Circular Auto Refine Search Method, Spencer Method (FOS: 0.425)

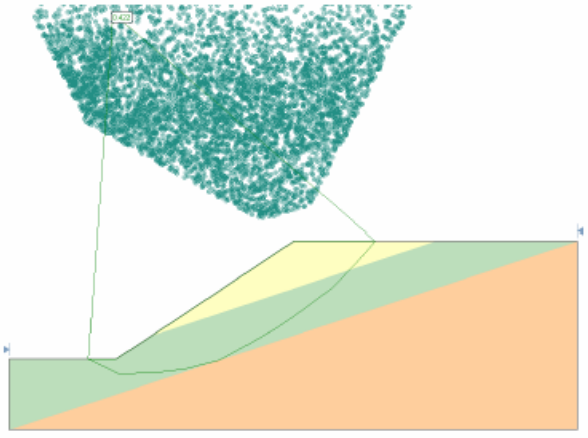


Figure 1.3 Non-Circular Path Search Method, Spencer Method (FOS: 0.422)

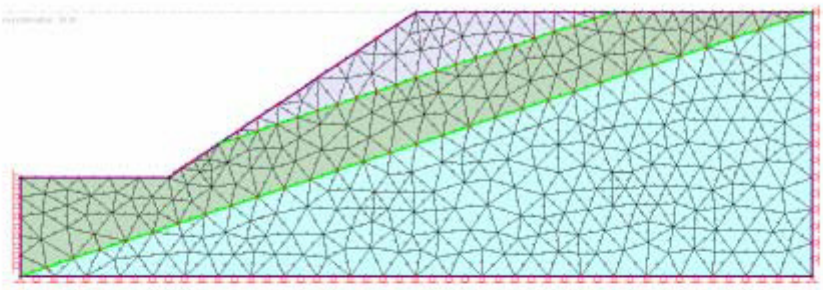


Figure 1.4 Phase^2 Finite Element Mesh (6-Noded triangles)

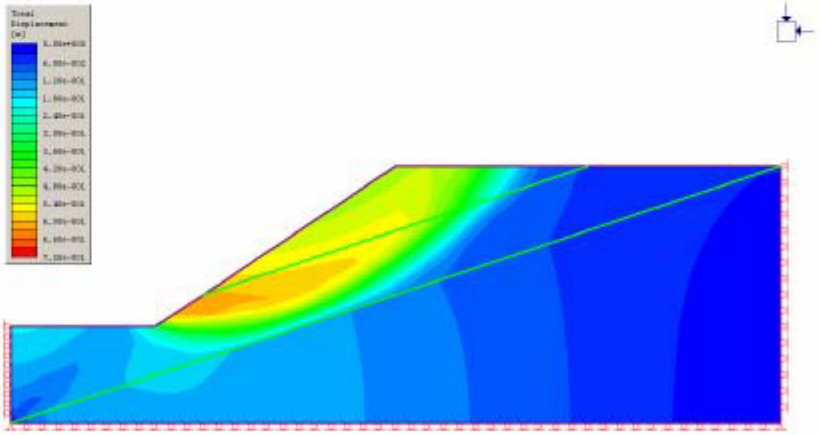


Figure 1.5 Total Displacements Contours
(SRF = 0.39)

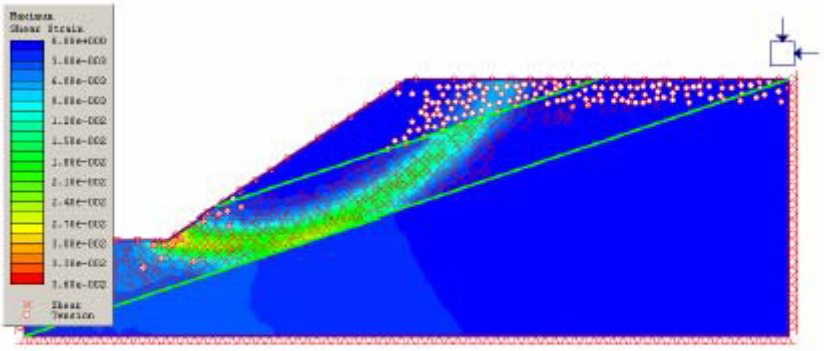


Figure 1.6 Maximum Shear Strain Contours and shear yielded elements (SRF = 0.39)

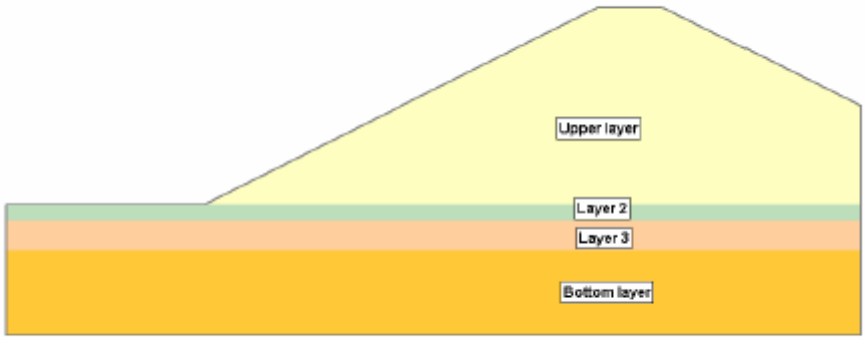


Figure 2.1 Slope geometry

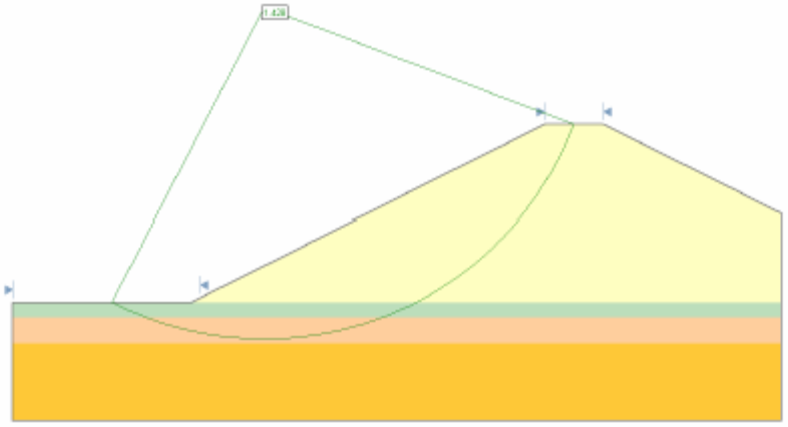


Figure 2.2 Circular Auto Refine Search Method, Spencer Method (FOS: 1.428)

