

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA GEÓGRAFICA**



**"APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA PARA LA DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS
DE RIESGO EN EL BALNEARIO DE PUCUSANA"**

*Tesis presentado por el Bachiller en
Ingeniería Geográfica:*

OCHOA ZAMALLOA, ÁNGEL JAIR

Para obtener el título profesional de:

INGENIERO GEÓGRAFO

LIMA – PERÚ

2012

ASESORES

Dr. HERNANDO TAVERA HUARACHE

Ing. JOSE LUIS QUISPE VILCHEZ

JURADOS

Ing. WALTER ARÉVALO GÓMEZ

Geog. ZOILA RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

Ing. DANTE LOAYZA ALATRISTA

DEDICATORIA:

Dedico esta tesis a mi familia que amo tanto y que siempre me dio el cariño y apoyo suficiente para lograr mis objetivos.

A mi padre que desde pequeño me enseñó el camino para lograr mis metas y en especial el de la ingeniería.

A mi madre que nunca descansó en educarme y que siempre fue para mí el mejor ejemplo de persona luchadora.

A mi hermano Juan, que desde niño compartió conmigo, entre juegos y aventuras, una gran amistad.

A mi hermanita, Sofia, que es la luz de mi camino y la más bella bendición que dios me ha dado.

Ángel Jair

INDICE

AGRADECIMIENTOS	II
INDICE	III
CAPITULO I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Área de estudio	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivos generales	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 Planteamiento del problema.....	4
1.3.1 Descripción	4
1.3.2 Antecedentes.....	4
1.3.3 Problema.....	7
1.3.4 Justificación.....	8
1.3.5 Importancia.....	8
1.4 Hipótesis.	9
1.5 Metodología.	9
CAPITULO II CONCEPTOS Y SISMICIDAD	11
2.1 Riesgo	11
2.1.1 Definiciones.....	11
2.1.2 Metodología de evaluación del riesgo sísmico	12
2.2 Peligro	13
2.2.1 Definiciones.....	13
2.2.2 Clasificación	14
2.2.3 Peligro sísmico.....	15
2.2.4 Historia Sísmica en el área de influencia	16
2.3 Vulnerabilidad	22
2.3.1 Factores.....	22
2.4 Escenario de riesgo	23
2.4.1 Modelo de escenario	23
2.4.2 Diagrama de flujo.....	24
2.5 Características de los sismos y la sismicidad en el Perú.....	24
2.5.1 Definición y clasificación de los sismos.....	24
2.5.2 Origen de los sismos.....	25
2.5.3 Componentes de un sismo.....	25
2.5.4 Tipos de ondas sísmicas	26
2.5.5 Escalas de medición de los sismos.....	26
2.5.6 Efectos de los sismos	28
2.5.7 Los sismos en el Perú.....	29
2.5.8 Sismos que afectaron Lima.....	34
CAPITULO III SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	37
3.1 Sistemas de información geográfica	37
3.1.1 Definiciones.....	37
3.1.2 Componentes de un SIG	38
3.1.3 Funcionamiento de los SIG	40
3.1.4 Soluciones propias del SIG.....	40
3.1.5 Construcción de la base de datos	40
3.2 Software a emplear.....	42
3.2.1 Arcgis 9.3.....	42
3.2.2 AutoCAD.....	42
3.3 Uso del SIG en la estimación de riesgos.....	42
3.3.1 El método de Wyss para estimar pérdidas producidas por un terremoto	43

CAPITULO IV APLICACIÓN AL BALNEARIO DE PUCUSANA	45
4.1 Localización.....	45
4.2 Historia	45
4.3 Caracterización componentes físicos	46
4.3.1 Geología Local.....	46
4.3.2 Geomorfología Local	48
4.3.3 Mapa topográfico	49
4.3.4 Características hidrográficas.....	50
4.4 Caracterización Demográfica y Económica.	50
4.4.1 Dinámica Poblacional.....	51
4.4.2 Caracterización económica del Balneario de Pucusana.....	52
CAPITULO V ELABORACIÓN DE LA BASE DE DATOS	57
5.1 Recopilación de la información	57
5.1.1 Resultados	60
a) Clasificación de viviendas según el material de construcción.....	60
b) Clasificación de viviendas según número de pisos	64
c) Clasificación de viviendas de Pucusana según su antigüedad:.....	67
d) Clasificación de viviendas según su estado de conservación:.....	70
e) Clasificación de viviendas según su nivel de deterioro producido por la humedad.....	73
f) Clasificación de viviendas según su estado de daño por sismos.....	76
g) Clasificación de viviendas de Pucusana según su tipo de techo:	79
h) Clasificación de viviendas según su sistema constructivo	81
i) Clasificación de viviendas según uso de alero:	83
j) Clasificación de peligros antrópicos.....	85
k) Clasificación de viviendas del Balneario según el nivel de Resiliencia de la población	88
CAPITULO VI IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS.....	91
6.1 Condiciones locales de sitio.....	92
6.1.1 Condiciones mecánicas - dinámicas de suelos.....	93
a) Norma E-030.....	93
b) Instrumentación y datos.....	95
6.1.2 Metodología en sísmica – registros de vibración ambiental	98
6.1.3 Metodología en geotécnica	99
6.1.4 Comportamiento dinámico del suelo.....	101
a) Recolección de Datos.....	101
b) Distribución de Periodos Dominantes	103
c) Aspectos Geotécnicos	109
6.2 Zonificación Sísmico-Geotécnica (CDS)	111
6.3 Tsunami	113
6.3.1 Antecedentes.....	113
a) daños producidos por el momento del flujo.....	113
b) daños producidos por inundación	114
c) daños por socavamiento	115
6.3.2 Mapa de inundación por tsunami.	116
CAPÍTULO VII ESCENARIO DE RIESGO DE SISMO Y TSUNAMI	119
7.1 Determinación de peligros naturales.....	119
7.1.1 Mapa de Peligro en Función al Tipo de Suelo y Área de Inundación por Tsunami.....	119
7.2 Determinación de la vulnerabilidad	123
7.2.1 Determinación de la vulnerabilidad según el nivel de fragilidad de sus construcciones.....	130
a) Vulnerabilidad según su el tipo de material de construcción	131
b) vulnerabilidad según el número de pisos	134
c) Vulnerabilidad según su antigüedad.	136
d) Vulnerabilidad según su estado de conservación.	139
e) Vulnerabilidad según el nivel de deterioro producido por humedad.	140
f) Vulnerabilidad según el estado de daño de viviendas por sismo.....	143

g) Vulnerabilidad según tipo de techo	145
h) Vulnerabilidad según el sistema constructivo.	148
i) Vulnerabilidad según el uso de alero.....	150
j) Vulnerabilidad por fragilidad de las construcciones	152
k) Determinación de vulnerabilidad según el nivel de fragilidad de sus construcciones:.....	156
A. Mapa de vulnerabilidad por fragilidad de las construcciones.....	157
7.3 Determinación de la vulnerabilidad según el nivel de exposición.....	159
7.3.1 Clasificación de vulnerabilidad por exposición	159
a) Clasificación de la Vulnerabilidad	159
b) Metodología	159
c) Evaluación multicriterio	159
d) Matriz de vulnerabilidad por exposición.	159
e) Resultado.	160
f) Matriz de rango de alcance de los peligros.....	161
g) Matriz de vulnerabilidad por exposición.	161
h) Resultado.	162
B. Mapa de vulnerabilidad por exposición de las construcciones	163
7.4 Determinación de la vulnerabilidad según el nivel de Resiliencia	165
a) Determinación de la vulnerabilidad según el poder adquisitivo:.....	165
b) Determinación de la vulnerabilidad según nivel de preparación.....	167
c) Determinación de la vulnerabilidad según nivel de conocimiento sobre sismos.....	169
d) Determinación de la vulnerabilidad según los trabajos de mitigación	171
e) Vulnerabilidad sísmica por Resiliencia	173
C. Mapa de vulnerabilidad por resiliencia	175
7.4.1 Mapa de vulnerabilidad sísmica.....	176
D. Mapa de vulnerabilidad sísmica	179
7.5 Cálculo del riesgo	181
E. Mapa de riesgo de desastre en función a sus niveles de peligro y vulnerabilidad	182
 CAPITULO VIII OTROS ESCENARIOS DE RIESGO DE SISMO Y TSUNAMI EN PUCUSANA	 184
8.1 Primer escenario	186
8.2 Segundo escenario	188
8.3 Tercer escenario	190
8.4 Cuarto escenario	192
8.5 Quinto escenario	193
8.6 Sexto escenario	194
8.7 Séptimo escenario.....	195
CONCLUSIONES.....	196
RECOMENDACIONES	198
BIBLIOGRAFÍA.....	200
Anexo I: Fotografías.....	205
Anexo II: Fichas técnicas de campo utilizadas en la recolección de información catastral.....	211
Anexo III: Fichas y análisis geotécnico de calicatas, granulometría y corte directo	216
Anexo IV: Mapas y Resultados	224

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En el contexto sísmico mundial, el Perú se encuentra ubicado en el borde oriental del Círculo del Fuego del Pacífico, una de las zonas de mayor actividad sísmica mundial; por lo tanto, se encuentra expuesto de manera frecuente a eventos sísmicos de gran magnitud. Según la historia sísmica de Perú, ciudades como Lima, ha sido afectada de manera reiterativa por sismos de gran magnitud, produciendo daños importantes en las viviendas, esto debido principalmente a que el riesgo no solo depende de las características de los eventos sísmicos, sino también de las condiciones de vulnerabilidad del suelo y de las estructuras que favorecen o facilitan que se desencadene un mayor desastre cuando se presentan estos peligros.

La principal fuente generadora de los eventos sísmicos que afectan al Perú viene de la interacción de la Placa de Nazca y la Continental, produciendo eventos de gran magnitud, a diferentes niveles de profundidad. Así mismo, la relativa proximidad de la fuente sismogénica a la costa de Perú hace que la intensidad del movimiento sísmico sea bastante considerable en zonas urbanas como Lima, los que se ven incrementados por las diferentes condiciones de sitio que se presentan en los Distritos de la gran Lima Metropolitana, tal como se ha podido observar durante la ocurrencia de los terremotos del 17 de octubre de 1966 y 03 de octubre de 1974 por mencionar algunos de ellos. Las zonas de mayores daños se localizaron en los Distritos de Chorrillos, Barranco, La Molina, La Punta y El Callao (Silgado, 1978).

Debido al alto peligro al que la población de Lima está expuesta, es necesario conocer los posibles daños que podrían producirse de ocurrir un sismo de gran magnitud. Este estudio propone una metodología de fácil aplicación que permite definir escenarios de riesgo, considerando como variables fundamentales los relacionados a los parámetros hipocentrales del sismo que podrá ocurrir, la calidad del suelo y de las viviendas, la distribución de la población, la distribución de los servicios básicos, la hora en que podría ocurrir el evento y los medios o mecanismos de respuesta que tengan a su disposición la población para tratar de mitigar sus efectos. La continua ocurrencia de

sismos en el Perú ha permitido conocer que el impacto de un sismo se concentra en áreas urbanas vulnerables, definida no solo por la fragilidad de las edificaciones sino también a otros factores sociales como el crecimiento descontrolado de las ciudades, particularmente la ocupación de zonas no apropiadas por el tipo de suelo y laderas empinadas.

En las últimas décadas el desarrollo urbano se incrementó considerablemente hacia la zona sur de Lima Metropolitana, dando lugar al crecimiento descontrolado de distritos como Pucusana, Santa María del Mar, San Bartolo y Punta Hermosa, haciendo de estos cada vez más vulnerables a diferentes peligros y entre ellos a los sismos. En este estudio se pretende identificar áreas de riesgo en el Balneario de Pucusana y proponer posibles soluciones a los problemas de la vulnerabilidad que afectan al poblador de Pucusana, mediante el planteamiento de un modelo de gestión de riesgo. Este modelo propone programas y proyectos que permitirán al poblador de Pucusana disminuir los niveles de daños, elevando su nivel de resiliencia y evitando su exposición mediante la identificación de los lugares de mayor fragilidad.

