



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE

PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA

Elaboración de un mapa de accesibilidad y modelamiento de
evacuación ante una eventual ocurrencia de tsunami en las ciudades
de Salinas y Bahía de Caráquez, empleando herramientas
geoinformáticas

Realizado por: Gladys Jeanneth Alvear Brito

Sangolquí – Ecuador

Enero 2010

CERTIFICACIÓN

Certificamos por medio de la presente que la señorita Gladys Jeanneth Alvear Brito ha realizado en su totalidad el proyecto de grado titulado “Elaboración de un mapa de accesibilidad y modelamiento de evacuación ante una eventual ocurrencia de tsunami en las ciudades de Salinas y Bahía de caráquez, empleando herramientas geoinformáticas”, previo a la obtención del título de Ingeniera Geógrafa y del Medio Ambiente.

Ing. Oswaldo Padilla
DIRECTOR

Ing. Mario Cruz
CODIRECTOR

Este trabajo está dedicado a:

Mis padres, por ser mi guía y me apoyo

Mis compañeros, por los momentos inolvidables

Toda mi familia, por el cariño y la alegría que me brindan

AGRADECIMIENTO

Durante la realización de esta tesis recibí el apoyo de muchas personas, algunas me han apoyado durante toda mi vida y otras apenas me conocían, sin embargo, todas ellas me brindaron su ayuda cuando la necesitaba. Por eso agradezco de forma muy especial a:

Mis padres, por el cariño, el apoyo y la confianza que me brindan día a día. Y por haber sido mis compañeros de trabajo, durante la realización de este proyecto.

Mis compañeros de curso, por haber compartido durante cinco años momentos inolvidables, por los cuales seremos amigos el resto de la vida.

Al Ingeniero Oswaldo Padilla, por compartir su conocimiento, por la idea de realizar este proyecto y brindarme las facilidades para la realización del mismo.

Al Ingeniero Mario Cruz, por la orientación y todas las valiosas recomendaciones que fueron indispensables para concluir con este trabajo.

La Secretaría Nacional de Gestión del Riesgo, por el auspicio brindado a la presente investigación. En especial al Ingeniero Nelson Vásquez, por los aportes y la ayuda brindada.

Al INOCAR, por compartir la información que sirvió de base para la realización de este estudio.

Y a todos los que colaboraron con un granito de arena, sin el cual no hubiera sido posible realizar este trabajo, solo quiero decirles:

Gracias

RESUMEN

La costa ecuatoriana se encuentra en una zona de gran actividad sísmica, por lo que existe una alta probabilidad de ocurrencia de tsunamis, que causarían graves daños en las poblaciones costeras; siendo Salinas y Bahía de Caráquez polos de desarrollo con proyección turística y comercial, se hace necesario salvaguardar la integridad de sus habitantes y la infraestructura física que les caracteriza, por esta razón se analizaron las condiciones de accesibilidad en estas ciudades y se elaboró un modelo de evacuación para cada una de ellas.

Sobre la base de investigaciones realizadas por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) y técnicos de la Dirección Nacional de Defensa Civil (actual Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo), se realizó el cálculo de los tiempos de evacuación que necesitaría la población de esas ciudades para alcanzar los puntos de seguridad previamente identificados; con estos datos se elaboró un modelo numérico en el que se muestra las zonas críticas, donde la población no tendrá el tiempo suficiente para alcanzar las zonas de seguridad, considerando factores como la distancia, la pendiente del terreno y las vías de acceso, sin tomar en cuenta obstáculos, producto del sismo generador, que podrían complicar las condiciones de accesibilidad consideradas.

Los resultados de esta investigación contribuirán para que entidades de socorro, como la Secretaría Nacional de Gestión del Riesgo, puedan tomar decisiones adecuadas en el campo de la prevención y la mitigación de desastres.

SUMMARY

The Ecuadorian coast is a zone of great seismic activity, this is the reason of high probability of tsunami occurrence, that would cause serious damages in the coastal populations; being Salinas and Bahía de Caráquez poles of development with tourist and commercial projection, becomes necessary to safeguard the integrity of its inhabitants and the physical infrastructure that characterizes to them, the conditions of accessibility in these cities were therefore analyzed and an evacuation model for each of them was elaborated.

On the base of researches made by the Armada Oceanographic Institute (INOCAR) and technicians of the National Civil Defense (right now Risk Management National Secretarial), the population evacuation times calculation was the time that those cities would need to reach the points of security previously identified; with these data a numerical model was elaborated in which the critical zones, where the population will not have sufficient time to reach the security areas, considering factors like the distance, the land slope and access roads, without taking into account obstacles, product of the earthquake, that could complicate the considered conditions of accessibility.

The results of this research will contribute to aid organizations, like the Risk Management National Secretarial can make decisions adapted in the field from the prevention and the disasters mitigation.

INDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1. Ubicación de la zona de estudio.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Justificación e Importancia.....	2
1.4. Objetivos	
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
1.5. Metas.....	5
1.6. Alcance.....	5
1.7. Descripción de la zona de estudio.....	6
1.7.1. Salinas.....	6
1.7.2. Bahía de Caráquez.....	12

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. CONCEPTOS GENERALES SOBRE TSUNAMIS.....	17
2.1.1. Definición de tsunami.....	17
2.1.2. Características de un Tsunami.....	19
2.1.3. Clasificación de los tsunamis.....	21
2.1.4. Tsunamis importantes en el mundo.....	22
2.2. TSUNAMIS EN EL ECUADOR.....	25
2.2.1. Probabilidad de ocurrencia y amenaza de tsunami.....	25
2.2.2. Tsunamis históricos en el Ecuador.....	27
2.2.3. Tiempo de llegada de la primera ola.....	30
2.2.4. Altura de ola y delimitación de las áreas de inundación.....	33
2.3. DEFINICIONES SOBRE LA GESTIÓN DEL RIESGO.....	34
2.3.1. Amenaza natural.....	35
2.3.2. Vulnerabilidad.....	35
2.3.3. Desastre.....	36
2.3.4. Riesgo.....	36

2.3.5. Manejo de desastres.....	37
2.3.6. Gestión del riesgo.....	38
2.4. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	39
2.4.1. Definición.....	39
2.4.2. Aplicaciones.....	39
2.4.3. Los SIG y la evacuación en caso de desastre.....	40
2.4.4. Análisis de redes y accesibilidad.....	40

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. ESTRUCTURACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA BASE.....	43
3.1.1. Estructuración de la cartografía base de Salinas.....	43
3.1.2. Estructuración de la cartografía base de Bahía de Caráquez.....	44
3.2. GENERACIÓN DE ESCENARIOS.....	51
3.2.1. Determinación de tiempos de llegada de la primera ola.....	51
3.2.2. Determinación de áreas de inundación.....	55
3.3. ANÁLISIS DE REDES Y ACCESIBILIDAD.....	59
3.3.1. Definición de elementos para el análisis.....	60
3.3.2. Cálculo de tiempos de evacuación.....	63
3.3.3. Determinación del área crítica.....	66
3.3.4. Determinación de la accesibilidad general de la zona.....	67
3.3.5. Generación de la representación tridimensional del evento.....	67

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1. RESULTADOS OBTENIDOS EN SALINAS Y LA LIBERTAD.....	69
4.1.1 Accesibilidad general.....	70
4.1.2 Tiempos de evacuación.....	72
4.1.3 Áreas de evacuación y área crítica.....	78
4.1.4 Posibles alternativas de evacuación.....	84

4.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN BAHÍA DE CARÁQUEZ.....	85
4.2.1 Accesibilidad General.....	86
4.2.2 Tiempos de evacuación.....	88
4.2.3 Áreas de evacuación y área crítica.....	93
4.2.4 Posibles alternativas de evacuación.....	98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	100
BIBLIOGRAFÍA.....	103
GLOSARIO.....	106
ANEXOS.....	110

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Número de Habitantes y densidad poblacional por ciudad.....	3
Tabla 1.2. Distribución de la población del Cantón Salinas según parroquias.....	7
Tabla 1.3. Población del Cantón Libertad.....	11
Tabla 1.4. Población de las Parroquias Bahía de Caráquez y Leonidas Plaza.....	13
Tabla 2.1. Magnitud del tsunami (según Imamura).....	21
Tabla 3.1. Fotografías empleadas en el proyecto.....	45
Tabla 3.2. Coordenadas Geodésicas de los Puntos de Control.....	45
Tabla 3.3. Coordenadas UTM de los Puntos de Control.....	46
Tabla 3.4. Impedancia de acuerdo al tipo de vía.....	60
Tabla 3.5. Impedancia de acuerdo a la pendiente del terreno.....	61
Tabla 4.1. Tiempos de evacuación de establecimientos importantes en Salinas.....	76
Tabla 4.2. Tiempos de evacuación de establecimientos importantes en Bahía de Caráquez..	91

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1. Ubicación de la zona de estudio.....	1
Gráfico 1.2. División Parroquial del Cantón Salinas.....	6
Gráfico 1.3. Zona de estudio para Salinas.....	7
Gráfico 1.4. Zona de estudio para Bahía de Caráquez.....	13
Gráfico 2.1. Mecanismo de formación de un tsunami.....	18
Gráfico 2.2. Progresión del tsunami en Indonesia, diciembre del 2004.....	19
Gráfico 2.3. Propagación de un tsunami.....	20
Gráfico 2.4. Imágenes satelitales antes y después del tsunami de Indonesia del 2004.....	24
Gráfico 2.5. Zona de subducción de la Placa Nazca bajo la Placa Sudamericana.....	25
Gráfico 2.6. Máximos niveles de sismicidad para el Litoral Ecuatoriano.....	26
Gráfico 2.7. Tsunamis históricos en el Ecuador.....	27
Gráfico 2.8. Diagrama de refracción para un epicentro sísmico asumido, frente a las Costas de Santa Elena.....	31
Gráfico 2.9. Diagramas de Refracción para un sismo con epicentro frente al Golfo de Guayaquil.....	32
Gráfico 2.10. Altura de ola esperada para la provincia de Manabí.....	34
Gráfico 2.11. Análisis de redes.....	42
Gráfico 3.1. Ubicación de los Puntos de Control en Bahía de Caráquez.....	45
Gráfico 3.2. Determinación de coordenadas en pares estereoscópicos.....	48
Gráfico 3.3. Ortomosaico de Bahía de Caráquez.....	49
Gráfico 3.4. Diagrama de flujo de la Generación de escenarios.....	51
Gráfico 3.5. Tiempos de llegada del tsunami a la Ciudad de Salinas con un sismo frente a su costa.....	52
Gráfico 3.6. Tiempos de llegada del tsunami a la Ciudad de Salinas con un sismo ubicado al Sur o al Norte del área en estudio.....	53
Gráfico 3.7. Tiempos de llegada de la primera ola del tsunami a Bahía de Caráquez (Primer escenario).....	54
Gráfico 3.8. Tiempos de llegada de la primera ola del tsunami a Bahía de Caráquez (Segundo escenario).....	55
Gráfico 3.9. Carta Croquis de Amenaza por Tsunami en la ciudad de Salinas.....	56

Gráfico 3.10. Amenaza por tsunami colocada sobre la cartografía de Salinas.....	56
Gráfico 3.11. Área de inundación determinada por el INOCAR.....	57
Gráfico 3.12. Área de inundación obtenida con la herramienta <i>buff by rise</i>	57
Gráfico 3.13. Área de amenaza determinada por la Defensa Civil.....	58
Gráfico 3.14. Área de amenaza con un buffer de 6 m.....	58
Gráfico 3.15. Red vial, puntos de evacuación y seguridad (Salinas).....	64
Gráfico 3.16. Red vial, puntos de evacuación y seguridad (Bahía de Caráquez).....	65
Gráfico 4.1. Accesibilidad en Salinas y La Libertad.....	71
Gráfico 4.2. Tiempos de evacuación calculados para la ciudad de Salinas y La Libertad.....	72
Gráfico 4.3. Tiempos de evacuación calculados en la zona turística de Salinas.....	74
Gráfico 4.4. Rutas de evacuación calculadas en el sector Oeste de Salinas.....	77
Gráfico 4.5. Rutas de evacuación calculadas en el sector Este de Salinas.....	77
Gráfico 4.6. Área crítica en el sector turístico de Salinas (Primer escenario).....	79
Gráfico 4.7. Área de evacuación segura de Salinas (Primer escenario).....	82
Gráfico 4.8. Área crítica y áreas de evacuación en el área turística de Salinas (Segundo escenario).....	83
Gráfico 4.9. Accesibilidad de Bahía de Caráquez.....	87
Gráfico 4.10. Tiempos de evacuación calculados en Bahía de Caráquez.....	88
Gráfico 4.11. Tiempos de evacuación en la zona turística y comercial de Bahía.....	89
Gráfico 4.12. Rutas de evacuación calculadas en Bahía de Caráquez.....	92
Gráfico 4.13. Rutas de evacuación calculadas en Leonidas Plaza.....	92
Gráfico 4.14. Área crítica en la zona comercial de Bahía de Caráquez (Primer escenario).....	93
Gráfico 4.15. Áreas de evacuación en Leonidas Plaza (Primer escenario).....	95
Gráfico 4.16. Áreas de evacuación en la zona comercial de Bahía de Caráquez (Segundo escenario).....	96
Gráfico 4.17. Áreas de evacuación en Leonidas Plaza (Segundo escenario).....	97
Gráfico 4.18. Peligro de deslizamientos en Bahía.....	98

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.1. Playa de la Base Naval.....	8
Fotografía 1.2. Playa de Salinas.....	8
Fotografía 1.3. Infraestructura física en Salinas (malecón).....	9
Fotografía 1.4. Muro de protección construido en el Malecón de Salinas.....	9
Fotografía 1.5. Punta San Lorenzo.....	10
Fotografía 1.6. Puerto Pesquero Santa Rosa.....	10
Fotografía 1.7. Obras de protección en el malecón de La Libertad.....	11
Fotografía 1.8. Infraestructura petrolera en La Libertad.....	12
Fotografía 1.9. Bahía: Infraestructura física en la zona turística.....	14
Fotografía 1.10. Playa de Bahía de Caráquez.....	14
Fotografía 1.11. Barrio María Auxiliadora.....	15
Fotografía 1.12. Acceso al Mirador de la Cruz (sector colinado).....	15
Fotografía 1.13. Puente Bahía – San Vicente.....	16
Fotografía 1.14. Viviendas ubicadas en Leonidas Plaza.....	16
Fotografía 4.1. Vista Panorámica de Salinas (Desde la Loma del Faro).....	69
Fotografía 4.2. Malecón de La Libertad.....	70
Fotografía 4.3. Loma del faro.....	73
Fotografía 4.4. Malecón de Salinas (Hotel Miramar).....	74
Fotografía 4.5. Malecón de Santa Rosa.....	75
Fotografía 4.6. Malecón de Salinas (Yacht Club).....	80
Fotografía 4.7. Sector Oriental de Salinas.....	81
Fotografía 4.8. Bahía de Caráquez (vista desde el Mirador de La Cruz).....	85
Fotografía 4.9. Zona propensa a deslizamientos.....	86
Fotografía 4.10. Zona Suroeste de Bahía de Caráquez.....	89
Fotografía 4.11. Vista del estuario del río Chone desde el sector colinado de la ciudad.....	90
Fotografía 4.12. Leonidas Plaza.....	90

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. Ubicación de la zona de estudio

El proyecto se desarrolló en dos ciudades localizadas en la costa del Ecuador: Salinas, localizada en la provincia de Santa Elena, en las coordenadas: $81^{\circ} 0' 0''$ W y $2^{\circ} 10' 49''$ S, y Bahía de Caráquez, ubicada en la Provincia de Manabí, en las coordenadas $80^{\circ} 25' 33''$ W y $0^{\circ} 35' 55''$ S. (Gráfico 1.1).

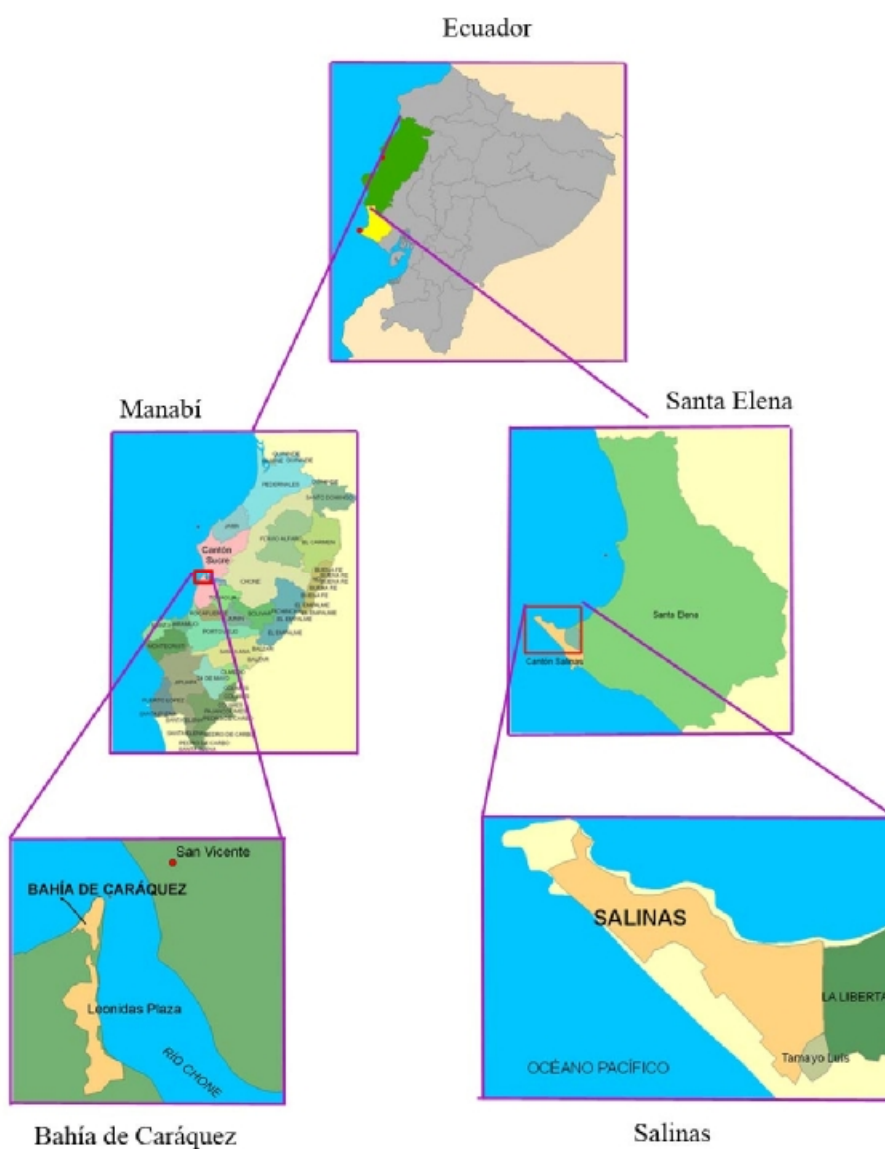


Gráfico 1.1: Ubicación de la zona de estudio

1.2. Antecedentes

Según el Centro Mundial de Datos Geofísicos, de aproximadamente dos mil tsunamis medidos en la historia, el 83% se originaron en el Océano Pacífico, generándose casi todos por sismos en el perímetro costero conformado por las zonas de ruptura de subsidencia inter-placas tectónicas. (Arreaga P., 1996)

Desde 1906 a la fecha, se han registrado seis eventos tsunamigénicos en las costas ecuatorianas con alturas promedio apenas superiores a los dos metros, por lo que han pasado casi inadvertidas para la población, con excepción del gran tsunami de 1906 que afectó a la ciudad de Esmeraldas, que según versiones de sus habitantes, prácticamente desapareció. (DNDC, 1992).

Al encontrarse Ecuador en una zona con alta probabilidad de ocurrencia de tsunamis, se han realizado varios proyectos con relación a este tema. El Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR), está encargado del Proyecto Tsunamis en el Ecuador, como parte de este proyecto ha modelado escenarios sísmicos tsunamigénicos en diferentes regiones de nuestro país y ha realizado informes sobre evaluación de riesgos en la Costas del Ecuador. (INOCAR, 2008)

La Dirección Nacional de Defensa Civil, en cumplimiento de la misión encomendada, auspició, desde el año de 1992 hasta el 2000, la elaboración de Cartas – croquis de Amenazas por Tsunamis y en las poblaciones costeras de las Provincias de Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, El Oro y Guayas y realizó estudios de vulnerabilidad en la mayoría de poblaciones costeras en las provincias indicadas. La actual Secretaría Nacional de la Gestión del Riesgo (SNGR) utilizará la información existente y la generada en este proyecto para planificar acciones de prevención y mitigación para la población y su infraestructura, ante la eventual ocurrencia de un fenómeno de esta naturaleza.

1.3. Justificación e Importancia

Para que se genere un tsunami se debe producir un sismo de magnitud mayor a 7 en la escala de Richter y además debe ser un sismo superficial (profundidades

menores a 60 km). Las costas del Ecuador se encuentran aproximadamente a 50 km de la zona de encuentro y subducción de las placas oceánica y continental, generándose gran cantidad de sismos). De acuerdo al Catálogo de Grandes terremotos en América del Sur, desde 1901 hasta 1985 se han registrado 125 sismos de magnitudes mayores a 4. De estos el 65% de todos los hipocentros corresponden a sismos superficiales y su concentración se encuentra cerca de la costa, por lo que existe una alta probabilidad que se produzca un tsunami en las costas ecuatorianas (Arreaga, P. 1996).

Las ciudades de Salinas y Bahía de Caráquez, poseen una alta densidad poblacional (Ver tabla 1.1). Son playas de primera categoría a nivel internacional y nacional, con importante infraestructura física y de servicios, que congregan gran cantidad de turistas durante todo el año, por lo que se constituyen en zonas de muy alto a mediano riesgo para tsunamis. También son ciudades de importancia estratégica en el plano económico por su industria turística y otras actividades comerciales.

Tabla 1.1: Número de Habitantes y densidad poblacional por ciudad

Ciudad	Número de habitantes	Densidad poblacional
Salinas	49,572	721,6 hab/km ²
Bahía de Caráquez	19.703	68.3 hab/km ²

(Fuente: INEC, Censo Nacional 2001)

Un tsunami al ser un fenómeno natural no puede ser controlado, pero ante este problema se deben plantear soluciones que mitiguen los efectos de un tsunami, en caso de que éste se produzca. Actualmente los sistemas de información geográfica brindan la facilidad de combinar diversas variables y crear escenarios que permiten visualizar de mejor manera lo que puede ocurrir y de esta forma generar diferentes alternativas de solución y elegir una solución óptima.

Dentro de este contexto el presente proyecto plantea la creación de un mapa de accesibilidad y un modelo de evacuación, que minimice los efectos que se pueden producir en la población y que sirva como una herramienta para la gestión del riesgo.

El modelo de evacuación permitirá generar varios escenarios, cuyo fin será garantizar que una buena parte de la población pueda llegar a una zona segura, porque el objetivo de la presente investigación es evitar, en lo posible, la pérdida de vidas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Elaborar un mapa de accesibilidad y un modelo de evacuación ante una eventual ocurrencia de tsunami en las ciudades de Salinas y Bahía de Caráquez, empleando herramientas geoinformáticas.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Estructurar la cartografía base a escala 1:10.000 de la zona de estudio.
- Mejorar la precisión de la cartografía de amenaza por tsunami correspondientes a cada ciudad de la zona de estudio.
- Identificar las áreas de influencia para eventos tipo tsunami y las zonas de mayor y menor riesgo en el área de estudio.
- Determinar los puntos de evacuación y puntos de seguridad para la población involucrada.
- Realizar el análisis de accesibilidad en cada una de las ciudades, como actividad previa a la generación de modelos.
- Establecer los tiempos de movilización de la población en caso de ocurrencia de un tsunami, para determinar las áreas críticas.

- Generar un modelo tridimensional con los elementos involucrados para facilitar su análisis y visualización, correspondiente a cada ciudad.

1.5. Metas

- Realizar un mapa de amenazas por tsunami en las ciudades indicadas a escala 1:10.000.
- Obtener los elementos cartográficos necesarios de la ciudad de Bahía de Caráquez, empleando fotografías aéreas a escala 1:10.000.
- Realizar un modelo digital del terreno de la ciudad de Bahía de Caráquez empleando las fotografías aéreas.
- Realizar un modelo digital del terreno de la ciudad de Salinas a escala 1:10.000.
- Elaborar un mapa de accesibilidad en cada ciudad, a escala 1:10.000
- Generar un mapa de tiempos de movilización de la población en caso de ocurrencia de un tsunami por cada ciudad de la zona de estudio, escala 1:10.000.
- Elaborar un mapa representando las áreas críticas de cada ciudad a escala 1:10.000
- Generar un modelo tridimensional con toda la información generada de las ciudades de Bahía de Caráquez y Salinas, respectivamente.

1.6. Alcance

El presente proyecto se encuentra dentro del término atención de la emergencia, porque se propone un modelo de evacuación en caso de un tsunami, lo que permitirá que la población llegue a un sitio seguro, no necesariamente a un

albergue y de esta forma salvar vidas. La información generada es una fuente valiosa para que las instituciones interesadas puedan realizar la gestión del riesgo en la zona de estudio.

El alcance del proyecto es a nivel local, pero la metodología empleada se puede aplicar en otros casos de estudio a nivel nacional, tomando en cuenta las particularidades de cada zona.

1.7. Descripción de la zona de estudio

1.7.1. Salinas

Salinas es una de las ciudades costeras más importantes del país, por la calidad de playas y la infraestructura existente; está ubicada en la provincia de Santa Elena, es parte del cantón del mismo nombre, el cual está dividido en seis parroquias, cuatro urbanas: Carlos E. Larrea, Alberto E. Gallo, Vicente Rocafuerte y Santa Rosa; y dos rurales: José Luis Tamayo (Muey) y Anconcito (Gráfico 1.2), siendo las tres primeras conocidas simplemente como Salinas. Actualmente esta división política no refleja la realidad, pues todas las parroquias urbanas de Salinas, más el área urbana de José Luis Tamayo, representan una sola ciudad. (Plan Estratégico Participativo, Cantón Salinas, 2004).



Gráfico 1.2. División Parroquial del Cantón Salinas

Fuente: Plan Estratégico Participativo Cantón Salinas, 2004

El Cantón Salinas tenía para el 2001 una población permanente de 49.572 habitantes, y una densidad poblacional de 721,6 hab/km² (Tabla 1.2); se caracteriza por ser una población joven, ya que el 44,2% de la población son menores de 20 años (INEC, 2001). Tiene una tasa de crecimiento de 3.9%, empleando una proyección, para el 2009 la población total del cantón Salinas sería de 67.567 habitantes.

Tabla 1.2. Distribución de la población del Cantón Salinas según parroquias

Parroquias	Hombres	Mujeres	Total
Salinas (urbano)	14459	14191	28650
Área rural	10636	10286	20922
Periferia	53	28	81
Anconcito	4465	4096	8561
José Luis Tamayo	6118	6162	12280
Total	25095	24477	49752

Fuente: INEC, VI Censo de población y V de vivienda, 2001

La ciudad de Salinas limita al este con la Libertad, pero en la práctica a causa de la expansión urbana, no se diferencian claramente los límites entre estas dos ciudades; por lo que en el presente proyecto se ha considerado además de Salinas, un área que pertenece a La Libertad (Gráfico 1.3).

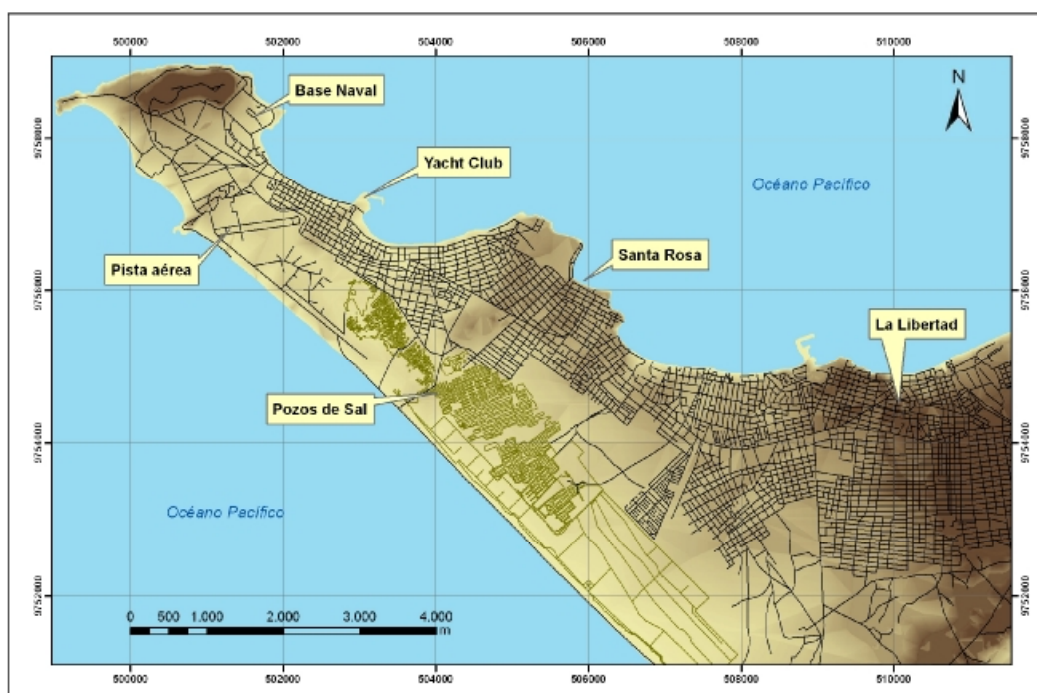


Gráfico 1.3. Zona de estudio para Salinas

- **Ciudad de Salinas:**

Salinas cuenta con dos frentes costeros. En la Costa Sur (Playa de Mar Bravo), no existen zonas pobladas, en esta área se encuentran pozos de sal y en el extremo Oeste las bases: naval, área y militar. Aquí se encuentran las villas de la FAE, el Colegio Militar y la pista aérea. (Fotografía 1.1).



Fotografía 1.1. Playa de la Base Naval

La costa Norte es un sitio de gran desarrollo, debido al turismo interno y de fuera del país. En esta zona existe una infraestructura hotelera muy importante y edificios con más de diez pisos, cuyos departamentos son ocupados durante los fines de semana y feriados. (Fotografías 1.2 y 1.3)



Fotografía 1.2. Playa de Salinas



Fotografía 1.3. Infraestructura física en Salinas (malecón)

El sector turístico de Salinas está ubicado prácticamente en la línea de más alta marea, por lo que se han construido muros de protección (enrocados) a lo largo del malecón (fotografía 1.4) para evitar la erosión marina. Según versiones de los pobladores cuando ocurren las mareas de sicigia, el oleaje alcanza la calle del malecón, sobrepasando el muro.



Fotografía 1.4. Muro de protección construido en el Malecón de Salinas

Avanzando hacia el Este se encuentra la punta San Lorenzo (Fotografía 1.5.), esta zona también posee edificios altos (de más de diez pisos), con departamentos de lujo e infraestructura comunal privada, apropiada para recreación (canchas de tenis, piscinas).



Fuente: Google Earth

Fotografía 1.5. Punta San Lorenzo

▪ **Santa Rosa:**

La Parroquia Santa Rosa, es uno de los principales puertos pesqueros artesanales de la provincia. Las viviendas son modestas, generalmente de bloque con techos de zinc o ardex, de uno y dos pisos. (Fotografía 1.6).



Fotografía 1.6. Puerto Pesquero Santa Rosa

- **La libertad:**

El cantón La Libertad se encuentra al Este del cantón Salinas. En el 2001, tenía una población de 77.646 habitantes (Tabla 1.3), se caracteriza por ser una población joven, ya que el 44,6 % de la población son menores de 20 años (INEC, 2001). Tiene un crecimiento de 3.5% anual. Empleando una proyección para el 2009, la población sería de 102.245 habitantes.

Tabla 1.3. Población del Cantón Libertad

Parroquias	Hombres	Mujeres	Total
La Libertad (urbano)	38.847	38.799	77.646

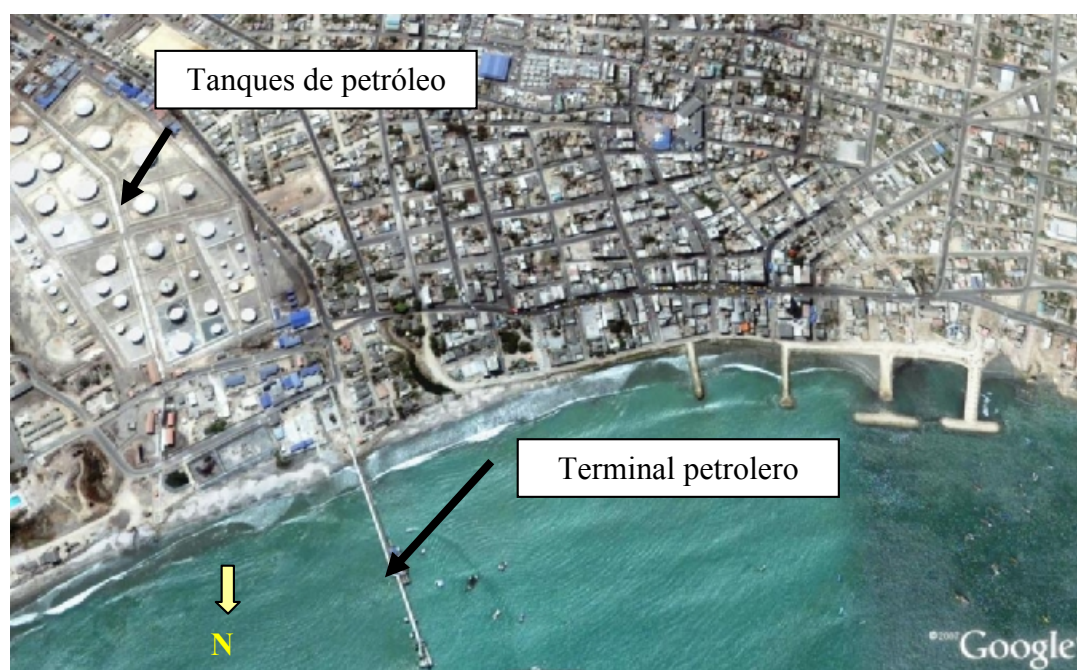
Fuente: INEC, 2001.

El sector comercial y turístico de La Libertad (malecón) está ubicado prácticamente en la línea de más alta marea, por lo que se han construido muros de protección (enrocados) a lo largo de la línea de playa para reducir los efectos del oleaje durante las mareas de sicigia (Fotografía 1.7).



Fotografía 1.7. Obras de protección en el malecón de La Libertad

La Libertad es un puerto estratégico, ya que se comercializan los derivados del petróleo producidos en la refinería, preferentemente por vía marítima, (Fotografía 1.8), por ello, las instalaciones portuarias y tanques de reserva ubicados muy cerca de la línea de playa, o en la playa misma, son extremadamente vulnerables a la acción destructiva de un tsunami, factor a ser considerado con especial atención en los planes de contingencia (prevención y mitigación).



Fuente: Google Earth

Fotografía 1.8. Infraestructura petrolera en La Libertad

1.7.2. Bahía de Caráquez

Bahía de Caráquez está ubicada en el centro Norte de la Provincia de Manabí, en la desembocadura del río Chone. Es una ciudad con una gran riqueza paisajística e histórica, donde se combina la naturaleza y la infraestructura moderna. Es la cabecera cantonal del cantón Sucre; limita al Sur con la parroquia Leonidas Plaza, que también se consideró en el presente proyecto (Gráfico 1.4).



Gráfico 1.4. Zona de estudio para Bahía de Caráquez

Las parroquias de Bahía de Caráquez y Leonidas Plaza tenían en el año 2001 una población permanente de 24.963 habitantes (Tabla 1.4). La población se caracteriza por ser joven, ya que el 42,9% son menores de 20 años (INEC, 2001). La tasa de crecimiento es de 1,0 % promedio anual, por lo que la proyección para el 2009 sería de 27.031 habitantes.

Tabla 1.4. Población de las Parroquias Bahía de Caráquez y Leonidas Plaza

Parroquias	Urbano	Rural	Total
Bahía de Caráquez y Leonidas Plaza	19.703	5.260	24.963

Fuente: INEC, 2001

La infraestructura física de Bahía es variada, en el malecón Virgilio Ratti se observan modernos edificios de departamentos de varios pisos y desde la segunda fila de manzanas se encuentran edificaciones de dos y tres pisos. (Fotografía 1.9).



Foto: Jorge Anhalzer

Fotografía 1.9. Bahía: Infraestructura física en la zona turística

El turismo es una de las actividades económicas más importantes de la ciudad, los lugares más visitados por los turistas son: la playa, (Fotografía 1.10), el bosque seco tropical Cerro Seco, la Isla Corazón, entre otros.



Fotografía 1.10. Playa de Bahía de Caráquez

Hacia el Suroeste de la zona comercial, avanzando hacia la zona colinada (sector del Mirador de la Cruz) se encuentran los barrios: San Roque y María Auxiliadora, en este sector se observan edificaciones más modestas, construidas con bloque y techos de zinc, de uno y dos pisos, esta área se encuentra amenazada por los deslizamientos. (Fotografía 1.11 y 1.12).



Fotografía 1.11. Barrio María Auxiliadora



Fotografía 1.12. Acceso al Mirador de la Cruz (sector colinado)

Hacia el Sureste de la zona comercial se encuentra el Puerto Amistad, llamado así, porque los turistas extranjeros escogen este sitio como lugar de descanso en sus veleros; en este sector actualmente se está construyendo el puente que unirá San Vicente con Bahía de Caráquez (Fotografía 1.13).



Fotografía 1.13. Puente Bahía – San Vicente

▪ **Parroquia Leonidas Plaza**

Leonidas Plaza se encuentra al Sur de Bahía de Caráquez. En este sector existen viviendas de uno y dos pisos, generalmente construidas con bloque y techos de zinc. (Fotografía 1.14).



Fotografía 1.14. Viviendas ubicadas en Leonidas Plaza

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. CONCEPTOS GENERALES SOBRE TSUNAMIS

2.1.1. Definición de tsunami:

Tsunami es una palabra de origen japonés que proviene de dos vocablos: *Tsu*, que significa puerto y *Nami*, ola, es decir, “gran ola en puerto”. Es un conjunto de ondas oceánicas, provocado generalmente por un sismo de origen tectónico que se produce en el suelo del océano; estas ondas viajan a gran velocidad y tienen poca altura en aguas profundas; pero conforme se acercan a tierra disminuyen su velocidad y se va incrementando su altura, por lo que al llegar a la costa causan graves daños a cientos de metros, tierra adentro.