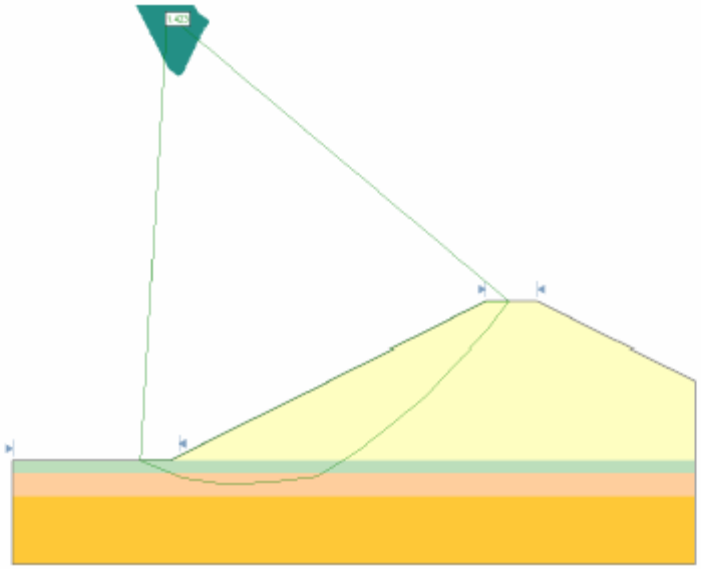


Figure 2.3 Non-Circular Path Search Method, Spencer Method (FOS: 1.423)

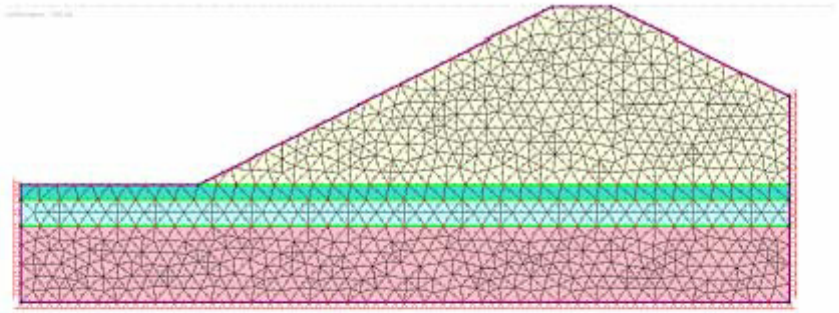


Figure 2.4 Phase^2 Finite Element Mesh (6-Noded triangles)

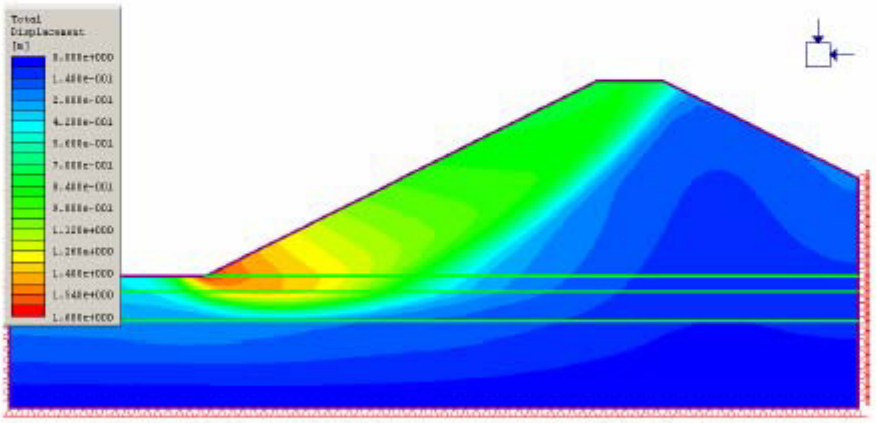


Figure 2.5 Total Displacements Contours
(SRF = 1.4)

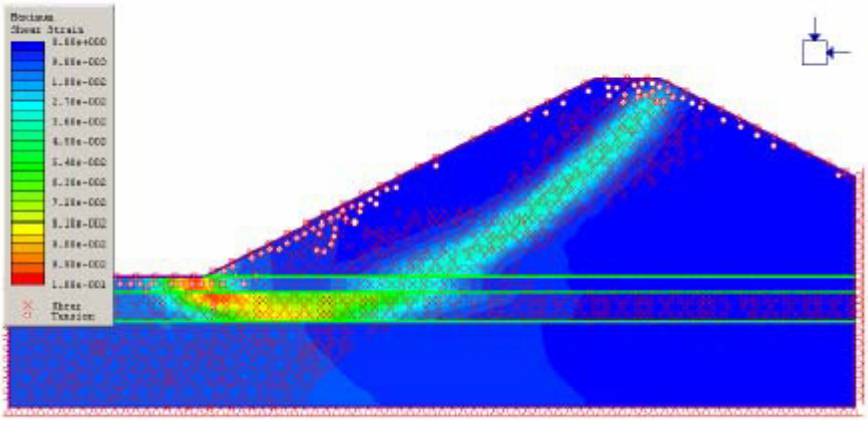


Figure 2.6 Maximum Shear Strain Contours and shear yielded elements (SRF = 1.4)

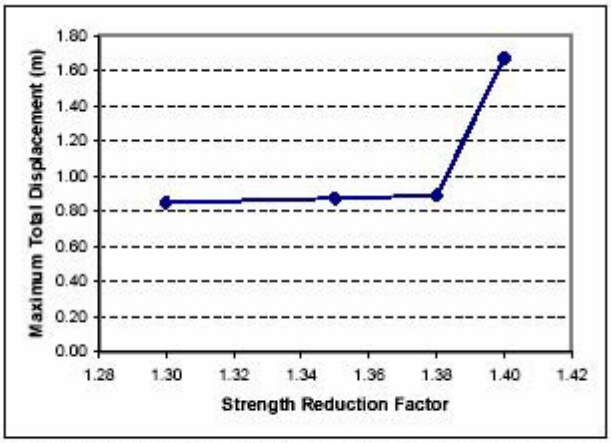


Figure 2.7 Strength reduction factor plotted against the maximum total displacement