1.1 Área de estudio

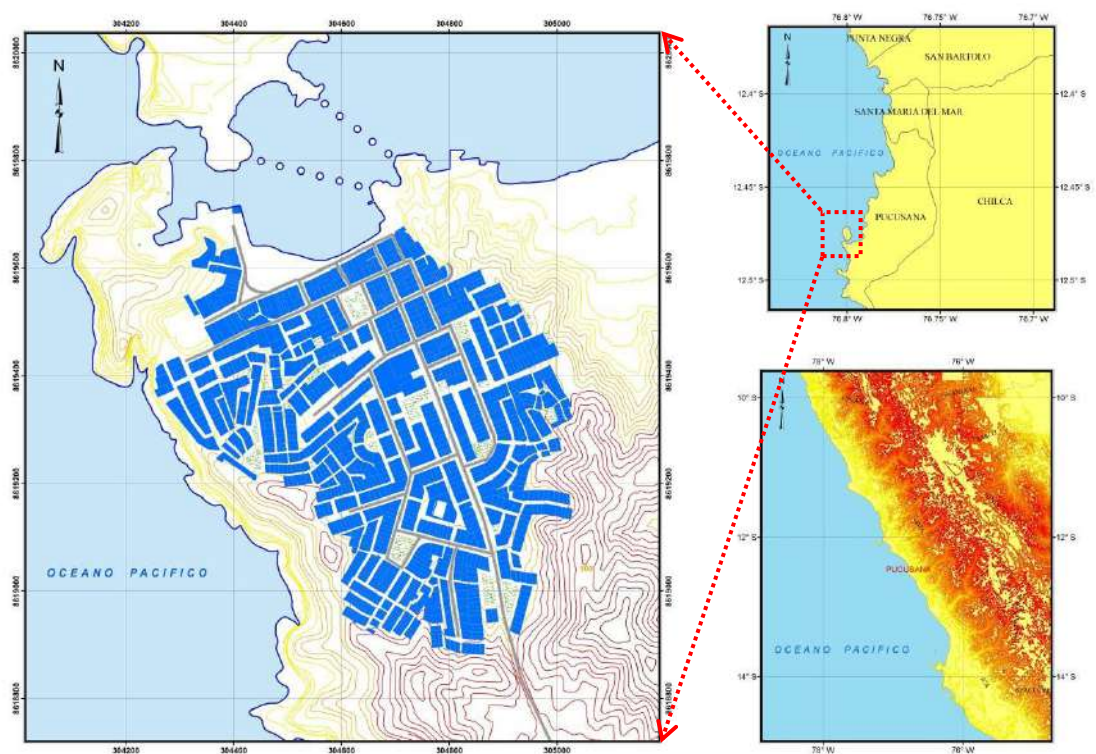


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio

El Balneario de Pucusana se encuentra ubicado en el Distrito del mismo nombre, en la provincia de Lima, al sur del departamento de Lima en el Km 59 de la carretera Panamericana Sur y limita, por el norte con el Distrito de Santa María del Mar, por el este con el Distrito de Chilca, por el sur y oeste con el Océano Pacífico (Figura 1). El Balneario de Pucusana abarca una extensión de 37.83 km² y según el censo del año 2007 del INEI, el Balneario de Pucusana tiene una población aproximada de 10 633 habitantes.

El área de estudio se encuentra delimitada por las siguientes coordenadas:

Norte: -12,4796° y -76,7973°

Sur: -12,4873° y -76,7956°

Este: -12,4824° y -76,7941°

Oeste: -12,4842° y -76,8004°

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos generales

- ✓ Proponer una metodología que permita identificar zonas en riesgo en áreas urbanas, mediante la evaluación de variables y haciendo uso del sistema de información geográfica.

1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Analizar y dar a conocer las características de los sismos y los efectos locales a producirse en el Balneario de Pucusana.
- ✓ Desarrollar los fundamentos teóricos en los que se basan los sistemas de información geográfica para la propuesta de escenarios de riesgo.
- ✓ Elaboración de una base de datos con variables que permitan establecer escenarios de riesgo.
- ✓ Determinar los principales escenarios de riesgo para el Balneario de Pucusana, Estos en función del peligro y la vulnerabilidad.
- ✓ Dar a conocer los mecanismos necesarios para proponer la reducción de la vulnerabilidad en el Balneario de Pucusana.

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Descripción

El departamento de Lima, por encontrarse ubicado en el borde oriental del Cinturón de Fuego del Océano Pacífico, está expuesto a eventos sísmicos de gran magnitud, los cuales históricamente han producido daños cuantiosos ya sean materiales e inmateriales como “pérdidas de vidas humanas”. Entre estos eventos de gran magnitud, el más trascendental fue el ocurrido el 28 de octubre de 1746 (magnitud de 9), quedando la población de Lima, de ese entonces diezmada, debido a la destrucción de las viviendas y el posterior tsunami que arrasó con el Callao. Pero este no fue el único sismo registrado por cronistas de la época, sino también entre otros importantes se puede mencionar a los ocurridos en los años 1555, 1609, 1630, 1678, 1687, 1699, 1777, 1806, 1828, 1926, 1940, 1945, 1951, 1960, 1966, 1974, y 1993, que también produjeron cuantiosos daños. Ante esta realidad, la ciudad de Lima está expuesta a sismos y es necesario la construcción de escenarios a ser utilizados para realizar la gestión necesaria que ayude a tomar decisiones antes, durante y después de producirse el sismo.

1.3.2 Antecedentes

A continuación, se realiza una breve descripción de los diferentes estudios en gestión de riesgo realizados en Lima.

“Escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao”

PREDES

Resumen: El escenario de sismo se basa en dos aspectos: el peligro sísmico y el tsunami asociado; y la estimación de la vulnerabilidad de las viviendas existentes. El conocimiento de estos dos aspectos para Lima Metropolitana y Callao es aún limitado por la escasa cantidad de estudios sobre la ubicación y cuantificación de la fuerza del sismo de acuerdo al tipo de suelo; mientras que, para la estimación de la vulnerabilidad de las estructuras residenciales, se carece de información de detalle sobre las características de las edificaciones existentes, especialmente cualitativa, así como de la densidad poblacional. El estudio estima el posible impacto

de un sismo y tsunami sobre las personas y viviendas a nivel de distritos, e identifica según niveles, el grado de afectación. El territorio de análisis considera a 42 distritos, todos comprendidos en el Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en 42 Distritos de Lima y Callao desarrollado para la APESEG en el año 2005 por el CISMID.

En este estudio se trata de hacer una evaluación a nivel macro del estado actual de las viviendas de Lima metropolitana y su relación con la caracterización de suelos que realizó anteriormente el APESEG. Este estudio es importante porque proporciona una idea global del escenario hipotético de Lima en caso de sismo de gran magnitud.

“Caracterización de la vulnerabilidad integral en la margen izquierda del río Rímac”

PROYECTO: "Reducción de la vulnerabilidad en la Margen izquierda del Río Rímac- Cercado de Lima- Lima"

MIRR

Resumen: El tema central de la investigación está relacionado a la reducción de la vulnerabilidad física, considerando una intervención integral y holística para enfrentar la vulnerabilidad desde diferentes ángulos. Como parte de esta estrategia se propuso direccionar proyectos de intervención desde la dimensión social económica, la dimensión físico – urbano ambiental como ejes temáticos de intervención y ejes transversales como el del fortalecimiento de capacidades, la equidad de género y generacional para la gestión del desarrollo.

Este estudio generalizó la posible ocurrencia de peligros como sismo y/o geológicos y el cómo minimizar los efectos de estos en la margen izquierda del Río Rímac. Se realizó el análisis de las viviendas, suelos, a fin de encontrar zonas de mayor riesgo y con este, tomar medidas para evitar efectos secundarios. Este estudio provee información importante debido a la gran cantidad de personas que habitan en la margen izquierda del río Rímac.

“Preparación de Desastre Sísmico o Tsunami y Recuperación Temprana en Lima y Callao”
PNUD-INDECI (2010)

Resumen: Este proyecto fue desarrollado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y el Instituto Nacional de Defensa Civil, con apoyo financiero de la Comisión Europea de Ayuda Humanitaria (ECHO) a fin de reducir los riesgos de desastre por sismo y/o tsunami en Lima y Callao, a través del fortalecimiento de capacidades de preparación ante desastres y recuperación temprana a nivel regional.

El Proyecto presenta cuatro componentes:

- I. Conocimiento de los riesgos de sismo y tsunami, y manejo de información en relación a la preparación, respuesta y recuperación. Se realizó el estudio de riesgo ante sismos en el Centro Histórico del Rímac.
- II. Procesos de planificación de operaciones de emergencia y organización de la preparación, respuesta y recuperación fortalecidos. Se formuló un Plan de Respuesta ante sismos para el Centro Histórico del Rímac, acciones de preparación de la comunidad, simulacros, señalización de zonas seguras y rutas de evacuación. Equipamiento del Centro de Operaciones de Emergencia del Rímac.
- III. Concientización e información en preparación y respuesta a sismos a los Comités de Defensa Civil y población.
- IV. Fortalecimiento de las capacidades de coordinación entre la Municipalidad Metropolitana de Lima y el Gobierno Regional del Callao para la organización y planificación de la respuesta y recuperación post impacto por sismo y tsunami.

Así mismo, el proyecto tiene dos niveles de intervención: metropolitano y distrital. Los ámbitos son: Cercado del Callao, Centro Histórico de Lima (que comprende los Distritos de Cercado de Lima y Rímac).

**“Estudio de identificación de zonas de peligro y vulnerabilidad en los Distritos de Cercado de Lima y El Agustino, Lima Metropolitana”
COOPI**

Resumen: Este estudio tiene por finalidad conocer las condiciones de exposición a peligros por parte de la población en algunas áreas de los distritos de Lima y el Agustino a fin de contar con la información adecuada para la preparación ante desastres. La idea es conocer el manejo de crisis (gestión de emergencias) y entregar a los dos Municipios la documentación técnica necesaria para ser menos vulnerables.

Entre los objetivos específicos se tiene la identificación de peligros y vulnerabilidad, así como ubicar áreas más seguras al interior y/o al exterior de las zonas indicadas, así como el manejo de una emergencia y en particular, la evacuación de las familias.

Se consideraron los siguientes peligros:

- los sismos, (efectos del terremoto del 15 de agosto 2007, condición de exposición futura por condiciones de suelo y estado de vivienda).
- los movimientos en masa (áreas de desplome, deslizamientos, derrumbes).
- inundaciones.
- incendios.

1.3.3 Problema

De acuerdo a las consideraciones anteriores y desde el punto de vista técnico, el problema puede ser formulado bajo la siguiente pregunta:

¿Cuál sería el escenario de riesgo producido por un sismo y tsunami de gran magnitud en el Balneario de Pucusana considerando, la calidad del suelo, tipo de estructuras, distribución de peligros antrópicos y el nivel de resiliencia?

1.3.4 Justificación

a) Científica

Es necesario, realizar un estudio de riesgo en el Balneario de Pucusana considerando, la calidad del suelo, tipo y calidad de las viviendas, distribución espacial de los servicios básicos, etc. Además, la evaluación del riesgo de este Balneario debe abordar, la estimación del peligro natural y la vulnerabilidad de los elementos expuestos en conjunto para llegar a estimar un riesgo probable. Con la ayuda de las nuevas tecnologías de información como son los sistemas de información geográfica, en este estudio se propone un escenario de riesgo ante terremotos para el Balneario de Pucusana proponiendo una metodología rápida y de fácil comprensión, que toma en cuenta los efectos en la calidad del suelo, las estructuras y la distribución de los servicios básicos.

b) Económica

Es necesario, hacer un estudio de riesgo en el Balneario de Pucusana debido a su importante crecimiento poblacional, económico y social, etc. Además, como Balneario y puerto proveedor de recursos hidrobiológicos a la ciudad capital como a los distritos aledaños.

c) Social

Es necesario proponer metodologías de estudios de riesgo de manera holística, donde los tomadores de decisiones tengan la base necesaria para dar respuestas tempranas en caso de producirse algún desastre.

1.3.5 Importancia

La ejecución de la estimación del Riesgo adquiere especial importancia por las razones siguientes:

- Permite adoptar medidas preventivas y de mitigación - reducción de desastres.

- Contribuye en la cuantificación del nivel de daño y los costos sociales y económicos de un centro poblado frente a un peligro potencial.
- Proporciona una base de datos para la planificación de las medidas de prevención específica, reduciendo la vulnerabilidad.
- Constituye un elemento de juicio fundamental para el diseño y adopción de medidas de prevención específica, como la preparación y educación de la población para una respuesta adecuada durante una emergencia, así como crear una cultura de prevención.
- Permite racionalizar los potenciales humanos y los recursos financieros en la prevención y atención de los desastres.
- Constituye una garantía para la inversión en los casos de proyectos específicos de desarrollo.