Los tsunamis generalmente son causados por sismos de origen tectónico, pero también pueden existir otros fenómenos que pueden provocar un tsunami, como:

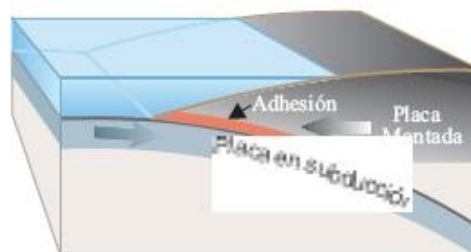
- Erupciones de islas volcánicas, como la erupción del Krakatoa (Indonesia) de 1883, que generó olas de aproximadamente 40 m y mató a miles de personas.
- Derrumbes marinos o superficiales. Como el que ocurrió en 1964 en Alaska, cuando un fuerte sismo produjo el deslizamiento en una bahía, lo que provocó olas de gran altura.
- Por la caída de un meteorito en el océano, esta es la menos probable, pues no se tiene ningún registro histórico de tsunamis generados por esta causa.

Los sismos se producen a lo largo de las zonas de fractura de placas (Gráfico 2.1) Las Costas de Sudamérica se encuentra muy cerca de la zona de subducción de

la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana, que es un área sísmica muy activa, por lo que existe la probabilidad que fenómenos de este tipo se produzcan.

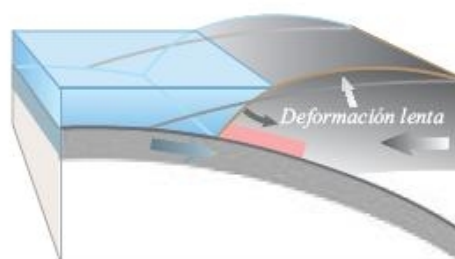
A. Zona de subducción

La placa oceánica subduce bajo la placa terrestre.



B. Período entre terremotos

Debido a la adhesión, la placa montada se deforma lentamente. Este proceso se demora siglos, aumentando paulatinamente la tensión



C. Durante un terremoto:

El terremoto ocurre cuando la placa montada se libera, golpeando al mar. El movimiento del fondo marino genera un tsunami



D. Minutos después:

Una parte del tsunami se dirige a tierras cercanas y la otra parte cruza el océano hacia costas lejanas

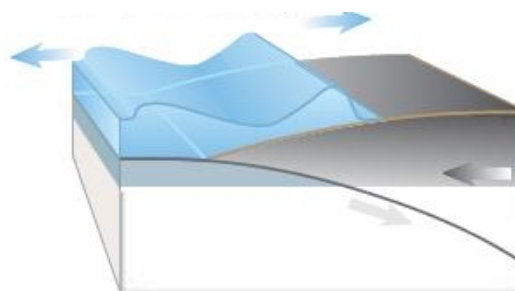


Gráfico 2.1. Mecanismo de formación de un tsunami

Fuente: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, (SHOA), año 2000

No todos los sismos que se producen en el océano generan un tsunami; para que se produzca un tsunami deben cumplirse las siguientes condiciones (INOCAR, 2008):

- Que el Epicentro del sismo esté en el fondo marino y que sea superficial; es decir, que se produzca a una profundidad menor a 60 km.
- Que ocurra en una zona de hundimiento de borde de placas tectónicas, es decir que la falla tenga movimiento vertical
- Que el sismo libere suficiente energía en un cierto tiempo, y que ésta sea eficientemente transmitida.

En forma general se considera que los sismos de magnitudes mayores a 7 en la escala de Richter pueden provocar un tsunami.

2.1.2. Características de un Tsunami:

Cuando un tsunami se genera, las olas viajan sobre la superficie del océano en todas las direcciones en forma de anillos concéntricos (gráfico 2.2). Las olas producidas por un tsunami mueven masas de agua profunda, muy diferentes a las olas causadas por el viento que solo mueven partículas superficiales.

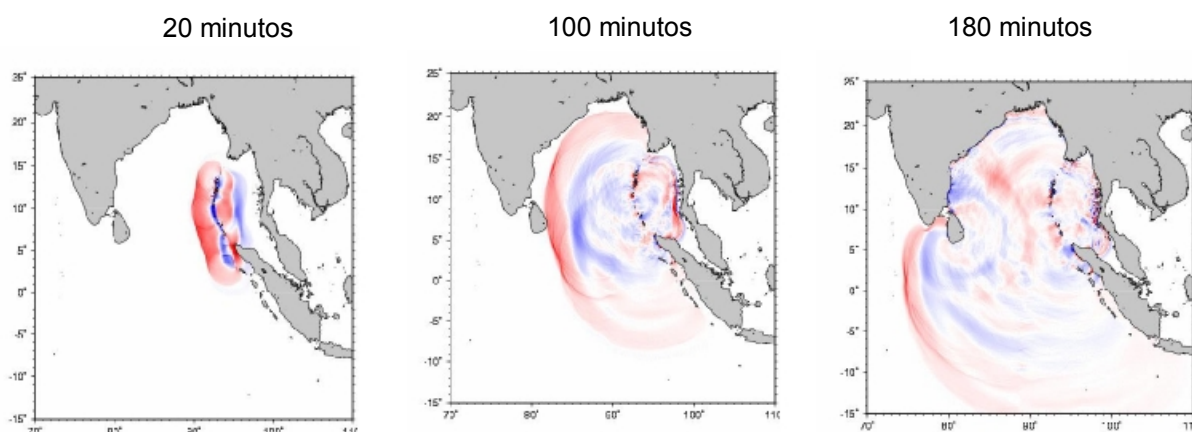


Gráfico 2.2. Progresión del tsunami en Indonesia, diciembre del 2004

Fuente: Kenji Satake, 2004

En el océano profundo las ondas del tsunami tiene una gran longitud de onda y la altura de la ola es de pocos centímetros, por lo que no son perceptibles por las embarcaciones, pero a medida que las olas avanzan hacia la superficie, la energía del tsunami se comprime, la longitud de onda es menor y las olas llegan a varios metros de altura, causando graves daños a las costas (Gráfico 2.3).

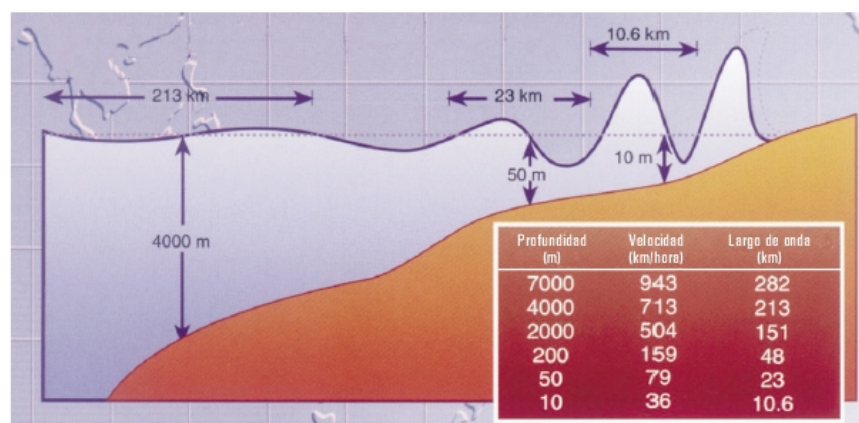


Gráfico 2.3. Propagación de un tsunami

Fuente: SHOA, Las grandes olas.

- **Altura de la ola, Run-Up y Run-off:**

La altura de la ola de un tsunami mientras viaja en el mar se define como la distancia entre el valle y la cresta de la onda. Pero cuando llega a tocar tierra lo más importante es conocer la altura que llegará la ola, tomando como referencia el nivel medio del mar. A la cota topográfica máxima (referida al nivel medio del mar) alcanzada por la inundación, se la conoce como Run-up. Cuando se da el retroceso de la ola del tsunami se emplea el término run –off.

- **Magnitud del tsunami:**

Se considera como magnitud de un tsunami a la altura máxima de la ola y la destrucción que este causa en la costa.

Imamura realizó una escala de magnitud en base a la observación de los efectos causados por tsunamis en las costas japonesas (Tabla 2.1); por lo que esta escala es solo una referencia, porque en la costa Sudamérica debe tomarse en cuenta las condiciones locales, para determinar la altura máxima de ola.

Tabla 2.1. Magnitud del tsunami (Según Imamura)

Magnitud del Tsunami	Altura máxima de la ola (m)	Descripción de los daños
0	1 a 2	No se producen
1	2 a 3	Se inundan las casas
2	4 a 6	Edificaciones de madera, embarcaciones y personas son arrastradas
3	10 a 20*	Graves daños a lo largo de 400Km. de costa
4	más de 30	Graves daños a lo largo de más de 500 Km. de costa

*Nota del autor: Estas alturas se alcanzarían si se tienen aguas profundas cerca de la costa, y los vértices de bahías en forma de U, V, W.

Fuente: Imamura

2.1.3. Clasificación de los tsunamis

- **Tsunamis de Origen lejano**

Estos se generan a miles de kilómetros del punto de observación; tomando como referencia al Ecuador, un tsunami de origen lejano se formaría en las costas de Japón. Estos no representan un grave peligro, porque la población tiene varias horas para evacuar.

El Centro de Alerta de Tsunami del Pacífico (*Pacific Tsunami Warning Center – PTWC*), es el organismo encargado de emitir una alarma a todos los países de la costa si existe la probabilidad que se produzca un tsunami. El centro está ubicado en Ewa Beach, Hawai y desde 1965 es el responsable del Sistema de Alarma de Tsunami del Pacífico (PTWS).

El PTWS está conformado por 25 Estados Miembros, entre los cuales se encuentra el Ecuador, cada país tiene su propio sistema de alerta y alarma para el manejo de la información que le llega.

Cuando se produce un tsunami en el Pacífico el PTWC lo detecta, mediante estaciones sísmicas que miden: la magnitud, coordenadas del epicentro y profundidad focal; estos datos sirven para determinar si el sismo puede ser tsunamigénico, si es así el PTWC emite una alarma a toda la Costa del Pacífico, determinando los tiempos de llegada a la costa.

En el caso del Ecuador esta alarma llega a través del INOCAR (Instituto Oceanográfico de la Armada), que está conectado 24 horas del día con el PTWC. La información es transmitida a las Capitanías de puerto de toda la Costa. Este Instituto se comunica con el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y con la Dirección Nacional de Defensa Civil, la que a su vez se comunica con las Juntas Provinciales de Defensa Civil de la costa.

- **Tsunamis de origen cercano**

Son causados por sismos ocurridos cerca de la costa y representan un mayor peligro para la población, porque tienen pocos minutos para evacuar y los sistemas de alarma locales no siempre funcionan. En el Ecuador, se producirían por sismos cercanos a la zona de subducción, en una franja de 50 Km. de ancho aproximadamente, desde la línea de playa hacia el mar y a lo largo de toda la costa ecuatoriana.

En este caso cada región debe diseñar un plan de evacuación, para que la gente pueda evacuar en el menor tiempo posible.

2.1.4. Tsunamis importantes en el mundo

La naturaleza es impredecible, por lo que es importante conocer los registros históricos sobre tsunamis para tener una idea de cómo es el comportamiento del fenómeno, como afectó a las poblaciones y de esta forma diseñar planes de evacuación adecuados que permitan minimizar la pérdida de vidas en el futuro.

A continuación se resumen las características más importantes de algunos de los tsunamis más importantes en la Costa del Pacífico y el mundo, desde 1900.

▪ **Chile - 1960:**

El 22 de mayo de 1960 se produjo un tsunami en las costas de Chile, como consecuencia del mayor terremoto registrado en la historia desde 1900, la magnitud del sismo fue de 9.5 en la escala de Richter. Su epicentro se localizó en la provincia de Llanquihue. El terremoto y el tsunami causaron más de 2000 muertes en Chile. Las olas causadas por el sismo se propagaron por el océano y llegaron a Hawai en 15 horas, causando la muerte a 35 personas. El tsunami llegó a Japón en 22 horas, donde murieron 122 personas. (SHOA, 2000).

▪ **Alaska – 1964:**

El 27 de marzo de 1964 se produjo un terremoto de magnitud 9.2 en Alaska, el cual produjo un tsunami. Este fenómeno provocó la muerte a 128 personas (113 a causa del tsunami y 15 a causa del terremoto) y causó pérdidas de aproximadamente 311 millones de dólares. El terremoto se sintió en una extensa área de Alaska y partes occidentales del territorio Yukón, British Columbia y Canadá. (USGS, 1993)

▪ **Perú - 2001:**

El 23 de Junio del 2001 se produjo un terremoto de magnitud 8.4, a 175 Km. al oeste de Arequipa, sus efectos se sintieron en una zona de aproximadamente 300 km. El terremoto produjo un tsunami, donde se registraron las siguientes alturas de olas: 2.57 m en Arica, Chile, 0.7 m en Hawai, 0.4 m en California. El PTWC declaró la alerta de tsunami una hora después de que se produjo el terremoto, informando a las autoridades de Ecuador, Colombia y Chile.

Las olas de mayor altura se reportaron en Camaná, estas fueron de 5 a 8 metros. El tsunami mató a 22 personas en esta área. En total se reportaron 71

muertos, 2,700 heridos, 220,000 damnificados y 24,500 viviendas colapsadas. (Dengler L., 2001)

▪ **Índico 2004:**

El 26 de diciembre del 2004 se produjo un terremoto de magnitud 9.1 en el norte de la isla de Sumatra (Indonesia), a 10 Km. bajo el Océano Índico; en el borde de la placa de la India y la subplaca de Birmania, que es parte de la placa Euroasiática. Este sismo provocó múltiples tsunamis de hasta 15 metros de altura.

El tsunami en total causó 227.898 muertos y cerca de 1.7 millones de personas fueron desplazadas en 14 países en el sur de Asia y el este de África. Las zonas más afectadas fueron Indonesia y Tailandia (Gráfico 2.4), aunque los efectos llegaron a zonas situadas a miles de kilómetros, como: Bangladesh, India, Sri Lanka, las Maldivas e incluso Somalia, en el este de África. Es la catástrofe natural, que más muertes ha causado en la historia mundial. Los daños fueron tan graves, sobretodo porque en el Océano Índico no existe un sistema de alterna de tsunamis, porque estos no ocurren con frecuencia. (USGS, 2004)

Costa de Aceh (Indonesia).
Antes del tsunami



Costa de Aceh (Indonesia)
Después del tsunami



Gráfico 2.4. Imágenes satelitales antes y después del tsunami de Indonesia del 2004

Fuente: Digital Globe, 2004

2.2. TSUNAMIS EN EL ECUADOR

2.2.1. Probabilidad de ocurrencia y amenaza de tsunami

De acuerdo al Centro Mundial de Datos Geofísicos, de aproximadamente 2000 tsunamis observados o medidos en la historia, el 83% se originaron en el Océano Pacífico, generándose casi todos por sismos en el perímetro costero conformado por las zonas de ruptura de subsidencia inter-placas tectónicas (Arreaga P. 1996)

En la zona de fractura de placas, existe una gran tensión a causa del choque entre placas, esta tensión va aumentando con el tiempo, hasta que se libera en forma de un fuerte sismo. Ecuador al estar cerca de la zona de subducción de la Placa Nazca bajo la Placa Sudamericana (Gráfico 2.5), está ubicado en una zona con una intensa actividad sísmica, donde se podrían originar terremotos tsunamigénicos.

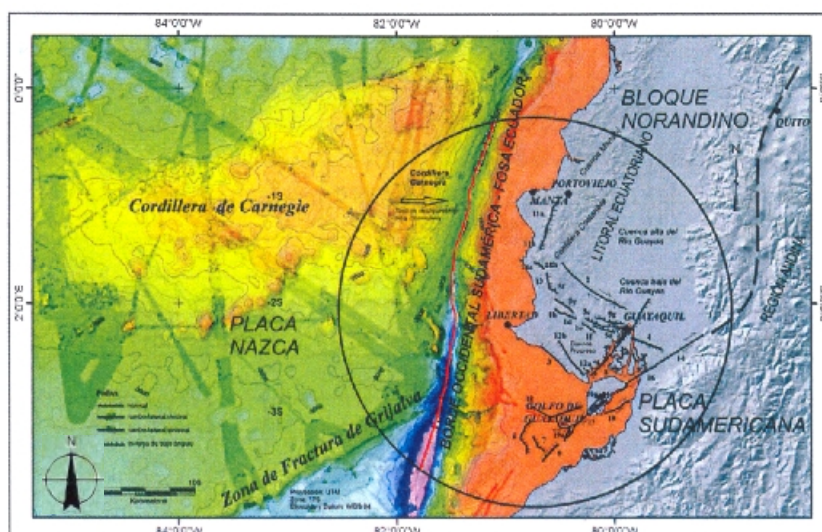
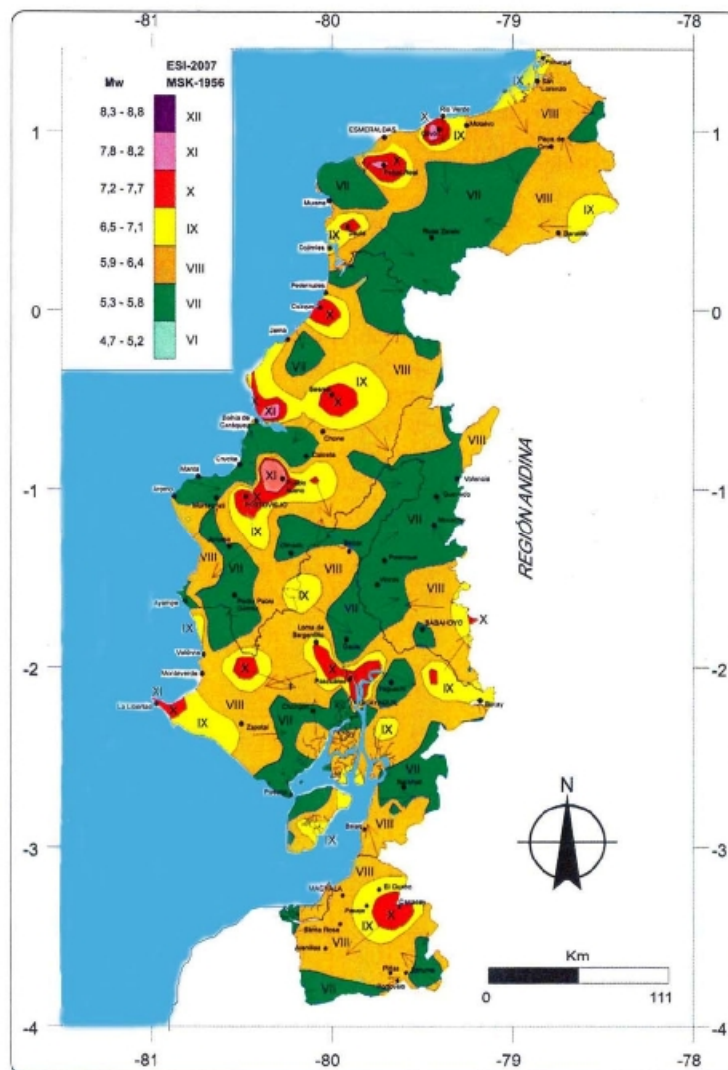


Gráfico 2.5. Zona de subducción de la Placa Nazca bajo la Placa Sudamericana

Fuente: Revista Oro y Petróleo, 2008

En la Costa Ecuatoriana existe la probabilidad que se produzcan sismos de gran intensidad. En la gráfico 2.6 se muestra el resultado de un estudio realizado en la Universidad de Guayaquil, donde consta la estimación de máximos niveles de sismicidad para el litoral ecuatoriano. Se puede observar que la ciudad de Salinas

se encuentra en un área de intensidades entre X, XI y la ciudad de Bahía de Caráquez se encuentra en un área entre IX y X.



Escala de intensidades MSK- 1956 y su relación con los momentos de magnitudes. Datos de sismos desde 1541 – 2008.

Gráfico 2.6. Máximos niveles de sismicidad para el Litoral Ecuatoriano.

Modificado de: Revista Oro y Petróleo, 2008

Se considera que la amenaza de tsunamis de tipo lejano es baja, porque a nuestras costas las olas llegan después de varias horas y según los registros históricos llegan con baja altura, por lo que no producen daños en las costas. Por ejemplo durante el sismo de Chile 1960, en el Ecuador el tsunami fue registrado en la estación de La Libertad con una amplitud de 1.54 m y llegó luego de 6 horas (Espinoza J. 1990), mientras que en otras costas del Pacífico se presentaron olas de: 10.5 m. en Hawai, 6 a 9 m. en Oceanía y en Japón con 6.5 m. Durante el

sismo de Alaska de 1964 el tsunami llegó a la Libertad luego de 14 horas 38 minutos con una altura de 1.35 m. En cambio los tsunamis de origen cercano constituyen una amenaza para las costas del Ecuador, debido al poco tiempo que transcurre desde que se produce el sismo hasta que llega la primera ola a la costa.

2.2.2. Tsunamis históricos en el Ecuador

De los sismos producidos en el Ecuador, seis han provocado tsunamis a lo largo de las costas (Gráfico 2.7). A continuación se describen las características más importantes de estos tsunamis.

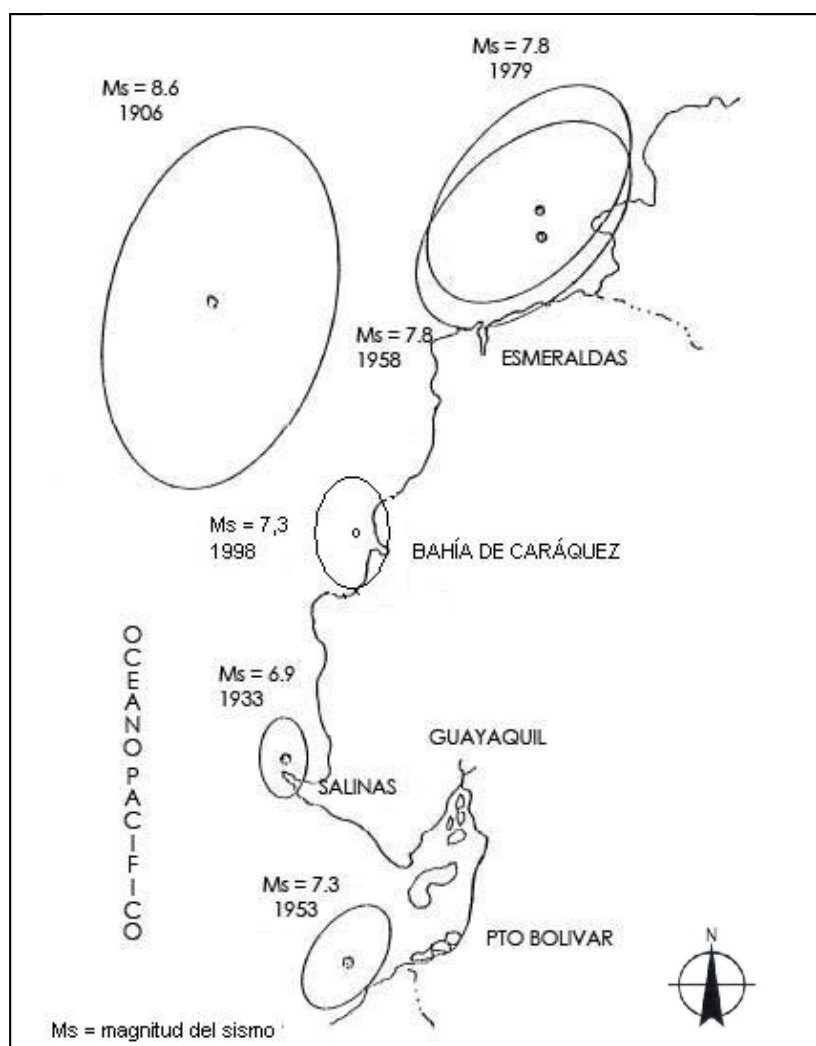


Gráfico 2.7. Tsunamis históricos en el Ecuador

Modificado de: Espinoza J, 1990.

- **31 de Enero de 1906:**

Se produjo un sismo de magnitud 8,7 en la escala de Richter, cerca de la provincia de Esmeraldas, entre San Lorenzo y Tumaco (Colombia), este sismo originó el tsunami de mayor magnitud registrado en el Ecuador.

El tsunami llegó media hora después de generarse el sismo a Tumaco y a las poblaciones cercanas; después de 20 minutos del primer impacto, llegó una segunda ola y posteriormente una tercera; aproximadamente por espacio de cuatro horas se observaron olas largas en Tumaco (INOCAR, 2008).

Las olas del tsunami fueron muy destructivas en las costas bajas y planas existentes desde Río Verde hacia el norte, donde todas las viviendas asentadas cerca de la playa fueron destruidas; alrededor de unas 1.000 a 1.500 personas murieron. En la Tola, más de 23 viviendas fueron destruidas.

- **2 de octubre de 1933:**

Se produjo un sismo de 6,9 en la escala de Richter, frente a Salinas (Puntilla de Santa Elena). En la Libertad se produjeron fuertes oscilaciones del nivel del mar inmediatamente después del terremoto, un cable submarino fue roto a 25 Km. al sur de salinas, el mar se retiró inmediatamente después del sismo, el cual ocurrió a las 10h30, y luego se elevó alcanzando el nivel de la alta marea una hora después de ocurrido el sismo; aproximadamente a las 12h00 el mar regresó a su nivel de bajamar y nuevamente se elevó a las 14h00. (Espinoza J, 1990)

Según la información anterior se deduce que el tsunami fue de origen cercano y que la altura fue de 2 a 2.5 m. y que llegó a la costa como inundación y no como oleaje turbulento.

- **12 de diciembre 1953:**

Se produjo un sismo de 7,8 Richter frente, a Puerto Bolívar (Prov. El Oro). Se conoce que se produjo un tsunami con olas que no fueron destructivas.

- **19 de enero de 1958:**

Se produjo un sismo en la región fronteriza de Ecuador – Colombia, frente a Esmeraldas. El sismo fue de magnitud 7,8 en la escala de Richter; originó un tsunami haciendo que una embarcación casi se hunda frente a Esmeraldas, se reportaron 4 muertos por efectos del maremoto. La altura con que legaron las olas a las costas fueron del orden de 2.0 a 5.9 m. Las olas originadas ocasionaron daños tanto en Tumaco y la costa norte de la Provincia de Esmeraldas. (INOCAR, 2008)

- **12 de diciembre de 1979:**

Se produjo un terremoto de 7.9 en la escala de Richter, este no causó graves daños en las costas de Esmeraldas – Ecuador; pero en Colombia se sintieron sus efectos desde Tumaco (Nariño) hasta Guapi (Cauca). El terremoto causó un tsunami después de varios minutos; este destruyó por completo San Juan, una población ubicada a 60 Km. al norte de Tumaco. En Tumaco la altura de la ola llegó aproximadamente a 0.5 metros, en otros sitios cercanos la altura de ola fue mayor, como en la Isla El Morro que llegó a los 2.5 metros.

El macrosismo y el tsunami causaron la destrucción de por lo menos seis aldeas, se registraron 452 muertos, 1011 heridos, 3081 viviendas destruidas y 2119 averiadas. (Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres de Colombia, 2009).

La ruptura del terremoto de 1979 cubrió una brecha en la zona sísmica superficial del noroeste de Ecuador y sureste de Colombia y es muy probable que esta brecha no esté completamente cubierta y por lo tanto ocurra un fenómeno de similar magnitud.

- **1998:**

El 4 de agosto de 1998 se produjo un sismo en Bahía de Caráquez, causando graves daños en la ciudad, este sismo produjo un tsunami instrumental, que pasó desapercibido para la población.

2.2.3. Tiempo de llegada de la primera ola:

Es importante conocer el tiempo de llegada de la primera ola del tsunami a la costa, desde que se produjo el sismo, porque a partir de este se puede diseñar un modelo de evacuación. Este tiempo depende de la distancia al origen y de las profundidades sobre las cuales viajan las olas.

El Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) tiene una metodología de modelación de tsunamis, para determinar los tiempos de llegada a partir de la batimetría de la zona y del lugar del epicentro del sismo. En el estudio sobre posibles efectos de un tsunami en las costas de la península de Santa Elena (Espinoza, 1990) se realizaron diagramas de refracción para estimar los tiempos de llegada del tsunami a la costa. Esta metodología fue planteada por Julio Kuroiwa, el procedimiento se realiza sobre cartas batimétricas y se sigue los siguientes pasos:

- Se determina el área con mayor probabilidad donde se origine un tsunami, considerando que el avance del tsunami tiene forma de elipse. La magnitud de la elipse está dada por los eje mayor (S) y menor (b).

$$\log S = 2/3 M - 2.93$$

$$b = (3.77 - 0.42M) S$$

M es la magnitud del sismo en la escala de Richter. El eje mayor (S) está limitado por el valor de la longitud máxima de la falla local y el eje menor (b) por el ancho de interfase entre las placas en contacto.

- Esta elipse se ubica con respecto a la costa en estudio, para obtener el mínimo tiempo posible de viaje de las ondas entre el borde de la elipse y la costa.
- El perímetro de la elipse se divide en partes iguales, asumiendo que la propagación del tsunami se inicia por canales de igual energía.

- Se dibujan líneas ortogonales al frente de ondas y sobre cada línea se marca la distancia que recorre el tsunami en un tiempo determinado, por ejemplo un minuto.

En la península de Santa Elena se consideraron sismos con epicentros hipotéticos y una magnitud de 7.5 en la escala Richter. El peor escenario ocurriría si el sismo se produce directamente frente a la Bahía de Santa Elena (gráfico 2.8). Empleando la metodología antes descrita se obtuvieron los siguientes tiempos de llegada de la primera ola: a la Punta llegará en 4 minutos y empezará a barrer la costa norte y sur de la Península de tal forma que a Salinas llegará aproximadamente luego de 11 minutos, a la Libertad en 22 minutos y a Ballenita después de 27 minutos.

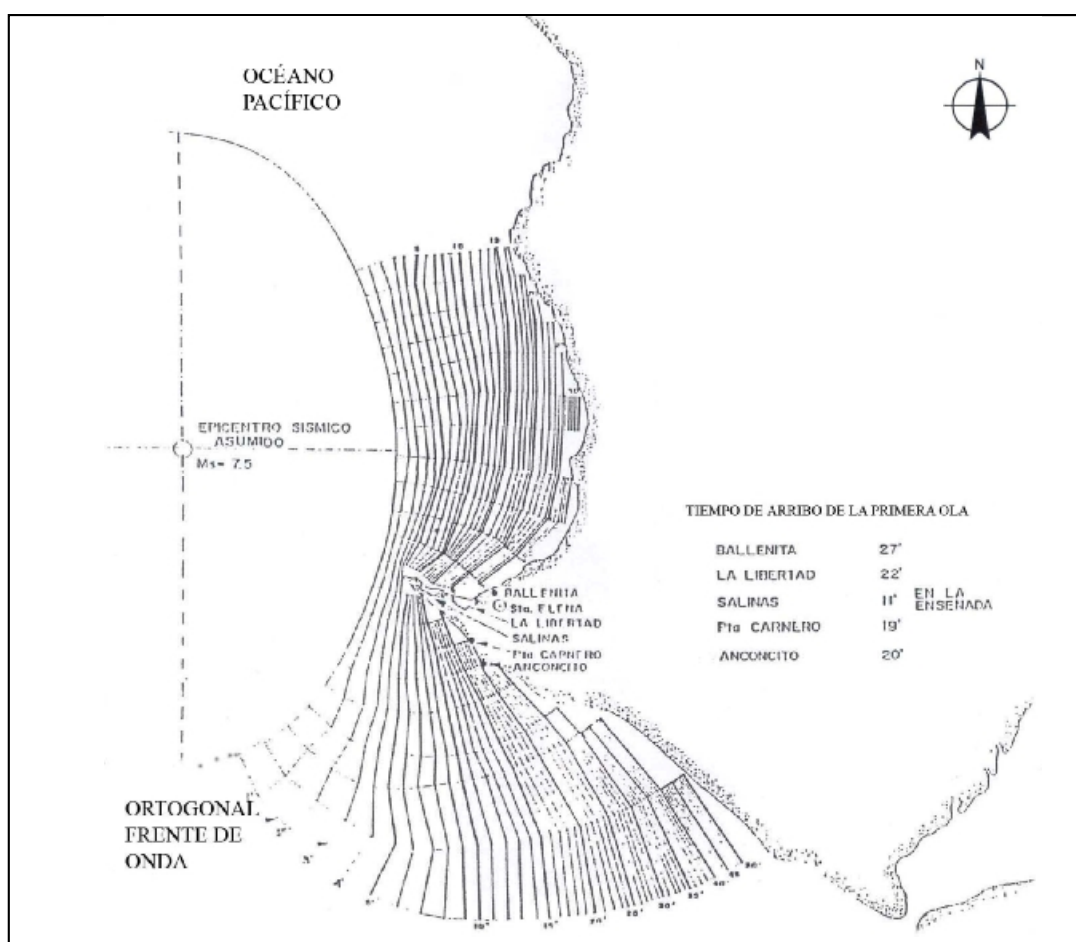


Gráfico 2.8. Diagrama de refracción para un epicentro sísmico asumido, frente a las Costas de Santa Elena

Fuente: Espinoza J, 1990

Como segunda posibilidad se consideró eventos sísmicos ubicados al norte y sur de la Península, en este caso los tiempos serán mayores por su mayor distancia al origen. En ambos casos la primera ola llegará a la Punta entre 16 y 17 minutos aproximadamente, en Salinas en 25 minutos, a La Libertad entre 25 y 33 minutos y a Ballenita arribará entre 39 y 40 minutos; la similitud del tiempo para ambos casos es coincidencia por la ubicación hipotética del epicentro del sismo.

Además el INOCAR realizó un Estudio de los Tsunamis en la Costa Sur del Ecuador (Arreaga P. 1996), en donde se considera un epicentro frente al Golfo de Guayaquil. En este caso el tiempo de llegada de la primera ola a Salinas es de 34 minutos aproximadamente (gráfico 2.9)

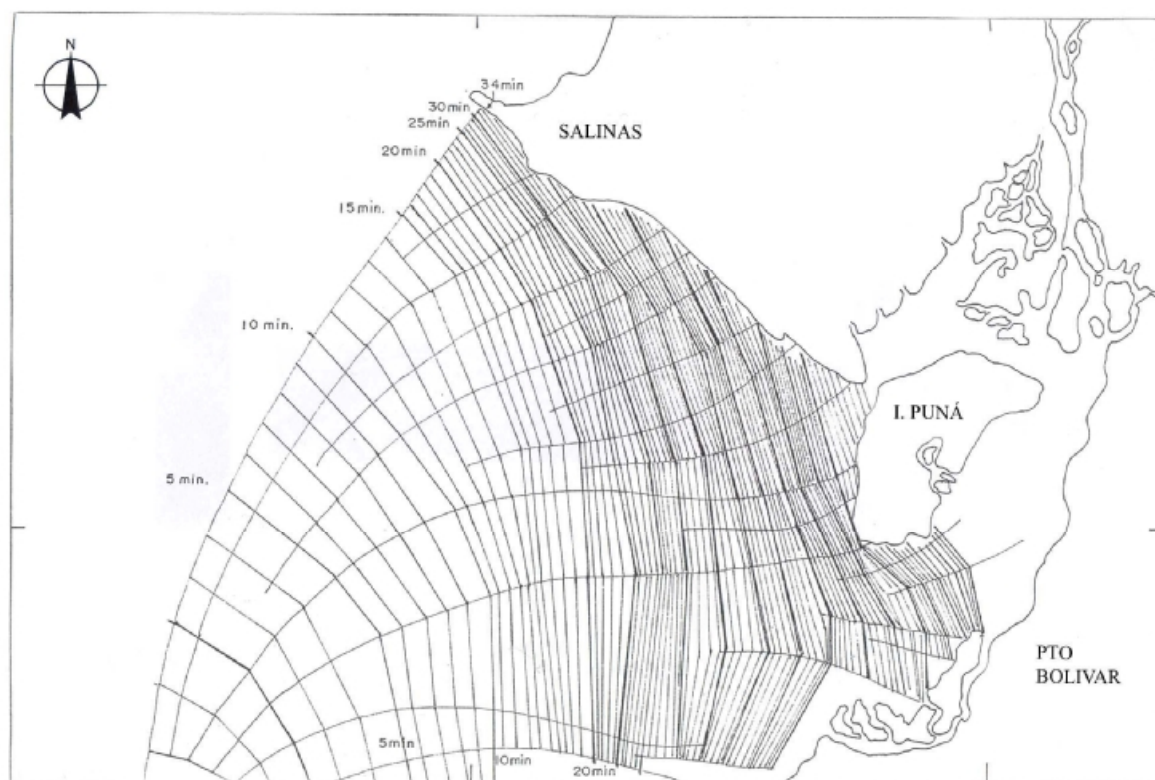


Gráfico 2.9. Diagramas de Refracción para un sismo con epicentro frente al Golfo de Guayaquil

Fuente: ARREAGA P, 1996

2.2.4. Altura de ola y delimitación de las áreas de inundación

La altura de ola con la que llega un tsunami a la costa, depende del origen del sismo con relación a la localidad y de la topografía del fondo marino. En general para calcular la altura de ola se emplea la fórmula de Yamaguchi, quien considera que en aguas poco profundas (menores a 100 m) la pérdida de energía por fricción con el fondo oceánico es muy significativa y que la altura de ola decrece a incrementar la distancia recorrida (Kuroiwa, 1985). Según esto, la elevación del mar sobre su nivel medio, puede determinarse por la fórmula

$$H = 12.3 e^{-0.67 D}.$$

En donde: H = Altura de la ola en m.

D = Distancia en Km. entre la costa y el veril de los 100 m.

De acuerdo al Informe de Evaluación del Riesgo de Tsunamis de las poblaciones de la Costa Central del Ecuador (INOCAR), empleando la fórmula dada por Yamaguchi, para tsunamis con origen frente a la costa de Santa Elena los valores de altura de ola varían desde 6 metros en el extremo más saliente, hasta valores entre 2 y 3 metros hacia Ballenita y Chanduy. Y la altura de ola estimada para la costa oeste de Bahía de Caráquez, varía desde 1,3 m. en la punta norte, hasta 1,6 m al sur de la ciudad. (Gráfico 2.10)

Si un sismo se genera perpendicular a las costas del Ecuador, se tendrían alturas de ola de 8 a 10 metros como máximo; este se considera como el peor escenario de riesgo (DNDC, 1992).