Table 2.2 Factor of Safety

Method	Failure Surface	Factor of Safety
Limit Equilibrium Method	Circular	1.428
	Non-Circular	1.423
Finite Element Method		1.38

Cantón Sucre, Manta, Puerto López

Table 3.1 Material Properties

	c (kN/m^2)	ϕ (deg.)	γ (kN/m^3)
Rock	78	23	26.65

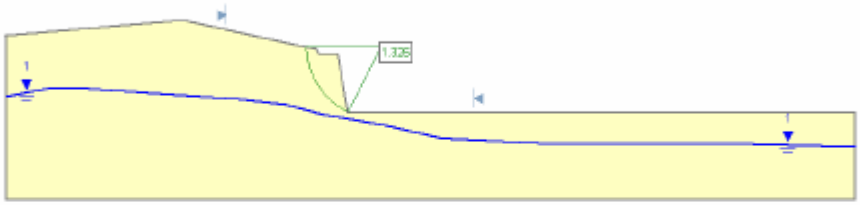


Figure 3.1 Circular Slope Search Method, Bishop's Method (FOS: 1.326)

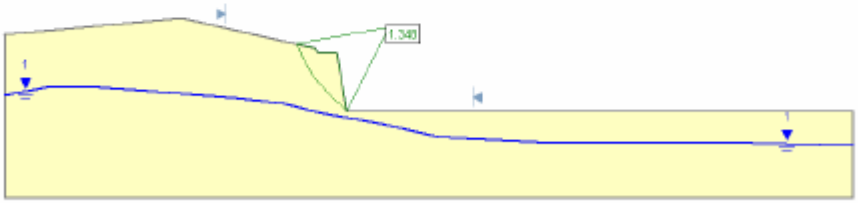


Figure 3.2 Non-Circular Path Search Method, Bishop's Method (FOS: 1.348)

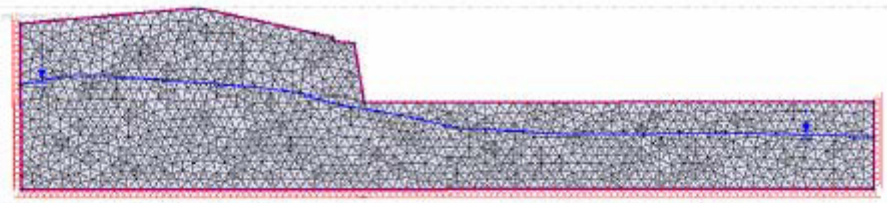


Figure 3.3 Phase^2 Finite Element Mesh (6-Noded triangles)

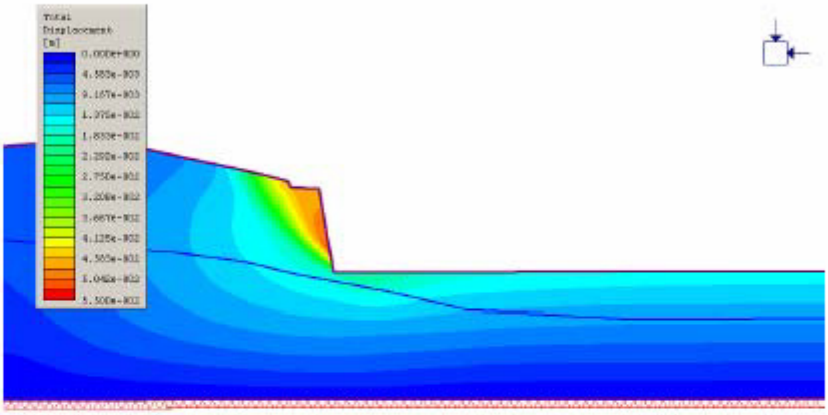


Figure 3.4 Total Displacements Contours
(SRF = 1.3)

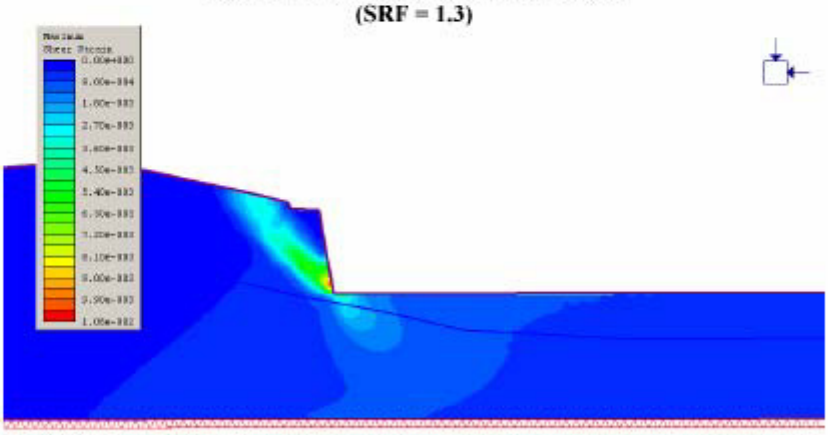


Figure 3.5 Maximum Shear Strain Contours
(SRF = 1.3)

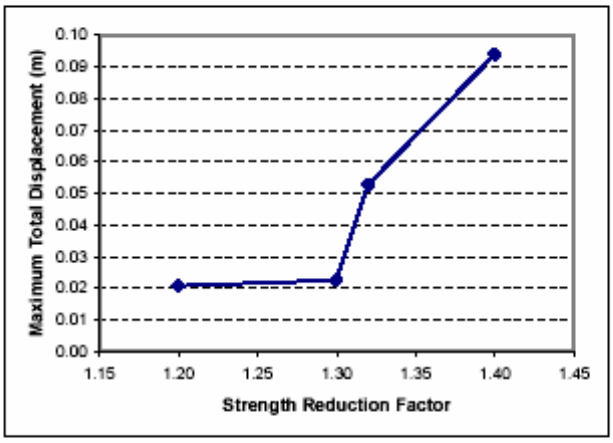


Figure 3.6 Strength reduction factor plotted against the maximum total displacement