1.4 Hipótesis.

Mediante el análisis de la cartografía de las principales variables del riesgo presentes en el Balneario de Pucusana, es posible identificar y proponer un escenario de riesgo ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud, así como estimar el posible daño que un evento sísmico produciría en el Balneario.

1.5 Metodología.

La metodología a seguir en el desarrollo del presente estudio se basa en el análisis, diseño y simulación de un modelo de indicadores para la propuesta de un escenario sísmico en el Balneario de Pucusana.

El desarrollo del estudio puede ser clasificado de la siguiente manera:

- Construcción conceptual de un modelo de sistema urbano.
- Documentación sobre aspectos conceptuales de la vulnerabilidad en el sistema urbano frente a los fenómenos naturales.
- Revisión y análisis de los avances teóricos y conceptuales en la

construcción de indicadores para la evaluación de la vulnerabilidad en sistemas urbanos.

- Establecimiento de variables indispensables, desde los conceptos de expertos, para el análisis de la vulnerabilidad por medio de la lógica difusa.
- Aplicación de la lógica difusa en la determinación de los sistemas difusos que permitan ponderar los indicadores que faciliten la interpretación integral del riesgo sísmico. Aplicación de software SIG especializado para el procesamiento.
- Aplicación del modelo de indicadores para la estimación del riesgo.

Este estudio de investigación se estructura en nueve capítulos y sus contenidos se resumen de la siguiente manera:

Capítulo I: En este Capítulo se desarrolla: la introducción, el área de estudio, objetivos, planteamiento del problema, hipótesis y la metodología a emplear.

Capítulo II: Detalla información necesaria sobre el riesgo sísmico: peligro (sismos) y vulnerabilidad (estructuras).

Capítulo III: Detalla la información sobre la metodología a emplear y las herramientas necesarias a utilizar en el desarrollo del estudio.

Capítulo IV: Detalla la información de los componentes físicos y socio - económicos del área de estudio.

Capítulo V: Detalla la información relacionada con la toma de datos en campo: encuestas y la microzonificación sísmica-geotécnica.

Capítulo VI: Detalla información sobre el mapa de peligros naturales.

Capítulo VII: Detalla información sobre la metodología para el cálculo de la vulnerabilidad, su comparación de estas variables y finalmente el cálculo del Riesgo.

Capítulo VIII: Detalla diferentes escenarios de riesgo de desastre para Pucusana.

Conclusiones y Recomendaciones

Anexo I: Publicaciones del autor.

Anexo II: Fotografías

Anexo III: Fichas técnicas de campo, datos geotécnicos y sísmicos.

Anexo IV: Mapas y resultados.

CAPITULO II

CONCEPTOS Y SISMICIDAD

El riesgo de desastre no solo depende de la ocurrencia de los fenómenos naturales o antrópicos, sino de los efectos que estos producen en la sociedad. La configuración de un desastre requiere de una sociedad, que en su estado de desarrollo, presente deficiencias para que ante la ocurrencia de un fenómeno, como los sismos, ponga en peligro su estabilidad. (Lavell, 1998)

2.1 Riesgo

Es la evaluación matemática de las posibles pérdidas de vidas, daños a los bienes materiales, a la propiedad y la economía para un periodo y área conocida, producto de la ocurrencia de un fenómeno natural o evento provocado por el hombre. El riesgo se evalúa en función del peligro y la vulnerabilidad.

2.1.1 Definiciones

A continuación se presenta las definiciones de algunos expertos sobre el concepto de riesgo:

“La posibilidad de pérdida o daño o exposición al cambio de daño o perdida”

Souter, (1996), Dowrick, (1997)

“Amenaza concreta de daño que yace sobre nosotros en cada momento y segundos de nuestras vidas, pero que puede materializarse en algún momento o no”

www.definicionabc.com consultado el 13/06/11

“Es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad”.

Alex H. BARBAT

“El riesgo en general puede entenderse como la posibilidad que se presente un daño o pérdida, si dicho daño se valora, en un tiempo de exposición t ”

Cardona, O (1985)

“Probabilidad de daños y pérdidas futuras: una condición latente y predecible en distintos grados, marcada por la existencia de Amenazas (naturales, socio naturales y antrópicos), Vulnerabilidad (propensidad de perder o ser dañado) y Exposición al daño; resultado de PROCESOS determinados de desarrollo de la sociedad.”

Allan Lavel

“Contingencia o proximidad de algún daño”.

Real academia española

2.1.2 Metodología de evaluación del riesgo sísmico

En la actualidad, no existe una única metodología de evaluar el riesgo sísmico por lo que, diferentes normas han sido dadas y varios autores vienen trabajando con diferentes índices de riesgo. Un índice de riesgo (R_s) es una función conocida a partir de la peligrosidad sísmica (P) y la vulnerabilidad (V):

$$R_s = \varnothing(P, V)$$

Dónde:

La peligrosidad (P) depende de la región donde está ubicada una determinada construcción o infraestructura, y su medida está relacionada con la probabilidad de ocurrencia de peligros de cierta intensidad.

La vulnerabilidad (V) depende de la tipología y características geométricas de una construcción así como de los materiales con que fue fabricada. El nivel de exposición y la capacidad de respuesta y recuperación de los habitantes del lugar afectado.

El riesgo se ve potenciado cuando la peligrosidad o vulnerabilidad aumenta, por esta razón, la función $\varnothing$ se toma como una función creciente.

2.2 Peligro

El peligro, es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por la actividad del hombre, potencialmente dañino, de una magnitud dada, en una zona o localidad conocida, y que puede afectar un área poblada, infraestructura física y/o el medio ambiente.

2.2.1 Definiciones

A continuación se da la definición de algunos expertos sobre el concepto de peligro:

“la probabilidad de que un fenómeno físico se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un periodo de tiempo definido (frecuencia)”.

Sistema nacional de inversión pública y la gestión de desastres

“Cualquier fenómeno físico, como el movimiento brusco del suelo asociado a un terremoto, que puede producir efectos adversos en las actividades humanas”.

McGraw-Hill Dictionary of Scientific & Technical Terms

“Son eventos físicos latentes, o sea probabilidades de ocurrencia de eventos físicos dañinos en el futuro, y pueden clasificarse genéricamente de acuerdo con su origen, como “naturales”, “socio-naturales”, o “antropogénicos””.

Lavell, (1996)

“Es la probabilidad de que ocurra un fenómeno físico como consecuencia de un terremoto, provocando efectos adversos a la actividad humana. Estos movimientos además del movimiento de terreno pueden ser, la falla del terreno, la deformación tectónica, la licuefacción, inundaciones, tsunamis, etc.”

(Mena Hernández, 2002)

“Los procesos internos y externos de la Tierra causan peligros naturales, acontecimientos que destruyen o dañan los hábitats de vida silvestre y matan a los humanos o los dañan a ellos o sus propiedades...”

Ecología y Medio Ambiente. Tyler Miller, G

2.2.2 Clasificación

El peligro, según su origen, puede ser de dos clases:

a) Origen natural.

Son todos los procesos geofísicos, internos o externos que se dan en superficie de manera espontánea produciendo o no efectos desastrosos.

b) Origen tecnológico o generado por la acción del hombre.

Son todos los procesos que se producen por efectos del manejo inadecuado de elementos dañinos por el hombre y que causan efectos dañinos en los seres vivos y el medio ambiente.

A continuación, en el Figura 2 se detalla los principales peligros presentes en el Perú según su origen y tipo (INDECI, 2005). Entre los más importantes se agrupan en naturales, pudiendo ser los producidos por los procesos internos de la tierra, de la superficie de la tierra, hidro - meteorológicos, y finalmente biológicos. De origen tecnológico o generado por el hombre son, incendios, explosiones, derrames de sustancias peligrosas, contaminación, fuga de gases y subversión.

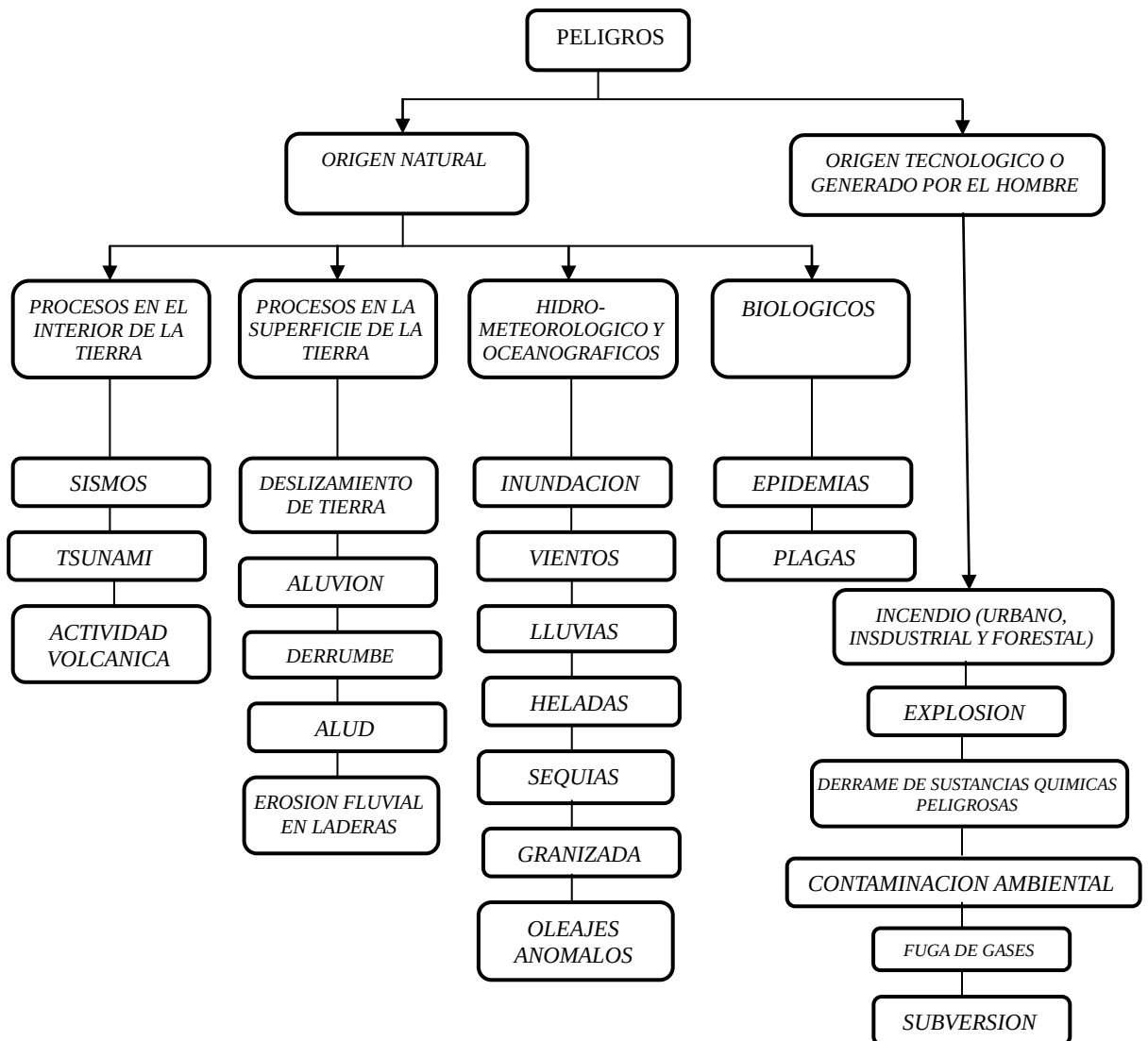


Figura 2. Principales peligros que ocurren en el Perú.

2.2.3 Peligro sísmico

En los últimos 80 años se han podido registrar los sismos más importantes ocurridos en el mundo, lo que permitió tener un esquema global de la sismicidad mundial. Los resultados permitirán observar que la mayor parte de energía sísmica (80%) se libera en las costas del Océano Pacífico, región conocida como Cinturón de Fuego del Pacífico, que es un conjunto de fronteras de placas tectónicas que recorren todo el Océano Pacífico, desde las costas de Asia hasta las costas de América. Perú forma parte de este cinturón, pues en el borde occidental chocan las placas Nazca y Suramericana. Hay otras regiones, como el Atlántico Medio y el Cinturón Eurásico con una actividad sísmica menor. Existen también regiones donde la actividad sísmica en las placas es casi nula o desconocida, siendo conocidas como escudos.