Después de conocer la altura con la que llega el tsunami a la costa, se debe determinar la distancia a la que alcanzará el momento que avanza por tierra y la cota máxima o run - up. Este cálculo es bastante complejo; porque es un fenómeno que depende de varios factores, como: terreno, pendiente, estado de la marea, grado de fricción del terreno dado por edificaciones y obstáculos, y de la forma de la onda.

Según observaciones realizadas en Japón o Hawaii, se determinó que las zonas inundadas por tsunamis coincidían con la curva topográfica cuya cota es

aproximadamente igual a la altura de ola del tsunami en la costa. Por lo cual se puede emplear como una estimación de la zona inundable a esta cota. (Kuroiwa, 1985)

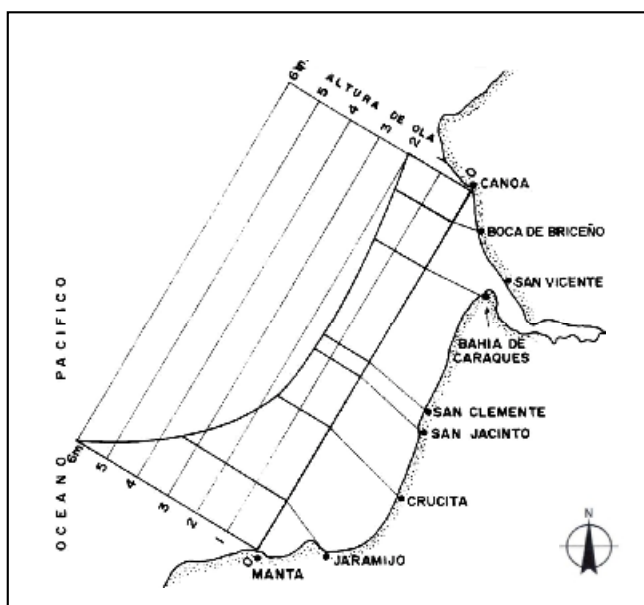


Gráfico 2.10. Altura de ola esperada para la provincia de Manabí

Fuente: Espinoza J, 1990

2.3. DEFINICIONES SOBRE LA GESTIÓN DEL RIESGO

Generalmente los gobiernos, las instituciones y la comunidad en general, consideran que los desastres naturales son inevitables y todos sus esfuerzos se enfocan a buscar soluciones para los daños causados. Pero actualmente se tiene una visión más amplia y se habla de gestión del riesgo, que se refiere a tomar medidas antes que se produzca el desastre e involucra a todas las instituciones y a toda la comunidad. Para entender este concepto, es importante conocer primero ciertas definiciones, como: amenaza, vulnerabilidad, riesgo, etc. Sobre estos términos hay gran cantidad de definiciones, pero en este caso se tomaron como referencia las publicaciones de la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (RED); a continuación se presentan estas definiciones:

2.3.1. Amenaza natural

Es la ocurrencia de un fenómeno natural, que tiene origen en la dinámica interna del planeta. Estas pueden ser de origen geológico, como los sismos, erupciones volcánicas y tsunamis; o de origen climático como, los huracanes, tormentas, fenómeno del Niño, sequías, etc. (Chaux, 1998)

Para evaluar las amenazas se emplean las probabilidades. Solo ciertas amenazas se pueden predecir, como la ruta de avance de un huracán; pero en la mayoría de los casos son impredecibles, como las erupciones volcánicas, en este se emplean los períodos de recurrencia, para determinar la probabilidad que se produzcan.

2.3.2. Vulnerabilidad

“Es la susceptibilidad de sufrir daño y tener dificultad de recuperarse de ello” (Maskrey, 1993). En general la vulnerabilidad se puede entender como la debilidad de una población, edificio o cualquier otro tipo de infraestructura frente a una amenaza natural; esta es propia de cada elemento y depende de varios factores, como por ejemplo:

- Factores físicos: En cuanto a poblaciones se refiere a la ubicación de estas y a las condiciones de ocupación. Las personas que viven en sitios inadecuados, como por ejemplo las que viven en las laderas de las montañas, son vulnerables a los deslizamientos de tierra. Este factor también se refiere a la forma inadecuada de construcción de viviendas.
- Factores económicos: Este factor tiene una relación directa con el anterior, porque la falta de recursos económicos obliga a la gente a invadir terrenos y estos generalmente se encuentran en zonas de amenaza. Además construyen sus viviendas con materiales de bajo costo. Además después que se presenta un fenómeno natural, los daños serán mayores si la población no cuenta con los recursos para recuperarse.

- **Factores sociales:** Se refiere a la estructura social de una comunidad, las organizaciones, la ideología, creencias, educación y todo lo que influye en el comportamiento de las personas. Por ejemplo la falta de inversión en planificación por parte de las autoridades provoca un inadecuado uso de la tierra; la falta de educación y preparación causa que la gente actúe de forma incorrecta frente a una amenaza, haciendo que los daños que se produzcan sean mayores.

2.3.3. Desastre

Un desastre se produce únicamente cuando coexisten la amenaza y la vulnerabilidad. No todos los fenómenos naturales se convierten en un desastre, porque depende de la vulnerabilidad de la población. Por ejemplo al producirse un sismo de gran magnitud, no se producirían mayores daños si los edificios fueron sismo resistentes y si la población estaría preparada para enfrentarlo de la manera correcta.

Los desastres tienen una relación directa con el desarrollo; los seres humanos hemos modificado el medio ambiente para nuestro propio beneficio, sin tomar en cuenta a la naturaleza, lo que nos ha hecho más vulnerables, provocando que los efectos de las amenazas naturales se incrementen. Por ejemplo las inundaciones causan severos daños a las poblaciones y esto no se lo atribuye solo a un efecto natural, porque a causa del inadecuado uso de los suelos y la deforestación, los efectos nocivos se incrementan.

2.3.4. Riesgo

Se lo considera como la probabilidad de que ocurra un desastre. Una herramienta muy útil para representar el riesgo de una determinada localidad son los mapas, pues permiten transmitir los conocimientos a las poblaciones de una forma gráfica y sencilla, en este caso también hay que aclarar un concepto mal utilizado pues generalmente se confunden los mapas de amenazas como mapas de riesgo.

Un mapa de amenazas es la representación de un fenómeno natural que podrían ocurrir en un determinado lugar y la zona que se vería afectada, como por ejemplo: zonas que se verán afectadas por una erupción volcánica o por una inundación.

En un mapa de riesgo deben constar tanto las amenazas, como los distintos factores de la vulnerabilidad. Por ejemplo en el caso de una inundación, deberán constar los ríos con alta probabilidad de inundación y además toda la infraestructura que podría ser afectada, como: hospitales, escuelas, cultivos, y evaluar la vulnerabilidad de cada uno; además realizar una evaluación del grado de vulnerabilidad de la población.

2.3.5. Manejo de desastres

Para reducir la posibilidad de que ocurra un desastre, es imposible eliminar las amenazas, porque la naturaleza es incontrolable; la única opción para disminuir el riesgo, se logra disminuyendo la vulnerabilidad. Generalmente para enfrentar los desastres se emplea el manejo de desastres, que implica todas las actividades que tienen que ver con: preparación, atención de la emergencia y reconstrucción, términos que se describen a continuación.

- **Preparación para desastres:** son todas las actividades que se realizan para que las instituciones y la sociedad para enfrentar correctamente un fenómeno capaz de desencadenar un desastre. Como capacitación, tomar medidas preventivas, etc.
- **Atención de la emergencia:** son todas las actividades que se realizan para salvar vidas e infraestructura, después de que se presente un fenómeno natural que pueda provocar un desastre. También se refiere a las actividades que se realicen días o minutos antes de que se produzca el fenómeno. Por ejemplo cuando las poblaciones se preparan antes del paso de un huracán. O la evacuación de una población antes de una erupción volcánica

- **Reconstrucción:** Comprende todas las actividades que se realizan para ayudar a la comunidad a recuperarse del desastre ocurrido.

2.3.6. Gestión del riesgo

Actualmente se busca pasar del manejo de desastres a la gestión del riesgo, estos términos se diferencian, porque al hablar de manejo de desastres, se refiere a un evento que ya ocurrió, representa un hecho puntual y extraordinario en una comunidad, que debe ser solucionado después que este se produce. En esta concepción de desastre los únicos responsables de manejar la situación son las instituciones de socorro, como Cruz Roja, Defensa Civil, Cuerpo de Bomberos, Policía.

En la gestión del riesgo se considera a un desastre como un proceso dinámico, que no depende solo de la naturaleza; pues este se desencadena a partir de toda la forma de vida de una determinada comunidad. La gestión del riesgo representa un sistema complejo, en donde deben interactuar todas las instituciones locales, nacionales y la comunidad; para que al producirse un fenómeno natural, este provoque la menor cantidad de daños posibles.

Uno de los puntos principales dentro de la gestión de riesgo es la planificación del uso de suelo y en general de todas las actividades de desarrollo, donde se deben involucrar las instituciones locales y nacionales de planificación; donde además debe intervenir las leyes, para prohibir la ocupación de terrenos inadecuados y controlar que las construcciones sean realizadas de manera adecuada. Todas estas instituciones deben estar vinculadas con las instituciones encargadas de atender a las emergencias y unir esfuerzos para disminuir la vulnerabilidad de las poblaciones y de esta forma evitar que los desastres se produzcan.

Se debe aclarar que el manejo de desastres sigue siendo importante y representa una parte de la gestión de riesgos, porque una vez que se produzca un fenómeno natural tiene que existir acciones inmediatas para enfrentar el desastre, donde las instituciones de socorro tienen que actuar inevitablemente; pero lo que se busca es que en ese momento los daños a las poblaciones sean mínimos.

2.4. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

En la actualidad los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta indispensable en el planeamiento urbano y en la gestión de recursos, debido a su capacidad de almacenar, analizar y modelar los fenómenos de la naturaleza y las distintas actividades que realiza el ser humano. Estos colaboran con la gestión del riesgo, pues permite la elaboración y análisis de escenarios, incorporando todos los elementos involucrados (población, topografía del terreno, infraestructura vial, etc). Lo que ayuda en el diseño de estrategias y acciones para la reducción del riesgo que pueden ser incorporadas en los planes de desarrollo a escala nacional, regional y local.

2.4.1. Definición

“Un sistema de información geográfica es un conjunto de herramientas diseñado para la adquisición, almacenamiento, análisis y representación de datos espaciales”. (Ordoñez, 2003)

El *National Center for Geographic Information and Analysis de USA* define a los SIG como Sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión (NCGIA, 1990)

2.4.2. Aplicaciones

Los sistemas de información permiten integrar información de distintas características en un solo sistema y procesarla de una forma rápida; por lo que se les ha dado gran cantidad de aplicaciones, entre ellas se puede citar:

- Planificación del uso de suelo.
- Análisis de redes y medios de transporte.
- Manejo de recursos naturales
- Localización adecuada de nuevos servicios

- Análisis multitemporales

2.4.3. Los SIG y la evacuación en caso de desastre

Los SIG representan una herramienta útil para implementar planes de evacuación y mitigación de desastres, debido a que se los puede emplear durante todo el proceso de planificación. Tomando como base la información de cartografía, imágenes satelitales o fotografías aéreas; se obtienen modelos digitales y mapas de uso de la tierra, esta información sirve para determinar las áreas amenazadas, por ejemplo en el caso de deslizamientos o inundaciones.

Las bases de datos de población e infraestructura; permiten determinar la vulnerabilidad de estas, con lo que se obtienen mapas de riesgo. Con los SIG se identifican los lugares aptos para convertirse en refugios en caso de un desastre, mediante la recopilación de las características de escuelas, colegios, estadios, etc. que se encuentren en zonas seguras.

Empleando el mismo concepto de localización óptima, se definen las mejores rutas de evacuación, tomando en cuenta no solo la distancia a las zonas de seguridad, sino también la dificultad de movilización, en la que intervienen variables, como: uso de suelo, topografía, pendiente del terreno, estado de vías, entre otros.

Finalmente con toda esta información se plantean distintos escenarios de riesgo, lo que permite realizar un plan de evacuación; que puede ser empleado en programas de capacitación, pues los resultados gráficos son de fácil entendimiento para toda la población.

2.4.4. Análisis de redes y accesibilidad

El término accesibilidad tiene diferentes definiciones, de acuerdo al enfoque que cada autor considere; a continuación se describe algunas de estas definiciones:

La accesibilidad puede definirse como la capacidad de interactuar o de hacer contacto con sitios en que hay oportunidades económicas o sociales (Deichmann, 1997). Dalvi la define como la facilidad con que un servicio puede ser alcanzado desde una localización.¹

En general la accesibilidad se puede considerar como la facilidad para trasladarse de un lugar a otro por medio de una red, esta representa un conjunto de elementos lineales interconectados, por lo general vías; por los cuales hay un flujo de recursos (vehículos, personas, energía, etc) y que tienen una resistencia o costo al paso denominada impedancia.

Este concepto se emplea generalmente para resolver problemas de localización óptima de nuevas infraestructuras, como: centros educativos, culturales, comerciales o deportivos.

Según Joaquín Bosque se debe considerar tres componentes para la resolución de un problema de localización:

- La actividad humana que se desea situar en el estudio
- Los elementos existentes en el medio, mediante el cual se determinan los flujos. Como por ejemplo personas que demandan un servicio.
- Sistemas a través de los cuales se mueven los elementos anteriores, es decir, una red de comunicación

Lo que se busca al resolver este tipo de problemas, es que el trasladarse de un punto a otro implique un coste mínimo de desplazamiento, por ejemplo: un menor tiempo de movilización o menor cantidad de dinero. Para que dos puntos estén a una distancia mínima, no solo depende de la longitud que exista entre estos, también se debe considerar las características de la red de comunicación, como: tipo de vía, pendientes del terreno, tráfico, etc. (Gráfico 2.11). Por ejemplo una carretera pavimentada, permite desarrollar una velocidad de viaje más alta que una carretera sin pavimentar, lo que hace que el tiempo de viaje sea menor.

¹ Definiciones tomadas de Joaquín Bosque, Antonio Moreno, Sistemas de Información Geográfica y localización de instalaciones y equipamientos, 2004 España



Gráfico 2.11. Análisis de redes

Fuente: www.udistrial.edu.co/comunidad/profesores/rfranco/analisis.htm

La accesibilidad se puede calcular mediante datos raster o vector. Empleando datos raster, la accesibilidad se calcula mediante una superficie de coste o fricción; en donde a cada píxel se le asigna un valor en función de la dificultad de pasar por él. Cuando se trabaja con datos vectoriales se emplea distancias en línea recta medidas a través de una red; en este caso se puede considerar factores de impedancia para ponderar la distancia, estos valores miden la resistencia al movimiento, tomando en cuenta ciertas variables

Uno de las aplicaciones más comunes del análisis de redes, es la planeación, gestión y análisis del transporte urbano. Los SIG permiten construir bases de datos, con la oferta y demanda de transporte, estado de vías, tráfico, etc. De esta forma se pueden planificar las rutas óptimas de transporte urbano, convirtiéndose en una herramienta importante en la toma de decisiones

La accesibilidad de un determinado lugar es un factor importante en su desarrollo económico, social, cultural, etc.; porque el transporte es esencial para el funcionamiento de la sociedad, a través de flujos de personas y mercancías. Los sitios alejados de los centros urbanos generalmente tienen una desventaja competitiva, porque los costes de transporte que emplean para movilizarse son mayores (Gutiérrez, 2007). En el caso de evacuación de la población por medio de una red, los sitios con una buena accesibilidad, tendrán mayor facilidad para ser evacuados.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. ESTRUCTURACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA BASE

Los insumos cartográficos e información base que se emplearon en el proyecto son:

- Cartografía catastral del IGM a escala 1:10.000 de la ciudad de Salinas.
- Fotografías áreas escaneadas de la ciudad de Bahía de Caráquez a escala 1:10.000 proporcionadas por el Comitato Internazionale Per lo Sviluppo dei Popoli (CISP).
- Puntos de control GPS de la ciudad de Bahía de Caráquez proporcionadas por el CISP.
- Cartas – croquis de Amenaza por Tsunamis en las ciudades de Salinas y Bahía de Caráquez, realizadas por la Dirección Nacional de Defensa Civil.

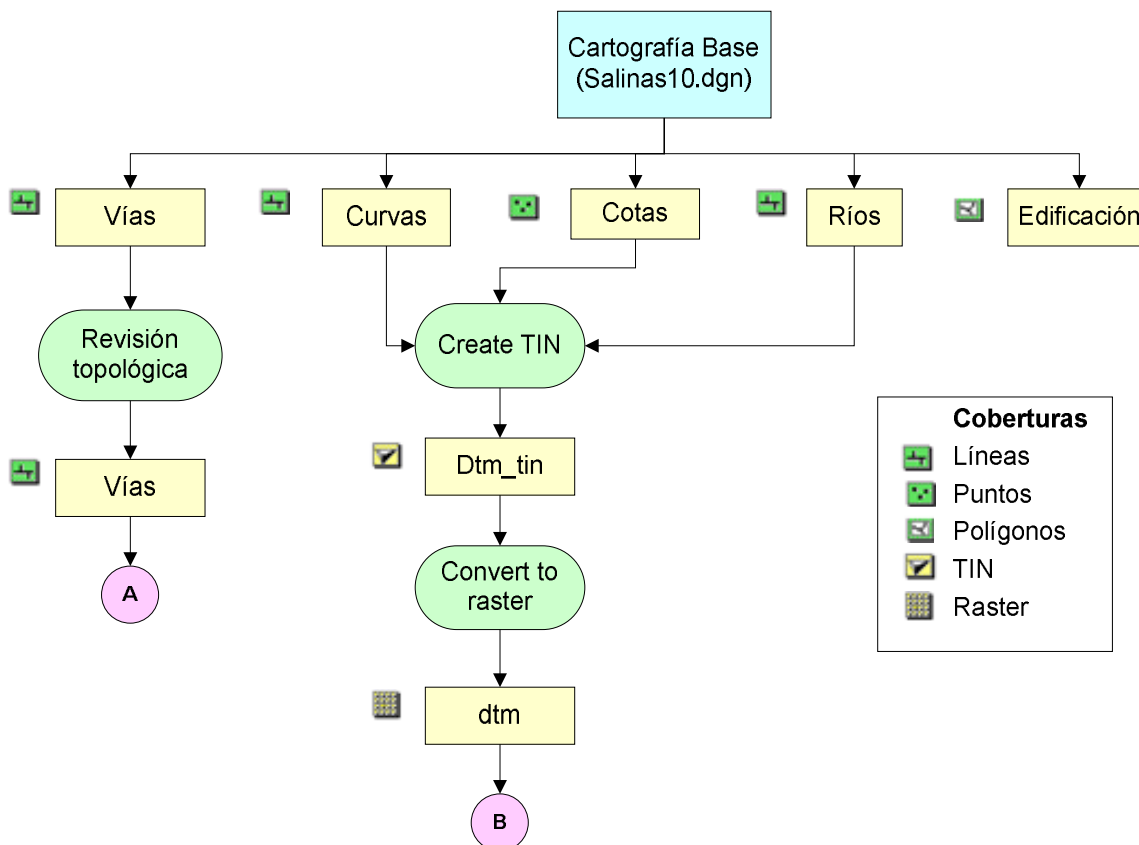
3.1.1. Estructuración de la Cartografía Base de Salinas

Como cartografía base se empleó la cartografía catastral del IGM a escala 1:10.000 de la ciudad de Salinas, en coordenadas UTM zona 17 Sur, elipsoide WGS 84. Esta cartografía se encuentra en formato digital en Microstation, para la realización del proyecto se ingresó esta información en coberturas independientes, empleando el software Arc-Gis 9.2. En la cobertura de las vías se realizó una revisión topológica, para que puedan ser empleadas en el análisis de redes, que será descrito más adelante.

Además se generó un modelo digital del terreno a partir de las curvas de nivel y las cotas (Anexo B1: Cartografía Base de Salinas y La Libertad). El proceso

seguido para estructurar la cartografía base de la ciudad de Salinas se presenta en el modelo cartográfico N° 1.

Modelo Cartográfico N° 1: Estructuración de la Cartografía Base de Salinas escala 1:10.000



3.1.2. Estructuración de la cartografía base de Bahía de Caráquez

En el caso de Bahía de Caráquez se empleó fotografías aéreas a escala 1:10000, para realizar el modelo digital del terreno y obtener los elementos cartográficos necesarios para el proyecto.

Las fotografías aéreas de la zona y los puntos de control utilizados pertenecen al Proyecto: “Metodología SIG para la Evaluación y Gestión del Riesgo Derivado de Deslizamientos” (CISP, 2007), bajo su autorización fueron empleadas en el proyecto. Las fotografías fueron tomadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM), como parte del Programa de Manejo de Recursos Costeros (PMRC), los datos de las fotografías se detallan a continuación

Escala aproximada de toma: 1:10000

Cámara: Wild RC30

Tabla 3.1. Fotografías empleadas en el proyecto

Rollo	Línea	Fotos	Fecha de toma
43	18 A	10468 - 10472	17 enero 2000
41	19	9788 - 9791	24 noviembre 1999
	Total	9 fotos	

Los puntos de control utilizados se encuentran distribuidos en toda el área de estudio (Gráfico 3.1). Las coordenadas de estos puntos se encuentran en el sistema SIRGAS95 cuya época de referencia es 1995.4. (Tabla 3.2)

Tabla 3.2. Coordenadas Geodésicas de los Puntos de Control

Punto	Código	Latitud	Longitud	Altura nivelada (m)
10468-x	P23	0° 35' 39.85338" S	80° 25' 22.52746" W	3.5130
10469-x	P24	0° 36' 19.40719" S	80° 25' 23.90215" W	2.2944
10470-x	P25	0° 36' 41.72809" S	80° 25' 29.48782" W	3.0460
10470-y	P26	0° 36' 23.32267" S	80° 26' 3.38132" W	68.7090
10472-x	P27	0° 37' 41.43317" S	80° 25' 51.98249" W	24.3040
10472-y	P28	0° 37' 18.20723" S	80° 26' 44.95405" W	46.3514
9789-x	P29	0° 38' 13.51375" S	80° 25' 1.52387" W	2.3220

Datos tomados de: CISP, Metodología SIG para la Evaluación y Gestión del Riesgo Derivado de Deslizamientos

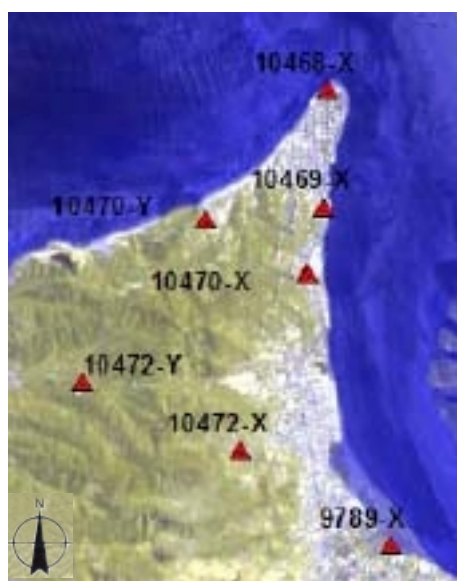


Gráfico 3.1. Ubicación de los Puntos de Control en Bahía de Caráquez

Fuente: CISP, 2007

Para emplear estas coordenadas en la aerotriangulación se las transformó a coordenadas UTM zona 17, debido a que las unidades planas son más fáciles de emplear por todos los usuarios (Tabla 3.3). Para realizar la transformación se empleó la hoja de cálculo realizada por Gabriel Ortiz, que emplea las fórmulas planteadas por Alberto Cotticia y Luciano Surace en el *“Bolletino di Geodesia e Science Affini”*.

Tabla 3.3. Coordenadas UTM de los Puntos de Control

Punto	Código	X	Y	altura nivelada
10468-x	P23	564211.7381	9934297.1517	3.5130
10469-x	P24	564169.1190	9933082.6806	2.2944
10470-x	P25	563996.3952	9932397.349	3.0460
10470-y	P26	562948.8233	9932962.587	68.7090
10472-x	P27	563300.8990	9930564.2179	24.3040
10472-y	P28	561663.6572	9931277.5294	46.3514
9789-x	P29	564860.4360	9929579.0302	2.3220

▪ **Aerotriangulación:**

Las fotografías aéreas tienen una resolución geométrica de escaneo de 14 micrones y una resolución radiométrica: 8 bits (una sola banda, pancromática). Con estas fotografías se realizó la orientación interior, relativa y absoluta, para obtener las ortofotos; empleando el software ERDAS 8.5.

Mediante la orientación interior se define la geometría interior de la cámara. Y permite transformar del sistema de coordenadas de píxel, cuyo origen se encuentra en la esquina superior izquierda de la imagen; al sistema de coordenadas de imagen, ubicado en la intersección entre las marcas fiduciales

Para realizar la orientación interior se toma en cuenta las siguientes variables: punto principal, focal, marcas fiduciales, distorsión de las lentes. Estos datos fueron obtenidos del certificado de calibración de la cámara Wild RC30 (Anexo A1)

La calidad de esta transformación está representado por el error medio cuadrático, este error debe ser menor a 1/3 del píxel. Para el proyecto como el

tamaño del píxel es de 14 micrones, en todas las imágenes se consideró errores menores a 4,66 micrones. Los resultados obtenidos de la orientación interior se encuentran en el anexo A2.

Mediante la orientación relativa se ubica a las fotografías como pares estereoscópicos y mediante la orientación absoluta se ubica a las fotografías en un sistema de coordenadas, para lo cual se empleó los puntos de control en el Sistema SIRGAS descritos en la página 49. En el software empleado, el término orientación exterior abarca a la orientación relativa y a la absoluta.

Los errores tolerables durante el proceso de aerotriangulación dependen de la escala, se acepta errores de 0,3 mm. en el error horizontal y $\frac{1}{4}$ del intervalo de curva de nivel. Como se desea obtener cartografía 1:5000, los errores tolerables serían los siguientes:

$$\text{Error horizontal} = (0,3\text{mm} * 5000) = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Error vertical} = \frac{1}{4} * (5\text{m}) = 1,25$$

Después de realizar el proceso de aerotriangulación, se logró un error medio cuadrático igual a 0.6756 m, lo cual está dentro del error tolerable. El reporte de todos los resultados y errores obtenidos durante el proceso de triangulación se presentan en el anexo A2.

▪ **Modelo Digital del Terreno (DTM):**

Un modelo digital del terreno es una representación de la topografía del terreno en 3 dimensiones. Para obtenerlo se empleó el Software ERDAS 8.5 (Orthobase Pro), que obtiene modelos digitales automáticamente.

Para realizar el modelo digital se emplean como fuente de información los datos calculados previamente en la orientación interior, relativa y absoluta. Para generar el modelo digital del terreno se emplea el siguiente procedimiento:

Los puntos de interés son identificados en cada imagen del bloque, mediante la variación del nivel de grises y el contraste. Generalmente estos puntos se identifican en las intersecciones de las vías o las esquinas de las edificaciones. Después que se han identificado los puntos de interés en la imagen, se hacen coincidir con los puntos que tiene las mismas características en el área de traslapo de las fotografías.

Un punto de interés situado en una imagen puede tener más de una coincidencia posible en las imágenes adyacentes, por lo que al determinar si dos puntos son semejantes o no, se calcula un coeficiente de correlación, si este es menor que el límite de correlación, los dos puntos no se consideran semejantes. Un alto índice de correlación implica que exista una mayor precisión, aunque pueden ser menos los puntos recogidos en relación a un límite menor. En el proyecto para obtener mejores resultados se empleó un coeficiente de 0,8.

Una vez que un punto de interés se ha identificado en la primera imagen del bloque se determina la ubicación aproximada de este punto en las otras imágenes. Para calcular la posición de los puntos en 3 dimensiones (x, y, z) se emplea principios fotogramétricos. Se emplea la condición de colinealidad, haciendo que los rayos de luz desde los dos puntos de exposición pasan a través de sus correspondientes puntos en la imagen y se intersecan en el mismo punto en tierra. (Gráfico 3.2.)

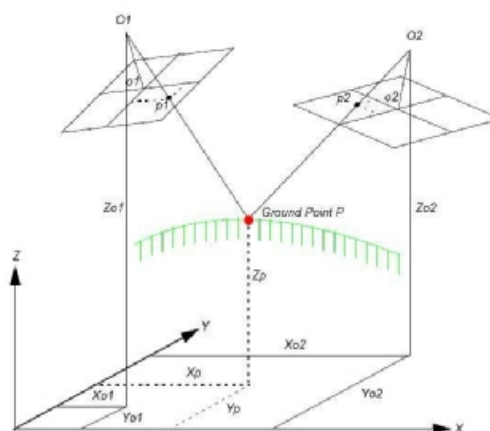


Gráfico 3.2. Determinación de coordenadas en pares estereoscópicos

Fuente: ERDAS, 2001

Empleando los datos de la aerotriangulación antes descrita y ecuaciones de colinealidad, se asume que los datos de la orientación exterior son conocidos; y se tiene como incógnita X_p , Y_p , Z_p .

▪ **Ortomosaico y Digitalización de elementos:**

Con el modelo digital del terreno antes generado y los datos obtenidos en la orientación interior y exterior, se obtuvo las ortofotos del área de Bahía de Caráquez, estas fotos tienen una resolución de 0.2 metros, lo cual está dentro del error tolerable (1,5m).

Con las nueve ortofotos se obtuvo el ortomosaico empleando el método del vecino más cercano. (Gráfico 3.3)

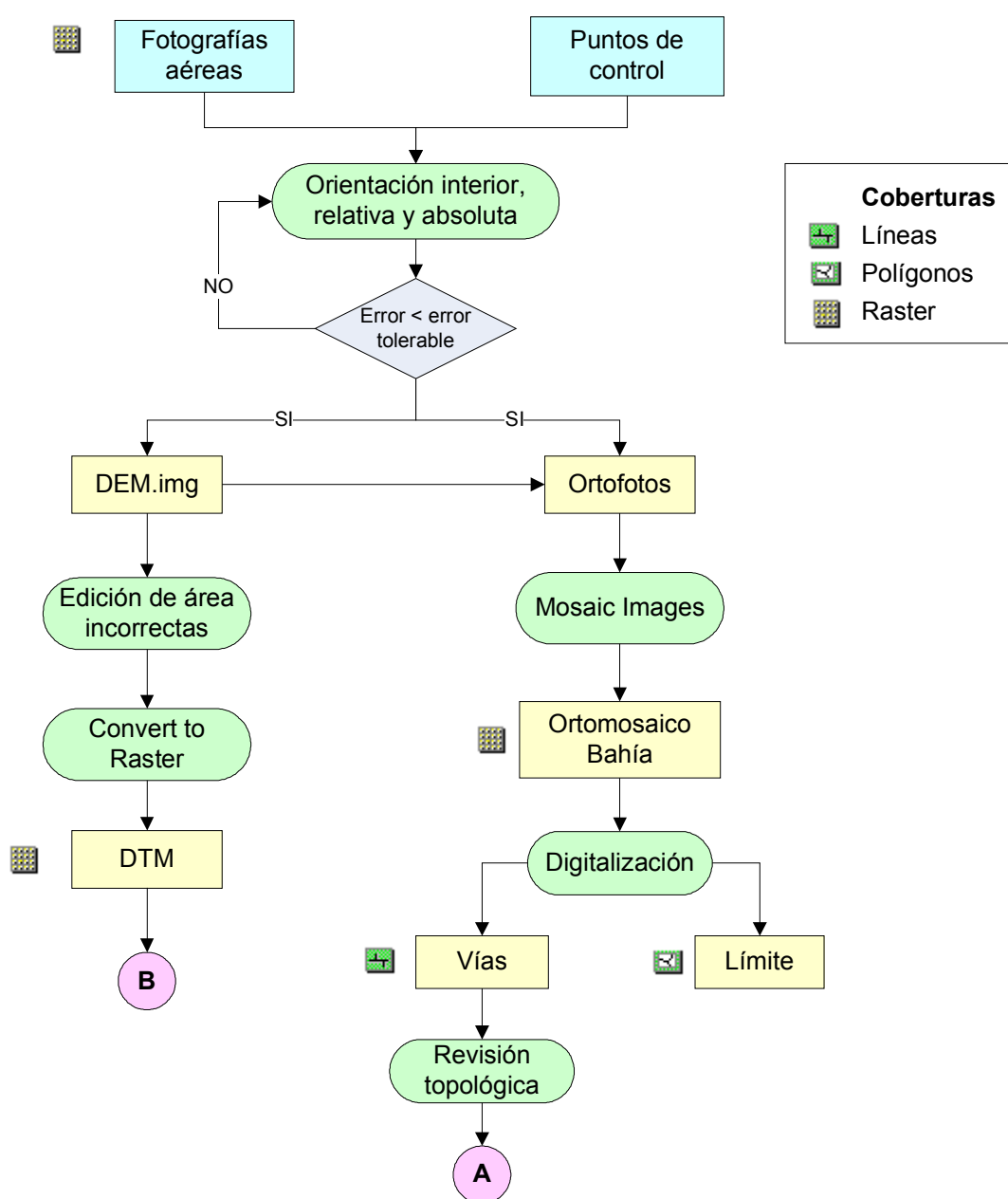


Gráfico 3.3. Ortomosaico de Bahía de Caráquez

Sobre el mosaico obtenido, se digitalizó las vías y senderos de la ciudad de Bahía de Caráquez, que forman parte de la red vial (Cartografía Base de Bahía de Caráquez, en anexo C1) esta información será empleada más adelante en el análisis de accesibilidad.

El procedimiento de estructuración de la cartografía base de la ciudad de Bahía de Caráquez se describe en el siguiente modelo cartográfico.

Modelo cartográfico N 2: Estructuración de la Cartografía Base de Bahía de Caráquez



3.2. GENERACIÓN DE ESCENARIOS

Para generar el modelo de evacuación se consideró el peor escenario, a fin de que las entidades de socorro y la población se encuentren preparadas para enfrentar las condiciones más desfavorables que puedan presentarse. En el caso de un tsunami se considera como el peor escenario la ocurrencia del sismo generador directamente al frente de la población estudiada, o con epicentro muy cerca de la línea de costa. Sobre esta base, se calcula el tiempo de llegada de la primera ola y, posteriormente, el área de inundación total. En gráfico 3.4 se resumen la metodología empleada para la generación de escenarios.

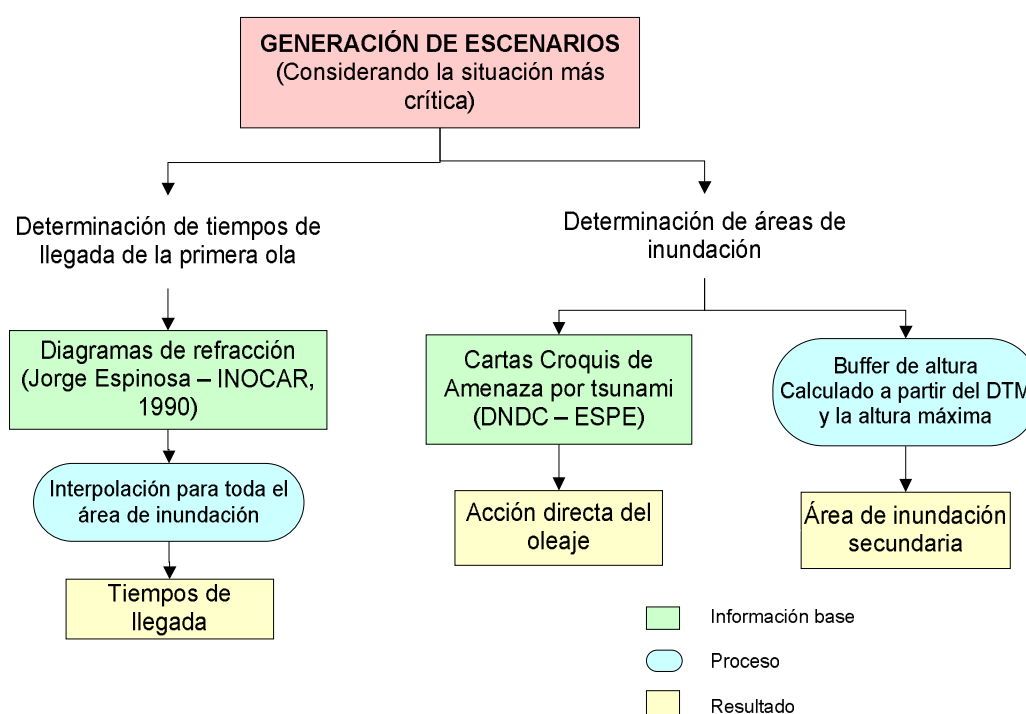


Gráfico 3.4. Diagrama de flujo de la Generación de escenarios

3.2.1. Determinación de tiempos de llegada de la primera ola

Para determinar los tiempos de llegada de la primera ola del tsunami a la costa se emplearon los diagramas de refracción realizados por Jorge Espinoza (INOCAR, 1990)¹. Estos valores fueron ingresados al sistema de información geográfica como una cobertura de puntos, que fue empleada para realizar la interpolación

¹ Espinoza J, Posibles efectos de un tsunami en las costas de la península de Santa Elena

para toda el área susceptible de inundación, mediante el método de interpolación Inverso de la Distancia (IDW)².

- **Salinas:**

En el primer escenario se tomó en cuenta la situación más extrema que es la ocurrencia de un sismo ubicado directamente al frente de la Bahía de Santa Elena. En este caso se estima que la primera ola llegará a la Puntilla de Santa Elena en 4 minutos y afectará a la zona turística de la ciudad en un intervalo de 8 a 12 minutos luego de ocurrido el sismo; al puerto de La Libertad el oleaje arribará en un tiempo comprendido entre los 20 a 25 minutos, (Gráfico 3.5). Estos intervalos representan el tiempo máximo de respuesta que disponen la población y los organismos de socorro.