Table 3.2 Factor of Safety

Method	Failure Surface	Factor of Safety
Limit Equilibrium Method	Circular	1.326
	Non-Circular	1.348
Finite Element Method		1.300

Table 4.1 Material Properties

	c (kN/m^2)	ϕ (deg.)	γ (kN/m^3)
Rock	78	23	26.65



Figure 4.1 Circular Auto Refine Search Method, Bishop Method (FOS: 1.243)

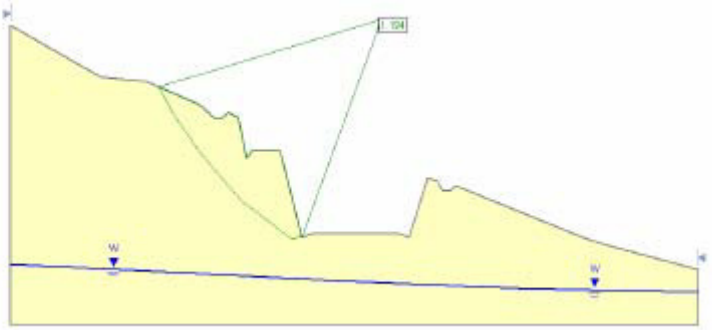


Figure 4.2 Non-Circular Path Search Method, Bishop Method (FOS: 1.19)

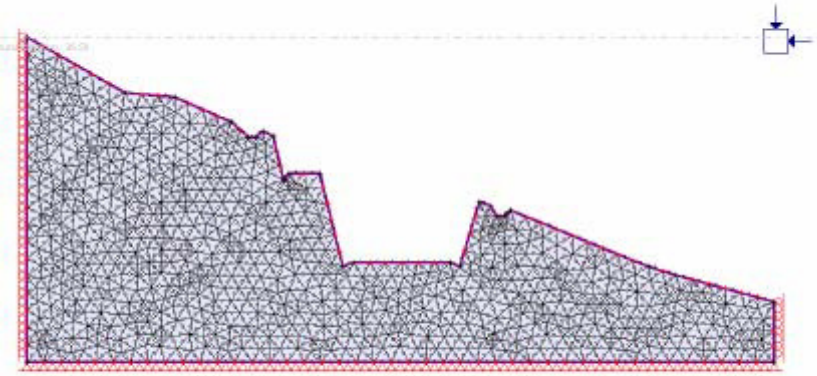


Figure 4.3 Phase^2 Finite Element Mesh (6-Noded triangles)

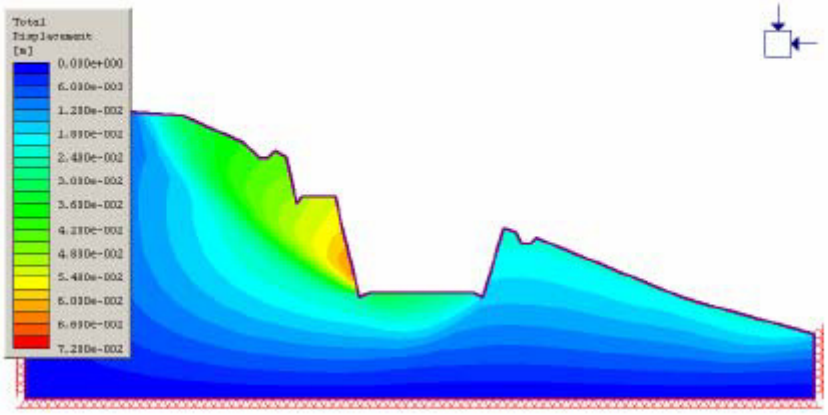


Figure 4.4 Total Displacements Contours
(SRF = 1.15)

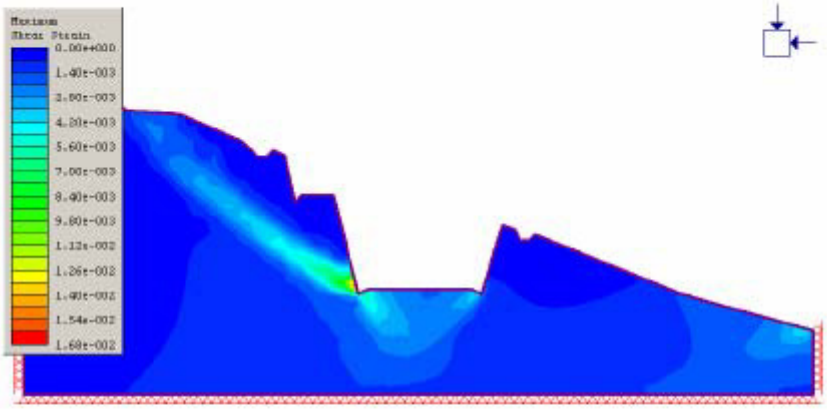


Figure 4.5 Maximum Shear Strain Contours
(SRF = 1.15)

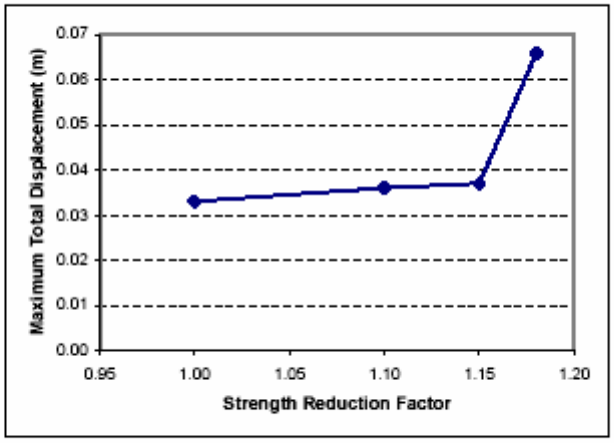


Figure 4.6 Strength reduction factor plotted against the maximum total displacement

Table 4.2 Factor of Safety

Method	Failure Surface	Factor of Safety
Limit Equilibrium Method	Circular	1.243
	Non-Circular	1.194
Finite Element Method		1.150