Observando la actividad sísmica mundial se puede estimar el número de sismos de cierta magnitud que ocurren en un año. Se ha visto que por lo menos ocurren dos grandes terremotos anualmente (Tabla 1) y están ocurriendo varios cientos de miles de sismos de magnitud inferior a 3 que pasan desapercibidos. Los mayores índices de sismicidad se presentan en los siguientes países; Perú, Japón, Chile y N. Zelanda.

Tabla 1; Promedio anual de sismos en el mundo

Magnitud	Número promedio
8	2
7	20
6	100
5	3 000
4	15 000
3	150 000

2.2.4 Historia Sísmica en el área de influencia

El borde oeste de Sudamérica se constituye como una de las fuentes sismogénicas más importantes del mundo debido a la velocidad con la cual convergen las placas (oceánica) y (continental), siendo del orden de 8 cm/año (DeMets et al, 1990; Norabuena et al, 1999). La constante fricción entre estas placas da origen a los más fuertes sismos conocidos en el Perú, (Figura 3).



Figura 3. Distribución de las placas tectónicas cercanas a Perú.

Muchos autores han estudiado el peligro de terremotos en el Perú, obteniendo importantes aportes para comprender sus periodos de retornos y las magnitudes que podrían tener. A continuación se describe uno de estos trabajos.

Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el borde oeste del Perú

(H, Tavera & I, Bernal, 2005)

En este estudio, se realizó el análisis de la distribución espacial de las áreas de ruptura y lagunas sísmicas presentes en el borde Oeste de Perú a fin de identificar zonas con mayor probabilidad de dar origen a un nuevo sismo en el futuro. Los autores analizan los sismos ocurridos desde el año 1500 al 2005 y los ítems más importantes son los siguientes:

- Características de la sismicidad del Perú: en la Figura 4 se observa la sismicidad ocurrida en Perú entre los años 1960 y 2002 con sismos cuyas magnitudes son mayores a 4.5 mb, y en ella se observa que los sismos con foco superficial ($h > 60$ Km, círculos rojos) se distribuyen frente a la línea de costa, siendo en número, tamaño y frecuencia mucho mayor que los sismos que se producen a los mismos niveles de profundidad en el interior de continente. Esta sismicidad es asociada a la fricción de placas y se constituye como la principal fuente sísmica presente en el Perú ya que dio origen a los más grandes sismos para los cuales se cuenta con información histórica y actual.

En la Figura 4, los sismos con foco intermedio ($60 > h \leq 300$ Km, círculos verdes), se distribuyen formando tres grupos, uno paralelo a la línea de costa por debajo de los 9° Sur, otro en la zona subandina de la región Norte y Centro, y el tercero sobre toda la región Sur. Esta última considera un mayor número de sismos. Los sismos con foco profundo ($h > 300$ Km, círculos azules) son parte de dos fuentes, la primera se encuentra en el límite de Perú con Brasil y la segunda entre Perú y Bolivia (Figura 4).

En la región central del Perú entre la Dorsal de Nazca y la fractura de Mendaña, en los últimos 100 años se ha producido hasta 7 sismos con

magnitudes M_w mayores a 7.0 (1940, 1942, 1966, 1970, 1974, 1996); mientras que, en la región sur después de 133 años solamente se ha producido uno, el de 2001 (8.2 M_w). Para la región norte se tiene el sismo de Tumbes del año 1970 (7.2 M_w). Estas condiciones, demuestran que existe un mayor acoplamiento de las placas en la región central, en la región sur el acoplamiento es medio o bajo y en el norte el acoplamiento de las placas es casi nulo.

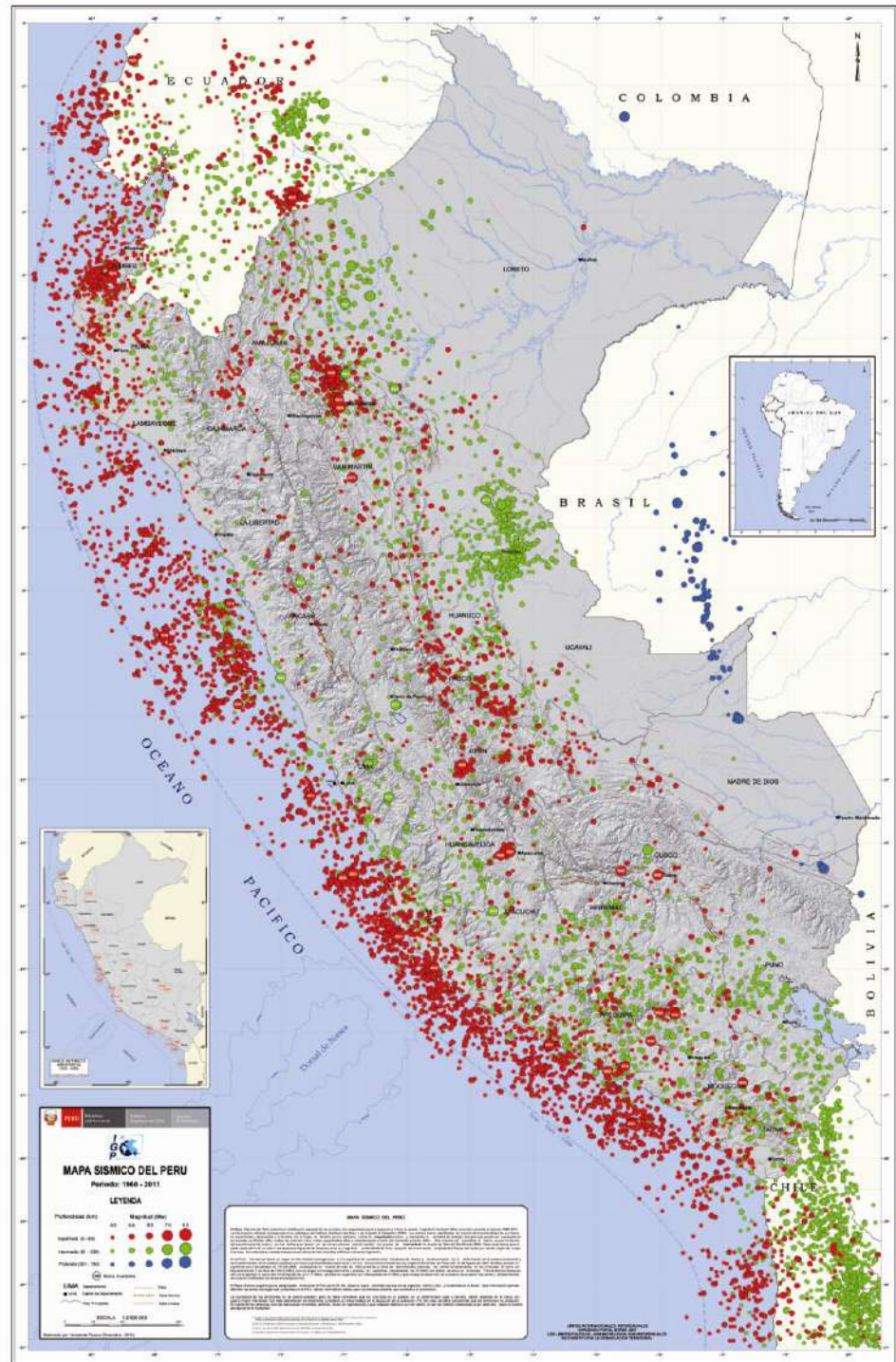


Figura 4. Mapa sísmico del Perú, periodo (1960 - 2011).

- Distribución de las áreas de ruptura y lagunas sísmicas: la ocurrencia de sismos de gran magnitud frente al borde Oeste de Perú, ha permitido a través de la historia evaluar el potencial de una fuente sismogénica. Lamentablemente, los catálogos solo representan datos a partir del año 1500 y no se podría proponer áreas probables a ocurrir sismos con exactitud, pero desde el punto de vista observacional es posible identificar diversas áreas donde la probabilidad de ocurrencia de sismos es alta a estas áreas son llamadas “lagunas sísmicas”. A continuación se presenta 6 periodos de tiempo en los cuales se han producido sismos importantes con intensidades mayores a VIII en la escala de Mercalli Modificada
 - Periodo 1500 y 1650: se produjeron hasta 3 sismos y entre cada área de ruptura, se observa la presencia de lagunas sísmicas con diferentes tamaños y ubicadas frente a los departamentos de Ancash, Ica y extremo Norte y Sur de Arequipa.
 - Periodo 1651 y 1700: se produce un sismo frente al departamento de Ancash, otro frente a Ica y uno pequeño pero importante, frente a Tacna (Estos dos sismos ocurrieron en las lagunas sísmicas anteriores), tal como se observa en la Figura 5b.
 - Periodo 1701 y 1800: se producen 2 de los más grandes sismos conocidos en el Perú, 1746 que abarca una longitud de 350 Km sobre el área de la laguna sísmica del periodo anterior y 1784 cubre casi toda el área de la laguna sísmica anterior en su totalidad, como se observa en la Figura 5d.
 - Periodo 1801 y 1850, solo se produce un sismo, en la región sur, quedando, todo el borde oeste del Perú en situación de acumulación de energía como se observa en la Figura 5e.
 - Periodo 1851 y 1900, en la misma región sur, tal como se observa en la Figura 5f, y después de 84 años, se produce nuevamente un gran sismo, el más grande para la cual se cuenta con información (longitud de ruptura del orden de los 500 Km).

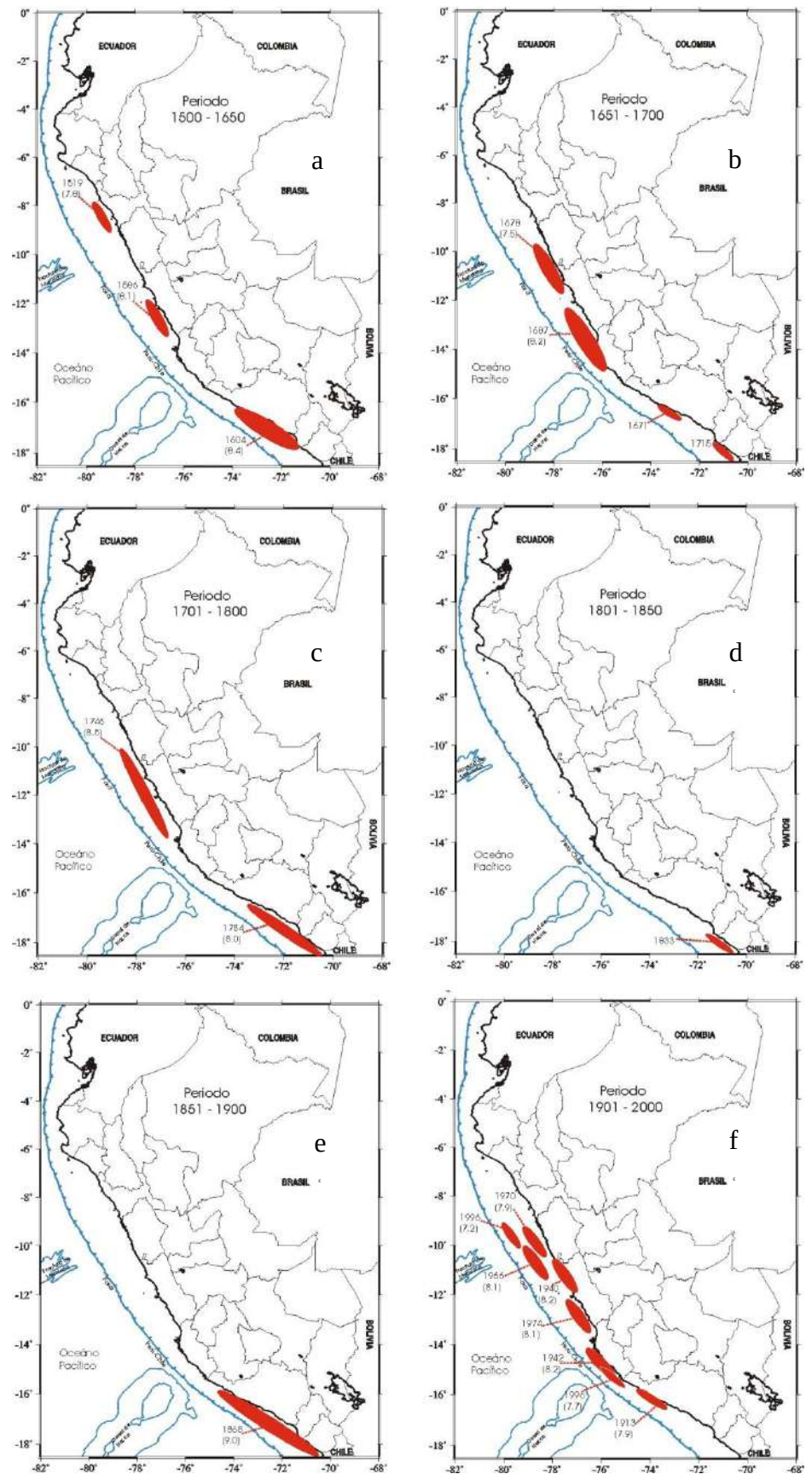


Figura 5. Distribución espacial de áreas de ruptura asociada a los sismos de gran magnitud e intensidad ocurridos en el borde Oeste de Perú a partir del año 1500.