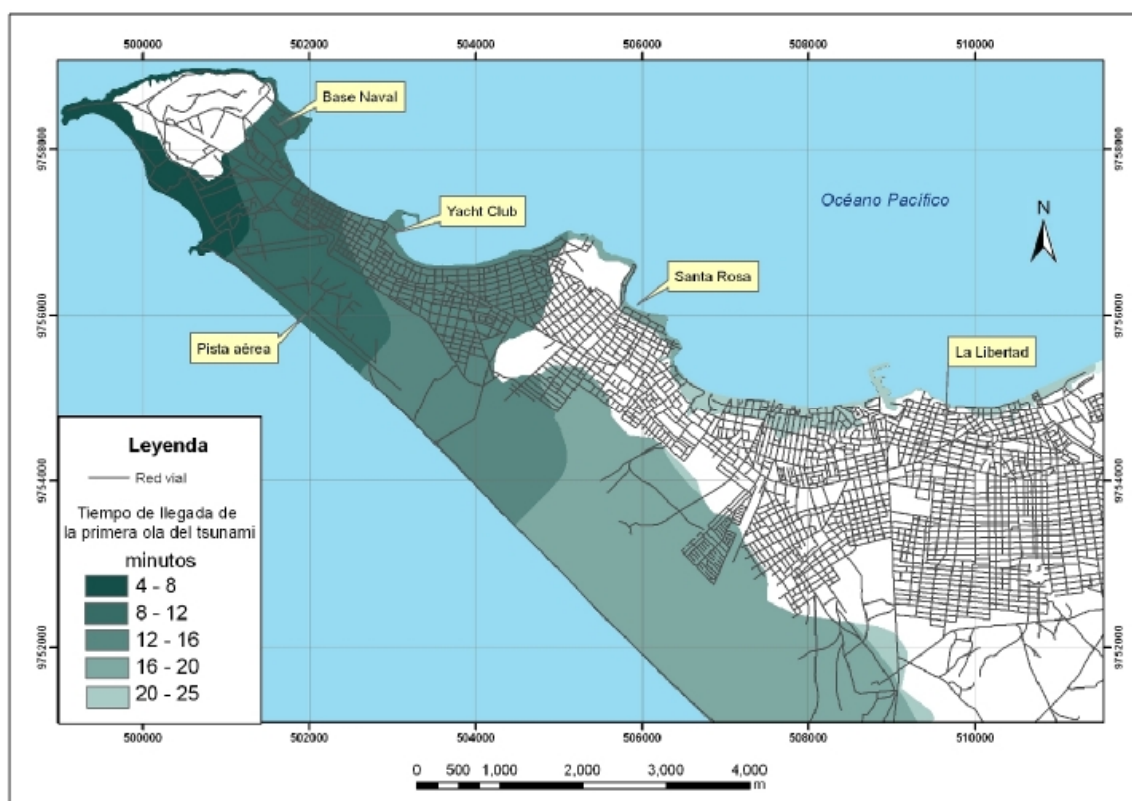


Gráfico 3.5. Tiempos de llegada del tsunami a la Ciudad de Salinas con un sismo frente a su costa

² Subrutina propia del ArcGis

Como segundo escenario se consideraron eventos sísmicos ubicados fuera de la zona de estudio (Al Norte o al Sur). En este caso los tiempos de arribo del oleaje serán mayores por su mayor distancia al origen; la primera ola llegaría a la Puntilla del Santa Elena en aproximadamente 16 minutos, a Salinas en un intervalo comprendido entre 20 y 24 minutos y a La Libertad entre los 32 a 36 minutos. (Gráfico 3.6)

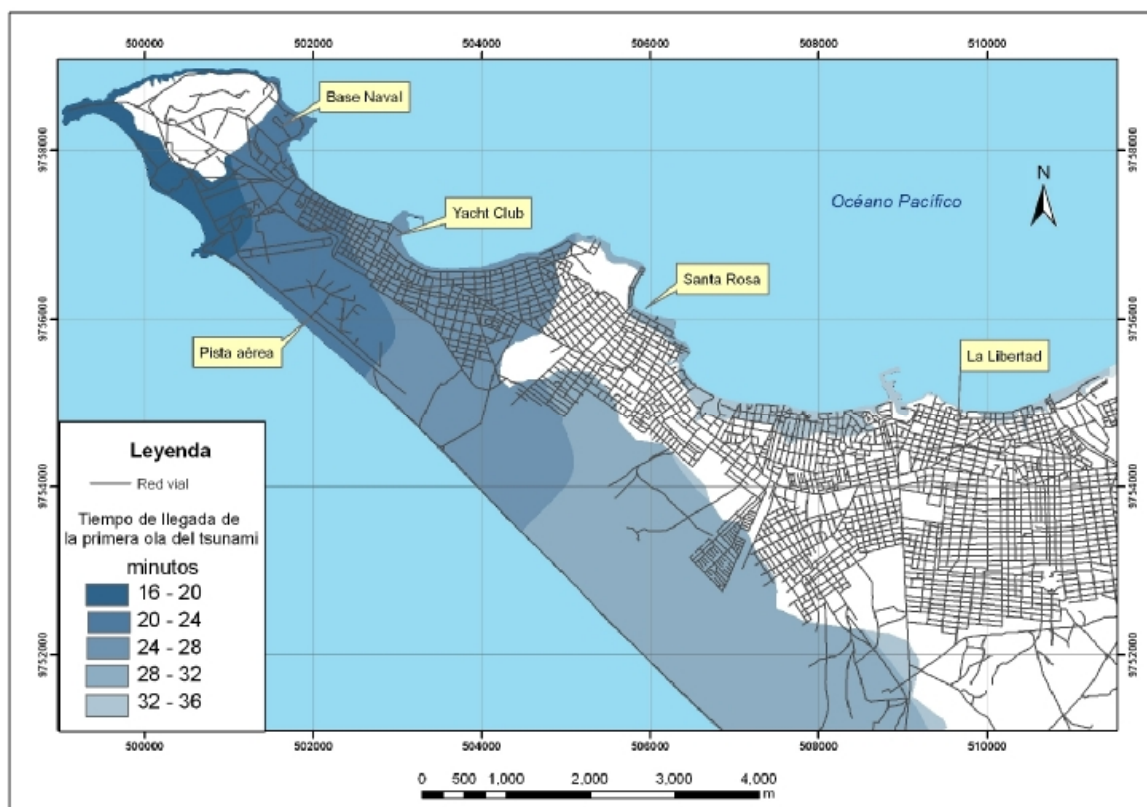


Gráfico 3.6. Tiempos de llegada del tsunami a la Ciudad de Salinas con un sismo ubicado al Sur o al Norte del área en estudio.

- **Bahía de Caráquez:**

Para la ciudad de Bahía de Caráquez no existe un estudio de tiempos de llegada de la primera ola de un tsunami, por lo que se asumieron tiempos semejantes a los calculados para la Puntilla de Santa Elena.

En el peor escenario se estima que la primera ola llegará a la ciudad de Bahía de Caráquez, (lado del mar), en un intervalo de tiempo entre 4 a 8 minutos, y a la orilla del río (sector del embarcadero y el Hospital) entre 8 a 12 minutos, y

finalmente, al resto de la ciudad, hasta Leonidas Plaza, en un tiempo comprendido entre 16 a 20 minutos después (Gráfico 3.7).

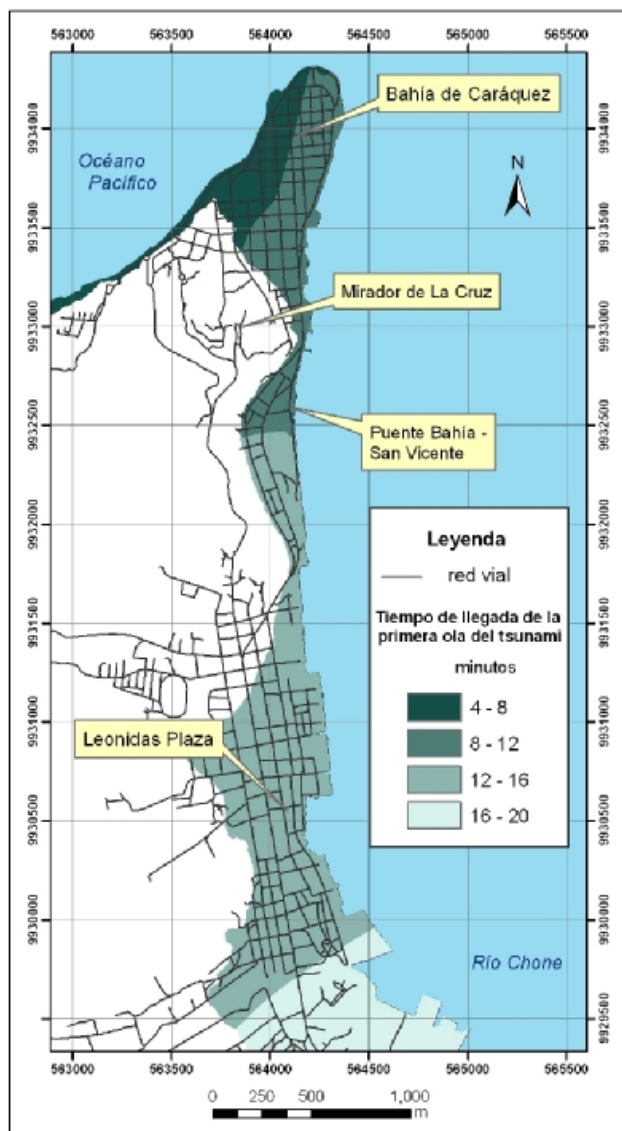


Gráfico 3.7. Tiempos de llegada de la primera ola del tsunami a Bahía de Caráquez (Primer escenario)

Como segunda posibilidad se consideraron tiempos semejantes a los calculados para el segundo escenario en la ciudad de Salinas. En este caso la primera ola llegaría a Bahía de Caráquez en un intervalo aproximado de 16 a 20 minutos, y al sur de la ciudad hasta llegar a Leonidas Plaza en un tiempo entre 24 y 32 minutos (Gráfico 3.8).

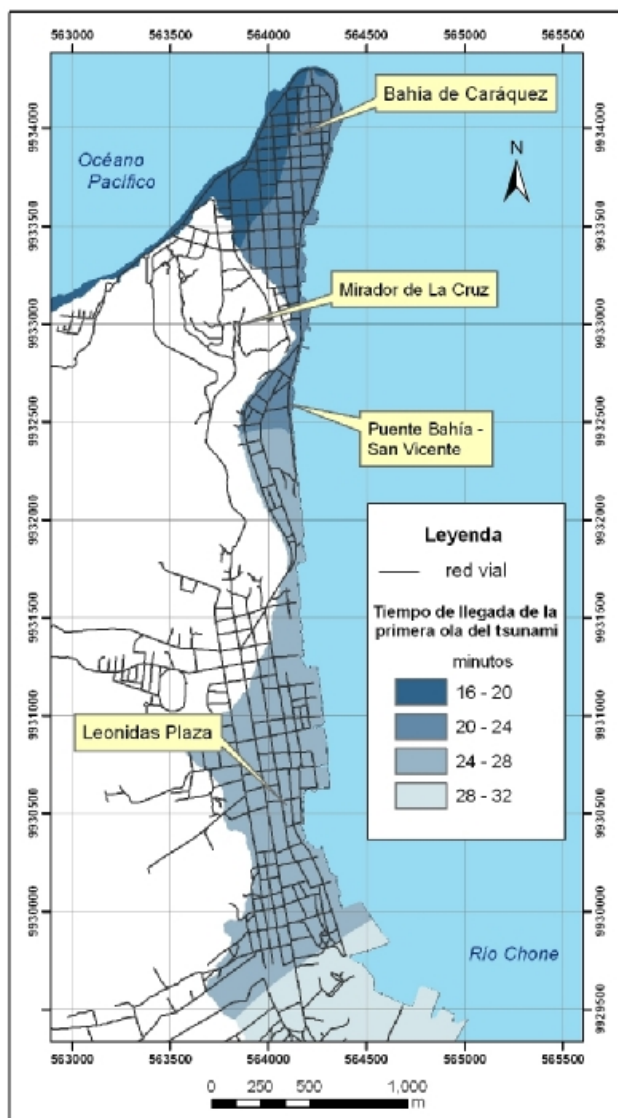


Gráfico 3.8. Tiempos de llegada de la primera ola del tsunami a Bahía de Caráquez (Segundo escenario)

3.2.2. Determinación de áreas de inundación

Para determinar el área de amenaza directa del tsunami se empleó la información de las cartas croquis de amenaza por tsunami realizadas por la desaparecida Dirección Nacional de Defensa Civil (actual Secretaría Nacional de Gestión del Riesgo), esta información (gráfico 3.9) se sobrepuso a la cartografía base de Salinas, para obtener el área de inundación georeferenciada y corregida, (Gráfico 3.10), a fin de utilizarla en el sistema de información geográfica. Esta área representa la zona de mayor afectación por la acción directa del oleaje (efecto de ariete). El mismo procedimiento se realizó para el caso de Bahía de Caráquez.

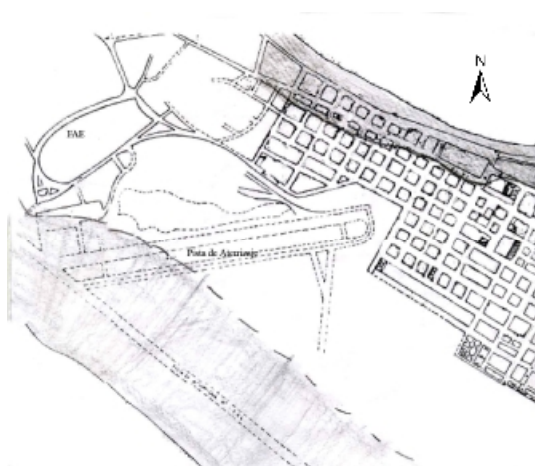


Gráfico 3.9. Carta Croquis de Amenaza por Tsunami en la ciudad de Salinas.
Fuente: DNDC –ESPE

(En gris se observan las áreas de amenaza)

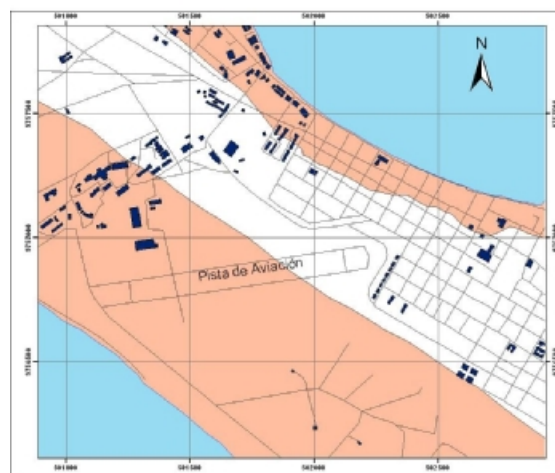


Gráfico 3.10. Amenaza por tsunami colocada sobre la cartografía de Salinas

(En naranja se observan las áreas de amenaza)

Para establecer las zonas seguras, además del efecto directo de las olas, se necesita conocer el área de inundación secundaria. Para esto se cálculo sobre el modelo digital del terreno, el área que alcanzaría a cubrir la ola del tsunami si tendría la altura máxima; empleando la herramienta de *arc view buff by rise*, esta herramienta requiere como datos de entrada el DTM, un polígono que representa el mar y fijar una altura determinada, con estos datos se calcula un buffer de altura, obteniendo como resultado un polígono que representa la distancia horizontal sobre el terreno que sería cubierta por la altura antes fijada.

De acuerdo al informe de Evaluación del Riesgo de Tsunamis de las poblaciones de la Costa Central del Ecuador (INOCAR) se tienen datos de altura de ola que varían desde los 2 hasta los 6 metros para la zona de estudio, pero según modelos matemáticos realizados por el INOCAR (Espinoza, 1990)³ considerando un sismo que se produzca directamente frente de la zona de estudio, se obtuvo olas de hasta 10 metros de altura, este último valor se debe considerar como el peor escenario, y por lo tanto es el valor de referencia para el cálculo del área de inundación.

³ Espinoza J, Posibles efectos de un tsunami en las costas de la península de Santa Elena – Ecuador

Para las dos ciudades primero se realizó un buffer de altura de 10 metros, pero se obtuvo un área de inundación demasiado extensa que no representaría la realidad, pues para calcular esta área se toma únicamente en cuenta la morfología del terreno y no se considera el grado de fricción dado por el terreno y obstáculos. Por esta razón se empleó un buffer de 6 metros de altura, obteniendo en la ciudad de Salinas un área de inundación muy semejante al área obtenida en el estudio realizado por el INOCAR (J. Espinoza, 1990) sobre posibles efectos de un tsunami en las costas de la península de Santa Elena. (Gráficos 3.11 y 3.12)



Gráfico 3.11 Área de inundación determinada por el INOCAR
Fuente: Espinoza, 1990



Gráfico 3.12 Área de inundación obtenida con la herramienta buff by rise

Para determinar el área de amenaza por tsunami en la ciudad de Bahía de Caráquez se siguió el mismo procedimiento descrito anteriormente. En esta ciudad el efecto de ariete afectará a la zona urbana de Bahía de Caráquez, que se encuentra frente al mar (malecón Virgilio Ratti), mientras que en la parte Sur, sector de Leónidas Plaza, se producirá una inundación rápida por aumento de nivel del río debido al efecto de dique en la desembocadura del Río Chone (Gráfico 3.13)

Además de las áreas de efecto directo, para tener un margen de seguridad mayor, se calculó un área de inundación secundaria con un buffer de 6 metros de altura (Gráfico 3.14).

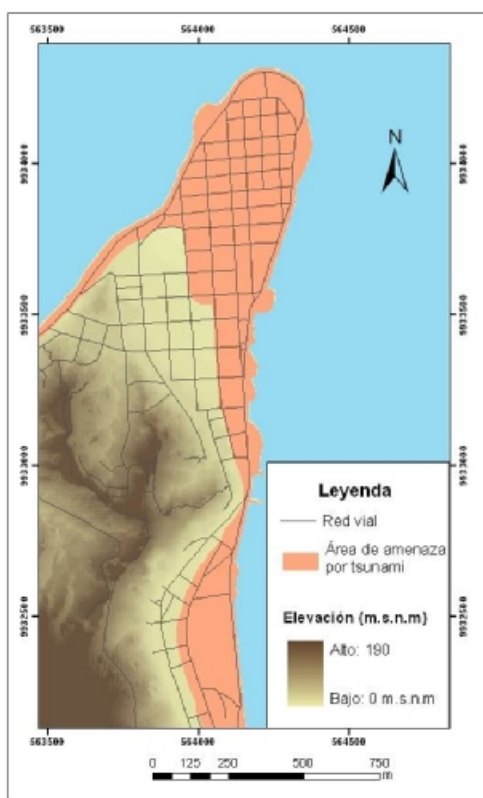


Gráfico 3.13.
Área de amenaza determinada por la Defensa Civil

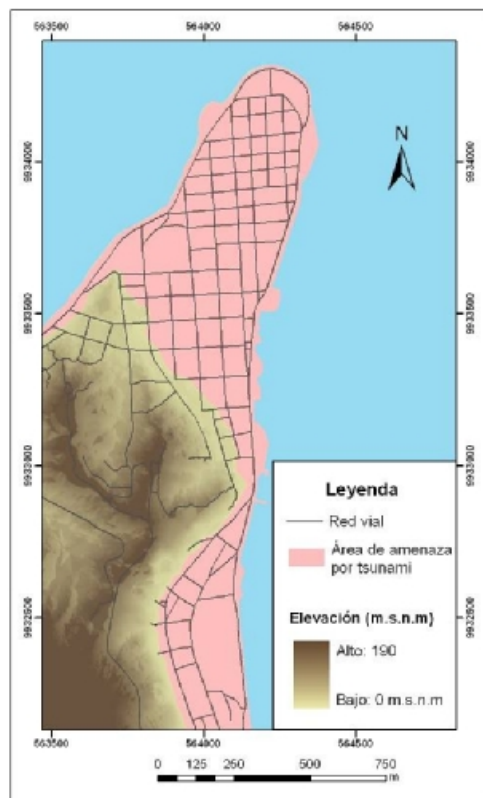
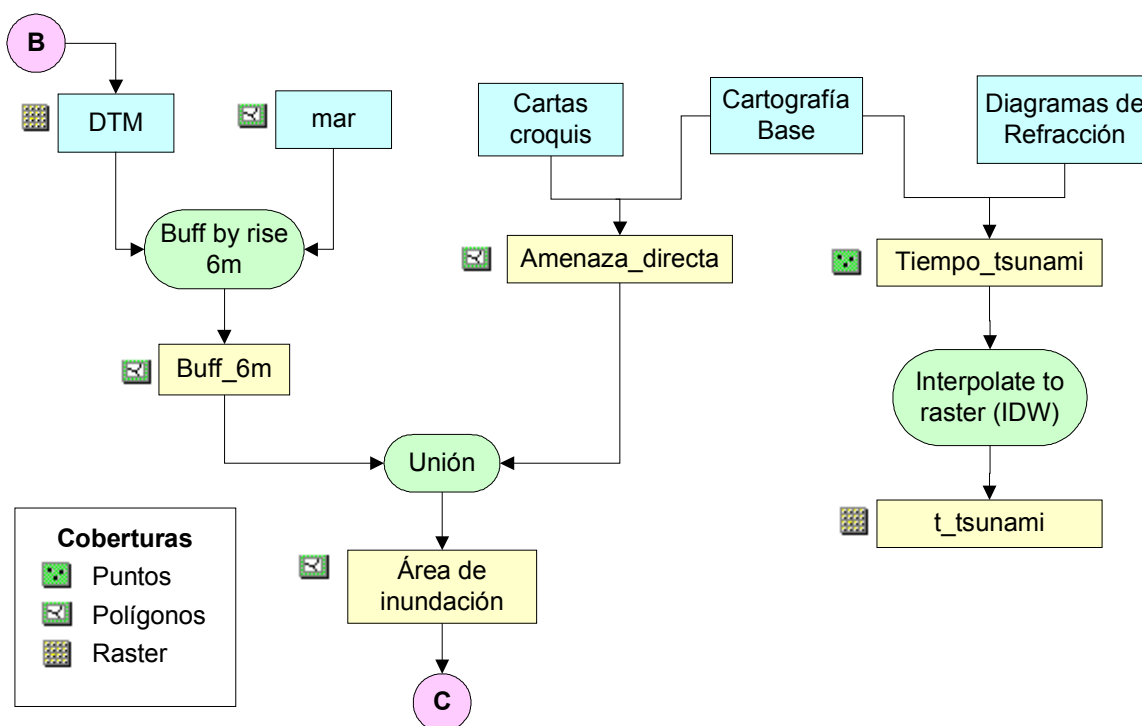


Gráfico 3.14. Área de amenaza con un buffer de 6 m

Los gráficos de áreas de amenaza de la ciudad de Salinas y Bahía de Caráquez presentados anteriormente solo representan una parte de cada ciudad; el mapa de áreas de amenaza por tsunami completo para las dos ciudades se encuentra se encuentra en los anexos.

El procedimiento seguido para la generación de escenarios se describe en el siguiente modelo cartográfico.

Modelo cartográfico N 3: Generación de escenarios



3.3. ANÁLISIS DE REDES Y ACCESIBILIDAD

En general, la accesibilidad es la facilidad para trasladarse de un lugar a otro por medio de una red de comunicación, considerando factores como: la distancia, las características del terreno, tipos de vías, tráfico, etc.

En este estudio se determinó los tiempos de evacuación de la población a través de una red vial, sin utilizar vehículos; empleando la metodología usada en el proyecto: *“Cálculo, análisis y representación de tiempos de evacuación en el valle de Los Chillos frente a una eventual erupción del Volcán Cotopaxi”* (Padilla, 2006).

3.3.1. Definición de elementos para el análisis

Se definieron tres elementos para realizar el análisis de accesibilidad, estos son: puntos de origen, puntos de llegada de la población y los valores de impedancia⁴ de la red, que dificultarían las condiciones de accesibilidad.

- **Red vial y valores de impedancia**

Para determinar los valores de impedancia de la red vial se consideraron dos variables: la pendiente del terreno y el tipo de vía. Como se plantea solo la evacuación a pie, no se realizó un análisis sobre el número de carriles, ni el sentido de las vías. Además no se tomó en cuenta los escombros y otros obstáculos, producto del sismo generador, que podrían complicar las condiciones de accesibilidad consideradas.

Para determinar el tipo de vía se emplearon los datos de la cartografía catastral del IGM para el caso de la ciudad de Salinas, y la información de las fotografías aéreas para Bahía de Caráquez. A las vías pavimentadas se les asignó una impedancia igual a uno, debido a que no representan ninguna dificultad para que la población se pueda desplazar, en cambio, se consideró un 20% de dificultad para los senderos (Tabla 3.4.)

Tabla 3.4. Impedancia de acuerdo al tipo de vía

Tipo de vía	Impedancia
Pavimentada	1
Sendero	1.2

En pendientes fuertes la gente requiere un esfuerzo mayor para movilizarse, lo que causa que los tiempos de evacuación se incrementen, por esta razón se consideró a la pendiente como un factor en el cálculo de la impedancia. Las pendientes se calcularon a partir del modelo digital del terreno, y

⁴ Valor de ponderación, que mide la resistencia al movimiento tomando en cuenta ciertas variables.

posteriormente, se realizó una reclasificación, para asignar los valores impedancia de acuerdo a la ubicación de cada vía (Tabla 3.5.)

Tabla 3.5. Impedancia de acuerdo a la pendiente del terreno

Pendiente del terreno	Impedancia
0 – 5 %	1
5 -15 %	1.1
15 – 30%	1.2
30 – 45%	1.3
>45	1.4

La impedancia total se calculó multiplicando la impedancia de acuerdo al tipo de vía por la impedancia de acuerdo a la pendiente del terreno (Ecuación 1), este valor calculado fue asignado a cada segmento de la red vial.

$$Imp_{total} = imp_{pend} * imp_{tipo} \quad (Ecuación 1)$$

▪ **Puntos de evacuación:**

Estos puntos son el origen; representan el lugar de donde la gente tiene que evacuar. Para definirlos se tomó puntos aproximadamente cada 20 metros a lo largo de las vías que pertenecen al área poblada de la zona de estudio. Estos corresponden a una distancia aproximada entre los portales de cada una de las viviendas a ser evacuadas.

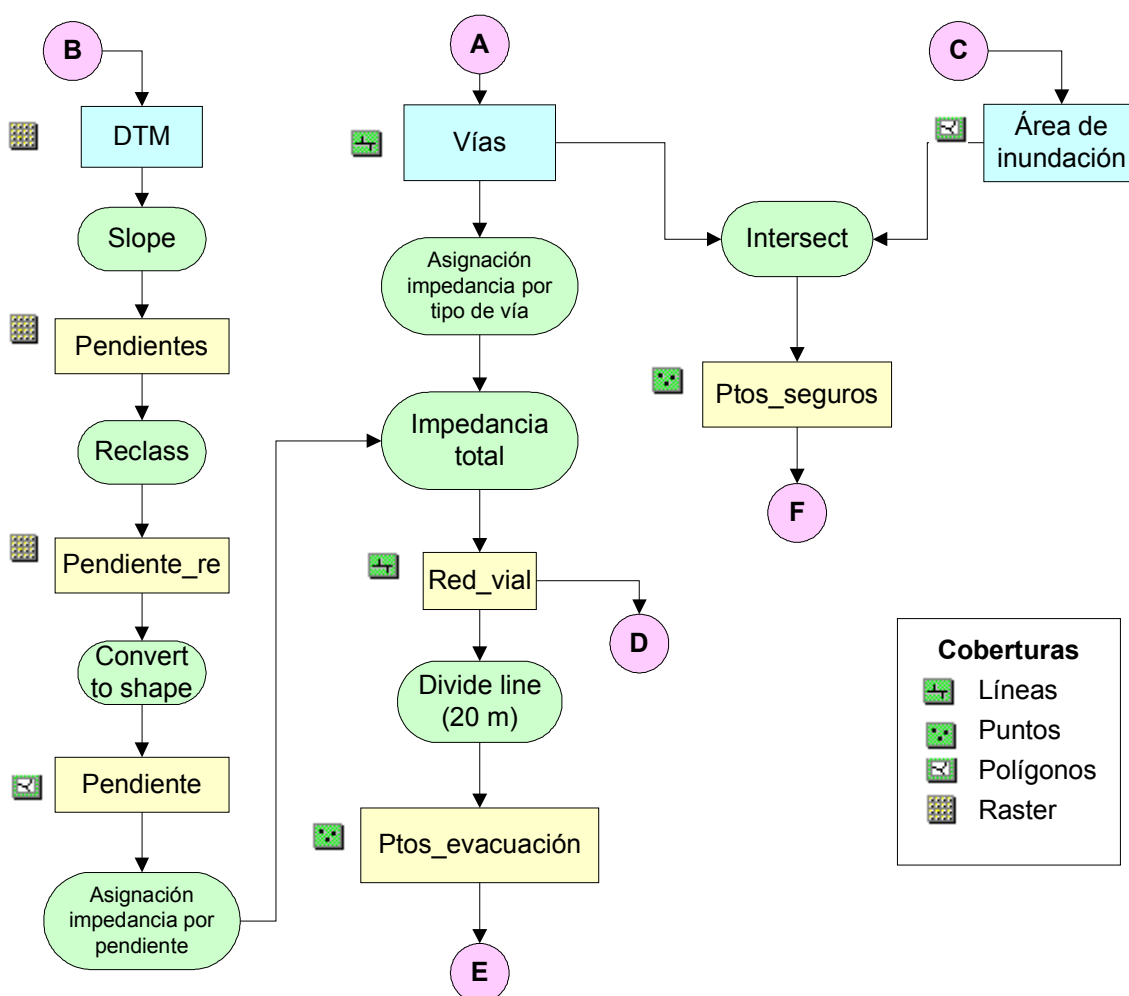
Para la ciudad de Salinas se consideraron puntos de evacuación solo en la Costa Norte, porque en la costa Sur no se encuentran viviendas. En total se trabajó con 6.165 puntos. Para la ciudad de Bahía de Caráquez se trabajó con 2.246 puntos.

▪ **Puntos de seguridad:**

Son los puntos de llegada que se encuentran sobre los ejes viales; representan las zonas a donde la gente tendrá que movilizarse para precautelar la vida. Para obtenerlos se realizó la intersección de los ejes viales y el área de inundación por tsunami correspondiente a cada ciudad.

En total se obtuvieron 175 puntos de seguridad en la ciudad de Salinas. Y 63 puntos para la ciudad de Bahía de Caráquez. El proceso seguido para obtener los puntos de seguridad y de evacuación se detalla en el siguiente modelo cartográfico:

Modelo cartográfico N 4: Definición de los elementos para el análisis de accesibilidad



3.3.2. Cálculo de tiempos de evacuación

En general, cuando se realizan planes de evacuación para emergencias se consideran cuatro clases de tiempos para el cálculo final del tiempo de evacuación: tiempo de detección, de alarma, de retardo y el tiempo propio de evacuación.

El tiempo de detección comprende desde la amenaza hasta que la persona responsable active la alarma, el de alarma corresponde al tiempo mismo del sistema de comunicación, el tiempo de retardo, es el tiempo de asimilación de la población. En el presente estudio se considera un tsunami de origen cercano, por lo que difícilmente habrá tiempo para que un sistema de alarmas, concebido con anticipación, entre en funcionamiento, por lo que estos tiempos son difíciles de determinar. En este caso el poblador debe evaluar por si mismo las posibilidades de peligro; la alarma esta dada por la intensidad del sismo, que puede generar un tsunami si presenta las siguientes características:

- Se experimenta dificultad para permanecer en pie.
- Se quiebran los vidrios de las ventanas, se caen los objetos de los armarios, los muebles se desplazan.
- Se produce el derrumbe parcial de las edificaciones de ladrillos o bloques.

Estas características corresponden a un sismo de intensidad VIII en la Escala Modificada de Mercalli y equivale a una magnitud de 7.5 en la Escala de Richter. (Espinoza, 1990).

El tiempo propio de evacuación se refiere al tiempo que empleará la población para movilizarse desde los lugares donde se encuentren hasta los sitios seguros, a través de la red vial antes analizada; estos dependen de la velocidad de desplazamiento de las personas. En evacuaciones realizadas en edificios, se estima que una persona adulta sin impedimentos físicos, tiene una velocidad de desplazamiento horizontal de un metro por segundo, que sería igual a 60 metros en 1 minuto (Pérez, A. 2005). Sin embargo, para calcular los tiempos de evacuación en el presente trabajo, se asignó una velocidad de desplazamiento de

50 metros por minuto, considerando que la población a evacuar incluye a niños y ancianos.

El tiempo de movilización de la población fue calculado en cada segmento de la red vial, empleando la siguiente fórmula.

$$tiempo = \frac{impedancia_total * longitud}{velocidad} \quad (Ecuación\ 2)$$

Impedancia total: de la ecuación 1

Longitud: de cada segmento de la red vial

Velocidad = 50 m/minuto

Para calcular los tiempos de evacuación, se enlazaron los puntos de evacuación y los de seguridad a la red vial, para que formen parte de la red como *endpoints* (puntos de la red). En los gráficos 3.15 y 3.16 se observa la red vial correspondiente a cada ciudad, donde los puntos de evacuación se encuentran en color negro y los puntos de seguridad en color rojo.

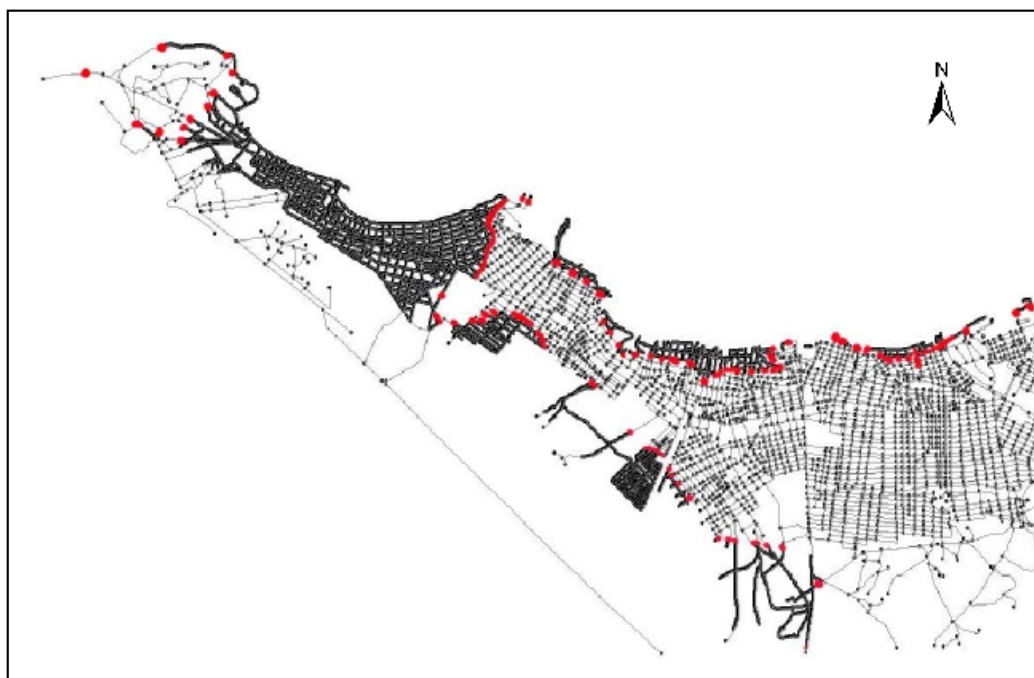


Gráfico 3.15. Red vial, puntos de evacuación y seguridad (Salinas)



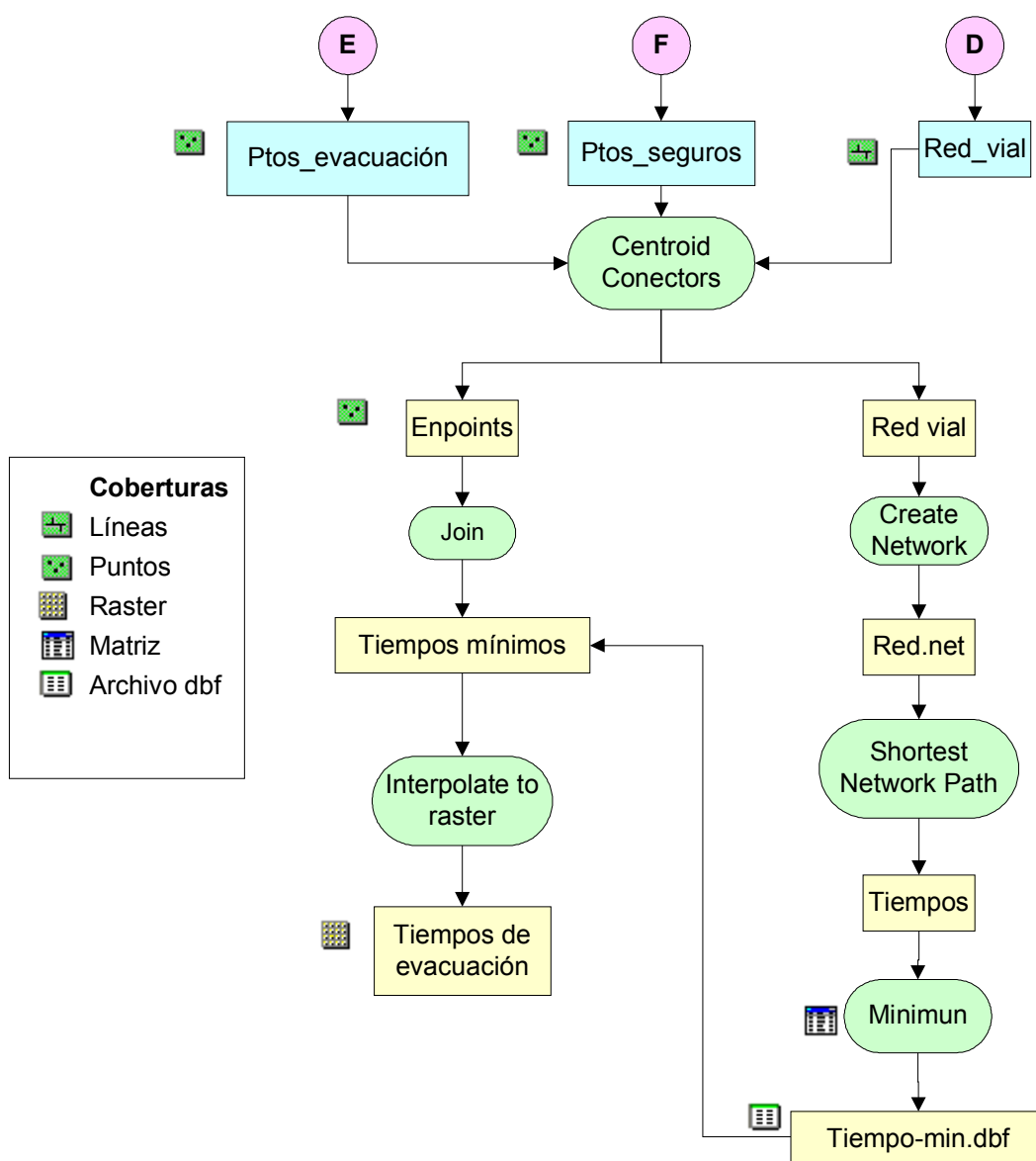
Gráfico 3.16. Red vial, puntos de evacuación y seguridad (Bahía de Caráquez)

Empleando la herramienta *shortest network path* se calcularon los tiempos de movilización desde todos los puntos de evacuación hacia todos los puntos de seguridad, obteniendo como resultado una matriz. A partir de esta, se obtuvieron los valores mínimos, que representan los tiempos desde cada punto de evacuación hacia su punto de seguridad más cercano.