Table 5.1 Material Properties

	c (kN/m^2)	ϕ (deg.)	γ (kN/m^3)
Rock	13.8	37	18.2

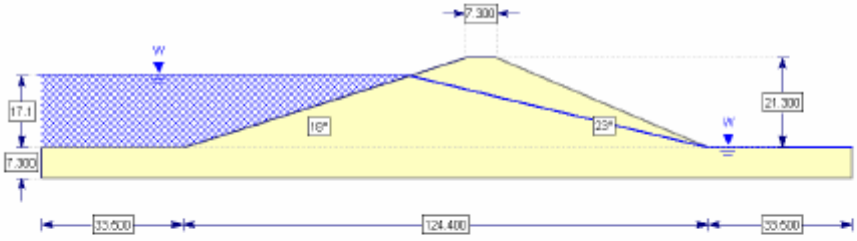


Figure 5.1 Slope geometry

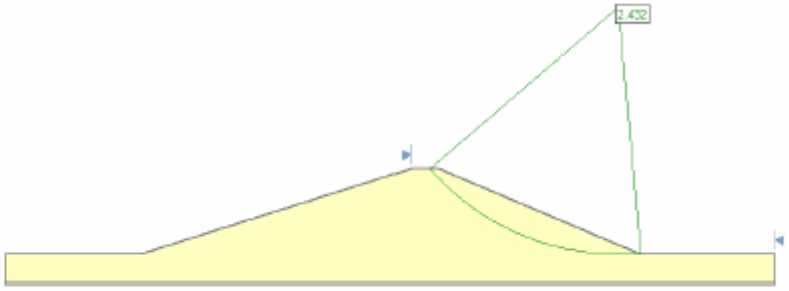


Figure 5.2 Circular Auto Refine Search Method, Bishop Method (FOS: 2.432)

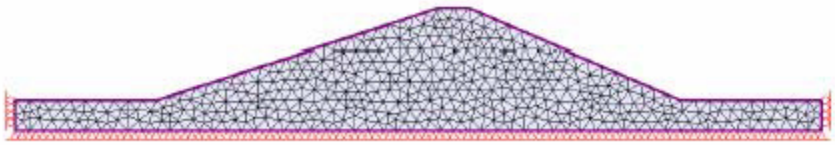


Figure 5.3 Phase^2 Finite Element Mesh (6-Noded triangles)

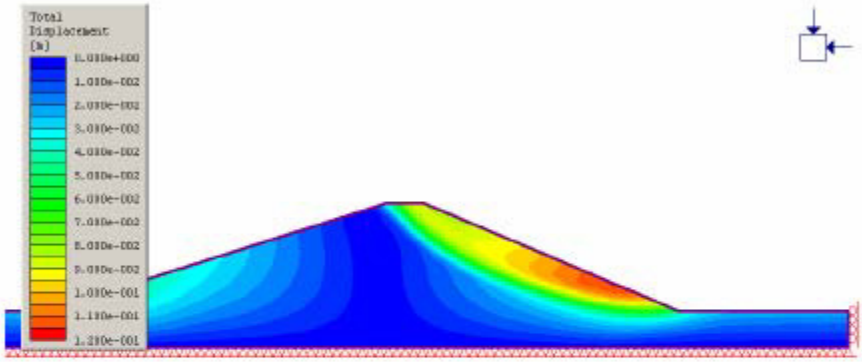


Figure 5.4 Total Displacements Contours
(SRF = 2.45)

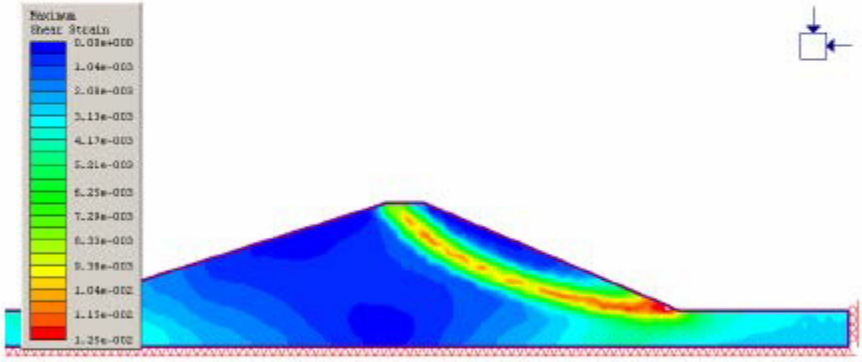


Figure 5.5 Maximum Shear Strain Contours
(SRF = 2.45)

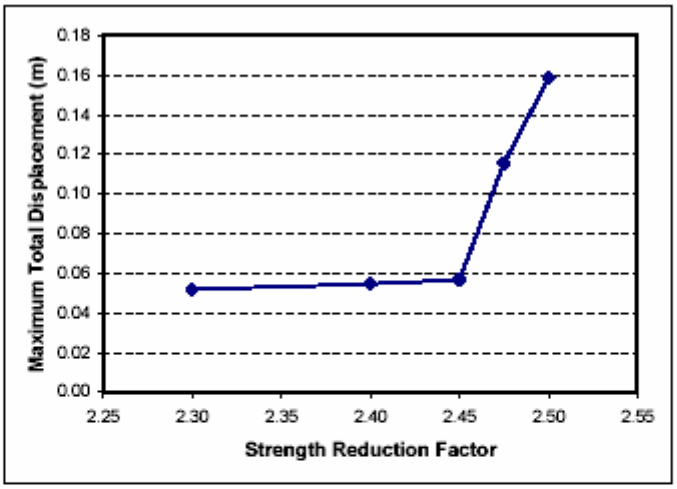


Figure 5.6 Strength reduction factor plotted against the maximum total displacement

Table 5.2 Factor of Safety

Method	Failure Surface	Factor of Safety
Limit Equilibrium Method	Circular	2.432
Finite Element Method		2.450

En base a todo lo antes expuesto, la ayuda de programas como éste, Phases, Galena y otros es muy útil, pero dada la complejidad del problema no podemos dejarnos guiar siempre por los valores que arroja el programa sino que se necesita del criterio ingenieril, viistas de campo y muchos ensayos y muestreos para poder caracterizar bien el sector y luego introducir valores en estos programas, que en algunos casos dada la complejidad de la situación ya no es factible. Por ello, la investigación en el desarrollo de ecuaciones que caractericen el comportamiento del suelo requiere de más información y tecnología que permita ensayar y comprobar su desempeño en condiciones reales.