- Aproximaciones a Sismos Futuros: la base de datos del catálogo sísmico ha permitido evaluar la presencia aleatoria en el borde oeste del Perú de Lagunas sísmicas, siendo las más relevantes las que se muestran en la Figura 6. La primera considera un área de 150 Km de longitud ubicada al sur del departamento de Lima y norte de Ica, entre las áreas de ruptura de los sismos de 1974 y 1942/1996; la segunda, un área de 90 Km de longitud ubicada al sur del departamento de Ica y entre las áreas de ruptura de los sismos 1942/1996 y 2001 y un área de 150 Km de longitud ubicada frente a los departamentos de Moquegua y Tacna, entre las áreas de ruptura de los sismos de 2001 y 1877 (chile). Para la región norte de Chile, el área con mayor probabilidad de dar origen a un gran sismo está ubicada entre las ciudades de Arica y Antofagasta con una longitud de 500 Km.

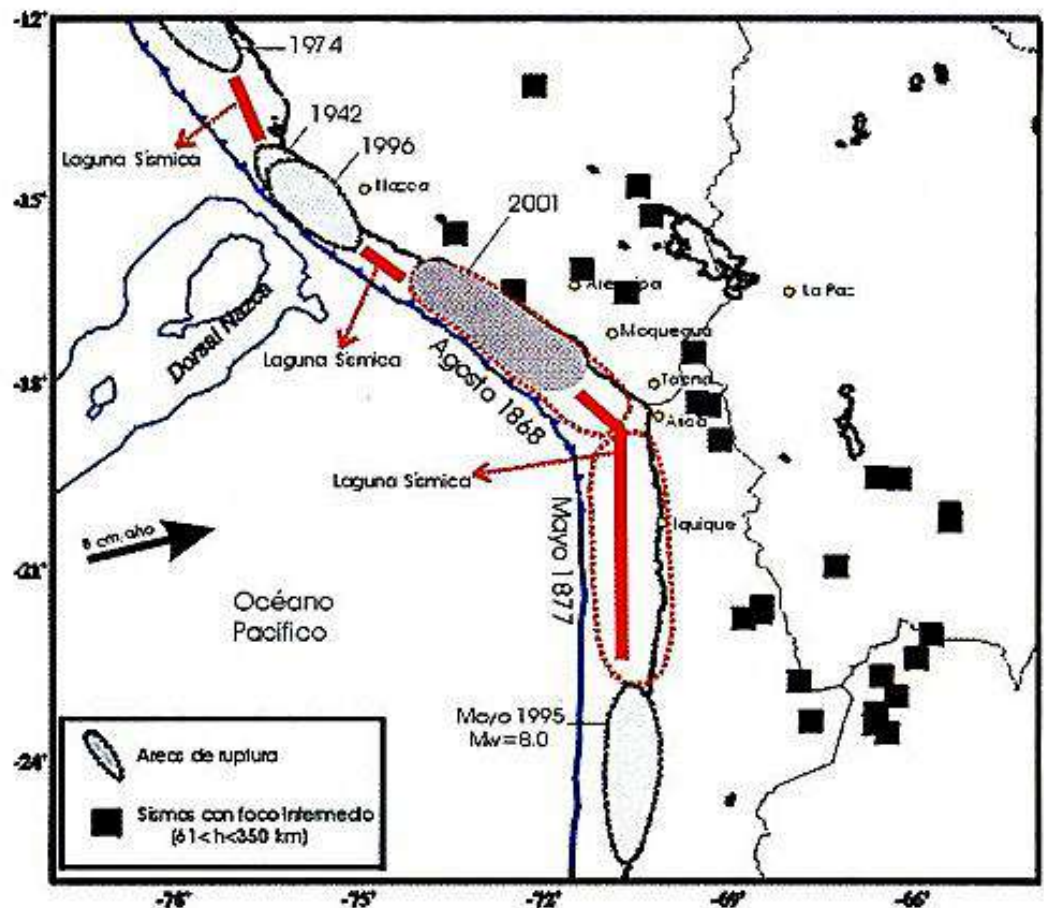


Figura 6. Distribución de las principales lagunas sísmicas presentes en el Perú. Las superficies sombreadas corresponden a las áreas de ruptura y las barras en rojo, a las lagunas sísmicas. Las áreas encerradas con interlineado corresponden a los sismos de 1868 y 1877.

2.3 Vulnerabilidad

Se denomina vulnerabilidad al grado de daño que sufre una estructura debido a la ocurrencia de un peligro como los sismos. Estas estructuras se pueden calificar en “más vulnerables” o “menos vulnerables” ante un evento sísmico.

Se debe de tener en cuenta que la vulnerabilidad sísmica de una estructura es una propiedad intrínseca de cada estructura, y además, es independiente de la peligrosidad del emplazamiento. En otras palabras una estructura puede ser vulnerable, pero no estar en riesgo si no se encuentra en un lugar en donde existe un determinado peligro.

Se debe recalcar que no existen metodologías estándares para estimar la vulnerabilidad de las estructuras. El resultado de los estudios de vulnerabilidad es un índice de daño que caracteriza la degradación que sufriría una estructura de una tipología estructural dada y sometida a la acción de un sismo de determinadas características.

La probabilidad de daños en estructuras se puede estimar mediante la aplicación de 2 metodologías:

- a) *Método Empírico (Sauter, 1978-1980) Se basa en la relación de daños en estructuras producidos por sismos con la intensidad sísmica. Los diferentes diseños, viviendas y factores locales del suelo dan como resultado que la información existente tenga un valor limitado.*
- b) *Método Teórico (Whitman, 1973-1975) Se basan principalmente en modelos matemáticos basados en las características dinámicas de la estructura. Estos métodos relacionan los parámetros usados en diseño sísmico con los parámetros estructurales y daños. Estos métodos son adecuados para implementar las bases de diseño de las estructuras.*

2.3.1 Factores

a) *Fragilidad.*

Se refiere al nivel o grado de resistencia y/o protección frente al impacto de un peligro; es decir, las condiciones de desventaja o

debilidad relativa de una unidad social o vivienda.

“En la práctica, se refiere a las formas constructivas, calidad de materiales, tecnología utilizada, entre otros”.

b) *Exposición.*

Relacionada con decisiones y prácticas que ubican a una unidad social (personas, familias, comunidad, sociedad), estructura física o actividad económica en las zonas de influencia de un peligro.

“Este factor explica la vulnerabilidad porque expone a dicha unidad social al impacto negativo del peligro”.

c) *Resiliencia.*

Está asociada al nivel o grado de asimilación y/o recuperación que pueda tener la unidad social (personas, familias, comunidad, sociedad), estructura física o actividad económica, después de la ocurrencia de un peligro.

2.4 Escenario de riesgo

Un escenario de riesgo sísmico es la representación de la realidad de una ciudad devastada por un sismo en un sistema de información geográfica (SIG), mediante el análisis de sus componentes principales tomando como base la realidad de una determinada ciudad “X”. Se propone un análisis muy complejo de sus componentes para estimar las pérdidas materiales e inmateriales.

2.4.1 Modelo de escenario

El modelo a emplear para generar escenarios se basa en la superposición de mapas de diferentes variables que permita luego construir otros en los cuales se pueda establecer zonas de riesgo. Este es un modelo lógico de uso constante por entidades dedicadas a la elaboración de escenarios, como por ejemplo, el Programa de Ciudades Sostenibles (Kuroiwa, 2002).

2.4.2 Diagrama de flujo

En el presente estudio propone un escenario de riesgo ante la ocurrencia de un sismo considerando dos factores. El primer “factor dinámico o peligrosidad”, permite conocer el grado de peligro al que está expuesto la población y en segundo lugar, el “factor estático o vulnerabilidad” que contiene las variables que permiten medir la vulnerabilidad del área de estudio. La conjunción de estos dos factores dará como resultado un mapa de escenario de riesgo ante la ocurrencia de sismo, donde luego al ser comparado este con el mapa de distribución poblacional, se podrá estimar un posible escenario. En la Figura 7 se observa el diagrama de flujo para generar el escenario posible ante un sismo de gran magnitud.

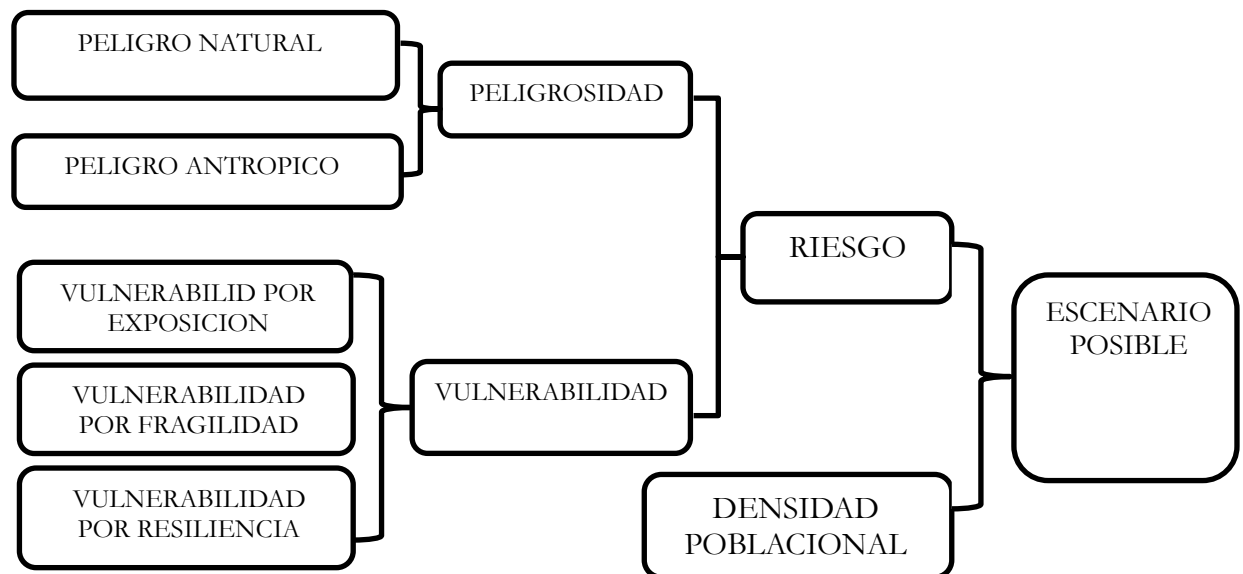


Figura 7. Diagrama de flujo del escenario de riesgo sísmico (Ochoa & Zubieta, 2010).

2.5 Características de los sismos y la sismicidad en el Perú

2.5.1 Definición y clasificación de los sismos

Los sismos son movimientos convulsivos de la corteza terrestre y se clasifican en microsismos, cuando son imperceptibles; macrosismos, cuando son sentidos por el hombre y causan daños, y megasismos, cuando son tan violentos que pueden producir la destrucción de edificios, la ruina de ciudades y gran número de víctimas. Los macrosismos y megasismos son conocidos con el nombre de terremotos.

2.5.2 Origen de los sismos

a) Sismos tectónicos

Producen el 90 % de los sismos y dejan sentir sus efectos en zonas extensas, pudiendo ser de tipo interplaca (zona de contacto entre placas) o intraplaca (zonas internas de estas).

b) Sismos volcánicos.

Se producen como consecuencia de la actividad propia de los volcanes y por lo general, son de pequeña o baja magnitud y se limitan al aparato volcánico.

c) Sismos inducidos

Afectan a una región muy pequeña y se deben a hundimientos de cavernas y cavidades subterráneas o puede también ser provocado por el hombre originado por explosiones o bien por colapso de galerías en grandes explotaciones mineras. También se ha supuesto que experimentos nucleares, o la fuerza de millones de toneladas de agua acumulada en represas o lagos artificiales podría producir tal fenómeno.