El valor del tiempo mínimo fue enlazado a su correspondiente punto en la red, para interpolar los tiempos de evacuación en toda el área de inundación, mediante el método de interpolación Inverso de la Distancia (IDW).

El proceso que se siguió para el cálculo de tiempos de evacuación antes descrito se encuentra en el modelo cartográfico número 5.

Modelo cartográfico N ° 5: Cálculo de tiempos de evacuación



3.3.3. Determinación del área crítica

Para calcular el área crítica se realizó la diferencia entre los tiempos de llegada de la primera ola del tsunami y los tiempos de evacuación; el resultado obtenido de este cálculo fue reclasificado, para obtener el área con valores negativos, que representa el área donde la gente no tendrá el tiempo suficiente para realizar una evacuación a pie.

3.3.4. Determinación de la accesibilidad general de la zona

La accesibilidad general determina el tiempo promedio de movilización desde un punto cualquiera hacia toda la zona de estudio. Para calcularla, se utilizó la herramienta *shortest network path*, siguiendo el mismo procedimiento que se empleó en el cálculo de tiempos de evacuación, pero en este caso, se calcularon los tiempos de movilización desde todos los puntos hacia todos los puntos de la red y luego se calculó el tiempo promedio.

Con el tiempo promedio calculado en cada punto de la red, se realizó una interpolación en toda el área de estudio, este resultado fue normalizado (Ecuación 3), para obtener valores entre 0 y 1, que posteriormente permitirán la representación gráfica de la accesibilidad.

$$acce_normal = 1 - \left(\frac{acce.total - valor.mínimo}{valor.máximo - valor.mínimo} \right) \quad (Ecuación\ 3)$$

Donde:

Acce.total = es el raster de los tiempos promedios de movilización.

Valor.mínimo = es el valor mínimo de *acce.total*

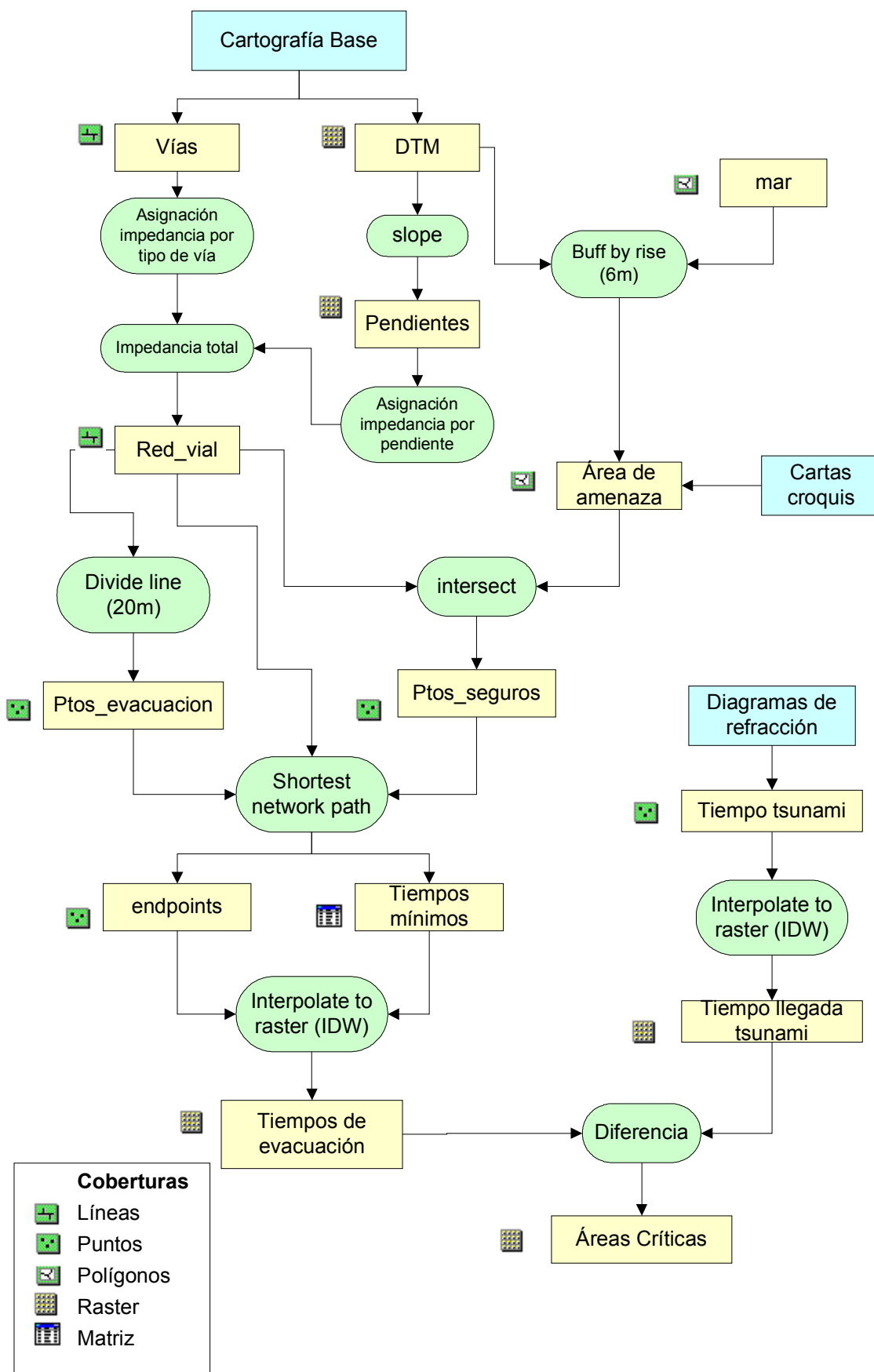
Valor.máximo = es el valor máximo de *acce.total*

Los valores normalizados representan el porcentaje de accesibilidad, donde las zonas con porcentajes cercanos al 100% (valor 1 de la normalización) tendrán una mejor accesibilidad, lo que significa, que tienen facilidad de movilización hacia todos los puntos de la red.

3.3.5. Generación de la representación tridimensional del evento

Finalmente con toda la información generada, se realizó una representación tridimensional con todos los elementos involucrados al producirse un tsunami, para facilitar la comprensión de los resultados obtenidos. Para realizar esta vista se empleó el software Arc Scene. El resumen de toda la metodología seguida se presenta a continuación en el modelo cartográfico número 6.

Modelo cartográfico N° 6: Resumen de la metodología empleada en el proyecto



CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1. RESULTADOS OBTENIDOS EN SALINAS Y LA LIBERTAD

Salinas podría sufrir graves daños ante la eventual ocurrencia de un tsunami, debido a que la ciudad se encuentra prácticamente al nivel del mar, entre 1 a 6 metros, (Fotografía 4.1), a excepción de la “Loma del Faro” que alcanza los 80 m.s.n.m, ubicada en la zona militar, y porque el oleaje avanzaría desde los dos frentes costeros: Bahía de Santa Elena (costa Norte) y Mar Bravo (costa Sur).



Fotografía 4.1. Vista Panorámica de Salinas (Desde la Loma del Faro)

El área de potencial inundación afecta a casi toda la ciudad, en especial a la infraestructura hotelera y comercial, además de la zona militar. Las zonas de seguridad deberían ser: la “Loma del Faro” y “Petrópolis” (ubicada entre Salinas y Santa Rosa), pero éstas están restringidas para la población, ya sea por encontrarse dentro de un recinto militar, por ser privadas o por estar demasiado lejanas con respecto al centro de la ciudad, (a distancias de hasta 2,5 kilómetros), lo que dificultaría la evacuación a pie y el acceso a las mismas. (Mapa de amenazas por tsunami de Salinas y La Libertad, en anexo B2)

En La Libertad, donde existe morfología colinada, el área de inundación máxima podría alcanzar una distancia de hasta 300 metros desde la línea de costa (Mapa de amenazas por tsunami de Salinas y La Libertad, en anexo B2), debido a que a partir del malecón de la ciudad se inicia el sector colinado que se encuentra a una altura superior a los 10 metros, que, por esta razón, se le considera como zona de seguridad; la eventual inundación afectaría principalmente a la infraestructura ubicada en el malecón (Fotografía 4.2).



Fotografía 4.2. Malecón de La Libertad

4.1.1 Accesibilidad general

La accesibilidad¹ fue representada en porcentaje, donde las áreas con valores cercanos al 100% tienen una buena accesibilidad, lo que indica que existen menores tiempos de movilización desde esas áreas hacia toda la zona de estudio. Si una zona tiene un porcentaje de accesibilidad alto, implica que la población tendrá mejores condiciones para movilizarse en caso de una evacuación.

Para analizar los resultados obtenidos, se dividió el área de estudio en varias zonas (Gráfico 4.1). En el anexo B3 se muestra el mapa de accesibilidad ampliado.

¹ Facilidad para trasladarse de un lugar a otro por medio de una red de comunicación, considerando factores como: la distancia, las características del terreno, tipos de vías, tráfico, etc

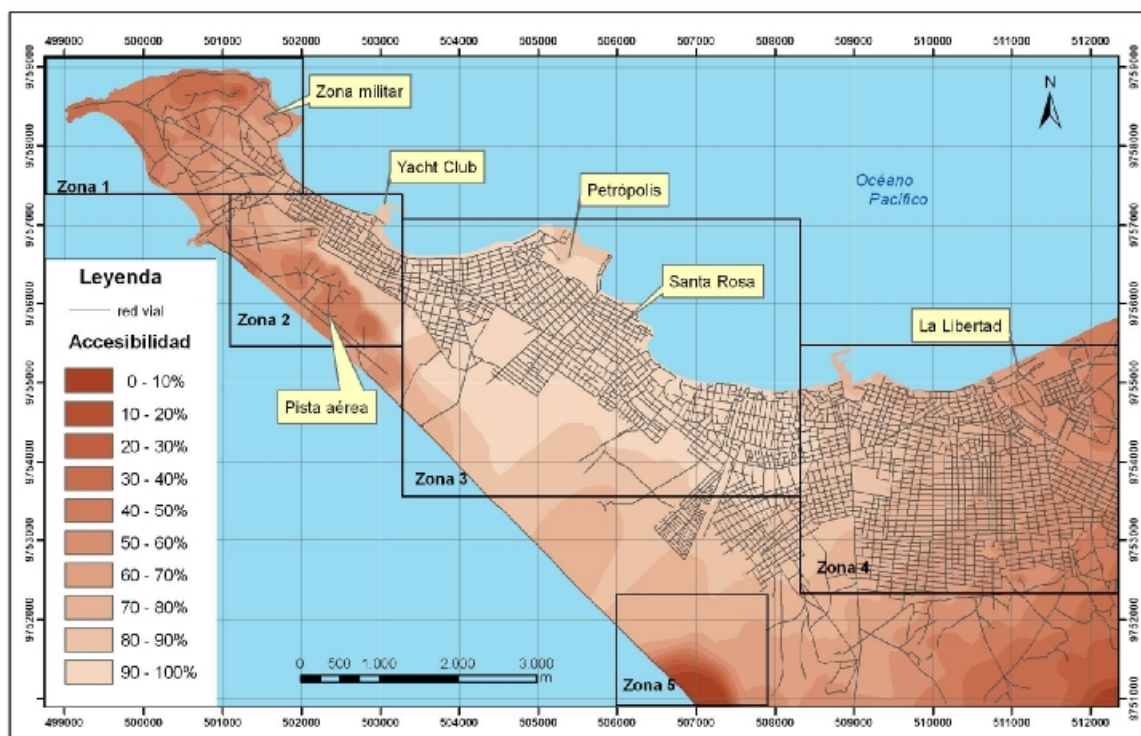


Gráfico 4.1. Accesibilidad en Salinas y La Libertad

Zona 1: Corresponde a la Puntilla de Santa Elena (Sector la Chocolatera), donde se encuentran los destacamentos militares. Se obtuvieron porcentajes de accesibilidad entre el 30% y el 60%, los valores bajos se deben a que la zona está ubicada en el extremo Oeste, alejada de la mayor parte del área de estudio.

Zona 2: En el sector de la Pista aérea de la FAE, los porcentajes se encuentran comprendidos en un intervalo entre el 30% al 50%, este sitio tiene solo una vía de conexión con toda la red, lo que dificulta la movilización hacia todos los puntos. En la parte norte de esta zona, en el sector del Yacht Club, la densidad de la red vial aumenta, esto provoca que los valores de accesibilidad se incrementen hasta el 80%.

Zona 3: Corresponde al sector de Petrópolis y la parroquia Santa Rosa, esta zona presenta la mejor accesibilidad, con porcentajes del 90% al 100%, debido a que se encuentran en el centro del área de estudio y tiene una alta densidad vial, lo que facilita la movilización hacia todos los puntos.

Zona 4: A esta zona pertenece La Libertad, los valores de accesibilidad disminuyen conforme se alejan del centro de la zona de estudio, desde el 80% al 30%.

Zona 5: Esta área tiene la accesibilidad más baja, debido a que esta unida por una sola vía a toda la red, además se encuentra sumamente alejada del área poblada de Salinas, por lo que los tiempos de movilización hacia cualquier punto son elevados.

4.1.2. Tiempos de evacuación

El tiempo de evacuación representa el tiempo de movilización a pie de la población, desde un punto de la ciudad hacia su correspondiente punto de seguridad más cercano, a través de la red vial existente; sin tomar en cuenta escombros u otros obstáculos que podría causar el sismo generador del tsunami, dificultando las condiciones de movilización.

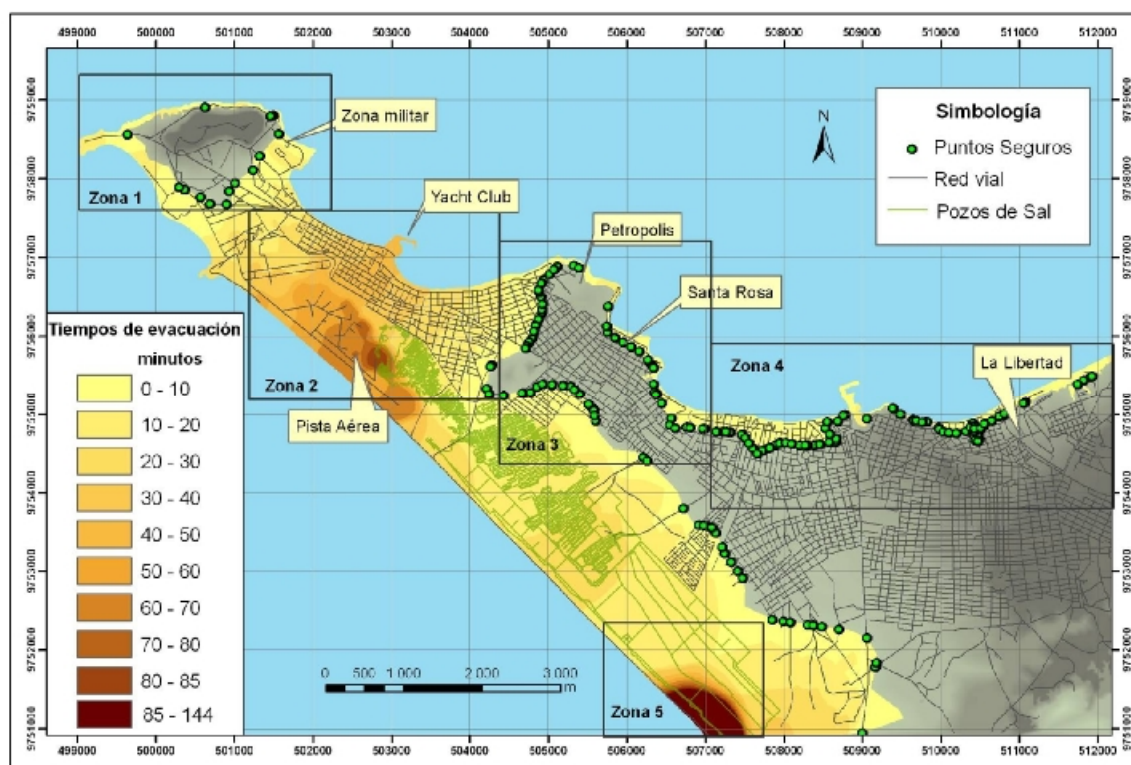


Gráfico 4.2. Tiempos de evacuación calculados para la ciudad de Salinas y La Libertad

El resultado de los tiempos de evacuación fue clasificado en intervalos de 10 minutos, y para facilitar su análisis se dividió el área de estudio en varias zonas, según los tiempos obtenidos (Gráfico 4.2). El mapa de tiempos de evacuación ampliado se encuentra en el anexo B4.

Zona 1: En el extremo Oeste de la zona militar, se obtuvieron tiempos de evacuación menores a 10 minutos. La población de esta zona podría evacuar hacia la “Loma del Faro” (Fotografía 4.3)



Fotografía 4.3. Loma del faro

Zona 2: En los alrededores de la pista aérea los tiempos varían entre 50 y 85 minutos (Gráfico 4.3.), los valores son altos debido a que existe un sola vía de evacuación; pero como este sitio no es poblado, no existiría riesgo.

En la zona turística y comercial se obtuvieron tiempos comprendidos en un intervalo de 10 a 50 minutos (Gráfico 4.3.). Los valores máximos (40 a 50 minutos), se obtuvieron en las cercanías del Yacht Club y el Municipio, debido a que esta área se encuentra en la parte central de la ciudad, alejada de los sitios de seguridad. Los tiempo disminuyen conforme se avanza hacia al Este, llegando a 20 minutos en el sector del Hotel Miramar. (Fotografía 4.4).

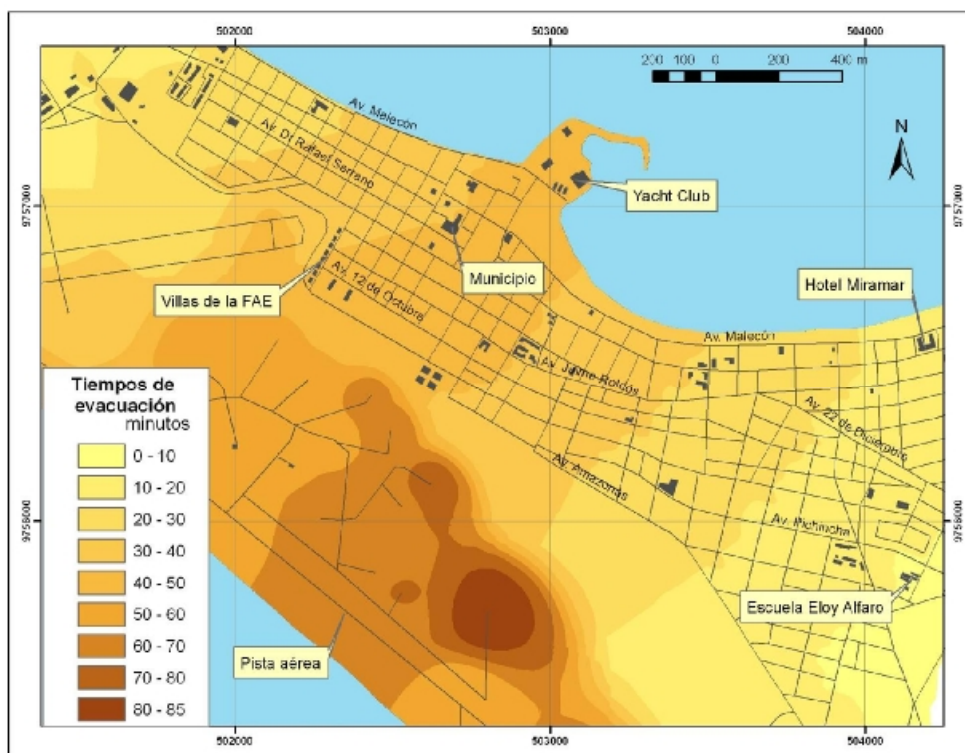


Gráfico 4.3. Tiempos de evacuación calculados en la zona turística de Salinas



Fotografía 4.4. Malecón de Salinas (Hotel Miramar)

Zona 3: En el sector de Petrópolis y la parroquia Santa Rosa (Fotografía 4.5), los tiempos de evacuación son menores a 10 minutos, ya que este sitio se encuentra cerca de la zona de seguridad.



Fotografía 4.5. Malecón de Santa Rosa

Zona 4: En La Libertad se obtuvieron tiempos de evacuación menores a 10 minutos; los valores son bajos debido a que las zonas de seguridad se encuentran a distancias entre 100 y 300 metros del malecón, lo que permite que la población pueda llegar rápidamente a los lugares considerados seguros.

Zona 5: Se encuentra ubicada aproximadamente a 6Km hacia al Suroeste del área urbana de Salinas. Aquí se obtuvo el mayor tiempo de evacuación (144 minutos), pero como allí existen pozos de sal y ninguna población permanente, el riesgo para las personas se considera mínimo.

Dentro del área de amenaza por tsunami se escogieron ciertos establecimientos importantes, como centros educativos, iglesias, hoteles e instituciones públicas, como puntos de partida referencial, para mostrar los tiempos de evacuación obtenidos, como se puede observar en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Tiempos de evacuación de establecimientos importantes en Salinas

Establecimiento	Tiempo de evacuación (minutos)
Escuela Badalito	7.24
U.E. Eugenio Espejo	17.81
Villas de la FAE	38.63
Iglesia de La Merced	40.19
Municipio de Salinas	40.79
Cruz Roja	42.33
Yacht Club	46.08
Club de Leones	42.84
Colegio Sagrados Corazones	40.84
Emetel	37.53
Cuerpo de Bomberos	28.07
Sociedad de artesanos	24.99
Hotel Miramar	15.86
Iglesia San Judas Tadeo	15.51
Unidad Educativa Digno Nuñez	14.56
Escuela Eloy Alfaro	9.06
Colegio Fernando Dobronsky	7.59
Iglesia el Calvario de las Tres Cruces	2.89
Complejo Deportivo San Lorenzo	4.16
Club San Lorenzo	0.45
Escuela Santa Rosa	1.63
Capilla San Pedro	10.15
Escuela Frank Vargas	11.39
Hotel las Conchas	3.39
Fábrica Corona	6.28
Teatro de Convenciones de la UTE	0.45
Filanbanco	1.68
Consejo Cantonal La Libertad	0.34
Escuela Francisco Valdivia	0.43

Los tiempos de evacuación representan los tiempos mínimos de movilización hacia los puntos de seguridad; es decir, los que se obtendrían al seguir las rutas más cortas. En los gráficos 4.4 y 4.5 se observan algunos ejemplos de estas rutas

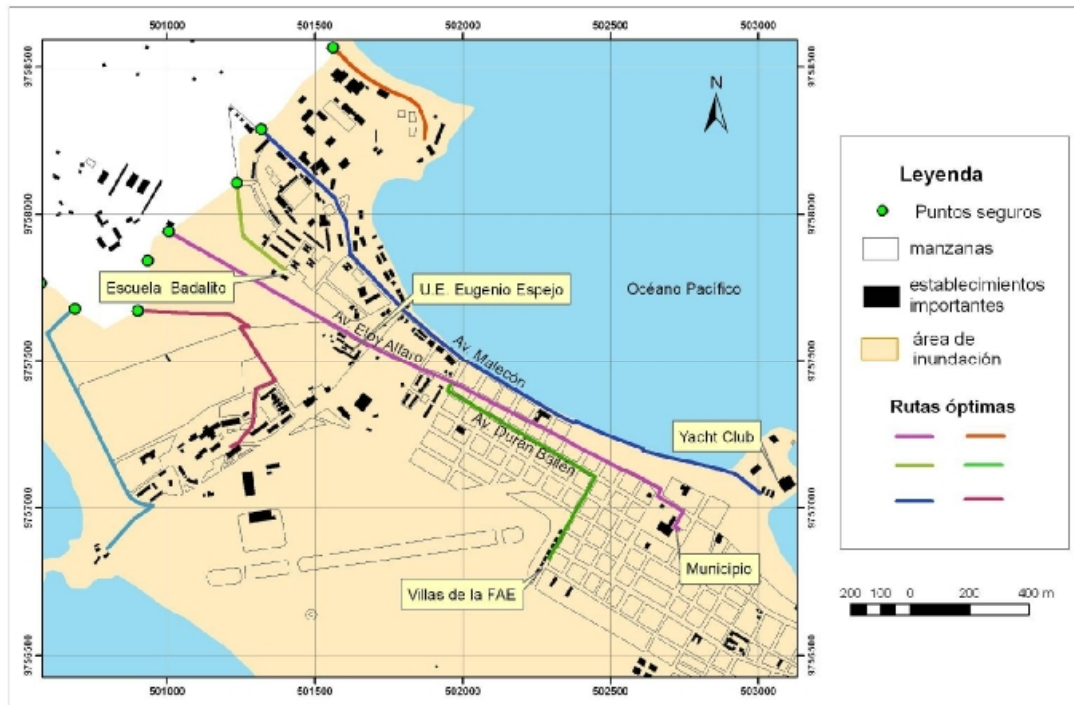


Gráfico 4.4. Rutas de evacuación calculadas en el sector Oeste de Salinas

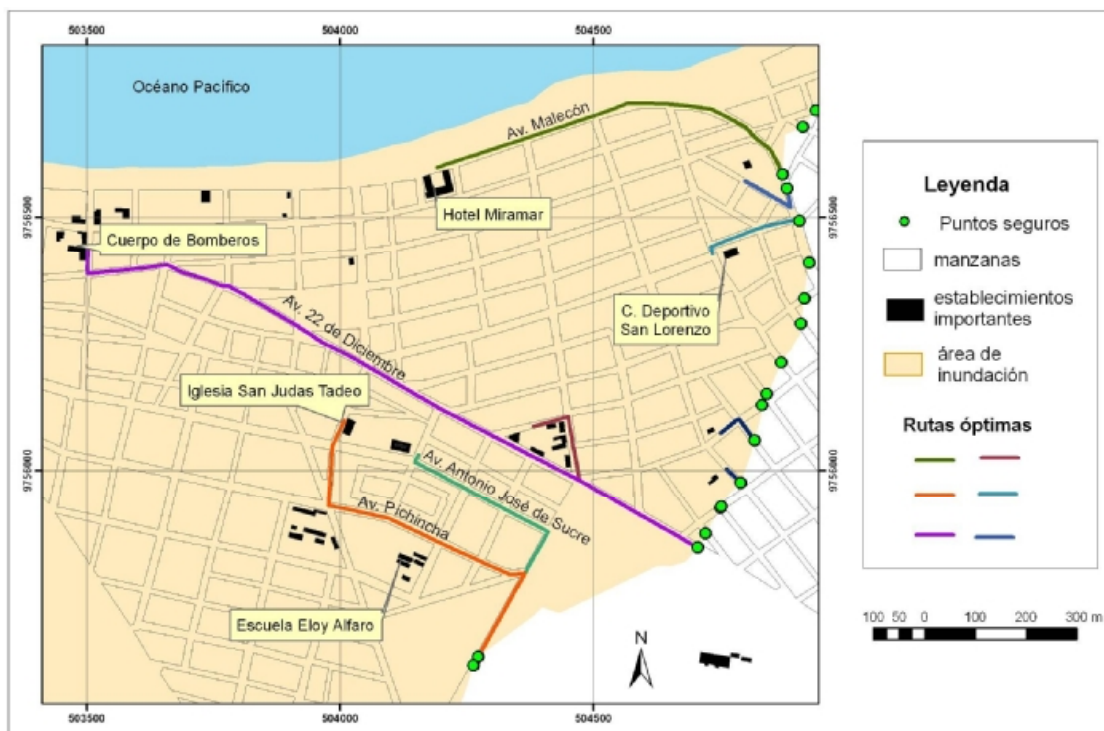


Gráfico 4.5. Rutas de evacuación calculadas en el sector Este de Salinas

4.1.3. Áreas de evacuación y área crítica

Se compararon los tiempos de llegada de la primera ola del tsunami con los tiempos de evacuación, posteriormente este resultado fue reclasificado en tres áreas, para facilitar la representación gráfica, estas son:

Área crítica: Donde las diferencias de tiempo son negativas, es decir, que los tiempos de evacuación son mayores que los tiempos de llegada del tsunami. En esta área no sería posible la evacuación a pie.

Área de evacuación inmediata: Las diferencias de tiempo en esta área se encuentran entre 0 y 10 minutos; por lo que la evacuación sería posible, siempre y cuando, la población actúe de forma inmediata.

Área de evacuación segura: Las diferencias de tiempo obtenidas en esta área son mayores a 10 minutos, por lo que sería posible la evacuación a pie con un límite de tiempo más amplio, que daría un margen de seguridad mayor a la población.

Se realizó el procedimiento descrito anteriormente, para cada escenario de tiempo de llegada de la primera ola del tsunami, descrito en el capítulo tres. En Salinas, debido a su morfología y al corto tiempo de llegada de la primera ola en cualquiera de los dos escenarios planteados, el área crítica involucra casi toda la zona turística y comercial de la ciudad. A continuación se describe los resultados obtenidos.

- **Primer escenario**

En el gráfico 4.6 se observa el área crítica obtenida en el sector turístico de Salinas, considerando la peor de las circunstancias, en donde la primera ola del tsunami llegaría en 4 minutos a la puntilla de Santa Elena y a la zona turística de la ciudad en un intervalo comprendido entre 8 a 12 minutos. En el anexo B5 se muestra el resultado obtenido en toda el área de estudio.

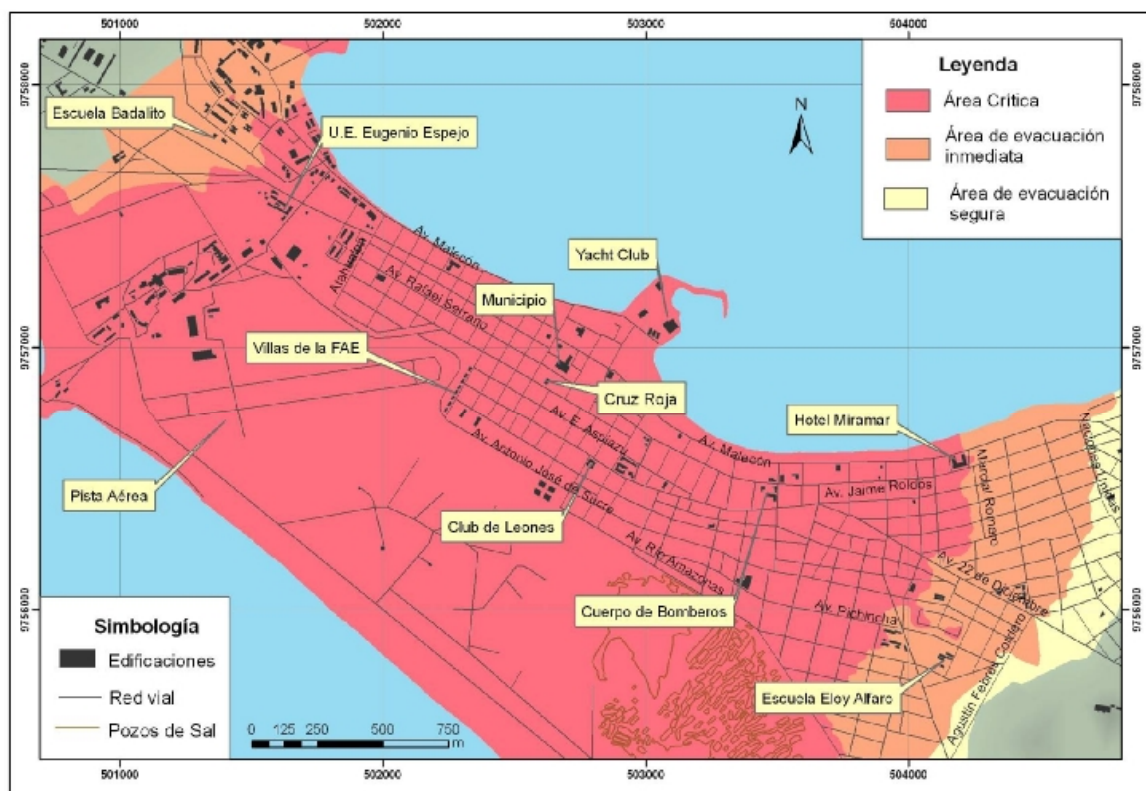


Gráfico 4.6. Área crítica en el sector turístico de Salinas (Primer escenario)

▪ **Área crítica (primer escenario):**

El área crítica empieza al Oeste, en el sector de la Unidad Educativa Eugenio Espejo, hasta los alrededores del Hotel Miramar, al Este; además cubre gran parte de la Costa Sur. Dentro de esta área se encuentra la infraestructura hotelera, gran parte de los edificios de departamentos y establecimientos importantes, como: el Municipio, el Yacht Club, la Iglesia de la Merced, las Villas de la FAE, el EMETEL, el Cuerpo de Bomberos, el Club de Leones, la Cruz Roja, el Colegio Sagrados Corazones, el Hotel Miramar, entre otros.

El sector más crítico corresponde a las cercanías del Yacht Club (Fotografía 4.6), y el Municipio, debido a que se ubica en el centro de la ciudad y los puntos de seguridad se encuentran a 2 kilómetros de distancia aproximadamente.



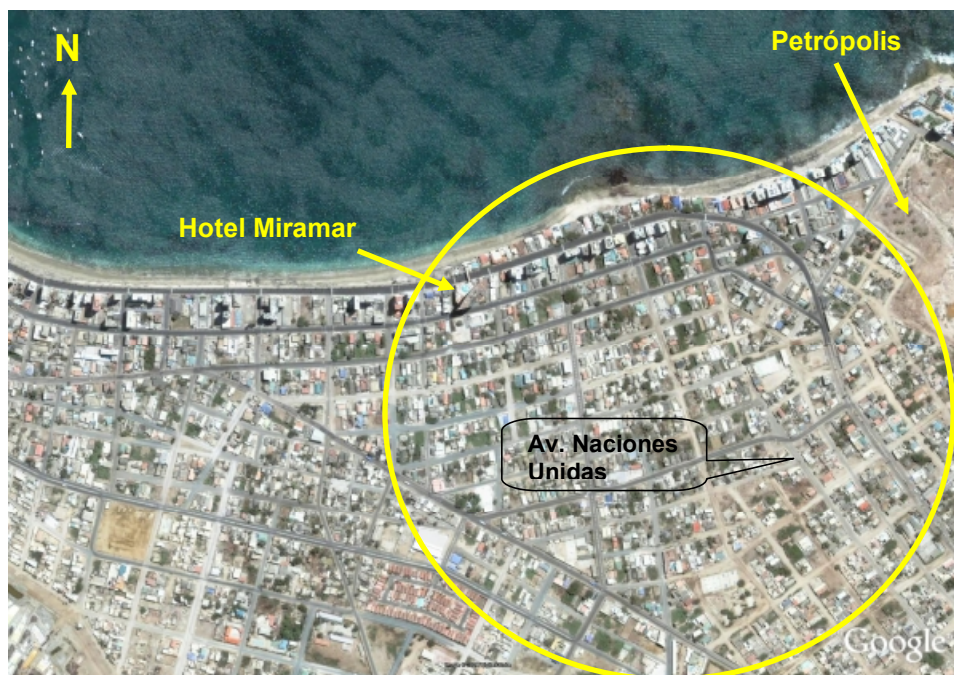
Fuente: Google Earth, 2006

Fotografía 4.6. Malecón de Salinas (Yacht Club)

▪ **Área de evacuación inmediata (primer escenario):**

Se ubica al Oeste de la Unidad Educativa Eugenio Espejo, hasta llegar al sector de La Chocolatera. Aquí se encuentran las bases militares (Ejército, Marina y Aviación) y la Escuela Badalito, (Gráfico 4.6); el oleaje llegaría a estos sitios entre 6 a 8 minutos, por lo que la evacuación debería iniciarse inmediatamente después de ocurrido el sismo.

En el extremo oriental de la ciudad, (Fotografía 4.7), el área empieza desde el Hotel Miramar hacia el Este hasta aproximadamente la calle Naciones Unidas y más al Sur hasta la calle Agustín Febres Cordero. En este sitio se encuentran: la Escuela Eloy Alfaro, la Unidad Educativa Digno Nuñez, la Escuela Frank Vargas y la Capilla San Pedro. En caso de ocurrencia de un tsunami, las personas podrían evacuar hacia la zona de seguridad (Petrópolis), en un tiempo entre 14 y 16 minutos.



Fuente: Google Earth, 2006

Fotografía 4.7. Sector Oriental de Salinas

▪ **Área de evacuación segura (primer escenario):**

Esta situada al Oeste de la calle Naciones Unidas en el sector de la Punta San Lorenzo, los establecimientos importantes ubicados dentro de esta área son: la iglesia El Calvario de las Siete Cruces, el Club Deportivo San Lorenzo, la Iglesia Pentecostal, entre otros, (Gráfico 4.7). La población que se encuentre en esta zona podría evacuar a pie hacia el sector de Petrópolis, considerando que las distancias hacia los sitios de seguridad son de 100 metros aproximadamente y que el tiempo de llegada del tsunami desde que se produce el sismo está entre los 16 y 20 minutos.

Santa Rosa y La Libertad pertenecen a esta zona, la población ubicada en estas áreas podría evacuar a pie hacia las zonas colinadas, que se encuentra a distancias entre los 100 y 300 metros de la línea de costa por lo que son accesibles para la población. Sin embargo, se debería considerar a la zona del malecón, como una zona de riesgo, por la baja altura a la que se encuentra.