BIBLIOGRAFÍA

1. 1.http://www.manabi.gov.ec/consejo_cat.php?gid=41&gidm=41

2. http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/fulltext/ecuador/capi1.pdf

3. http://www.gobernacionmanabi.gov.ec/images/mapademanabi.jpg

4. http://www.manabi.gov.ec/consejo_cat.php?id=125&gid=11&gidm=41

5. http://www.manabi.gov.ec/consejo_cat.php?id=124&gid=11&gidm=41

6. http://www.manabi.gov.ec/consejo_cat.php?id=105&gid=11&gidm=41

7. http://www.manabi.gov.ec/consejo_cat.php?id=47&gid=11&gidm=41

8. http://www.manabi.gov.ec/consejo_cat.php?id=138&gid=32&gidm=41

9. http://www.inec.gov.ec/interna.asp?inc=cs_tabla&idTabla=570&tipo=p&idProvincia=13&idSeccion=&idCiudad=

10. http://www.inec.gov.ec/interna.asp?inc=cs_tabla&idTabla=175&tipo=p&idProvincia=13&idSeccion=&idCiudad=

11. http://www.observatoriofiscal.org/tlc/manabipina.jpg

12. Chávez Moncayo M.A. Presentación al Muy Ilustre Municipio de Guayaquil. Departamento de Medio Ambiente. Causas de los Deslizamientos. Noviembre 2004.

13. Ilustre Municipio de Portoviejo. Proyecto de encauzamiento del Río Portoviejo.marzo 2001.

14. http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/world/1906_01_31.html

15. www.oas.org/usde/publications/Unit/oea40s/p03.GIF

16. Márquez M. Omar.- Aspectos geomecánicos en la rehabilitación de líneas de alta tensión, afectadas por movimientos de masa.Seminario de Geomecánica. La Rábida, España 2002.

18. Márquez M. Omar.- Estabilidad de Taludes. “Movimientos de Masas”. Seminario de Geomecánica. La Rábida, España 2002.

19. Guardado Lacabas R. y Yuri Almaguer C.- Propuesta de investigación. Rocas y suelos como indicadores ingeniero-geológicos y ambientales de estabilidad y sostenibilidad de taludes y laderas. Seminario de Geomecánica. La Rábida, España 2002.

20. Guardado L. Rafael y Yuri Almaguer C.- Análisis de Estabilidad de Taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo serpentinitico del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín, Cuba. Memorias del Octavo Congreso de Ciencias de la Tierra. Guayaquil, Ecuador. 2002.

21. Carrillo Gil A. y A. Carrillo A.- Diseño y Protección de Taludes en Climas Tropicales. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 525 a 536. Cartagena, Colombia. 2001.

22. Nuñez del Arco. Geología del Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador. 2003

23. www.oas.org/usde/publications/Unit/oea40s/p03.GIF

24. http://neic.usgs.gov/neis/eqlists/significant.html

25. 24.http://igepn.edu.ec/boletin/2005/boletin.htm

26. De Velasco Juan Padre. Aguas Subterráneas, Reporte Histórico de la Costa Ecuatoriana. 1784.

27. Chávez Moncayo M.A. Estudios y Diseños para estabilizar el Aeropuerto de Manta. 2001

28. Chávez Moncayo M.A. Estudios y Diseños para estabilizar el ceroso del Km 3+000 de la Vía Terminal-Pascuales. 2004

29. Chávez Moncayo M. A.-Estudios y Diseños para estabilizar el gran deslizamiento de Cerro Azul en el área urbana de Guayaquil, Ecuador. Memorias III Simposio Panamericano de Deslizamientos Volumen 2. Pagina 701 a 706. Cartagena, Colombia. 2001.

30. http://www.dlh.lahora.com.ec/paginas/manabita/historia3.htm

31. http://www.thebestofecuador.com/manta/manta.jpg

32. http://toddsproule.com/cruise2002/Ecuador%20-%20Manta/slides/View%20of%20Manta.JPG

33. Abril, Boris. Estudios hidráulicos y fluviomorfológicos para el diseño de la sección estable del cauce del Río Portoviejo. Ilustre Municipio de Portoviejo. Cuenca, Ecuador. 2001

34. ISRM. Clasificación de los macizos rocosos. 1981

35. http://www.transport-links.org/transport_links/filearea/publications/1_791_PA3680.pdf

36. Suàrez Dìaz J.- Metodología para la caracetizaciòn integral de los suelos residuales. Memorias VIII Congreso Nacional Geo-Lima 98. Pàgina 143 a 157. Lima, Perù. 1998.

37. Cascini, L.. Discussion. Géotechnique 42, No. 4, 645-648.37. 1992

38. Deere, D.U. and Miller. Engineering classification and index properties of rock.

39. Technical Report No. AFNL-TR-65-116. Albuquerque, NM: Air Force Weapons Laboratory. 1966.

40. Montero O. J.- Amenaza de impacto por fenómenos de remoción de masas en Colombia. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 859 a 886. Cartagena, Colombia. 2001.

41. BlancoTorrens y otros. Variación de las características de resistencia de las rocas con el tiempo y bajo la acción de diferentes líquidos. Revista Minería Y geología:14-17, ISMM de Moa, 1986

42. Barrios D. R.- Venezuela Inventario de Deslizamientos. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 757 a 773. Cartagena, Colombia. 2001.

43. Plaza G. y E. Jiménez.- Zonificaciòn de la Amenaza por Deslizamiento en la ciudad de Bahìa de Caráquez, Ecuador. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 789 a 795. Cartagena, Colombia. 2001.

44. Reyes y otros.- Inventario de Deslizamientos en el Departamento de Boyacá, Colombia. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 797 a 810. Cartagena, Colombia. 2001.

45. Benithmar C. A.- Una aproximación metodològica para el análisis de la estabilidad de taludes en masas rocosas y zonificación de áreas amenazadas. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de

Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 821 a 834. Cartagena, Colombia. 001.