2.5.3 Componentes de un sismo

El movimiento tectónico origina ondas teóricamente esféricas denominadas ondas sísmicas, que se propagan en todas las direcciones a partir del punto de máximo movimiento. El punto donde se origina la vibración se llama foco o hipocentro y se clasifica con respecto a su profundidad de ocurrencia en: superficiales (superficie-70 Km), intermedios (70-300 Km) y profundos (300-700 Km). La mayoría de los terremotos importantes son de focos superficiales, los profundos son muy escasos y nunca se detectaron sismos por debajo de los 700 Km. La proyección vertical del foco se llama epicentro y sirve para ubicarlo geográficamente en la superficie.

2.5.4 Tipos de ondas sísmicas

a)Ondas primarias

Ondas P o longitudinales, son vibraciones de oscilación donde las partículas sólidas del medio se mueven en el mismo sentido en que se propagan con velocidades que oscilan entre 6 y 13,6 Km/s. Estas producen cambios de volumen en los materiales y son llamados también, ondas de compresión. Presentan mayor velocidad.

b)Ondas secundarias

Ondas S o transversales, son conocidas como ondas secundarias y producen la vibración de las partículas en dirección perpendicular a la propagación del movimiento con velocidades que oscilan entre 3,7 y 7,2 Km/s. Estas ondas son más lentas que las ondas P y no se propagan a través de los fluidos.

2.5.5 Escalas de medición de los sismos

a)Magnitud.

Es la medida de la cantidad de energía liberada en el foco calculada a partir de las características de las ondas sísmicas sobre un sismógrafo situado a una distancia determinada del epicentro.

La magnitud es un valor que no varía con la distancia del epicentro constituyéndose como una medida única del tamaño del sismo. Se utiliza la escala Richter (Tabla 2), la misma que es logarítmica con valores entre 1 y 9; por lo tanto, pasar de un grado a otro puede significar un cambio de energía liberada entre diez y treinta veces. Un sismo de magnitud 7 es diez veces más fuerte que uno de magnitud 6, cien veces más que otro de magnitud 5, mil veces más que uno de magnitud 4 y de este modo en casos análogos. Otro ejemplo, un sismo de magnitud 5.5 libera una energía del orden de magnitud de una explosión atómica, como la de Hiroshima. La energía de un sismo de magnitud 8.5 equivale a unas 27000 de estas bombas atómicas, esto es, la energía aumenta aproximadamente 30 veces por cada grado.

Al año se producen en el mundo unos 800 sismos con magnitudes entre 5 y 6, unos 50.000 con magnitudes entre 3 y 4, y sólo 1 con magnitud entre 8 y 9. La escala de magnitud no tiene límites; sin embargo, hasta 1979 se creía que el sismo más grande posible tendría magnitud 8,5, sin embargo, desde entonces, los progresos en las técnicas de medidas sísmicas han permitido a los sismólogos redefinir la escala. Hoy se considera que el sismo más grande ocurrió en 1960 en Chile y tuvo una magnitud de 9,5.

Tabla 2; Escala Richter y su equivalente en daños

Escala Richter	
Magnitud en Escala Richter	Efectos del terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas

b) Intensidad

Es la medida de la fuerza del movimiento del terreno; es decir del poder destructivo de un terremoto sobre poblaciones, edificaciones y naturaleza en un lugar determinado. El sismólogo italiano Giuseppe Mercalli propuso en 1902 una escala de doce grados. Actualmente existen varias escalas de intensidad, siendo la más utilizada en América, la Escala de Intensidades de Mercalli Modificada (MM), que fue abreviada por Charles Richter en 1956 (Tabla 3).

Tabla 3; Escala Modificada de Mercalli

Escala modificada de Mercalli.	
Grado	Efectos del terremoto
I	Microsismo, detectado por instrumentos.
II	Sentido por algunas personas (generalmente en reposo).
III	Sentido por algunas personas dentro de edificios.
IV	Sentido por algunas personas fuera de edificios.
V	Sentido por casi todos.
VI	Sentido por todos.
VII	Las viviendas sufren daño moderado.
VIII	Daños considerables en estructuras.
IX	Daños graves y pánico general.
X	Destrucción en edificios bien contruidos.
XI	Casi nada queda en pie.
XII	Destrucción total.

2.5.6 Efectos de los sismos

La capacidad de destrucción de un sismo depende de la combinación de los siguientes aspectos:

- Magnitud
- Distancia de la vivienda al foco donde se origina el terremoto.
- Características del suelo, en especial su capacidad de amplificar las ondas del sismo.
- Resistencia de los elementos físicos sometidos a las fuerzas generadas por el sismo.
- Grado de preparación que tenga la población y las instituciones para comportarse adecuadamente antes, durante, y después de ocurridos.

Los efectos más comunes provocados por los eventos sísmicos son los siguientes:

- I. Destrucción de viviendas: la destrucción de viviendas puede considerarse como el efecto de mayor impacto y con un alto costo social para la población.

- II. Destrucción de Infraestructura (carreteras, líneas vitales y puentes), además de los inconvenientes que se generan durante la atención de los desastres. La destrucción de las vías de comunicación terrestre, causan un impacto importante en la economía al impedir el transporte eficiente de productos así como el intercambio de bienes y servicios con la región afectada.
- III. Daños diversos debido al tipo de suelo: por las características de los suelos, causa problemas importantes a nivel de infraestructura, líneas vitales y a la actividad agrícola. Los daños más importantes han sido fracturas, asentamientos y licuefacción (el terreno se comporta como arenas movedizas o bien presenta eyección de lodo de manera súbita).
- IV. Deslizamientos o derrumbes: permanentemente sus efectos causan graves daños a la ecología, viviendas, edificios, carreteras, puentes, líneas de transmisión eléctrica, acueductos, etc.
- V. Tsunamis: la mayoría se originan por eventos sísmicos de gran magnitud con epicentro en el fondo del mar.

2.5.7 Los sismos en el Perú

El Perú, es uno de los países de mayor actividad sísmica en el mundo, y durante su historia ha sido afectado por importantes eventos históricos e instrumentales, tal como se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4; características relevantes de sismos ocurridos en el Perú con mayor afectación a Lima

Fecha y hora	Característica del evento	Descripción de los efectos
1578, Junio 17	Magnitud: 7.5 Intensidad: VII MM	Destrucción de casas, templos y el palacio del virrey.

1586, Julio 09	Magnitud: 8.0	Destrucción de Lima y Callao, estuvo acompañado por maremoto cerca de 22 muertos. Torre de la catedral de Lima y las partes altas de los edificios se derrumbaron
1609, Octubre 19	Magnitud: 8.5	Aprox. 200 muertos unas 500 casas de Lima se derrumban y la catedral seria afectada.
1630, Noviembre 27	Magnitud: 8.5	Varios muertos en Lima y Callao.
1655, Noviembre 13	Magnitud; 8.0	Terremoto destructivo en Lima, agrieto la plaza de armas y la iglesia de los jesuitas. Daños en el Callao.
1687, Octubre 20	Magnitud: 8.0 Intensidad: IX MM	Fue el terremoto más destructor ocurrido en Lima desde su fundación. Lima y Callao quedaron reducidos a escombros.
1725, Enero 6	Magnitud: 7.8	Fuerte sismo de larga duración. 4.000 muertos. Daños materiales en Trujillo y Lima. En la Cordillera Blanca originó la rotura de una laguna glaciar, la cual desbordándose, arrasó un pueblo cercano a Yungay, muriendo 1,500 personas. Similar a Ancash 1970.

1746, Octubre 28	Magnitud: 9.0 Intensidad: X MM	Es el terremoto más fuerte ocurrido en la historia de Lima, donde de 3000 casas solo 25 quedaron en pie, muriendo entre 15 000 a 20 000 de sus 60 000 habitantes. El Callao fue totalmente destruido por el sismo y el tsunami que lo sucedió, muriendo 4800 de sus 5000 habitantes. Fue sentido desde Guayaquil hasta Tacna.
1806, Diciembre 1	Magnitud: 8.4	Fuerte seísmo de larga duración (aprox. 2 minutos), acompañado de maremoto.
1828, Marzo 30	Magnitud: 8.0	Acompañado de un maremoto. 30 muertos. Serios daños en Lima. La ciudad queda intransitable por los escombros. Otras ciudades de la costa destruidas.
1904, Marzo 04	Magnitud: 7.2 Intensidad: VIII MM	Los mayores daños en la Molina, Chorrillos y el Callao.
1940, Mayo 24	Magnitud: 8.2 Ms Intensidad: VII MM Aceleraciones= 0.4 g (120 Km. NO de Lima) Hipocentro: 50 Km.	5000 casas destruidas en el Callao, Fue sentido desde Guayaquil en el Norte hasta Arica en el Sur. 1,000 muertos y 3500 heridos en Lima, 80% de vivienda colapsada en Chorrillos, el malecón se agrietó y hundió en

		tramo. Grandes daños en viviendas antiguas en Lima. Interrupción de la Panam. Norte por deslizamientos de arena en sector Pasamayo. Tsunami con olas de 3 m.
1966, Octubre 17	Magnitud: 7.5 Ms Intensidad: VII - IX MM Hipocentro: 38 Km.	Los Mayores daños ocurrieron en San Nicolás, a 120 Km. de Lima, (IX MM), Huacho (VIII MM) y Puente Piedra. En Lima alcanzó (VI MM) en la parte central. En las Zonas antiguas del Rímac, incluyendo el Callao (VI MM). En la Molina (VII MM). La aceleración registrada fue de 0,4 y el periodo predominante 0.1 seg, Los mayores daños se registraron en los edificios de poca altura, en edificios altos hubo grietas.
1970, Mayo 31	Magnitud: 7.8 Intensidad: VII MM Aceleraciones= 0.1 g Hipocentro: 35 Km.	Uno de los más destructivos sismos en el siglo en el hemisferio sur. La mayor destrucción ocurrió a 350 Km. de Lima. Causó 65 mil muertes, 160 mil heridos y daños estimados en 550 millones de US\$. En Lima registró aceleraciones de 0,1 g a pesar que el epicentro estuvo a 400 Km. al NO. Los mayores daños ocurrieron en la Molina.

1974, Octubre 3	Intensidad: VII MM Aceleraciones= 0.4 g	Con epicentro localizado a 70 Km. al S-SW de Lima Registro aceleraciones máximas de 0.26 g y periodo dominante de 0.2 seg. Los mayores daños ocurrieron en la Molina, (VIII-IX), donde dos edificios de concreto armado colapsaron y otros resultaron muy dañados. En el Callao y Chorillos, (VII-VIII) algunas viviendas de concreto armado sufrieron daños y las de adobe colapsaron.
1993, Abril 18	Magnitud: 6.0	13 muertos; 200 heridos; más de 480 familias damnificadas.
1996, Noviembre 12	Magnitud: 6.4 Al Suroeste de la Región Central-Sur, límites de los dptos. de Ica y Arequipa.	Casi 20 muertos; 2,000 heridos; 200,000 damnificados.
2001, Junio 23	Magnitud: 8.4 Frente a las costas del departamento de Arequipa.	240 muertos (70 desaparecidos); 2,400 heridos; 460,000 damnificados.
2007, Agosto 15	Magnitud: 7.9 MW Intensidad MM: pisco VII-VIII, Lima VI, Huancavelica V Epicentro= 60 Km de pisco Hipocentro: 40 Km.	El sismo causó la muerte a 593 personas, heridas a 1291. Destruyó 48 208 viviendas, otras 45 500 quedaron inhabitables y 45 813 fueron afectadas; 14 establecimientos de salud fueron destruidos y 112 afectados.

Fuente: (E, Silgado, 1978) & IGP

2.5.8 Sismos que afectaron Lima

a) Terremoto de 1746.

El viernes 28 de Octubre de 1746, a las 10:30 p.m., ocurrió el terremoto más fuerte del que se tiene registro en la ciudad de Lima. La duración del sismo, según las relaciones del tiempo, fue de tres a cuatro minutos, lo cual causó su destrucción total de Lima que tenía 60,000 habitantes y contaba con 3,000 casas, repartidas en 150 manzanas. Según la descripción de los daños, se supone que la magnitud del sismo fue 9.0. Este sismo produjo un tsunami que arrasó el Callao, de los 4 000 pobladores solo quedaron 236, (Figura 8).



Figura 8. Maremoto ocasionado por el sismo del 28 de octubre 1746.