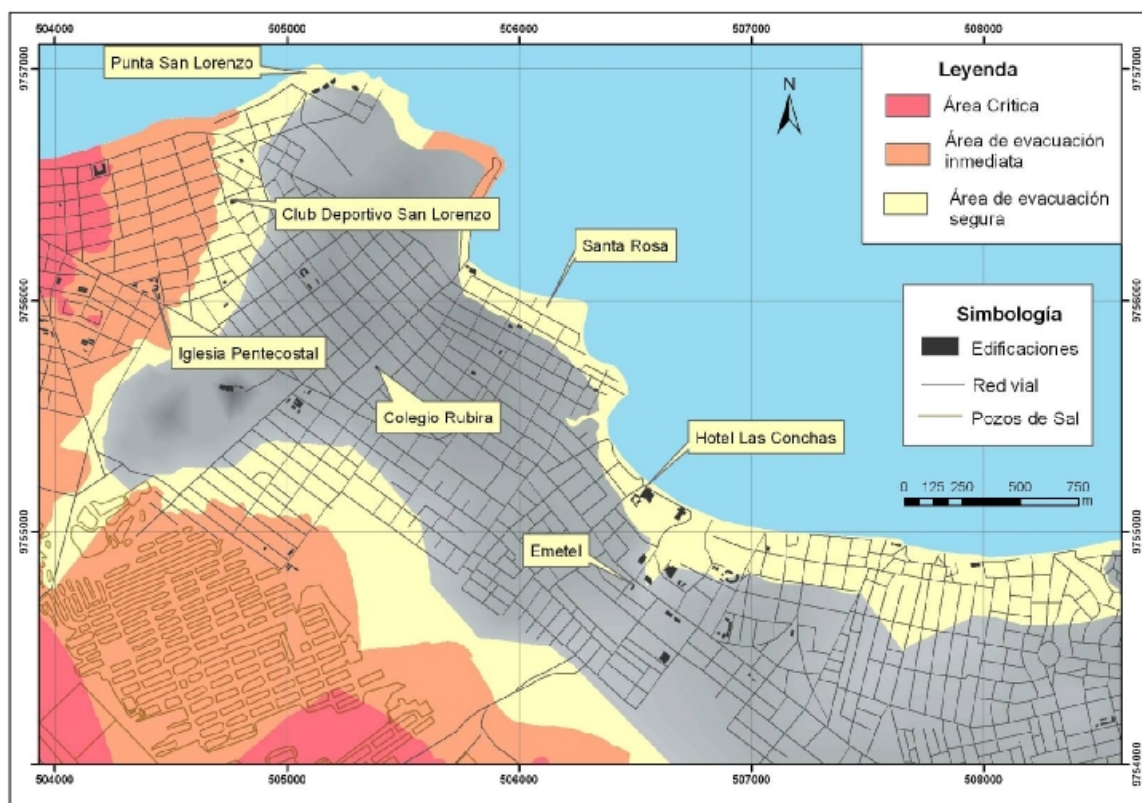


Gráfico 4.7. Área de evacuación segura de Salinas (Primer escenario)

▪ **Segundo escenario:**

En el gráfico 4.8 se observa las áreas obtenidas en el sector turístico de la ciudad, si se considera el segundo escenario, donde la primera ola llegaría a la Puntilla de Santa Elena en aproximadamente 16 minutos, a Salinas en un intervalo comprendido entre 20 y 24 minutos y a La Libertad entre los 32 a 36 minutos. En el anexo B6 se muestra el resultado obtenido para toda la zona de estudio.

▪ **Área crítica (segundo escenario):**

Se ubica al Oeste desde la calle Atahualpa hasta la calle José Alberto Estrella (sector del Cuerpo de Bomberos), al Este. Igual que en el primer escenario dentro de esta área se encuentra la infraestructura hotelera y gran parte de los edificios de departamentos ubicados en Salinas (Gráfico 4.8).

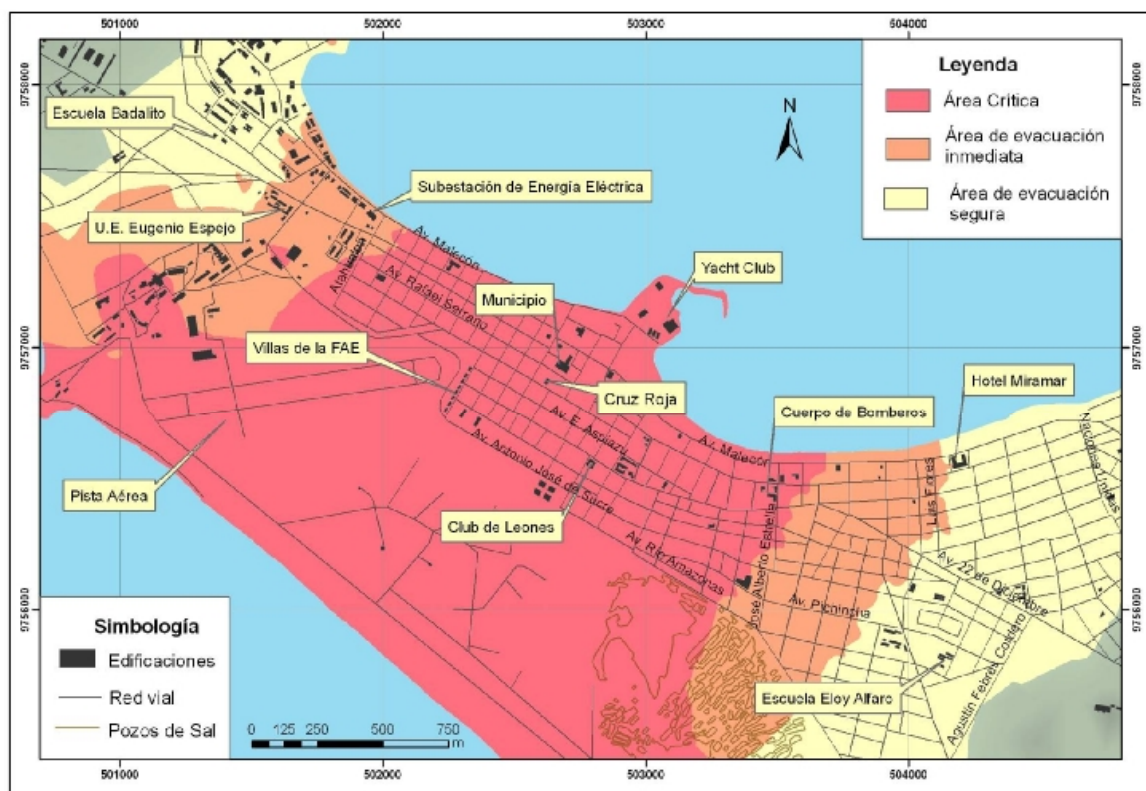


Gráfico 4.8. Área crítica y áreas de evacuación en el área turística de Salinas (Segundo escenario)

- **Área de evacuación inmediata (segundo escenario):**

Empieza desde la calle Atahualpa hasta 400 metros hacia el Oeste. Los sitios importantes que se ubican en esta área son: la Unidad Educativa Eugenio Espejo y la Subestación de Energía Eléctrica. En el extremo Este, el área empieza desde la calle José Alberto Estrella (sector del Cuerpo de Bomberos) hasta el Hotel Miramar (Gráfico 4.8). Entre los sitios importantes que se encuentran en esta área esta la Sociedad de Artesanos.

- **Área de evacuación segura (segundo escenario):**

Se ubica al Oeste de la Unidad Educativa Eugenio Espejo hasta la Puntilla de Santa Elena. En el otro extremo de la ciudad se ubica el Oeste del Hotel Miramar. Como en el primer escenario La Libertad es parte de esta área, donde la evacuación a pie es posible.

4.1.4. Posibles alternativas de evacuación

- La “Loma del faro” es la primera zona de seguridad, que serviría para la evacuación del personal militar, siempre y cuando el acceso se lo haga en vehículos motorizados, debido a la altura y lo escarpado de sus bordes que la hace inaccesible para una evacuación a pie, además del corto tiempo de llegada de la primera ola a este sitio.
- La segunda zona de seguridad es “Petrópolis”, ubicado entre Salinas y Santa Rosa. A este sitio podría evacuar la población de los barrios ubicados en los alrededores del Hotel Barceló Miramar y de la Punta San Lorenzo
- La única alternativa de supervivencia para la población ubicada en la zona crítica es la evacuación vertical en los edificios considerados sismo-resistentes, es decir en aquellos en los que se tenga la seguridad de que no sufrirán daños estructurales por efecto del sismo generador o por el efecto hidráulico del oleaje, o disponer de vehículos para transporte masivo de personas, que puedan evacuar la zona hacia el sector del “Colegio Rubira”, entre Salinas y La Libertad.
- La población ubicada en La Libertad podría realizar una evacuación a pie hacia el sector colinado que se encuentra a distancias entre los 100 y 300 metros del malecón.

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN BAHÍA DE CARÁQUEZ

La característica de Bahía de Caráquez es la de poseer una morfología sinuosa, con colinas de alturas medianas a altas y también zonas planas, casi al nivel del mar, que corresponden a terrazas del río Chone y a depósitos de acumulación de arena de origen fluvio-marino (flecha litoral).

En caso de producirse un tsunami, las zonas bajas y planas podrían sufrir graves daños, ya que el oleaje prácticamente pasaría de un lado a otro sobre la flecha litoral, ocupada actualmente por una moderna e importante infraestructura física, (Fotografía 4.8), donde se concentra el potencial turístico de la ciudad.



Fotografía 4.8. Bahía de Caráquez (vista desde el Mirador de La Cruz)

Hacia el Sur de la ciudad el área de inundación es menor, debido a que la línea de costa se encuentra muy cerca de la zona colinada. Avanzando más hacia el Sur, en el sector de Leonidas Plaza el área de inundación cubriría una extensión de terreno considerable, por la baja altura a la que se encuentra este sitio. (Mapa de amenazas por tsunami de Bahía de Caráquez, en anexo C2).

Las zonas de seguridad, corresponden al pie de las colinas y las colinas mismas. Estos sitios son de relativa seguridad para la población, debido a que es una zona

propensa a deslizamientos, en especial en época lluviosa y bajo sollicitaciones sísmicas (Fotografía 4.9). Los accesos hacia estos sitios no son fáciles debido a la pendiente del terreno, a sus laderas inestables y a la cobertura vegetal; sin embargo de lo anterior, se ha considerado como seguro al sector colinado, porque se encuentra alejado de la playa y del río Chone.



Fotografía 4.9. Zona propensa a deslizamientos

4.2.1. Accesibilidad General

Para analizar la accesibilidad de Bahía de Caráquez se siguió el mismo procedimiento que en la ciudad de Salinas. Los resultados se presentan a continuación (Gráfico 4.9) y en el anexo C3 se muestra el mapa de accesibilidad ampliado.

Zona 1: Corresponde al área comercial y turística de Bahía de Caráquez. En el extremo norte de la ciudad se obtuvo porcentajes de accesibilidad entre el 30% y el 40%, estos valores son bajos debido a que este sector se encuentra alejado de la mayor parte del área de estudio. Conforme se avanza hacia el sureste los porcentajes de accesibilidad se incrementan hasta el 60%.

Zona 2: Está ubicada al Suroeste del área comercial de Bahía de Caráquez, posee una sola vía de conexión con toda la red, por lo que presenta la

accesibilidad más baja de toda el área de estudio, con porcentajes del 10% al 20%.

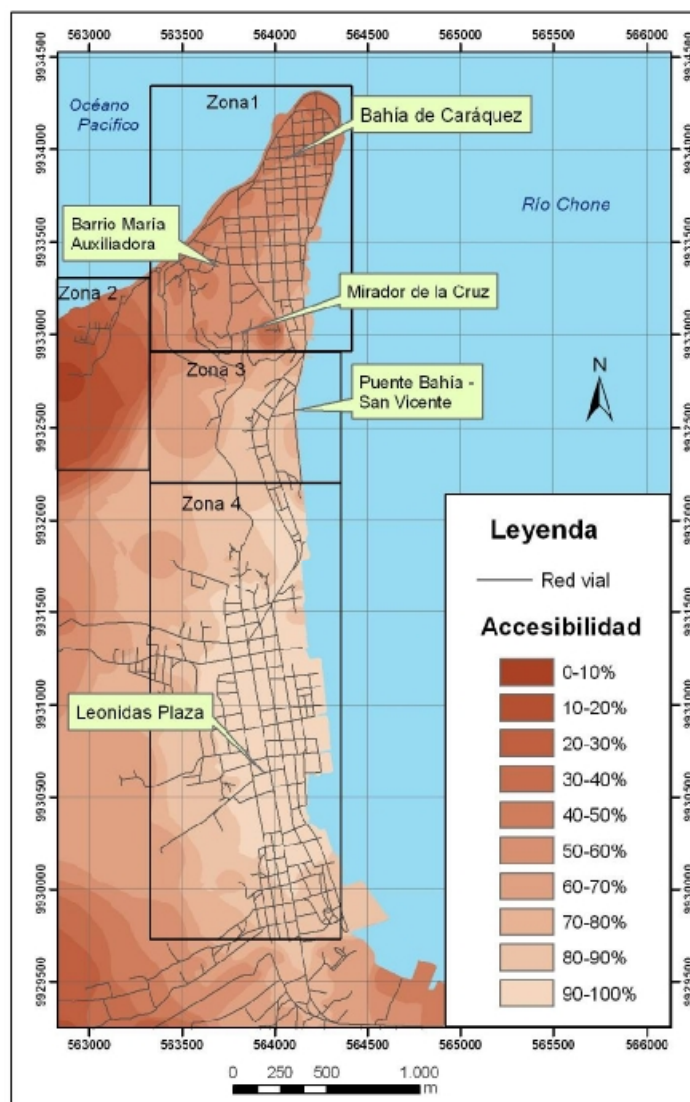


Gráfico 4.9. Accesibilidad de Bahía de Caráquez

Zona 3: En esta zona actualmente se está construyendo el puente que unirá Bahía con San Vicente. Está ubicada en el centro del área de estudio, lo que facilita la movilización hacia todos los puntos, esto se ve reflejado en los altos porcentajes de accesibilidad obtenidos, entre el 60% y el 90%.

Zona 4: Corresponde al sector de Leonidas Plaza. Es el área con mejor accesibilidad, con porcentajes del 90% al 100%. Su ubicación central y su alta densidad vial facilitan la movilización hacia todos los puntos de la red. Los

porcentajes se reducen conforme se avanza hacia el Oeste de esta zona, debido a que la densidad vial disminuye.

4.2.2. Tiempos de evacuación

Para analizar los tiempos de evacuación se dividió al área en varias zonas, (Gráfico 4.10). En el anexo C4 se muestra el mapa de tiempos de evacuación.

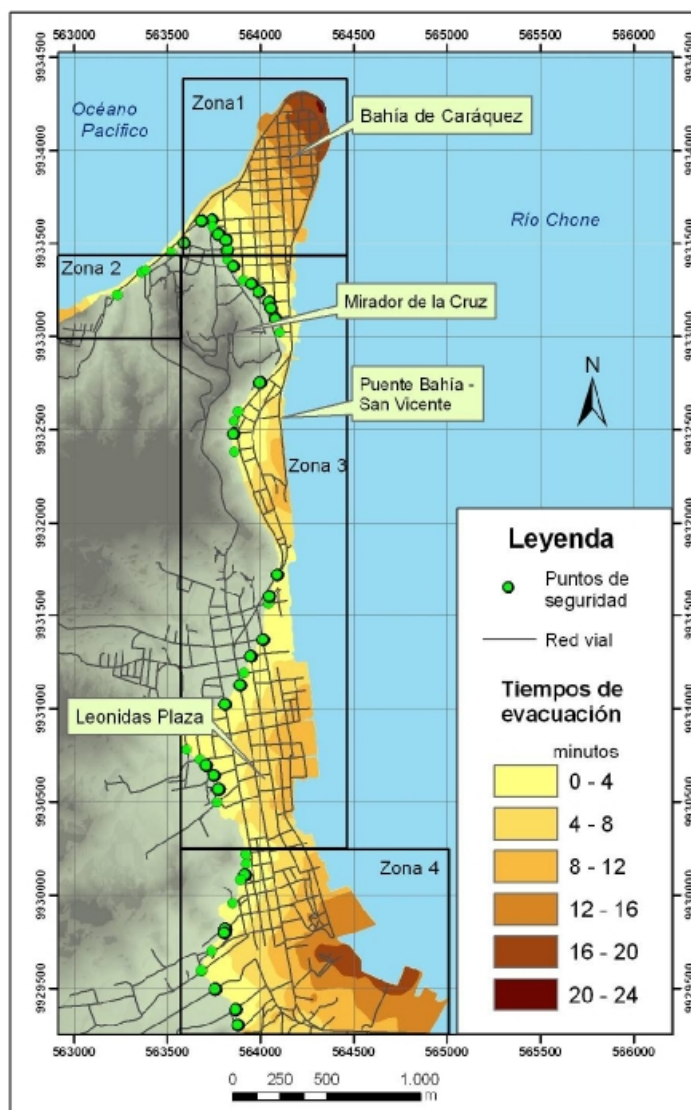


Gráfico 4.10. Tiempos de evacuación calculados en Bahía de Caráquez

Zona 1: El mayor tiempo de evacuación (24 minutos) se obtuvo en el extremo Norte de la ciudad, en las cercanías del malecón Virgilio Ratti, debido a que este sector se encuentra a 900 metros de las zonas de seguridad. Los tiempos disminuyen a medida que se avanza hacia el Sur, hasta las colinas (Gráfico 4.11).

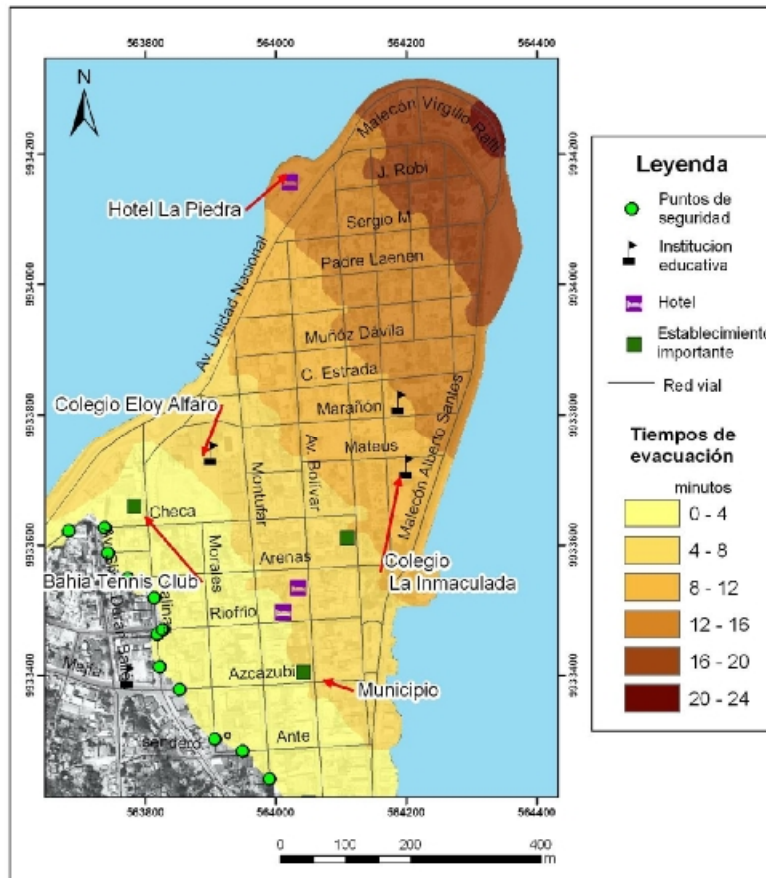


Gráfico 4.11. Tiempos de evacuación en la zona turística y comercial de Bahía

Zona 2: Está ubicada al Suroeste del área comercial, la zona poblada se asienta en una altura mayor a 20 metros, (Fotografía 4.10), por lo que la población no debe evacuar.



Fotografía 4.10. Zona Suroeste de Bahía de Caráquez

Zona 3: Corresponde al sector Sur de Bahía de Caráquez, (donde actualmente se está construyendo el puente que unirá Bahía con San Vicente) y la parte Norte de Leonidas Plaza. En estos sitios las colinas se encuentran muy cerca de la línea de costa (Fotografía 4.11), por lo que la población tendría que recorrer máximo una distancia de 250 metros hasta llegar a las zonas de seguridad. Los tiempos de evacuación se encuentran en un intervalo entre 4 y 12 minutos.



Fotografía 4.11. Vista del estuario del río Chone desde el sector colinado de la ciudad

Zona 4: Es la parte Sur de Leonidas Plaza (Fotografía 4.12). Los tiempos de evacuación llegan a 24 minutos en el sector cercano a la línea de costa y disminuyen hacia el Oeste, a medida que se acercan a las colinas.



Fotografía 4.12. Leonidas Plaza

Dentro del área de amenaza por tsunami se encuentran establecimientos importantes, estos se muestran en la tabla 4.2 con sus respectivos tiempos de evacuación calculados.

Tabla 4.2. Tiempos de evacuación de establecimientos importantes en Bahía de Caráquez

Establecimiento	Tiempo de evacuación (minutos)
Hotel La Piedra	12.93
Escuela Ciudad de Bahía	11.52
Colegio La Inmaculada	11.40
Colegio Eloy Alfaro	5.56
Bahía Tennis Club	2.00
Liga Cantonal	7.83
Hotel Palma	5.75
Hotel Valencia	3.77
Municipio	4.46
Colegio Bahía de Caráquez	1.06
Banco Central	2.04
Escuela 3 de Noviembre	2.81
Universidad Técnica de Manabí	2.75
Escuela Marcos Melo	1.83
Cárcel Pública	11.09

Los tiempos de evacuación analizados representan los tiempos mínimos de movilización hacia los puntos de seguridad; es decir, los que se obtendrían al seguir las rutas más cortas. Algunos ejemplos de estas rutas se observan en los gráficos 4.12 y 4.13.



Gráfico 4.12. Rutas de evacuación calculadas en Bahía de Caráquez

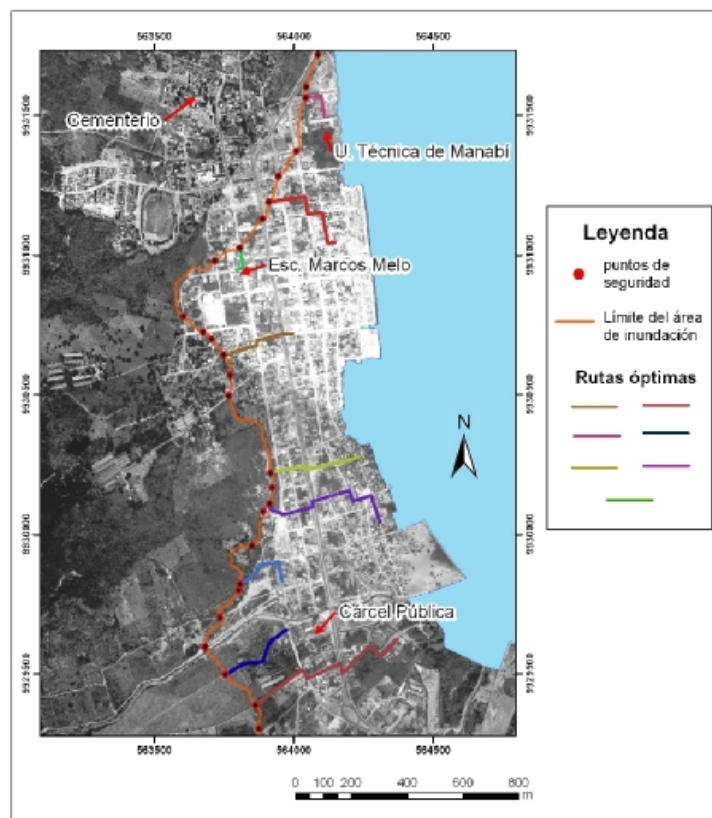


Gráfico 4.13. Rutas de evacuación calculadas en Leonidas Plaza

4.2.3. Áreas de evacuación y área crítica

En Bahía de Caráquez, considerando el peor escenario, el área crítica involucra gran parte del área turística y comercial de la ciudad; en el segundo escenario, el área crítica solo abarca los alrededores del malecón Virgilio Ratti. A continuación se describen con mayor detalle los resultados obtenidos.

- **Primer escenario**

En los gráficos 4.14 y 4.15 se muestran los resultados obtenidos considerando el peor escenario, donde se estima que la primera ola llegará a la ciudad de Bahía de Caráquez, (lado del mar), en un intervalo de tiempo entre 4 a 8 minutos, y a la orilla del río, entre 8 a 12 minutos, y a Leonidas Plaza, en un tiempo comprendido entre 16 a 20 minutos. En el anexo C5 consta el mapa obtenido para toda el área de estudio.

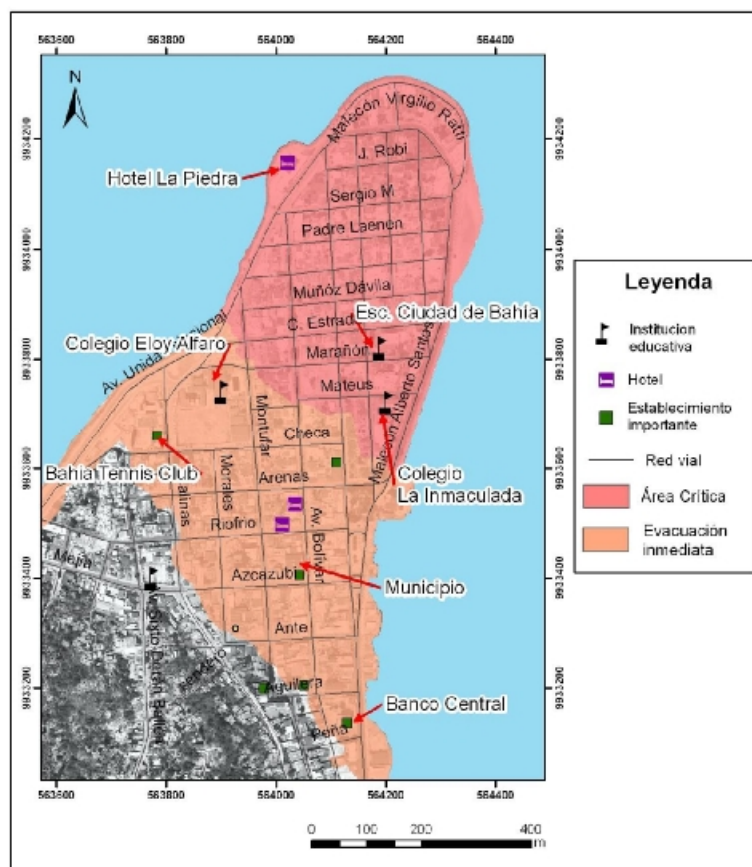


Gráfico 4.14. Área crítica en la zona comercial de Bahía de Caráquez (Primer escenario)

- **Área crítica (primer escenario):**

El área donde no se tendría suficiente tiempo para evacuar a pie, empieza en el extremo Norte de la ciudad hasta la Av. Unidad Nacional y calle Estrada, y al Este hasta el sector del Colegio La Inmaculada. Dentro de esta área se encuentran establecimientos importantes, como: el Hotel La Piedra, la Escuela Ciudad de Bahía, el Colegio La Inmaculada, entre otros. El sector más crítico corresponde al malecón Virgilio Ratti, que se encuentra a una distancia de 900 metros de las zonas de seguridad, por lo cual sería muy difícil la evacuación a pie hacia las colinas.

En la zona Suroeste de Leonidas Plaza, un pequeño sector del kilómetro 4, también se encuentra un área crítica, debido a que en este sitio solo existe un camino que lo une a la red vial.

- **Área de evacuación inmediata (primer escenario):**

Esta área se encuentra al Sur del área crítica hasta la calle Pedro Fermín Cevallos. Los establecimientos importantes ubicados en esta área son: el Municipio, el Colegio Eloy Alfaro, Bahía Tennis Club, Banco Central, la Liga Cantonal, entre otros (Gráfico 4.14). Las personas que se encuentren en esta área tendrán que recorrer 350 metros hasta llegar a las colinas cercanas, pero la evacuación deberá ser realizada de forma inmediata, debido al corto tiempo de llegada de la ola del tsunami.

Avanzando más al Sur esta área llega hasta la Avenida 3 de Noviembre en el sector del puente Bahía – San Vicente, los puntos de seguridad se encuentran a 300 metros de la línea de costa, por lo cual la evacuación sería posible. (Gráfico 4.15)

En Leonidas Plaza esta área cubre desde la línea de costa hasta la calle Atahualpa. Dentro de esta área se encuentra el mercado y la cárcel pública. (Gráfico 4.15)

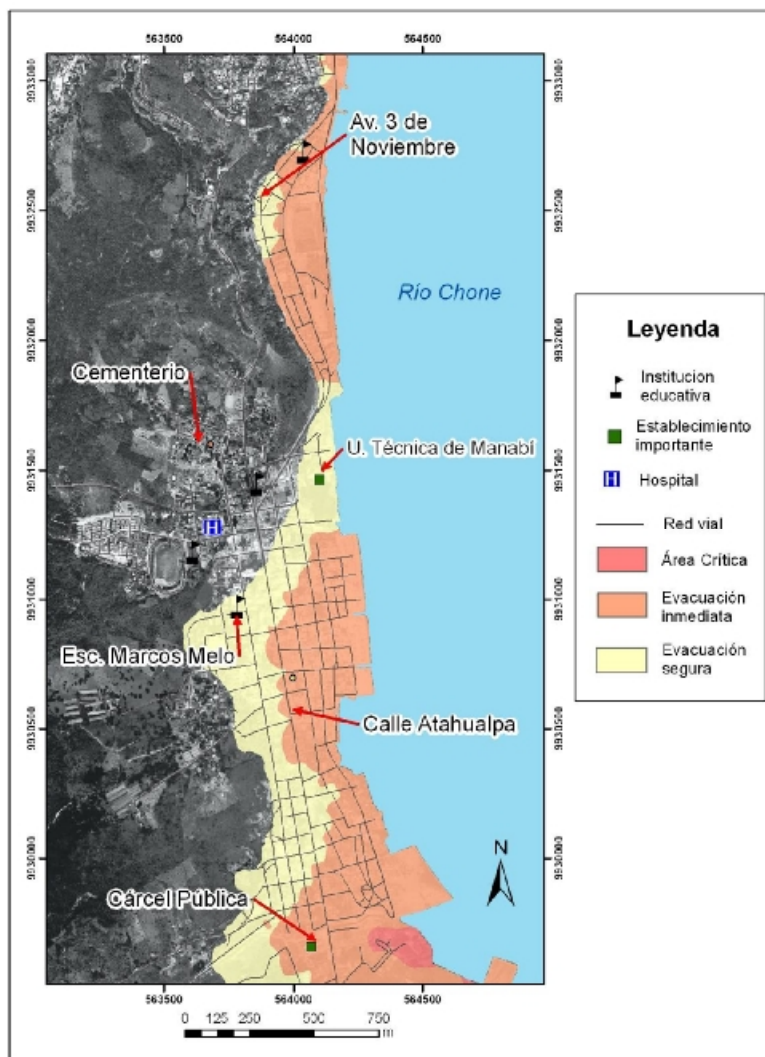


Gráfico 4.15. Áreas de evacuación en Leonidas Plaza (Primer escenario)

- **Área de evacuación segura (primer escenario):**

En la ciudad de Bahía de Caráquez esta área no existe, se encuentra presente únicamente en Leonidas Plaza, desde la calle Atahualpa hasta el límite Oeste del área de inundación. Dentro de esta área se encuentran: la Universidad Técnica de Manabí y la Escuela Marcos Melo. Estos sitios se encuentran muy cerca de las zonas altas, lo que facilitaría la evacuación. (Gráfico 4.15)

▪ **Segundo escenario**

Considerando el segundo escenario, donde se estima que la primera ola llegaría a Bahía de Caráquez en un intervalo aproximado de 16 a 20 minutos, y al Sur de la ciudad hasta llegar a Leonidas Plaza en un tiempo entre 24 y 32 minutos, se obtuvo los siguientes resultados (Gráficos 4.16 y 4.17).

▪ **Área crítica (segundo escenario):**

Se obtuvo una pequeña área crítica, ubicada en el extremo Norte de la ciudad; sin embargo, se debe considerar a la zona del malecón como un área de peligro, por la lejanía a los puntos de seguridad (Gráfico 4.16). En Leonidas Plaza no se obtuvo ninguna área crítica (Gráfico 4.17).

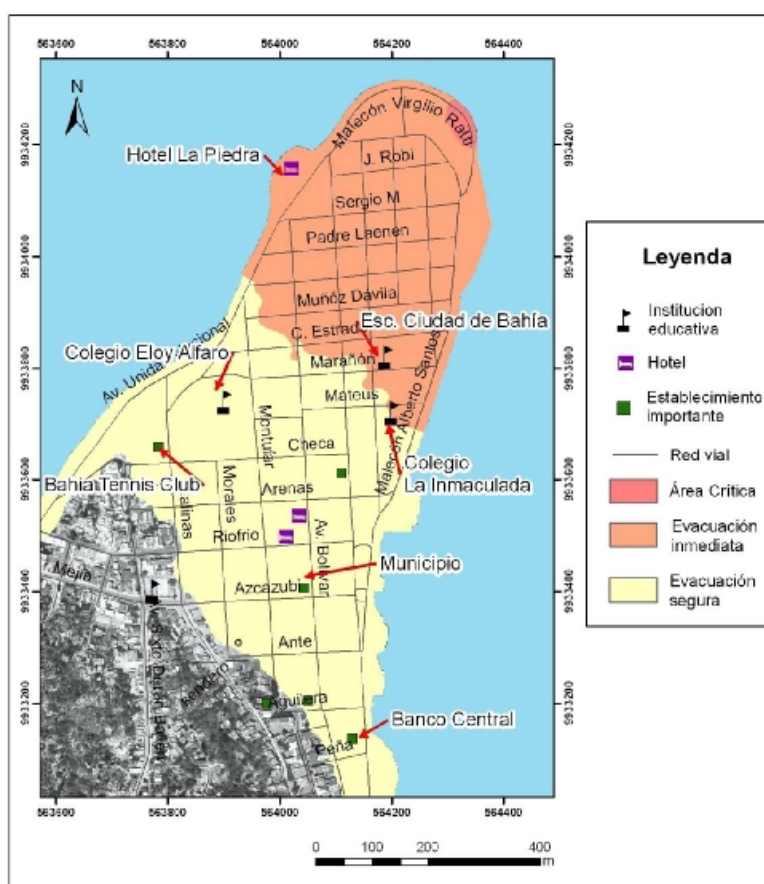


Gráfico 4.16 Áreas de evacuación en la zona comercial de Bahía de Caráquez (Segundo escenario)

- **Área de evacuación inmediata (segundo escenario):**

Esta área se encuentra localizada desde el extremo Norte de la ciudad hasta la Av. Unidad Nacional y calle Muñoz Dávila y al Este hasta el sector del Colegio La Inmaculada. Los establecimientos importantes situados en esta área son: el Hotel La Piedra, la Escuela Ciudad de Bahía, el Colegio La Inmaculada, entre otros (Gráfico 4.16).

- **Área de evacuación segura (segundo escenario):**

Se ubica al Sur de la ciudad de Bahía (Gráfico 4.16) y se extiende hasta el límite Sur de Leonidas Plaza (Gráfico 4.17). En toda esta área sería posible la evacuación debido a que las colinas se encuentran cerca de la zona de evacuación, además que el tiempo de llegada del tsunami varía de 18 a 32 minutos, lo que daría mayor tiempo de reacción a la población.

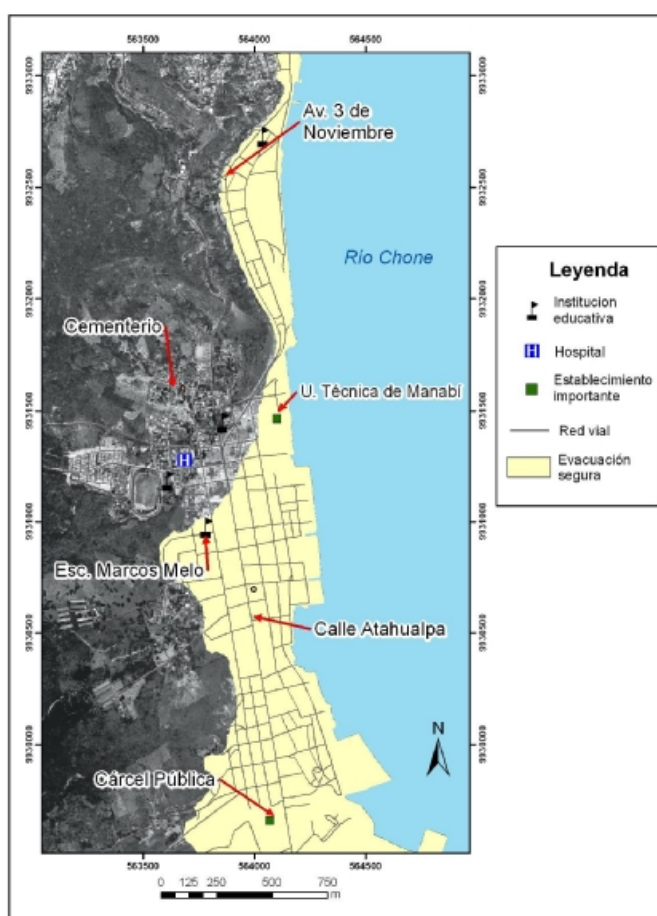


Gráfico 4.17 Áreas de evacuación en Leonidas Plaza (Segundo escenario)

En el anexo C6 se muestran el mapa de áreas críticas en toda la zona de estudio para el segundo escenario.

4.2.4. Posibles alternativas de evacuación

La población de Bahía de Caráquez ubicada cerca de las zonas altas, debe evacuar hacia las colinas, consideradas como zonas relativamente seguras, debido a que están amenazadas por los deslizamientos (Gráfico 4.18 y a la dificultad de los accesos hacia estas, sin embargo, en caso de un tsunami se encuentran alejadas del área de mayor riesgo, lo que las convierte en una alternativa para la evacuación.