46. Carrillo Gil A.- Análisis y Diseños en los suelos de la selva (Conf.). Memorias VIII Congreso Nacional Geo-Lima 98. Pàgina 33 a 48. Lima, Perù. 1998.

47. Marín Nieto L.- El Niño 97-98 en la región sur-occidental del Ecuador (Conf.). Memorias VIII Congreso Nacional Geo-Lima 98. Pàgina 85 a 109. Lima, Perù. 1998.

48. Suàrez Dìaz J.- Las lluvias, las anomalías climáticas y los deslizamientos de tierra en zonas tropicales (Conf.). Memorias VIII Congreso Nacional Geo-Lima 98. Pàgina 111 a 129. Lima, Perù. 1998.

49. IRFAN, T, Y. & DEARMAN, W. R. 1978. The engineering petrography of a weathered granite in Cornwall, England. Quarterly Journal of Engineering Geology, 11, 233-244.

50. William Lamber T. y R. V. Whitman.- Mecànica de Suelos. 8ava edición. Editorial Limusa. México. 1991.

51. Uriel, A. O.y otros.- Unstable cut slopes at the Oviedo (Spain) highway ring: análisis and solutions. Landslides. Editorial AA. Balkeman. Rotterdam. 1996.

52. Morgan, R. P.C.- Erosion y conservaciòn del suelo. Ediciones Mundi-Presa. Madrid, España. 1997.

53. Gray, D. H. Y Sotir, R. B.- Biotechnical and soil bioengineering: slope stabilization. A practical guide for erosion control. John Wiley & Sons, inc. New York. 1996.

54. López Jimeno C. y otros.- Manual de Estabilización y Revegetaciòn de Taludes. Madrid, España. 1999.

55. Chávez Moncayo M. A.- Génesis y Efectos de los deslizamientos en Ecuador. Memorias III Simposio Panamericano de Deslizamientos Volumen 2. Pagina 725 a 730. Cartagena, Colombia. 2001.

56. Chávez Moncayo M. A.- Estudios de Riesgos geodinámicos en la terraza de tanques del Terminal Petrolero de Balao. Informe Técnico. Esmeraldas, Ecuador. 1996.

57. Chávez Moncayo, et al. Reporte COPEFEN: Visita Técnica a la Provincia de Manabí. Mayo 2001

58. Chávez Moncayo, et al. COPEFEN: Borrador de informe de visita no. 1 a la Provincia de Manabí. Abril10, 2002.

59. Chávez Moncayo M.A.- Caracterización practica del comportamiento de los suelos y rocas blandas en el Cantón Sucre – Provincia de Manabí, mediante las experiencias recabadas en el Fenomeno “EL NIÑO 1997-98”.1999.

60. Nuques. Estudios y Diseños para estabilizar el deslizamiento del Terminal Petrolero Barbasquillo-Manta. Petrocomercial. 2005.

61. Chávez Moncayo M.A.- Estudios y Diseños para estabilizar el deslizamiento que se desplaza sobre el Cantón Montecristi en el Ecuador. Memorias III Simposio Panamericano de Deslizamientos Volumen 2. Pagina 707 a 712. Cartagena, Colombia. 2001.

62. Chávez Moncayo M.A.- Estudios y Diseños para estabilizar el deslizamiento que se desplaza sobre el Cantón Montecristi en el Ecuador. Memorias III Simposio Panamericano de Deslizamientos Volumen 2. Pagina 707 a 712. Cartagena, Colombia. 2001.

63. Bronzoni G y otros.- El Deslizamiento de La Josefina (Ecuador) Obras Emergentes. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 537 a 548. Cartagena, Colombia. 2001.

64. Zavala J. M.- Masas Inestables y Rompimiento de Presas naturales, en la Sierra Madre Oriental. Estado de Puebla y Veracruz, México. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 573 a 586. Cartagena, Colombia. 2001.

65. Gòmez Àvalos J. C.- Cuatro casos tipo de inestabilidad de masas en Perù. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 593 a 603. Cartagena, Colombia. 2001.

66. Sierra M. C. y L. F. Osorio.- Inestabilidad Cuenca Las Brujas. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 673 a 685. Cartagena, Colombia. 2001.

67. Raba M. A. y M. Garcìa.- Proceso de Estabilización de un talud de corte en rocas blandas – Tanque de Suba, Bogotà D.C. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 689 a 699. Cartagena, Colombia. 2001.

68. Castañeda M. y E. Jorge .- Evolución de los Deslizamientos al NE de Ciènaga Boyacà. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 649 a 656. Cartagena, Colombia. 2001.

69. Carrillo E., Castro E. y D. Ibáñez.- Caracterizaciòn Geotécnica Indicativa del Deslizamiento de la Escarpa Norte de Bucaramanga. Colombia. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 713 a 722. Cartagena, Colombia. 2001.

70. De la Torre S. M.- Desastres Naturales por la ocurrencia de Fenómenos Geodinámicos en el Perù. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 731 a 756. Cartagena, Colombia. 2001.

71. Humala Aviar G. y J. Mallaupoma.- Estabilidad de taludes carretera Lima-Corta- La Viuda- Unish. Memorias VIII Congreso Nacional Geo-Lima 98. Pàgina 97 a 108. Lima, Perù. 1998.

72. Landázuri Ludeña C. y C. Landázuri Soto.- Deslizamientos de taludes provocados por la acciòn del Fenómeno de El Niño. Memorias VIII Congreso Nacional Geo-Lima 98. Pàgina 237 a 247. Lima, Perù. 1998.

73. De la Torre M.- Control de deslizamientos que afectan las vìas terrestres. Memorias VIII Congreso Nacional Geo-Lima 98. Pàgina 307 a 326. Lima, Perù. 1998.

74. Marticorena D.- Oferta Ambiental, Intervenciones y Efectos en la Cuenca Hidrogràfica Rìo Rimac. Memorias VIII Congreso Nacional Geo-Lima 98. Pàgina 337 a 350. Lima, Perù. 1998.

75. Humala Aviar G.- Análisis y Diseños de los suelos de la costa (Conf.). Memorias VIII Congreso Nacional Geo-Lima 98. Pàgina 15 a 32. Lima, Perù. 1998.