El reporte oficial mencionó más de 10,000 muertos en Lima, Callao y villas adyacentes. En Lima las víctimas no debieron pasar de 2.000, habiendo diversidad en los datos al respecto, lo que se explica por no haberse dado a todos los cadáveres sepultura, muchos quedaron insepultos entre las ruinas y sólo con el tiempo fueron paulatinamente descubiertos. De todos modos, una cifra aproximada, teniendo en cuenta la población total, es de unos 60.000 habitantes.

b) Terremoto de 1940.

El Terremoto de Lima y Callao de 1940 se produjo el 24 de mayo de 1940, a las 11:35 de la mañana (hora local), asolando Lima, la

Provincia Constitucional del Callao y zona costera del departamento de Lima. El sismo fue sentido desde Guayaquil (Ecuador) en el norte hasta Arica (Chile) en el sur. Produjo una intensidad de VII y VIII (MM) en Lima, VI (MM) en el Callejón de Huaylas, V (MM) en Trujillo, IV (MM) en Paita y Piura.

Ha sido el terremoto de mayor magnitud que afectó a Lima en el siglo XX y el segundo desde la fundación de la ciudad, después del Terremoto de Lima de 1746. Los mayores daños ocurrieron en el distrito de Chorrillos, como se ve en la Figura 9.

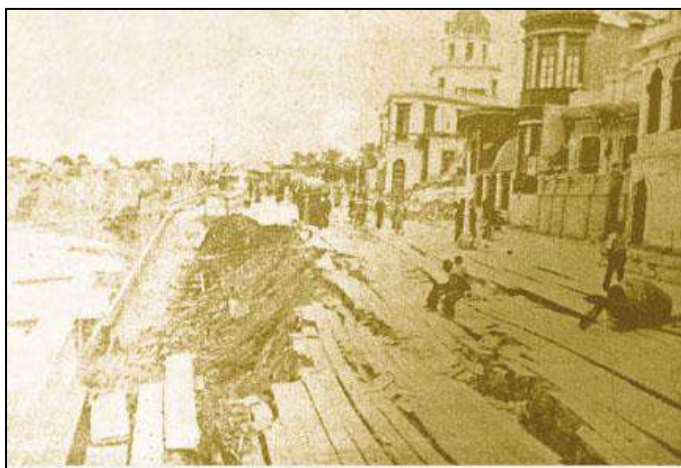


Figura 9. Daños ocasionados en el Malecón de Chorrillos.

5 mil casas destruidas en el Callao, 179 muertos y 3,500 heridos en Lima. 80% de viviendas colapsadas en Chorrillos, el malecón se agredió y se hundió en tramos. Las viviendas antiguas de Lima sufrieron grandes daños. Averías en las viviendas de concreto en el Callao (Compañía Nacional de Cerveza) y la edificación de la Universidad Agraria de La Molina. Algunos hundimientos en la zona portuaria con daños a los muelles y la vía férrea. Interrupciones en la Carretera Panamericana Norte por desliz de arena en el sector de Pasamayo. Tsunami con retiro de mar a 150 metros y retorno con olas de 3 metros de altura que anegó todos los muelles.

c) Terremoto de 1966.

El Terremoto de Lima y Callao de 1966 se produjo el 17 de octubre a las 4:41 de la tarde (hora local), y afectó Lima, Callao y toda la franja litoral al norte, hasta Supe. El epicentro del sismo se ubicó en el mar,

frente a Las Salinas de Huacho (provincia de Huaura). Fue uno de los terremotos más destructivos ocurridos en Lima después del Terremoto de 1940, causó serios daños en la casona de San Marcos tal como se observa en la Figura 10.



Figura 10. Daños ocasionados en la casona de San Marcos por el sismo del 17 de octubre 1966.

d) *Terremoto de 1974.*

El Terremoto de Lima de 1974 se produjo el 3 de octubre de 1974 a las 9:21 de la mañana (hora local), azotando Lima y toda la costa hacia el sur, hasta la ciudad de Pisco. Ha sido el último gran terremoto que ha sufrido la capital peruana. En la Figura 11 se observa los daños ocasionados en el distrito de Chorrillos buscando sobreviviente de aquel evento sísmico.



Figura 11. Daños ocasionados en el Distrito de Chorrillos luego del sismo del 3 de octubre de 1974.

Capitulo III

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

La capacidad de los Sistemas de Información Geográfica para obtener y presentar los resultados de los análisis en mapas temáticos resulta fundamental en cualquier estudio geográfico, en especial en los de riesgo sísmico. Estos mapas permiten mostrar los posibles escenarios de daño en la zonas de estudio, con lo cual se puedan identificar la ubicación de las zonas en riesgo sísmico, los sitios con efectos locales, las estructuras vulnerables, las estimaciones de perdidas esperadas, dando una idea global del problema y sentando las bases para dar soluciones al mismo, mediante planes de mitigación.

3.1 Sistemas de información geográfica

Es una integración organizada de software, hardware y datos geográficos, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas, la información geográficamente referenciada a fin de resolver problemas complejos de investigación, planificación y gestión⁹.

3.1.1 Definiciones

A continuación se presenta las definiciones dadas por algunos expertos sobre el concepto de los SIGS.

El término SIG se establece de la palabra en inglés Geographic Information System (GIS). Se le define como una herramienta de software que nos permite almacenar, recuperar, analizar y desplegar información geográfica.

Environmental Systems Research Institute, E.S.R.I.

"Un sistema de cómputo para obtener, almacenar, integrar, manipular, analizar y representar datos relativos a la superficie terrestre".

Association for Geographic Information (AGI)

"Un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión".

National Center for Geographic Information and Analysis, N.C.G.I.A.

3.1.2 Componentes de un SIG

Un sistema de información no sólo trata de un programa informático, sino que debe conjugar otros elementos como el hardware, software, datos, personal y métodos, que hacen posible su funcionamiento. Estos son los llamados componentes de un SIG y son.

a) *Hardware.*

Hardware es la computadora en la que opera el SIG. Actualmente, un SIG corre en un amplio rango de tipos de hardware, desde servers de computadoras centralizados hasta computadoras desktop utilizadas en configuraciones individuales o de red. Una organización requiere de hardware suficientemente específico para cumplir las necesidades de la aplicación. Tal como la velocidad, el costo, el soporte, la administración, la escalabilidad y la seguridad.

b) *Software.*

El software de SIG provee las funciones y herramientas necesarias para almacenar, analizar y mostrar información geográfica. Los componentes clave del software son.

- sistema de manejo de base de datos (SMBD).
- herramientas para el ingreso y manipulación de información geográfica
- herramientas de soporte para consultas, análisis y visualización geográfica.
- Interfase gráfica del usuario (IGU) para fácil acceso a herramientas.

En los últimos años, la elección de software no ha sido difícil, dado que quedan pocos vendedores principales, y todos los productos son razonablemente fáciles de utilizar y pueden hacer uso de datos estructurados en muchos formatos distintos.

c) *Datos.*

El componente más importante de un SIG son los datos. Primero se requiere tener una buena datos y para lograr esto frecuentemente se invierte en obtenerlo entre el 60 al 80% del presupuesto asignados para este tipo de estudios. Asimismo, recolectar buenos datos de base es un proceso largo, que frecuentemente demora el desarrollo de productos que pueden utilizarse para justificar la inversión. Un compromiso a un alto nivel es indispensable para llevar la implementación de un SIG a través de esta fase. Los datos geográficos y los datos tabulares relacionados pueden obtenerse por relevamiento propio o adquirirse de un proveedor comercial de datos. La mayoría de los SIG emplean un SMBD para crear y mantener una base de datos para ayudar a organizar y manejar los datos.

d) *Personal.*

La tecnología de SIG es de valor limitado sin un personal que maneja el sistema y desarrolle planes para aplicarlo. Frecuentemente, sin personal, los datos se desactualizan y se manejan equivocadamente. El hardware no se utiliza en todo su potencial y el software se mantiene "misterioso". Los usuarios de SIG varían desde especialistas técnicos, que diseñan y mantienen el sistema, hasta aquellos que lo utilizan para ayudar a realizar sus tareas diarias.

e) *Métodos.*

Un SIG exitoso opera de acuerdo a un plan bien diseñado y reglas de la actividad, siendo estos los modelos y prácticas operativas únicas a cada organización.

3.1.3 Funcionamiento de los SIG

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada a un identificador común a los objetos gráficos contenidos en un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e inversamente, preguntando por un registro de la base de datos, se puede saber su localización en la cartografía.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, a fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

3.1.4 Soluciones propias del SIG

Las principales cuestiones que puede resolver un Sistema de Información Geográfica, ordenadas de menor a mayor complejidad, son.

- I. Localización. Preguntar por las características de un lugar concreto.
- II. Condición. El cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
- III. Tendencia. Comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
- IV. Rutas. Cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- V. Pautas. Detección de pautas espaciales.
- VI. Modelos. Generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

3.1.5 Construcción de la base de datos

La construcción de una base de datos espacial implica un proceso de abstracción para pasar de la complejidad del mundo real a una representación simplificada asequible para el lenguaje de los

computadores. Es conveniente diferenciar los conceptos de Modelo de Datos y Estructuras de Datos.

a) Modelo de datos.

Un modelo de datos permite clasificar elementos del paisaje de tal manera que representen diferentes grados de detalle, por ejemplo, en orden jerárquico. Temas, Grupos, Objetos, con lo cual los usuarios de SIG pueden consultar y manejar la información en su nivel deseado. A continuación se da la opinión de algunos expertos sobre el concepto de modelado de datos geográficos.

"Es la conceptualización del espacio"

Gutiérrez y Gould, 1994

"Un modelo de datos geográfico es una abstracción del mundo real que emplea una serie de datos objeto que ayudan al despliegue de mapas, consultas, edición y análisis"

Zeiler, 1999

Para manejar un sistema de información sobre el mundo real es necesario resolver los siguientes problemas; definir los objetos o entidades de interés, sus atributos y relaciones, Clasificarlos, Codificarlos y Asignarles normas de representación.

b) Estructuras de datos.

Se define una estructura de datos como, la implementación de la conceptualización del modelo de datos en el computador

Gutiérrez y Gould, 1994

"Descripción práctica más detallada y concreta de los fenómenos espaciales e incluye cuestiones para el almacenamiento de los datos geográficos mediante procedimientos como la codificación de grupos de longitud variable en el modelo raster o las listas de coordenadas en el modelo vectorial"

Laurini y Thomson, 1992

3.2 Software a emplear

3.2.1 Arcgis 9.3

Es el software donde se realizará el modelado del escenario de sismo es un SIG muy completo y avanzado.

Ventajas:

- Define reglas avanzadas de simbología.
- Aplica en forma dinámica atributos cartográficos a rasgos (suavizado, desplazamiento, etc.) sin alterar los datos de origen.
- Almacena y administra simbología con rasgos en la base de datos geográficos.
- Usa herramientas de geoprocésamiento para hallar conflictos gráficos y "callejones sin salida", generaliza rasgos, y automatiza flujos de trabajo.
- Usa herramientas avanzadas de edición cartográfica para realizar acabados de mapas finales en ArcMap.

3.2.2 AutoCAD

AutoCAD gestiona una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc) con la que se puede operar a través de una pantalla gráfica en la que se muestran éstas, el llamado editor de dibujo. La interacción del usuario se realiza a través de comandos, de edición o dibujo, desde la línea de órdenes, a la que el programa está fundamentalmente orientado.

3.3 Uso del SIG en la estimación de riesgos

Se ha venido definiendo la importancia de un sistema de información geográfica en la gestión de riesgos en las distintas fases de la gestión de riesgos naturales; por lo tanto, este campo de la cartografía ha tomado un gran interés, debido a la demanda de trabajos de programación e investigaciones. Es un libro vivo de la realidad que permite dar normas o leyes para mitigar y evitar daños. Muchos autores han realizado estudios de riesgos en el Perú, obteniéndose importantes aportes para comprender la vulnerabilidad de las ciudades ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud. A continuación se describe uno de estos trabajos. (Ver Anexo I)

3.3.1 El método de Wyss para estimar pérdidas producidas por un terremoto

El método propuesto por el profesor Max Wyss del Instituto WAPMERR, se basa en una metodología matemática-estadística a fin de calcular el nivel de daño y pérdidas materiales (viviendas) e inmateriales (vidas humanas) producidos en una ciudad ante la ocurrencia de un terremoto. En la actualidad este método viene siendo aplicado en varias ciudades del mundo. Inicialmente, Wyss aplicó la metodología a la ciudad de Bucarest (Rumania) y para ello recolectó toda la información referente al tipo de construcción, tipos y altura de los edificios, y la distribución de la población lo más real posible.

a) Metodología de elaboración de escenarios propuesta por Wyss.