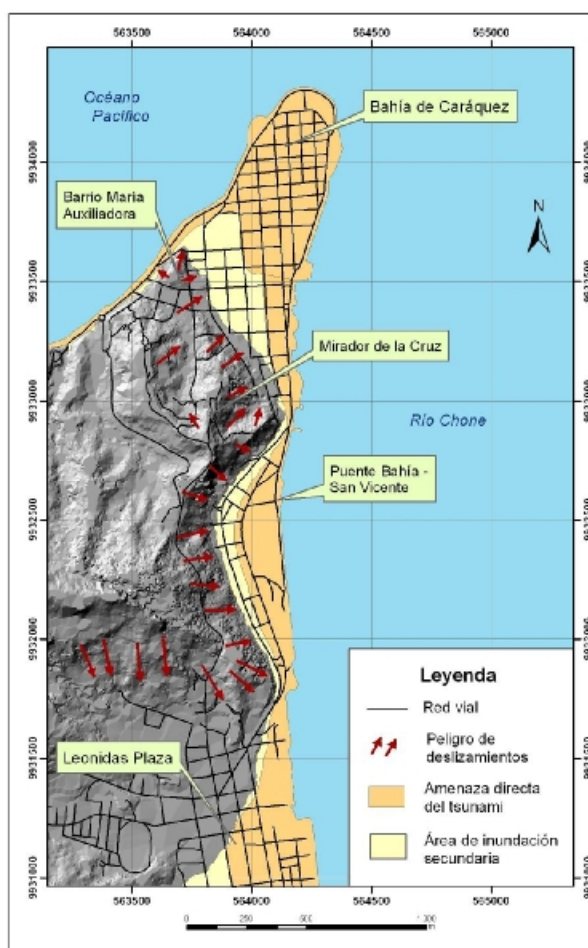


Gráfico 4.18 Peligro de deslizamientos en Bahía

La única opción para la población ubicada en las zonas críticas es la evacuación vertical en los edificios considerados sismo-resistentes, es decir en aquellos en los que se tenga la seguridad de que no sufrirán daños estructurales por efecto

del sismo generador o por el efecto hidráulico del oleaje, o disponer de vehículos para transporte masivo de personas, que puedan evacuar hacia las partes altas o hacia el interior (vía a Las Coronas), según convenga.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Desde 1906 a la fecha se han registrado cinco eventos tipo tsunami en las costas ecuatorianas, razón por la cual se recomienda realizar estudios similares al presente para otras ciudades de la costa del Ecuador.
2. Un tsunami de origen cercano constituye un grave peligro para la población, porque tiene pocos minutos para evacuar y los sistemas de alarma locales no siempre funcionan. En este caso la alarma está dada por la intensidad del sismo y los pobladores tendrán que evaluar por sí mismos las posibilidades de peligro y evacuar en el menor tiempo posible.
3. Para generar los modelos de evacuación y el análisis de áreas críticas se consideró el peor escenario, a fin de incorporar variables que incluyan las condiciones más desfavorables que puedan presentarse, para tener mayor margen de seguridad en cuanto se refiere a precautelar la vida y bienes de la población potencialmente afectada.
4. Debido a que en la ciudad de Bahía de Caráquez no se han realizado estudios de tiempos de llegada de olas tsunamigénicas, se asumieron tiempos semejantes a los calculados para la Puntilla de Santa Elena. Para obtener resultados más precisos en estudios posteriores, se recomienda emplear valores de tiempo reales.
5. Considerando siempre el peor escenario a ocurrir y sobre la base de la altura de ola máxima calculada por Espinoza J. 1990, se calculó un área de inundación secundaria sobre un modelo digital del terreno elaborado para cada ciudad. Los resultados obtenidos concordaron con estudios previos realizados sin esta metodología.
6. Para obtener resultados más detallados en el cálculo del área de inundación se recomienda emplear modelos digitales de mayor precisión,

utilizando para ello escalas de detalle (1:5.000 ó 1:1000, según el caso) y considerar otros factores, como: pendiente y grado de fricción del terreno dado por edificaciones y obstáculos.

7. Los tiempos de evacuación se calcularon empleando las rutas más cortas hacia las zonas de seguridad; sin tomar en cuenta obstáculos que podría causar el sismo generador del tsunami, dificultando las condiciones de accesibilidad.
8. Debido a sus características morfológicas, Salinas es muy vulnerable ante un evento tipo tsunami. El área de inundación que muestra el modelo matemático cubre casi toda la ciudad, incluyendo la infraestructura hotelera y comercial, además de la zona militar.
9. Existen dos zonas de relativa seguridad para Salinas (loma de El Faro y Petrópolis). Ninguna de las dos es completamente accesible para toda la población, ya sea por la distancia o por restricción de acceso, por lo que se recomienda la evacuación vertical en los edificios considerados sismo-resistentes, o disponer de vehículos para transporte masivo de personas, que puedan evacuar a tiempo, a la población, hacia el sector del “Colegio Rubira”, entre otros.
10. En la Libertad, la zona de mayor riesgo se encuentra en las cercanías del malecón; la población ubicada en esta área tendría el tiempo suficiente para evacuar a pie hacia las zonas de mayor altura, ubicadas a distancias comprendidas entre los 100 y 300 metros de la línea de costa. El resto de la ciudad no sufriría graves daños, debido a que se encuentra a una cota mayor a 10 m.s.n.m.
11. En Bahía de Caráquez las zonas bajas y planas, ocupadas actualmente por un gran segmento de la población, son las más vulnerables y críticas ante un evento tipo tsunami; en tanto que la zona colinada, a pesar de ser de difícil acceso y propensa a deslizamientos, se la considera de relativa

seguridad ya que se encuentra a una cota más alta que la calculada para la zona de inundación.

12. La única alternativa de supervivencia para la población ubicada en las zonas críticas de Bahía de Caráquez es la evacuación vertical en los edificios considerados sismo-resistentes, o disponer de vehículos para transporte masivo de personas, que puedan evacuar hacia las partes altas o hacia el interior (vía a Las Coronas), según convenga.
13. Se recomienda realizar una segunda fase del estudio, incluyendo a los edificios sismorresistentes como zonas de seguridad, considerando la capacidad de acogida de los pisos superiores.
14. Para elaborar un plan de evacuación, sería conveniente incluir factores como: datos de población, ancho de las vías, establecimientos que pueda ser considerados como albergues y establecer rutas de evacuación alternativas, en caso que la ruta óptima se encuentre obstruida por escombros causados por el sismo.
15. Los SIG son una importante herramienta, que debería ser considerada en todas las etapas de la gestión de riesgo, ya que permiten plantear distintos escenarios de riesgo, integrando todos los elementos involucrados, para determinar alternativas de solución y facilitar la toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- Arreaga, Patricia, *Estudio de los Tsunamis en la Costa Sur del Ecuador (Golfo de Guayaquil)*, INOCAR, Guayaquil, 1996.
- Bosque Joaquín, Moreno Antonio, *Sistemas de Información Geográfica y Localización de Instalaciones y Equipamientos*, España, 2004.
- Chaux, Gustavo, *Auge, Caída y Levantada de Felipe Pinillo, Mecánico y Soldador o yo voy a Correr el Riesgo, Guía de la RED Para la Gestión Local del Riesgo*, Perú, 1998.
- CISP, *Metodología SIG para la Evaluación y Gestión del Riesgo por Deslizamiento*, Abril 2007.
- Dengler, Lori, *Impacts of the June 23, 2001 Peru Tsunami*, Department of Geology, Humboldt State University, 2001.
- DNDC – ESPE, *Cartas - Croquis de Amenaza por Tsunami de las ciudades de Salinas y Bahía de Caráquez*, no publicado, 2005.
- DNDC, *Vulnerabilidad de la Costa Ecuatoriana frente a tsunamis*, 1992.
- ERDAs, *IMAGINE OrthoBASE User's Guide*, Atlanta – USA, 1999-2001.
- Espinoza, Jorge, *Posibles efectos de un tsunami en las costas de la Península de Santa Elena – Ecuador*, INOCAR, Guayaquil, 1990.
- Gutiérrez, José, *Modificación de la Accesibilidad en Extremadura*, http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1362, publicado en enero del 2007, consultado en el 2009.

- Imamura, *Escala de magnitud de un Tsunami*, <http://atalas.snet.gob.sv/atlas/files/tsunamis/EscalalImamuraLida.html>, consultado en el 2008.
- INEC, *VI Censo de población y V de vivienda del 25 de noviembre del 2001*, www.inec.gov.ec, consultado en el 2009.
- INOCAR, *Informativo: Estudio de Tsunamis*, <http://www.inocar.mil.ec>, consultado en el 2008.
- INOCAR, *Informe de Evaluación del Riesgo de Tsunamis de las Poblaciones de la Costa Central del Ecuador*, no publicado.
- Kenji, Satake, *Progresión del tsunami en Indonesia*, NIAIST (JAPON), www.marenostrum.org, publicado en diciembre de 2004, consultado en el 2009.
- Kuroiwa, Julio, “Planeamiento Físico contra Tsunamis y otras Inundaciones”, *Primer Simposio Latinoamericano sobre Desastres Naturales*, Quito – Ecuador, 1985.
- Maskrey, Andrew, *Los Desastres No Son Naturales*, RED, 1993.
- Michett Alessandro, Pazmiño Nelson, “Estimación de máximos niveles de sismicidad para el Litoral Ecuatoriano”, *Revista Internacional Oro & Petróleo*, pgs.46 – 57, 2008.
- Municipio de Salinas, *Plan Estratégico Participativo, Cantón Salinas, Ecuador 2004*, www.salinasecuador.com, consultado en 2009.
- Ordoñez Celestino, Roberto Martínez, *Sistemas de Información Geográfica*, Alfaomega Grupo Editor, México, 2003.

- Padilla, Oswaldo, *Cálculo, Análisis y Representación de Tiempos de Evacuación en el Valle de Los Chillos frente a una Eventual Erupción del Volcán Cotopaxi*, 2006.
- Pérez, Adolfo, Cálculo estimativo y tiempos de evacuación, <http://www.retardantedelfuego.com./.../> .Parte2.htm, publicado en el 2005, consultado en el 2009.
- Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), *Como Sobrevivir a un Maremoto*, Julio 2000.
- SHOA, NOAA, Las Grandes Olas, <http://www.shoa.cl/servicios/descargas/df/tsunami.pdf>, consultado en el 2009.
- Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres de Colombia, www.sigpad.gov.com, consultado en el 2009.
- USGS, *Historic Earthquakes*, http://earthquake.usgs.gov/regional/states/events/1964_03_28.php, publicado en 1993, consultado en el 2009.

GLOSARIO

Aerotriangulación: Técnica fotogramétrica empleada para corregir y georeferenciar fotografías aéreas, mediante puntos de coordenadas conocidas.

Amenaza: Factor externo potencialmente peligroso. De presentarse se manifiesta en un lugar específico con una intensidad, magnitud y duración determinada. Puede ser de origen natural, socio natural y antrópico.

Batimetría: Es el equivalente submarino de la altimetría, es decir, es la medida de la profundidad de los océanos.

Buffer: Polígono que encierra el área de influencia determinada a partir de una distancia en torno a un objeto geográfico (punto, línea o polígono).

DNDC: Dirección Nacional de Defensa Civil, organismo de socorro del Ecuador, hasta el año 2008, en el que fue reemplazado por la Secretaría Nacional de la Gestión del Riesgo.

DTM: Digital Terrain Model, modelo digital del terreno, conjunto de datos geográficos tridimensionales que representan la forma de la superficie terrestre de una determinada zona.

Epicentro: Punto en la superficie de la tierra bajo el cual se origina un movimiento sísmico y en el que, es mayor su intensidad.

Escala de Richter: Escala logarítmica arbitraria que asigna un número para cuantificar el efecto de un sismo; nombrada así en honor al sismólogo estadounidense Charles Richter.

Georeferenciación: Posicionamiento en el que se define la localización de un objeto espacial (representado mediante un vector o un raster) en un sistema de coordenadas y datum determinado.

Impedancia: Resistencia al movimiento existente para un arco o nodo determinado. El valor de la impedancia depende las características del objeto representado (carretera, río, tuberías, etc.), los tipos de recursos que se muevan por la red y las posibles direcciones de movimiento (un sentido, dos sentidos, etc.)

INOCAR: Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador, es el organismo encargado de proporcionar seguridad a la navegación, compilar la cartografía náutica y efectuar investigación oceanográfica.

Interpolación: Conjunto de funciones estadísticas y analíticas que permiten predecir valores en una serie de datos, a partir de un número limitado de puntos de muestreo.

Marea de sicigia: Cambio del nivel del mar, donde la altura es máxima, esto sucede en la luna nueva y en la luna llena, se la conoce comúnmente como aguaje.

Mitigación: Medidas o acciones de intervención implementadas sobre la vulnerabilidad para reducir el riesgo existente, y así disminuir los daños y el impacto potencial; por ejemplo: construcción de muros de gaviones para minimizar las inundaciones, manejo adecuado de cuencas hidrográficas.

Modelo cartográfico: Conjunto de procesos de análisis secuenciales, cuyo fin es procesar problemas de tipo espacial.

m.s.n.m: Metros sobre el nivel del mar, representa la altitud a la que se encuentra un determinado lugar, respecto al nivel medio del mar.

Ortofoto: Fotografía aérea rectificadas a la que se han corregido las deformaciones derivadas de la perspectiva cónica innata a la toma fotográfica y los efectos de la ondulación del terreno, y que en consecuencia tiene las mismas propiedades métricas de proyección y escala que un mapa.

Placa tectónica: Segmento de la corteza terrestre que comprende indistintamente fragmentos continentales y fondos oceánicos, que flotan sobre la astenósfera.

Prevención: Conjunto de medidas y acciones implementadas con anticipación para evitar o impedir que se presenten y generen nuevos riesgos; por ejemplo: Ordenamiento territorial, cultura del respeto ambiental

Raster: Modelo de datos geográfico que representa la información a través de una malla, donde cada celda (píxel) es la unidad mínima de información que lleva asociado un número, este número representa el valor de un fenómeno geográfico en el punto de la superficie terrestre que representa la celda.

Riesgo: Es la probabilidad de ocurrencia de un peligro latente que provoca pérdida de vidas humanas, pérdidas económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un tiempo de exposición determinado. Por ejemplo: Probabilidad de pérdidas humanas y materiales por el colapso de estructuras por causa de un sismo.

Sismo: Movimiento de la corteza terrestre causado por la liberación de tensiones acumuladas a lo largo de las fallas geológicas.

Subducción: Proceso de hundimiento de una placa litosférica bajo otra en un límite de placas convergente. Generalmente, es la litosfera oceánica, de mayor peso específico, la que subduce bajo la litosfera continental, de menor peso específico. La zona de subducción es una zona larga y estrecha donde una placa litosférica desciende por debajo de otra.

Topología: Estructura lógica de los datos geográficos para definir las relaciones entre los distintos objetos geográficos de conectividad, adyacencia, vecindad.

Tsunami: Conjunto de ondas oceánicas, provocado generalmente por un sismo de origen tectónico que se produce en el suelo del océano, que se propaga en

todas direcciones y al llegar a las costas puede provocar olas de gran altura, causando graves daños.

Vector: Modelo de datos geográfico que representa la información a través de puntos, líneas o polígonos, se emplea generalmente para representar objetos con límites precisos y datos discretos.

Vulnerabilidad: Factor interno de un sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza, que incrementa su probabilidad de sufrir daños. Ejemplos: viviendas construidas sin normas sismo resistentes, desorganización comunitaria e institucional.

ANEXO A

FICHAS TÉCNICAS: AEROTRIANGULACIÓN

ANEXO A1

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA WILD RC-30

Año de calibración: 1995
Distancia Focal Calibrada: 152.92 mm
Punto Principal de Simetría: $x_0 = -0.006$ mm
 $y_0 = 0.004$ mm.

Fiduciales Calibradas:

ID	X (mm)	Y (mm)
1	106.002	-106.003
2	-106.001	-106.001
3	-106.001	106.002
4	106.001	106.000
5	0.004	-112.001
6	-111.994	0.001
7	-0.003	112.002
8	111.998	-0.003

Distorsiones Radiales:

Distancia Radial (mm)	Distorsión (micrones)
10.00	-0.70
20.00	-1.20
30.00	-1.50
40.00	-1.60
50.00	-1.60
60.00	-1.40
70.00	-0.80
80.00	-0.20
90.00	0.40
100.00	1.20
110.00	1.70
120.00	1.50
130.00	1.00
140.00	0.00
148.00	-1.60

ANEXO A2

REPORTE DE TRIANGULACIÓN

The Triangulation Report With OrthoBASE

The output image x, y units: pixels
The output angle unit: degrees
The output ground X, Y, Z units: meters

The Input Image Coordinates

image ID = 1

Point ID	x	y
1	8535.103	8011.929
2	12569.563	6690.559
3	13243.639	8982.861
4	15893.625	4805.875
5	15242.625	9418.875
23	8359.375	8859.625
24	15257.875	5277.375

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-117.4156	0.013999	-0.000032	118.1945	-0.000027	-0.013999

image ID = 2

Point ID	x	y
1	1967.586	7630.382
2	5970.577	6407.082
3	6580.057	8702.002
4	9267.875	4600.625
5	8466.125	9177.125
6	15652.375	1743.375
7	14631.375	12508.125
8	13841.632	5925.035
24	8642.625	5057.625
25	13048.625	3940.625
26	13147.875	11683.625
23	1760.625	8464.625

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-117.4018	0.014001	-0.000034	118.3302	-0.000031	-0.014000

image ID = 3

Point ID	x	y
4	3311.875	4513.125
5	2510.125	9058.125
6	9555.672	1672.289
7	8322.311	12307.186
8	7590.625	5787.875
9	13780.637	1219.484
10	15958.375	6341.125
11	15295.568	9462.892
24	2712.625	4969.625
25	7037.375	3842.875
26	7014.375	11506.875

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-117.3779	0.014001	-0.000039	118.4272	-0.000035	-0.014001

image ID = 4

Point ID	x	y
6	3614.875	1667.625
7	1996.462	12228.868
8	1421.284	5727.584
9	7755.125	1208.875
10	9765.908	6249.176
11	8454.625	9334.375
12	14889.144	878.563
13	14623.317	13852.545
14	13465.166	10364.545
25	1127.375	3813.625
26	864.885	11436.165
27	13450.875	1982.375
28	14610.875	13491.125

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-117.1863	0.014002	-0.000043	118.5010	-0.000040	-0.014002

image ID = 5

Point ID	x	y
9	1839.008	846.431
10	3698.125	5913.125
11	1738.936	8972.664
12	8929.875	492.375
13	8580.153	13459.426
14	7241.151	10005.478
19	11651.125	2372.625
27	7490.015	1613.342
28	8561.375	13103.125

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-117.3630	0.014002	-0.000042	118.3470	-0.000039	-0.014001

image ID = 6

Point ID	x	y
6	6778.364	14304.663
9	10893.326	13837.088
15	16061.567	8192.394
16	14454.689	13079.217
25	4376.708	16459.122
27	16602.625	14634.625

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-117.4253	0.014000	-0.000037	118.1991	-0.000032	-0.014000

image ID = 7

Point ID	x	y
6	583.625	14162.875
9	4642.375	13716.625
15	9795.426	8109.332
16	8189.591	12974.112
12	11663.875	13431.875
17	15106.410	2073.745

18	15445.016	9865.605
19	14420.875	15413.625
27	10255.625	14539.125
29	10740.205	2864.806

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-117.5429	0.014001	-0.000041	118.4415	-0.000037	-0.014000

image ID = 8

Point ID	x	y
15	3689.763	7988.364
16	2075.994	12835.587
12	5453.625	13298.875
17	8917.425	2000.628
18	9255.914	9746.331
19	8114.332	15281.389
20	15972.949	2159.272
21	15577.905	14735.631
22	14449.977	11569.736
27	4056.875	14401.875
29	4625.263	2778.982

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-117.5375	0.014001	-0.000041	118.2393	-0.000037	-0.014000

image ID = 9

Point ID	x	y
17	2796.801	1980.723
18	3104.981	9671.994
19	1827.258	15206.797
20	9684.427	2121.998
21	9273.745	14674.472
22	8151.928	11496.099

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-117.3878	0.014001	-0.000040	118.2857	-0.000035	-0.014001

THE OUTPUT OF SELF-CALIBRATING BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT

the no. of iteration =1 the standard error = 0.8625
the maximal correction of the object points = 69.79878

the no. of iteration =2 the standard error = 0.6752
the maximal correction of the object points = 25.43667

the no. of iteration =3 the standard error = 0.6756
the maximal correction of the object points = 0.10383

the no. of iteration =4 the standard error = 0.6756
the maximal correction of the object points = 0.00001

The exterior orientation parameters

image ID	Xs	Ys	Zs	OMEGA	PHI	KAPPA
1	564273.5014	9934239.3010	1721.0534	0.5964	0.2040	-119.3480
2	563731.9748	9933333.9180	1722.4395	1.0309	0.4046	-117.9744

6	564795.0500	9931168.4400	1741.4720	0.6761	0.1945	-119.9366
3	563261.6468	9932538.4557	1726.1335	0.5094	0.1285	-118.3910
7	564275.2915	9930319.4057	1740.9438	0.6009	-0.0574	-119.6609
4	562784.6797	9931734.3859	1725.5737	0.1570	-0.4398	-118.5848
8	563771.0505	9929484.2653	1738.8656	0.5098	-0.2538	-119.5534
5	562310.0108	9930935.8722	1725.2150	0.4968	0.1382	-118.7126
9	563265.5331	9928644.2738	1732.6944	0.5038	-0.6772	-119.5517

The interior orientation parameters of photos

image ID	f(mm)	xo(mm)	yo(mm)
1	152.9200	-0.0060	0.0040
2	152.9200	-0.0060	0.0040
6	152.9200	-0.0060	0.0040
3	152.9200	-0.0060	0.0040
7	152.9200	-0.0060	0.0040
4	152.9200	-0.0060	0.0040
8	152.9200	-0.0060	0.0040
5	152.9200	-0.0060	0.0040
9	152.9200	-0.0060	0.0040

The residuals of the control points

Point ID	rX	rY	rZ
23	-0.0101	-0.0880	0.2329
24	0.0785	-0.0312	-0.0712
25	0.0058	0.0417	-0.0997
26	-0.0488	-0.0383	0.0745
27	-0.0065	-0.0111	0.0335
28	-0.0516	0.0235	-0.1460
29	0.0737	0.0043	-0.1031

aX	aY	aZ
0.0059	-0.0142	-0.0113
mX	mY	mZ
0.0490	0.0425	0.1241

The coordinates of object points

Point ID	X	Y	Z	Overlap
23	564211.7381	9934297.1517	3.5130	2
24	564169.1190	9933082.6806	2.2944	3
25	563996.3952	9932397.3490	3.0460	4
26	562948.8233	9932962.5870	68.7090	3
27	563300.8990	9930564.2179	24.3040	5
28	561663.6572	9931277.5294	46.3514	2
29	564860.4360	9929579.0302	2.3220	2
1	564314.1885	9934207.3840	-1.9036	2
2	564183.1192	9933553.4454	-1.9461	2
3	563818.1346	9933639.2150	2.4720	2
4	564184.6885	9932963.7325	6.0217	3
5	563613.2805	9933410.8738	23.5171	3
6	564104.9879	9931887.2096	2.7350	5
7	562760.9596	9932837.5421	113.9364	3
8	563668.4338	9932470.0049	74.3471	3
9	563846.4926	9931278.6954	9.2579	5
10	562989.8473	9931394.5776	59.1711	3
11	562684.5627	9931790.3960	225.6460	3
12	563343.5524	9930285.5228	24.6958	4
13	561613.1719	9931302.0447	44.2962	2
14	562184.0482	9931216.1053	96.8769	2
19	562877.6786	9930068.0511	45.0916	4
15	564213.6004	9930121.7553	1.0582	3

16	563668.7036	9930728.6841	5.5875	3
17	564622.4544	9928927.2100	8.8161	3
18	563531.2765	9929488.4946	9.5741	3
20	564042.1273	9927997.8934	30.1606	2
21	562381.0059	9929021.3461	37.9560	2
22	562892.0430	9928929.4233	37.4849	2

The total object points = 29

The residuals of image points

Point	Image	Vx	Vy
23	1	-0.494	-0.152
23	2	0.383	0.482

Point	Image	Vx	Vy
24	1	0.353	0.413
24	2	0.080	-0.009
24	3	-0.186	0.806

Point	Image	Vx	Vy
25	2	0.959	-0.657
25	6	-0.121	-0.010
25	3	0.165	-0.427
25	4	-0.500	0.402

Point	Image	Vx	Vy
26	2	-0.605	0.002
26	3	-0.306	-0.033
26	4	-0.018	-0.882

Point	Image	Vx	Vy
27	6	0.103	0.007
27	7	-0.086	-0.113
27	4	-0.602	0.208
27	8	0.125	-0.284
27	5	-0.130	0.072

Point	Image	Vx	Vy
28	4	0.503	0.221
28	5	-0.015	-0.111

Point	Image	Vx	Vy
29	7	0.383	0.280
29	8	0.025	-0.168

Point	Image	Vx	Vy
1	1	-0.013	0.547
1	2	0.026	-0.550

Point	Image	Vx	Vy
2	1	0.004	-0.189
2	2	-0.009	0.190

Point	Image	Vx	Vy
3	1	0.005	-0.184
3	2	-0.009	0.185

Point	Image	Vx	Vy
4	1	0.056	0.366
4	2	-0.100	-0.926

4	3	0.056	0.565
---	---	-------	-------

Point	Image	Vx	Vy
5	1	0.085	-0.792
5	2	-0.181	0.818
5	3	0.076	-0.024

Point	Image	Vx	Vy
6	2	-0.469	0.428
6	6	0.270	-0.223
6	3	0.515	-0.542
6	7	0.253	0.421
6	4	-0.553	-0.109

Point	Image	Vx	Vy
7	2	0.318	0.047
7	3	-0.668	0.596
7	4	0.344	-0.635

Point	Image	Vx	Vy
8	2	-0.367	-0.014
8	3	0.762	-0.471
8	4	-0.390	0.483

Point	Image	Vx	Vy
9	6	-0.398	0.804
9	3	0.074	0.020
9	7	-0.383	-0.508
9	4	-0.007	-0.107
9	5	0.710	-0.193

Point	Image	Vx	Vy
10	3	-0.285	0.350
10	4	0.551	0.025
10	5	-0.266	-0.379

Point	Image	Vx	Vy
11	3	-0.151	-0.752
11	4	0.376	-0.412
11	5	-0.221	1.172

Point	Image	Vx	Vy
12	7	-0.188	0.577
12	4	0.215	0.322
12	8	-0.249	-0.718
12	5	0.215	-0.174

Point	Image	Vx	Vy
13	4	0.001	-0.022
13	5	-0.001	0.022

Point	Image	Vx	Vy
14	4	-0.020	0.577
14	5	0.019	-0.581

Point	Image	Vx	Vy
19	7	0.084	-0.267
19	8	0.374	0.317
19	5	-0.267	0.052
19	9	-0.188	-0.107

Point	Image	Vx	Vy
15	6	0.084	0.254
15	7	-0.180	-0.147
15	8	0.097	-0.108

Point	Image	Vx	Vy
16	6	0.061	-0.833
16	7	-0.089	0.249
16	8	0.023	0.585

Point	Image	Vx	Vy
17	7	0.091	0.031
17	8	-0.184	-0.018
17	9	0.093	-0.012

Point	Image	Vx	Vy
18	7	0.114	-0.515
18	8	-0.207	0.065
18	9	0.092	0.453

Point	Image	Vx	Vy
20	8	-0.002	0.104
20	9	0.002	-0.105

Point	Image	Vx	Vy
21	8	-0.001	0.044
21	9	0.001	-0.044

Point	Image	Vx	Vy
22	8	-0.004	0.175
22	9	0.004	-0.175

The image residuals of the control points

The image ID = 1

Point ID	Vx	Vy
23	-0.494	-0.152
24	0.353	0.413

RMSE of 2 points: mx=0.430, my=0.311

The image ID = 2

Point ID	Vx	Vy
23	0.383	0.482
24	0.080	-0.009
25	0.959	-0.657
26	-0.605	0.002

RMSE of 4 points: mx=0.600, my=0.407

The image ID = 6

Point ID	Vx	Vy
25	-0.121	-0.010
27	0.103	0.007

RMSE of 2 points: mx=0.112, my=0.009

The image ID = 3

Point ID	Vx	Vy
24	-0.186	0.806
25	0.165	-0.427

26 -0.306 -0.033
RMSE of 3 points: mx=0.228, my=0.527

The image ID = 7
Point ID Vx Vy
27 -0.086 -0.113
29 0.383 0.280
RMSE of 2 points: mx=0.277, my=0.214

The image ID = 4
Point ID Vx Vy
25 -0.500 0.402
26 -0.018 -0.882
27 -0.602 0.208
28 0.503 0.221
RMSE of 4 points: mx=0.465, my=0.508

The image ID = 8
Point ID Vx Vy
27 0.125 -0.284
29 0.025 -0.168
RMSE of 2 points: mx=0.090, my=0.233

The image ID = 5
Point ID Vx Vy
27 -0.130 0.072
28 -0.015 -0.111
RMSE of 2 points: mx=0.093, my=0.093

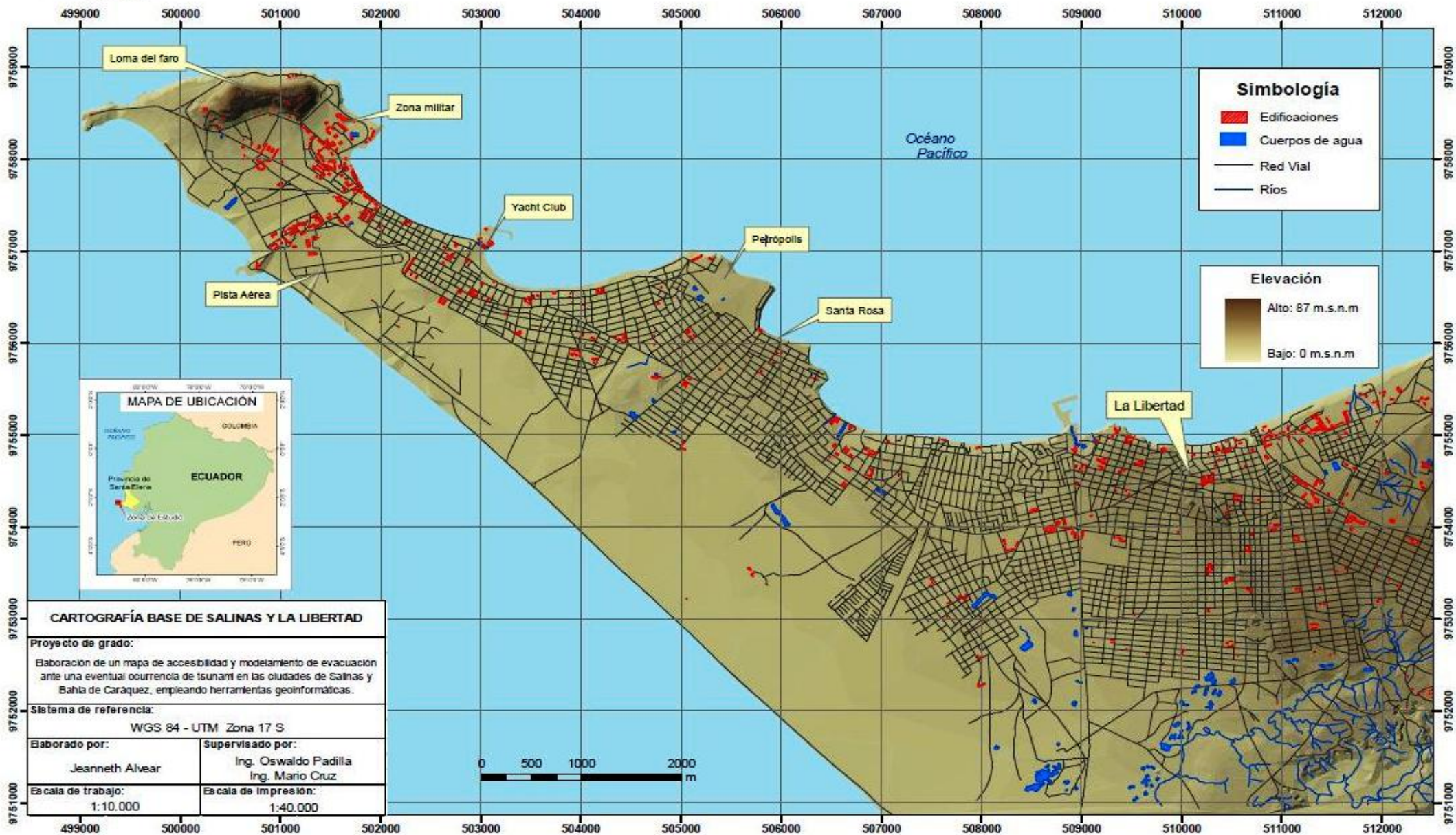
The image ID = 9
Point ID Vx Vy
There are no GCPs on this image.

ANEXO B

MAPAS DE SALINAS Y LA LIBERTAD

CARTOGRAFÍA BASE DE SALINAS Y LA LIBERTAD

ESC: 1:40.000



Simbología

- Edificaciones
- Cuerpos de agua
- Red Vial
- Ríos

Elevación

- Alto: 87 m.s.n.m
- Bajo: 0 m.s.n.m

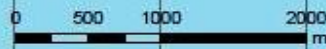


CARTOGRAFÍA BASE DE SALINAS Y LA LIBERTAD

Proyecto de grado:
Elaboración de un mapa de accesibilidad y modelamiento de evacuación ante una eventual ocurrencia de tsunami en las ciudades de Salinas y Bahía de Caráquez, empleando herramientas geoinformáticas.

Sistema de referencia:
WGS 84 - UTM Zona 17 S

Elaborado por: Jeanneth Alvear	Supervisado por: Ing. Oswaldo Padilla Ing. Mario Cruz
Escala de trabajo: 1:10.000	Escala de impresión: 1:40.000



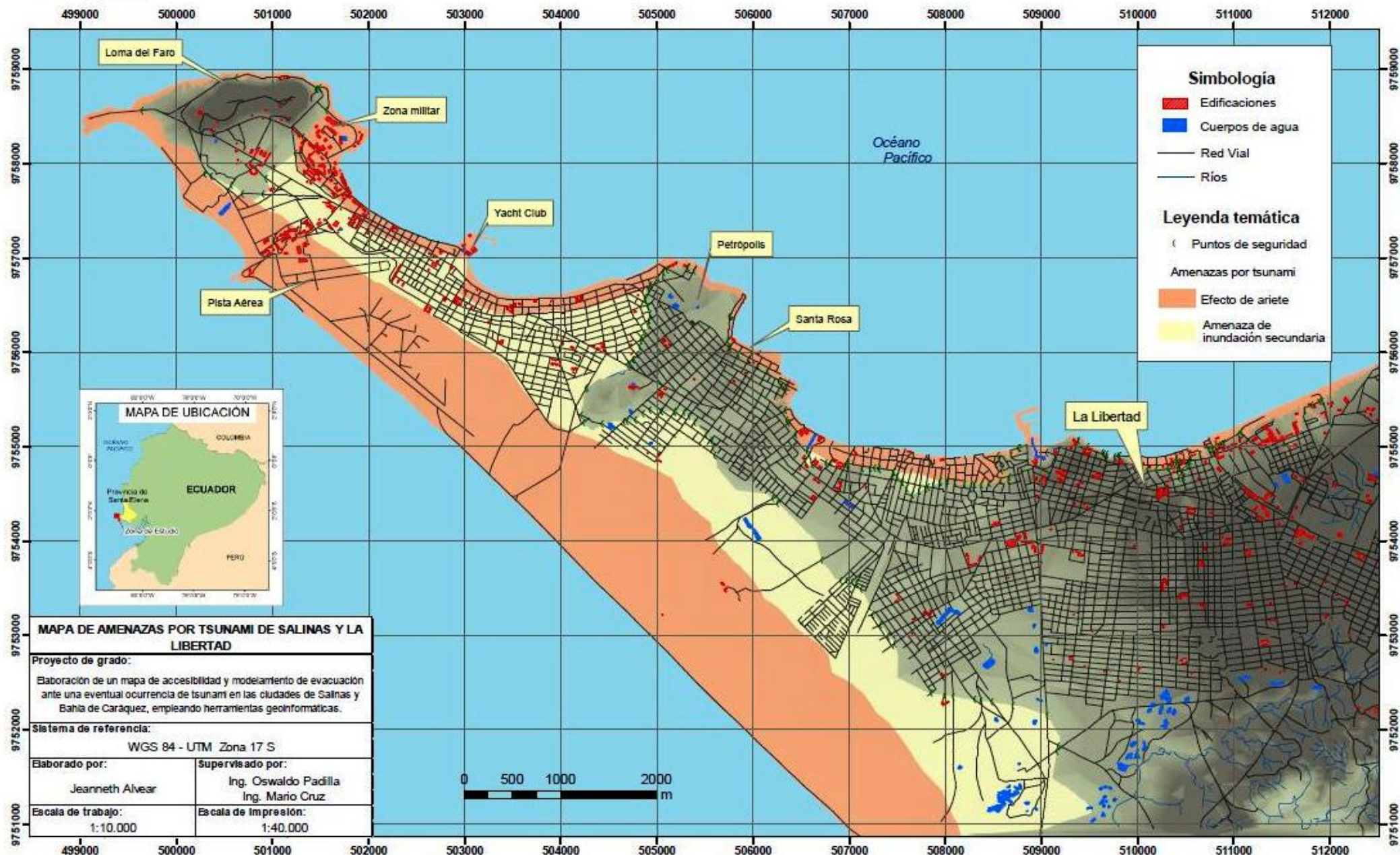
Escala de impresión: 1:40.000



ANEXO B1

MAPA DE AMENAZAS POR TSUNAMI DE SALINAS Y LA LIBERTAD

ESC: 1:40.000



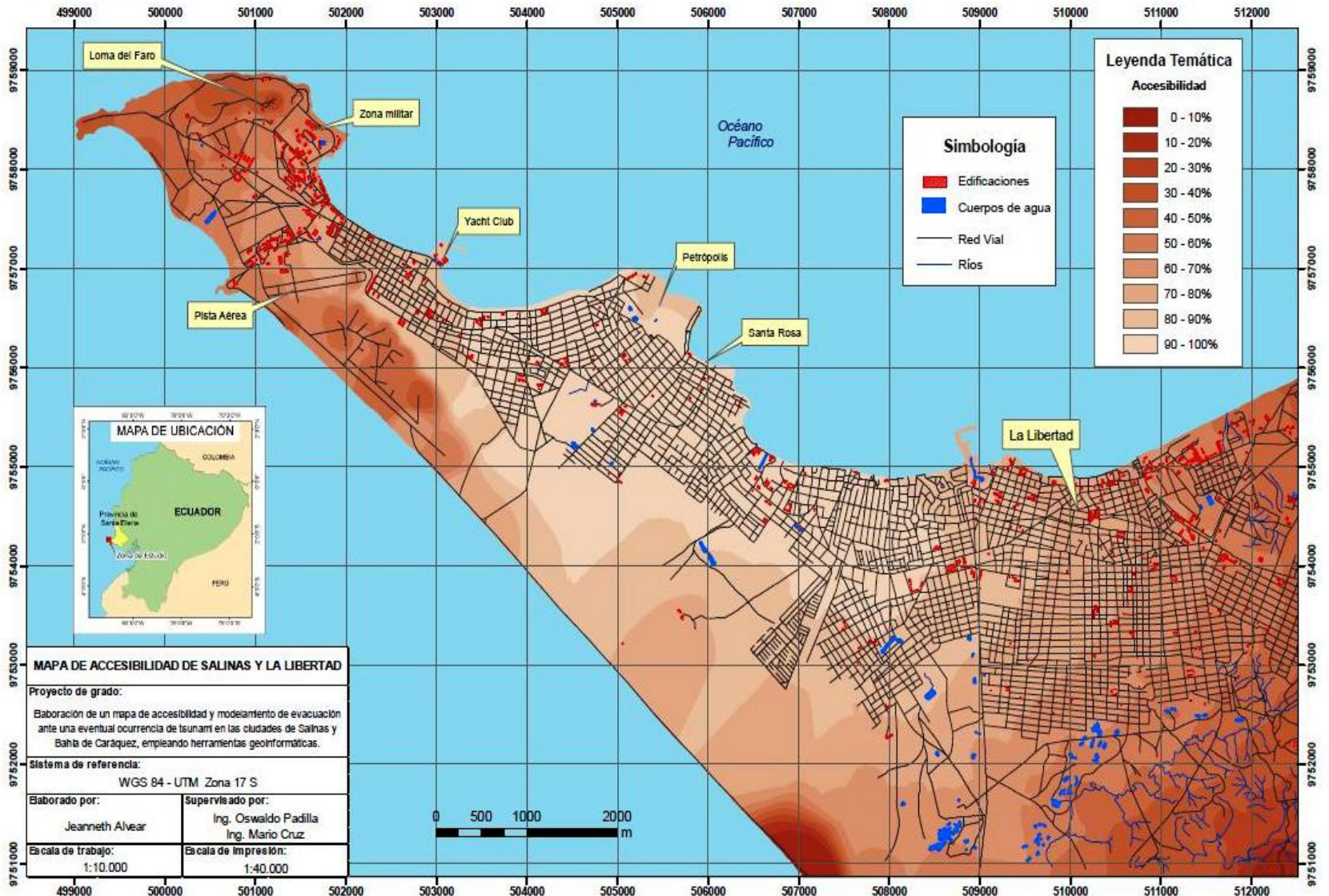
Escala de impresión: 1:40.000



ANEXO B2

MAPA DE ACCESIBILIDAD DE SALINAS Y LA LIBERTAD

ESC: 1:40.000



Leyenda Temática

Accesibilidad

- 0 - 10%
- 10 - 20%
- 20 - 30%
- 30 - 40%
- 40 - 50%
- 50 - 60%
- 60 - 70%
- 70 - 80%
- 80 - 90%
- 90 - 100%

Simbología

- Edificaciones
- Cuerpos de agua
- Red Vial
- Ríos

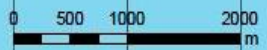


MAPA DE ACCESIBILIDAD DE SALINAS Y LA LIBERTAD

Proyecto de grado:
Elaboración de un mapa de accesibilidad y modelamiento de evacuación ante una eventual ocurrencia de tsunami en las ciudades de Salinas y Bahía de Caráquez, empleando herramientas geoinformáticas.