76. Espinoza Reyes V. y D. Parra Murrugarra.- Análisis de estabilidad de depósitos de relaves. Memorias VIII Congreso Nacional Geo-Lima 98. Pàgina 63 a 78. Lima, Perù. 1998.

77. Zango Pascual M.- Ejemplo de metodología para la elaboración de mapas integrados de riesgos naturales relacionados con la geodinámico externa y su aplicación a proyectos de infraestructura. Memorias VIII Congreso Nacional Geo-Lima 98. Página 205 a 217. Lima, Perù. 1998.

78. ITGE. – Manual de Ingeniería de Taludes. Madrid, España. 1991.

79. Chávez Moncayo M. A.- Estudio de los riesgos geodinámicos, búsqueda de soluciones técnicas para el oleoducto transecuatoriano. Memorias I Simposio Panamericano de Deslizamiento de Tierra . Volumen 1. Página 432 a 446. Guayaquil, Ecuador. 1994.

80. Chávez Moncayo M. A.-Estudios geotécnicos y de estabilización del área de Tanque del Terminal Petrolero de Balao. Memorias III Simposio Panamericano de Deslizamientos Volumen 2. Pagina 605 a 612. Cartagena, Colombia. 2001.

81. Chàvez Moncayo M. A.- Anàlsis de los deslizamientos catastróficos producidos por los sismos de marzo 5/97. Memorias I Simposio Suramericano de deslizamientos. Volumen I. Pagina 623 a 648. Paipa, Colombia. 1989.

82. Chàvez Moncayo M. A.- Posibles incidencias de la falla geológica “Pascuales” en los proyectos aledaños a la ciudad de Guayaquil. Memorias 1er Congreso Internacional de Suelos Tropicales-Andinos. Pagina 20 a 30. Guayaquil, Ecuador, 1981.

83. Chàvez Moncayo M. A.- Contribución a un método geotècnico para búsqueda de arcillas. Memorias III Simposio Colombiano de Geotecnia. Bogotà, Colombia. 1978.

84. Chàvez Moncayo M. A.- Estudios y Diseños para estabilizar los taludes inestables del proyecto Centro Nacional de Investigaciones Marinas (SENAIM). Informe Técnico. Guayaquil, Ecuador. 1989.

85. Sancio R.- Características y comportamiento de un macizo en movimiento. Proceedings of the 1994 ISRM International Symposium. IV Congreso Sudamericano de Rocas. Volumen 1. Pagina 701-713. Santiago de Chile, Chile. 1994

86. Cruden D. y D. Varnes.- Landslide types and proceses. Investigation and mitigation special report 247.Pagina 36 a 75. Editorial Turner & Schuster. 1996.

87. Carrillo Gil A. y L. Domínguez.- Failures in Amazon Riverbanks. Seventh International Symposium on Landslides. Trondheim, Norway. 1996.

88. Cadima Antezana V. N.- Comparación entre métodos convencionales y el uso de geosintéticos en la estabilización de taludes; aplicación al deslizamiento de San Isidro. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Simòn. Cochabamba, Bolivia, 2001.

89. Ocola L.- Evaluación del peligro geológico: análisis de estabilidad de masas terrígenas. Memorias IX Congreso Panamericano de Geología. Pagina 484 a 487. Lima, Perù. 1997.

90. Urbani F.- Consideraciones geológicas de la catástrofe del Estado Vargas de Diciembre 1999. Memorias XVI Seminario Venezolano de Geotecnia. Pagina 177 a 193.Caracas, Venezuela. 2000

91. Centeno Werner R.- Degradaciòn del medio ambiente asociado a la mala práctica de la ingenierìa geotècnica. Memorias XIII Seminario Venezolano de Geotecnia. Sociedad Venezolana de Geotecnia. Pagina 67 a 75. Caracas, Venezuela. 1994.

92. Hiedra L. J. y J. Hiedra C.- Solución al deslizamiento del talud entre la calle El Colegio y la avenida principal de Alto Prado. Municipio Baruta. Estado Miranda. Memorias XIV Seminario Venezolano de Geotecnia. Sociedad Venezolana de Geotecnia. Pa`gina 209 a 216. Caracas, Venezuela. 1996.

93. Abramson L. W. y otros.-Slope stability and stabilization methods. 1era ediciòn. John Wiley & Sonc, inc. New York, USA. 1996.

94. Montero Olarte J.- Características de los movimientos en masas en Amèria Latina. Memorias II Simposio Panamericano de Deslizamientos. Pagina 49 a 62.Rìo de Janeiro, Brasil. 1997.

95. Leiser, A. T.- Biotechnology for slope protection and erosion control. University of California. USA. 1998.

96. Beterman, H. J. Evaluation of landslide susceptibility along state road 5. Cordoba. Argentina. 8th International TAEG Congress. A. A.Balkeman, Vancouver, Canada. 1998.

97. Corominas, J y Garcìa Yague A.- Terminología de los Movimientos de Laderas. IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada, España. 1997.

98. Vargas Z. y Gorbushina V.- Geoestructural classification of unstable rock masses. 8th International IAFG Congress. A. A. Balkeman, Vancouver, Canada. 1998.

99. Romana Ruy M.- El papel de las clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes. IV Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables. Granada, España. 1997.

100. Samaniego A.- Estabilidad de taludes en minerìa superficial. Seminario de Geomecánica. La Rábida, España 2002.

101. Trigueiro De Sousa W. y otros.- Analise cualitativo de custos de ruptura e inestaveis. Seminario de Geomecánica. La Rábida, España 2002.

102. Blanco Torrens R.- Popiedades de las rocas y del macizo rocoso. Seminario de Geomecánica. La Rábida, España 2002.

103. Blanco Torrens R. y R. Watson Quezada.- Movimientos de Masas, análisis de sus causas y medidas. Curso UNESCO. Guayaquil, Ecuador, 2002.

104. Terreros de Varela C. Mecánica de Suelos. Publicaciones ESPOL. Guayaquil, Ecuador. 2001.

105. Núñez del Arco E. y F. Dugas Orstom.- Guìa Geológica del Suroeste de la costa ecuatoriana. Publicaciones ESPOL. Guayaquil, Ecuador. 1985.