Sistema de referencia:
WGS 84 - UTM Zona 17 S

Elaborado por: Jeanneth Alvear	Supervisado por: Ing. Oswaldo Padilla Ing. Mario Cruz
Escala de trabajo: 1:10.000	Escala de impresión: 1:40.000

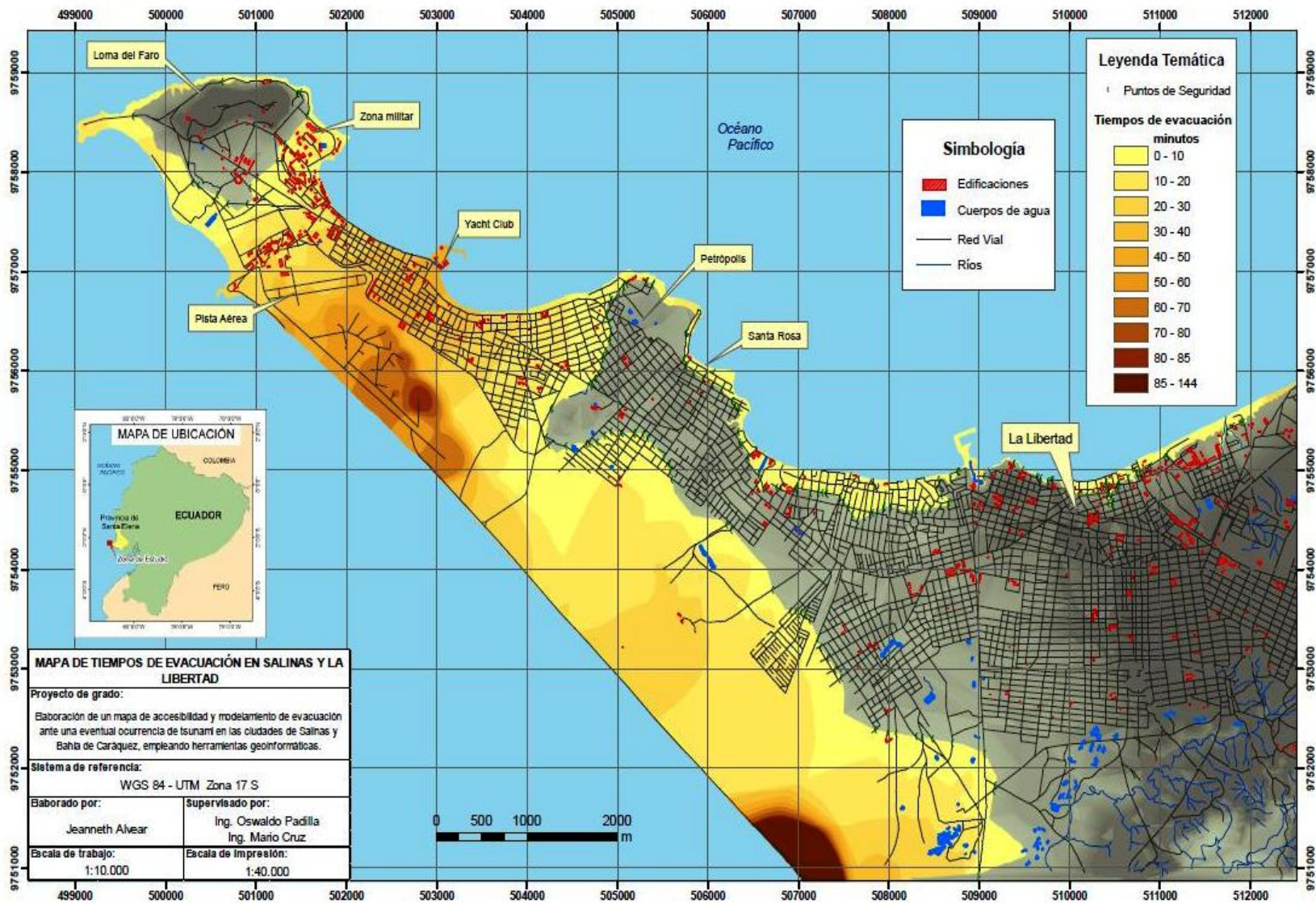


Escala de impresión: 1:40.000



MAPA DE TIEMPOS DE EVACUACIÓN EN SALINAS Y LA LIBERTAD

ESC: 1:40.000



MAPA DE TIEMPOS DE EVACUACIÓN EN SALINAS Y LA LIBERTAD

Proyecto de grado:

Elaboración de un mapa de accesibilidad y modelamiento de evacuación ante una eventual ocurrencia de tsunamis en las ciudades de Salinas y Bahía de Caraquez, empleando herramientas geoinformáticas.

Sistema de referencia:

WGS 84 - UTM Zona 17 S

Elaborado por:

Jeanneth Alvear

Supervisado por:

Ing. Oswaldo Padilla
Ing. Mario Cruz

Escala de trabajo:

1:10.000

Escala de impresión:

1:40.000



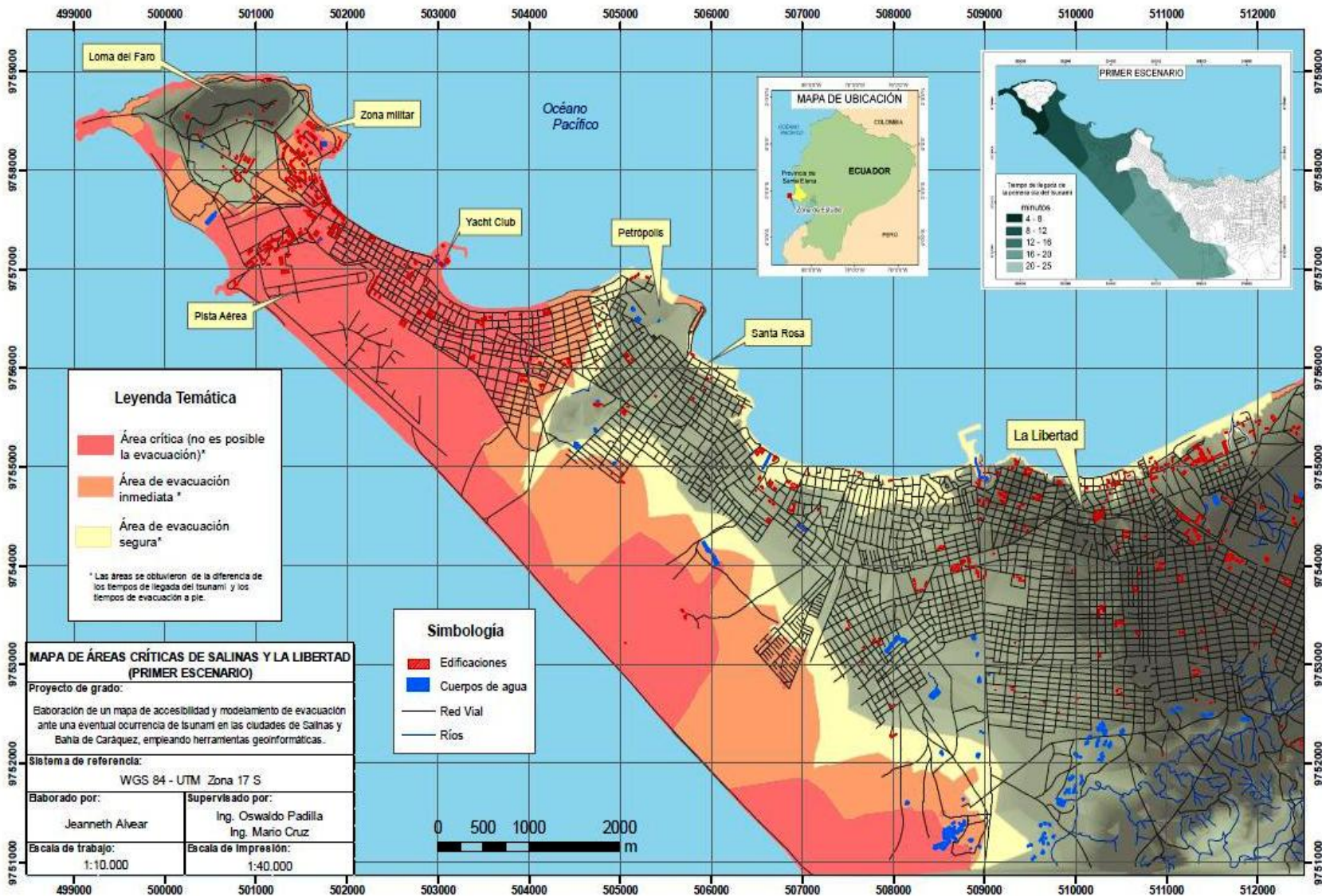
Escala de impresión: 1:40.000



ANEXO B4

MAPA DE ÁREAS CRÍTICAS DE SALINAS Y LA LIBERTAD (PRIMER ESCENARIO)

ESC: 1:40.000



Leyenda Temática

- Área crítica (no es posible la evacuación)*
- Área de evacuación inmediata *
- Área de evacuación segura*

* Las áreas se obtuvieron de la diferencia de los tiempos de llegada del tsunami y los tiempos de evacuación a pie.

Simbología

- Edificaciones
- Cuerpos de agua
- Red Vial
- Ríos

MAPA DE ÁREAS CRÍTICAS DE SALINAS Y LA LIBERTAD (PRIMER ESCENARIO)

Proyecto de grado:

Elaboración de un mapa de accesibilidad y modelamiento de evacuación ante una eventual ocurrencia de tsunamis en las ciudades de Salinas y Bahía de Caráquez, empleando herramientas geoinformáticas.

Sistema de referencia:

WGS 84 - UTM Zona 17 S

Elaborado por:

Jeanneth Alvear

Supervisado por:

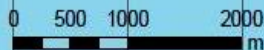
Ing. Oswaldo Padilla
Ing. Mario Cruz

Escala de trabajo:

1:10.000

Escala de impresión:

1:40.000



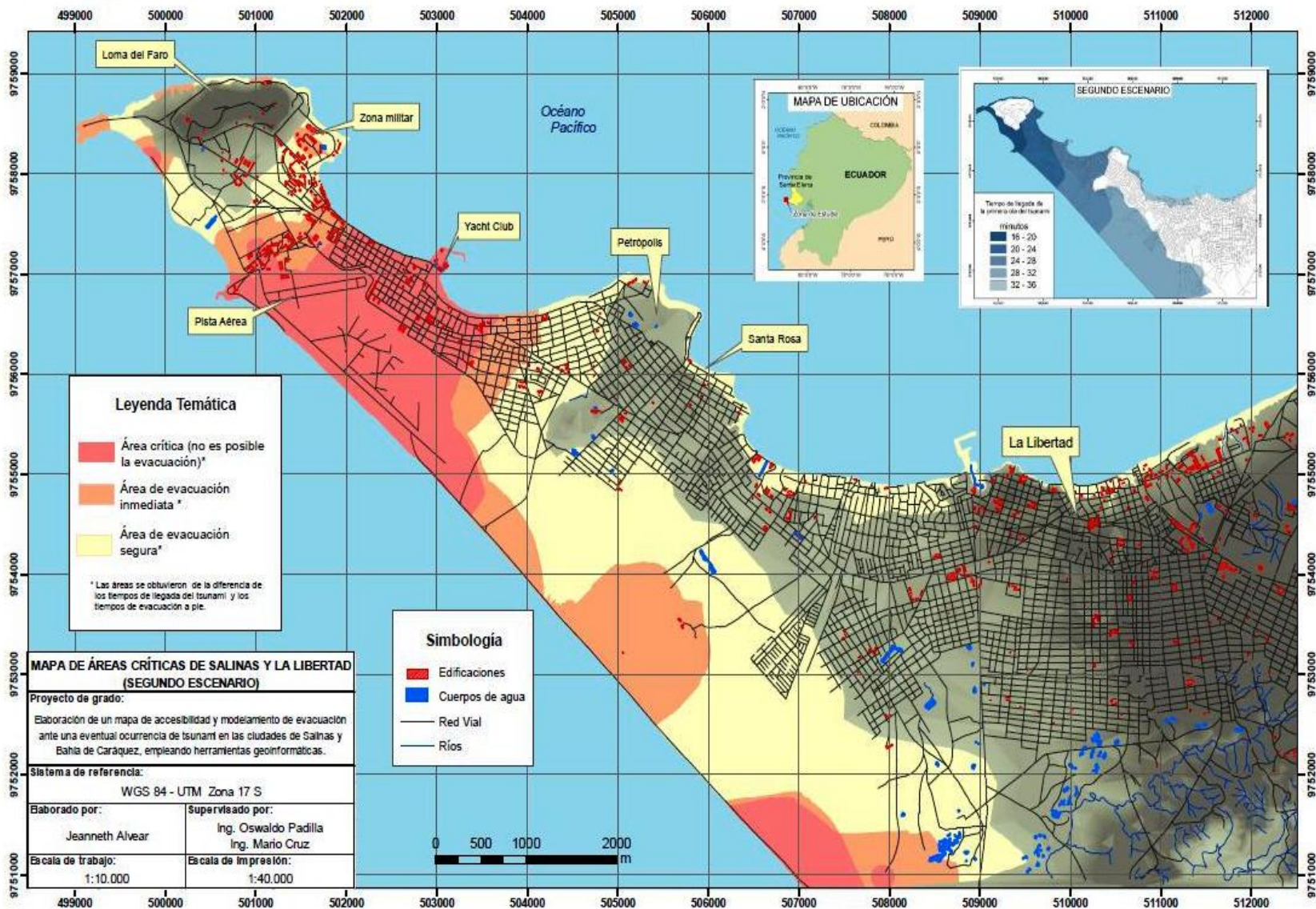
Escala de impresión: 1:40.000



ANEXO B5

MAPA DE ÁREAS CRÍTICAS DE SALINAS Y LA LIBERTAD (SEGUNDO ESCENARIO)

ESC: 1:40.000



Escala de impresión: 1:40.000



ANEXO B6

ANEXO C

MAPAS DE BAHÍA DE CARÁQUEZ

CARTOGRAFÍA BASE DE BAHÍA DE CARÁQUEZ

ESC: 1:17.000



Escala de impresión: 1:17.000

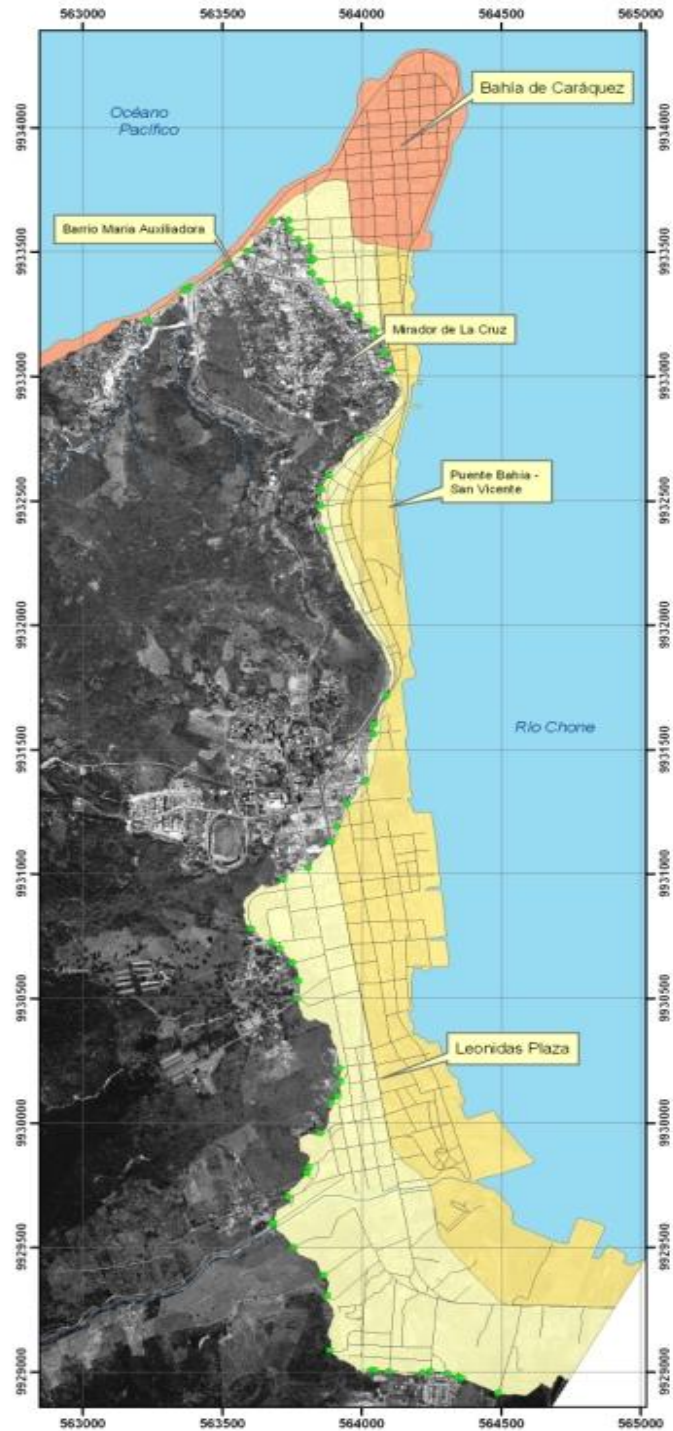
ANEXO C1



CARTOGRAFÍA BASE DE BAHÍA DE CARÁQUEZ	
Proyecto de grado:	
Elaboración de un mapa de accesibilidad y modelamiento de evacuación ante una eventual ocurrencia de tsunami en las ciudades de Salinas y Bahía de Caráquez, empleando herramientas geoinformáticas.	
Sistema de referencia:	
SIRGAS - UTM Zona 17 S	
Elaborado por:	Supervisado por:
Jeanneth Alvear	Ing. Oswaldo Padilla Ing. Mario Cruz
Escala de trabajo:	Escala de impresión:
1:5.000	1:17.000

MAPA DE AMENAZA POR TSUNAMI DE BAHÍA DE CARÁQUEZ

ESC: 1:17.000



Simbología

- Red vial
- Ríos

Leyenda Temática

- Puntos de seguridad

Amenazas por tsunami

- Efecto de ariete
- Acción directa por elevación de los ríos
- Área de inundación secundaria



Escala de impresión: 1:17.000



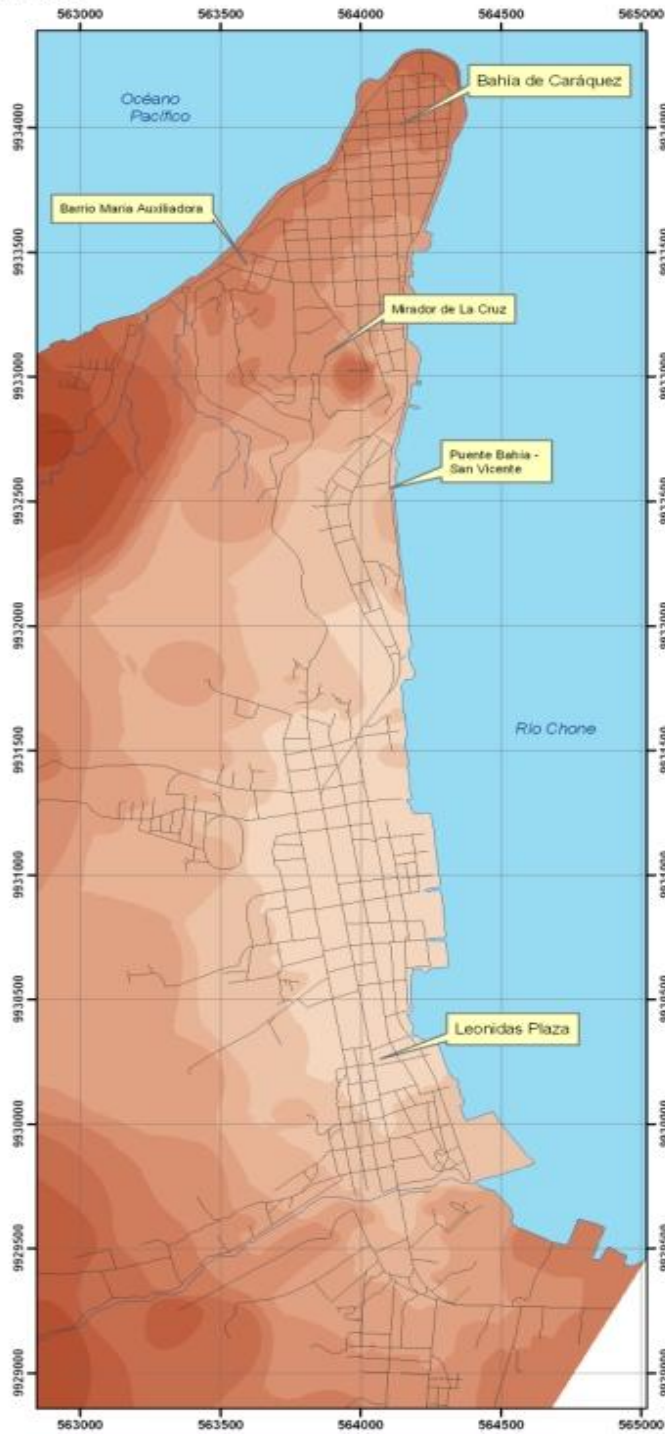
ANEXO C2



MAPA DE AMENAZA POR TSUNAMI DE BAHÍA CARÁQUEZ	
Proyecto de grado: Elaboración de un mapa de accesibilidad y modelamiento de evacuación ante una eventual ocurrencia de tsunamis en las ciudades de Salinas y Bahía de Caráquez, empleando herramientas geoinformáticas.	
Sistema de referencia: SIRGAS - UTM Zona 17 S	
Elaborado por: Jeanneth Alvear	Supervisado por: Ing. Oswaldo Padilla Ing. Mario Cruz
Escala de trabajo: 1:5.000	Escala de impresión: 1:17.000

MAPA DE ACCESIBILIDAD DE BAHÍA DE CARÁQUEZ

ESC: 1:17.000



ANEXO C3

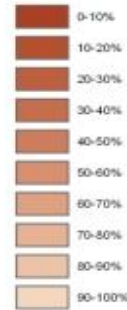


Simbología

- Red vial
- Ríos

Leyenda Temática

Accesibilidad



Escala de impresión: 1:17.000



MAPA DE ACCESIBILIDAD DE BAHÍA CARÁQUEZ

Proyecto de grado:

Elaboración de un mapa de accesibilidad y modelamiento de evacuación ante una eventual ocurrencia de tsunamis en las ciudades de Salinas y Bahía de Caráquez, empleando herramientas geoinformáticas.

Sistema de referencia:

SIRGAS - UTM Zona 17 S

Elaborado por:

Jeanneth Alvear

Supervisado por:

Ing. Oswaldo Padilla
Ing. Mario Cruz

Escala de trabajo:

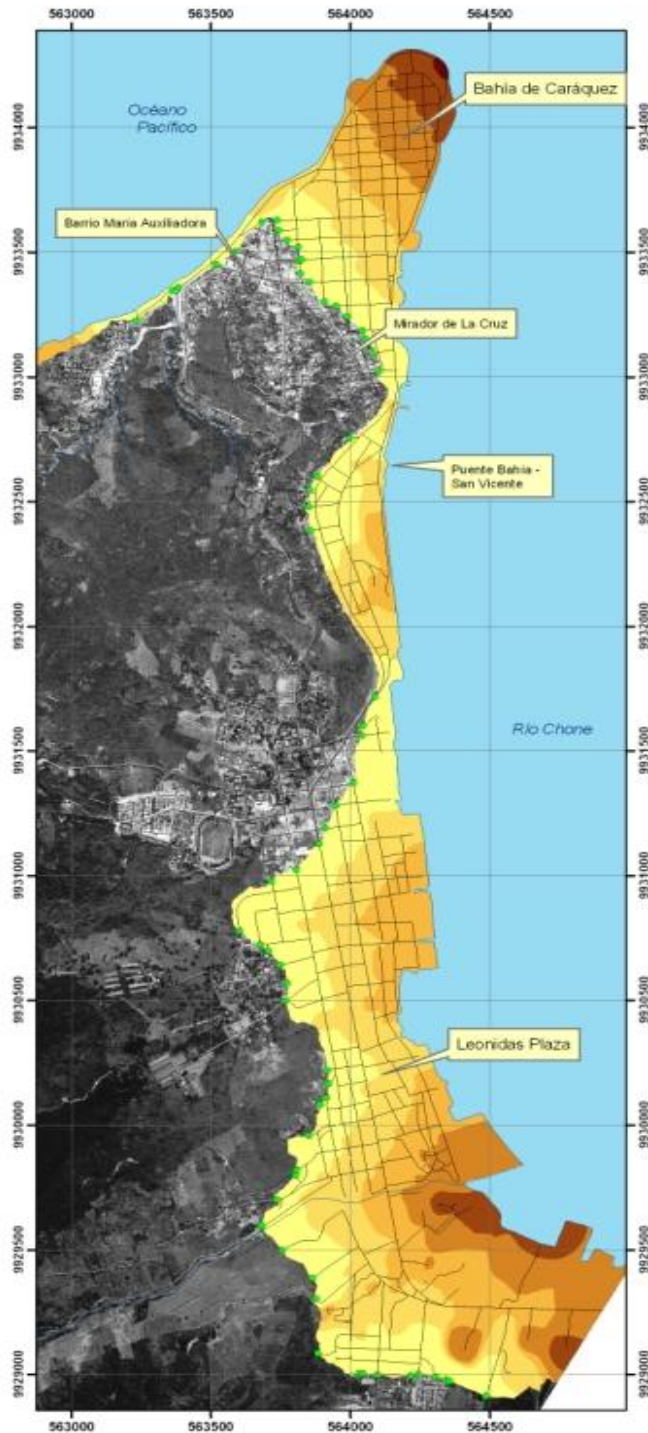
1:5.000

Escala de impresión:

1:17.000

MAPA DE TIEMPOS DE EVACUACIÓN DE BAHÍA DE CARÁQUEZ

ESC: 1:17.000



ANEXO C4



Simbología

- Red vial
- Ríos

Leyenda Temática

- Puntos de seguridad

Tiempos de evacuación

minutos

- 0 - 4
- 4 - 8
- 8 - 12
- 12 - 16
- 16 - 20
- 20 - 24



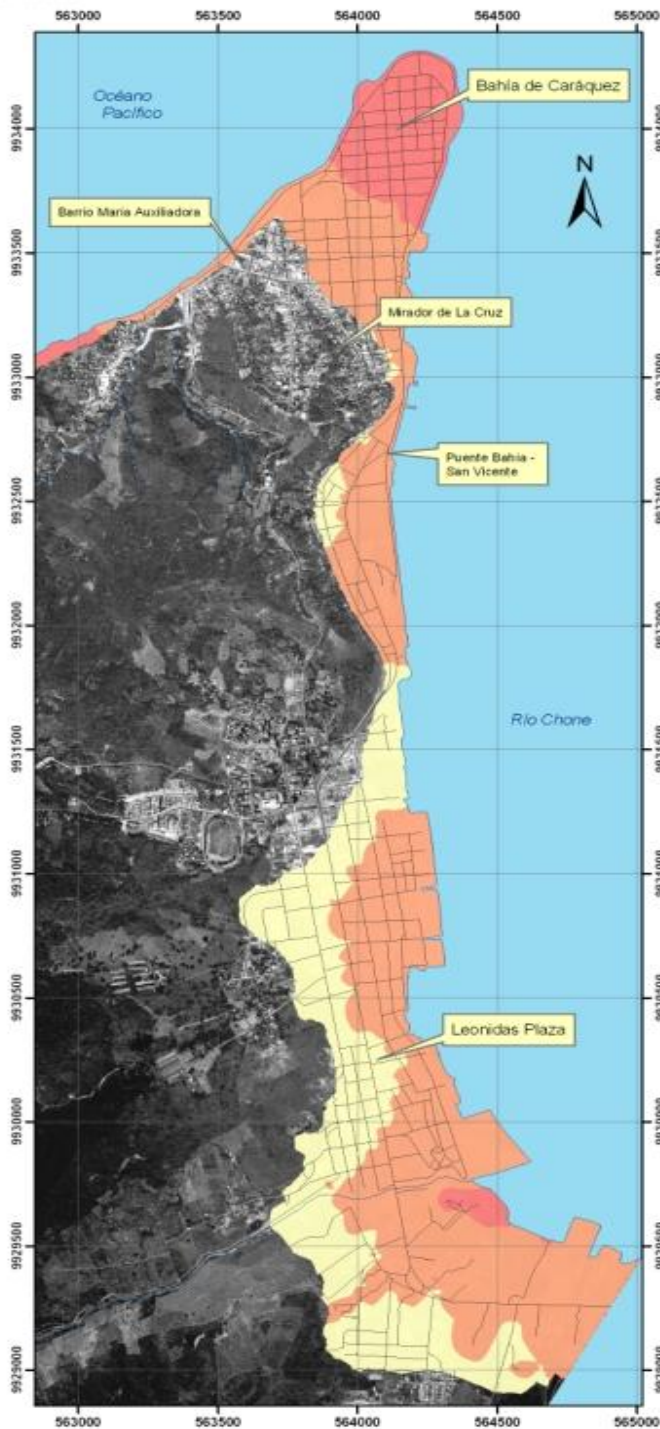
Escala de impresión: 1:17.000



MAPA DE TIEMPOS DE EVACUACIÓN DE BAHÍA DE CARÁQUEZ	
Proyecto de grado: Elaboración de un mapa de accesibilidad y modelamiento de evacuación ante una eventual ocurrencia de tsunamis en las ciudades de Salinas y Bahía de Caráquez, empleando herramientas geoinformáticas.	
Sistema de referencia: SIRGAS - UTM Zona 17 S	
Elaborado por: Jeanneth Alvear	Supervisado por: Ing. Oswaldo Padilla Ing. Mario Cruz
Escala de trabajo: 1:5.000	Escala de impresión: 1:17.000

MAPA DE ÁREAS CRÍTICAS BAHÍA DE CARÁQUEZ (PRIMER ESCENARIO)

ESC: 1:17.000



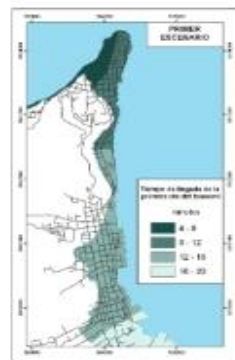
Simbología

- Red vial
- Ríos

Legenda Temática

- Área crítica (no es posible la evacuación)*
- Área de evacuación inmediata *
- Área de evacuación segura

* Las áreas se obtuvieron de la diferencia de los tiempos de llegada al tsunami y los tiempos de evacuación a pie.



Escala de impresión: 1:17.000

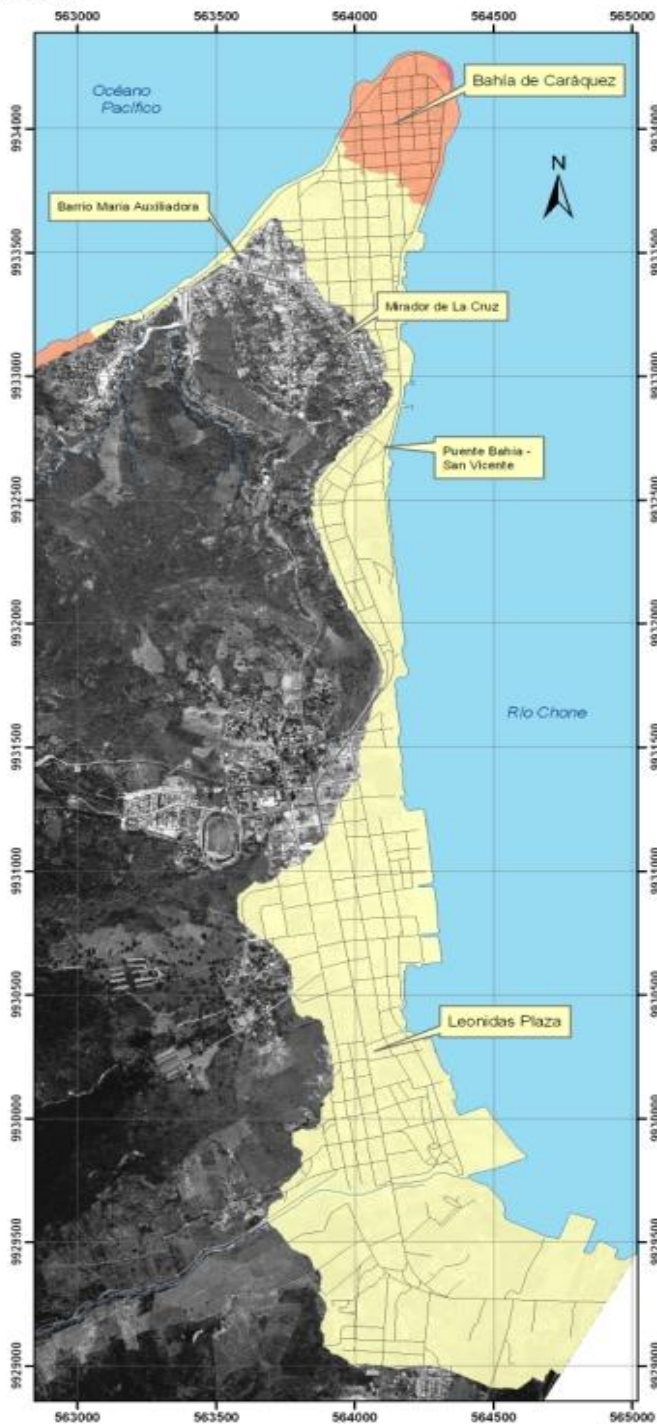
MAPA DE ÁREAS CRÍTICAS DE BAHÍA CARÁQUEZ (PRIMER ESCENARIO)	
Proyecto de grado:	
Elaboración de un mapa de accesibilidad y modelamiento de evacuación ante una eventual ocurrencia de tsunamis en las ciudades de Salinas y Bahía de Caráquez, empleando herramientas geoinfomáticas.	
Sistema de referencia:	
SIRGAS - UTM Zona 17 S	
Elaborado por:	Supervisado por:
Jeanneth Alvear	Ing. Oswaldo Padilla Ing. Mario Cruz
Escala de trabajo:	Escala de impresión:
1:5.000	1:17.000

ANEXO C5



MAPA DE ÁREAS CRÍTICAS DE BAHÍA DE CARÁQUEZ (SEGUNDO ESCENARIO)

ESC: 1:17.000



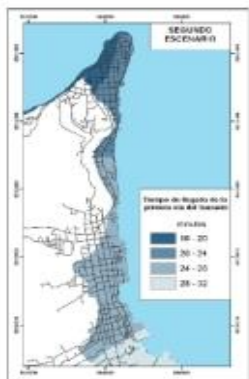
Simbología

- Red vial
- Ríos

Leyenda Temática

- Área crítica (no es posible la evacuación)*
- Área de evacuación inmediata *
- Área de evacuación segura

* Las áreas se obtuvieron de la diferencia de los tiempos de llegada al tsunami y los tiempos de evacuación a pie.



Escala de impresión: 1:17.000

ANEXO C6



MAPA DE ÁREAS CRÍTICAS DE BAHÍA CARÁQUEZ (SEGUNDO ESCENARIO)	
Proyecto de grado: Elaboración de un mapa de accesibilidad y modelamiento de evacuación ante una eventual ocurrencia de tsunami en las ciudades de Salinas y Bahía de Caráquez, empleando herramientas geoinformáticas.	
Sistema de referencia: SIRGAS - UTM Zona 17 S	
Elaborado por: Jeanneth Alvear	Supervisado por: Ing. Oswaldo Padilla Ing. Mario Cruz
Escala de trabajo: 1:5.000	Escala de impresión: 1:17.000