Según Wyss, para una ciudad la forma más simple de estimar las pérdidas producidas por un terremoto es considerando los siguientes pasos.

- I. Tener mapas de distribución de sismos e identificar o definir áreas potenciales de futuros terremotos.
- II. Disponer de mapas sobre los tipos de suelo, ya sea por su comportamiento o respuesta a un evento sísmico, lo cual ayudara a zonificar el área.
- III. Disponer de mapas sobre la distribución de la población por constituir una información básica para estimar el número de muertos y heridos.
- IV. Disponer de mapas sobre la vulnerabilidad de los edificios, con detalles sobre los tipos de viviendas.

La correlación de toda esta información permitirá construir mapas SIG que facilitará el acceso a la información. Según Wyss, un modelo sofisticado puede ser obtenido si se conoce la distribución, el tipo y la ocupación de cada edificio de manera detallada.

En los países en desarrollo, no es posible disponer de estas cuatro bases de información; por lo tanto, Wyss, propone una estrategia para disponer de datos para las ciudades basado en información parcial. Como primer paso, se debe decidir qué parámetros se va a utilizar a fin de subdividir la ciudad en sectores, lo cual permitirá tener mayor control. Hay tres enfoques posibles.

- I. si la población se encuentra en distritos de alto índice económico, se considera estos distritos como sub-ciudades. Debe calcularse el factor de amplificación promedio del movimiento del suelo.
- II. Se conoce el total de los habitantes de la ciudad y también los datos de microzonificación. Entonces se divide la ciudad, a partir del segundo parámetro y se estima qué parte de la población vive en cada zona y tipo de suelo.
- III. Una tercera posibilidad, es la clasificación de la ciudad en zonas que considere los tipos de edificios comunes y que pueden ser identificados en imágenes de satélite.

Mediante esta metodología se realizó el cálculo de pérdidas por sismo de gran magnitud para la ciudad de Lima donde se obtuvo los siguientes resultados:

- I. El Callao ocupa el primer lugar con el mayor valor de intensidad esperada y el número medio de heridos.
- II. Los distritos en los que espera se produzca más de 1.000 muertos y más de 10.000 heridos son San Juan de Lurigancho, San Martín de Porres, Villa El Salvador, San Juan de Miraflores y Villa María del Triunfo.
- III. Otros distritos con más de 400 muertos y más de 4.000 heridos son: Comas, Ate Vitarte, Chorrillos, Los Olivos, el centro de Lima, Santiago de Surco, La Victoria, Puente Piedra, Independencia, Rímac, Carabayllo, San Miguel y El Agustino.

CAPITULO IV

APLICACIÓN AL BALNEARIO DE PUCUSANA

El Balneario de Pucusana es un Balneario tradicional y caleta de pescadores, cuyo nombre significa “sopladero”, ubicada al sur de Lima, en el km 59 de la carretera Panamericana sur. Su belleza paisajística y su cercanía a la capital hacen que sea visitada por turistas nacionales y extranjeros, especialmente en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo en que se goza de muy buen clima. La actividad más importante es la pesca y las derivadas de ésta, pero en los meses de verano, el turismo genera un gran movimiento comercial. Se practica deportes náuticos, pesca a cordel, caza submarina, así como paseos en bote por la bahía, avistamientos de delfines, lobos de mar, pingüinos y diversas especies de aves para los amantes de la naturaleza.

4.1 Localización

El Balneario de Pucusana se encuentra ubicado en el Litoral Sur de la Provincia de Lima, entre los Kilómetros 58 y 68 de la Carretera Panamericana Sur, aproximadamente a una hora de la capital. Tiene una superficie de 37.83 Km² y su mayor elevación es el Pico Pucusana, una de las tres cumbres del cerro Quipa, con 389 metros de altura. Pucusana se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas geográficas: Latitud Sur 12°28'43" y Longitud Oeste 76°47'44" y cuenta con una altitud de 15 msnm.

4.2 Historia

Su población original está formada por mestizos descendientes de los habitantes de Chilca, el distrito que pobló Pucusana y otros del extremo norte de Cañete.

En el año 1917 se construyeron las primeras casas para abrigo de los pescadores, pero en 1920 con la edificación de la vivienda de Don Santos Jacobo, natural de Chilca, nació el Balneario, pues este señor fue el primero que se quedó permanentemente con su familia. Dos años después, llegaron a radicar Emilio Navarro y José Carrillo. En torno de los hogares de estos tres chilcanos se levantó posteriormente la ciudad, pero la falta de agua limitó el crecimiento del Balneario.

La construcción de la Panamericana Sur en los años 30 puso en evidencia las ventajas de Pucusana. En 1940 aparecen los restaurantes “Venecia” de Emilio Navarro; “La Perlita” de Hermógenes Navarro y el “Hotel Salón Blanco” de Porfirio Navarro. Eran de madera y sus dueños vivían de la pesca.

En 1953 hubo un nuevo progreso, se instaló el servicio de agua y desagüe gracias al apoyo del Banco Wiese. De esta manera, en los años 50, Pucusana ya tenía definido su actual paisaje urbano y su personalidad geográfica. Era un pueblo de pescadores al servicio de la salud y descanso de cientos de personas que trabajaban en Lima. Se construyó la Plaza de Armas, el Malecón San Martín, la avenida Billinghamurst y el nuevo mercado. El muelle de pescadores fue reconstruido y la avenida Lima luce su perspectiva. De esta manera, la pequeña ciudad, con sus avenidas y calles, tomó la forma de triángulo cuya altura es la avenida Lima y su base es el Malecón San Martín. El 7 de Enero de 1966, llegó la energía eléctrica.



Figura 12. Fotografía panorámica del Balneario de Pucusana en el año 1957.

4.3 Caracterización componentes físicos

Las características físicas más importantes del Balneario de Pucusana, están en su geomorfología y sistema hidrográfico.

4.3.1 Geología Local

En el marco geológico, el suelo del Balneario de Pucusana está compuesto de rocas ígneas y sedimentarias con edades que van del Cretáceo inferior al Cuaternario, estando ausentes rocas del Terciario (Figura 13).

La secuencia se inicia con capas sedimentarias de la formación Pamplona compuesta por lutitas y calizas intercaladas con algunos niveles volcánicos de edad Cretáceo inferior. Estas rocas afloran en la zona de colinas del Distrito en los extremos norte y sur. Las rocas ígneas afloran en el Sector NE del Distrito Cerro Quipa (Figura 13), donde se emplazan las antenas de telecomunicaciones. De composición intermedia (gabrodioritas y dioritas) y atraviesan la secuencia sedimentaria de la Fm. Pamplona. Sobreyacen a la secuencia anterior, depósitos de edad Cuaternaria compuestos por materiales aluviales, coluviales, fluviales y eólicas emplazados en las partes bajas del distrito, rellenando las principales quebradas.



Figura 13. Zona de colinas sobre afloramientos sedimentarios.



Figura 14. Mapa geológico para el Balneario de Pucusana.

4.3.2 Geomorfología Local

En el Balneario de Pucusana se pueden observar la presencia de tres (3) unidades geomorfológicas bien diferenciadas (Figura 15):



Figura 15. Mapa geomorfológico para el Balneario de Pucusana.

a) Terraza marina actual

Compuesta por depósitos de arena media a fina en la zona de playa y/o sectores del Balneario.

b) Terraza aluvio-marina

En esta unidad se asienta el mayor porcentaje de viviendas. Presenta una pendiente baja de hasta 4% y conforma una planicie sub-horizontal de materiales de origen aluvial y marino que forman una cobertura sobre las colinas adyacentes y esta compuesta mayormente por gravas y arenas provenientes del transporte y sedimentación del río Lurín.

c) Colinas

Conformadas por lomas que se distribuyen en fajas paralelas al litoral, además de estar limitadas por estribaciones andinas (Figura 16) (ver Anexo II).



Figura 16. Zona de colinas donde se emplazan viviendas y parte de la ensenada presente en el extremo sur del Balneario de Pucusana.

4.3.3 Mapa topográfico

La topografía del Balneario de Pucusana se observa en la Figura 17 se ha clasificado en 4 niveles que van desde el color amarillo nivel del mar, hasta los 165 metros color guinda, su nivel más alto, se muestra el área de mayor pendiente del Balneario de color rojo, donde se concentra la mayor parte de la población.

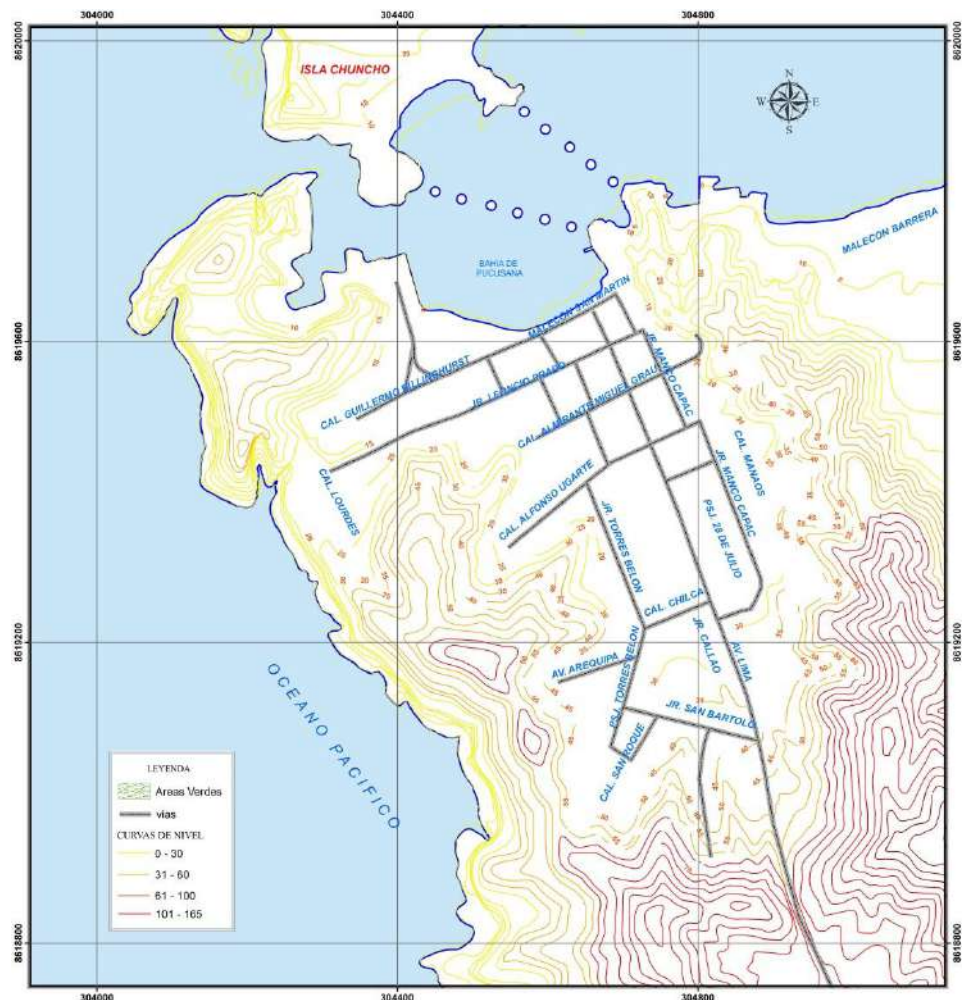


Figura 17. Mapa topográfico del Balneario de Pucusana.

4.3.4 Características hidrográficas

En el ámbito del estudio se diferencian dos medios hidrográficos; el marítimo y continental formado por las cuencas costeras y las aguas superficiales y subterráneas. El sistema ésta conformada por 4 áreas diferenciadas:

a) *Mar Territorial*

El mar territorial comprende la zona pelágica marítima que se extiende desde el borde exterior de la zona insular, hacia mar afuera sobre la plataforma continental, desde los 50 hasta los 200 metros de profundidad y la zona abisal hasta los 6.000 m de profundidad. En esta zona se desarrolla la gran riqueza hidrológica del mar que sustenta la pesca artesanal e industrial.

b) *Cuencas Menores*

Se desarrollan en la zona costera entre las planicies y cerros litorales con presencia de la brisa marina, los vientos y los campos eólicos. La precipitaciones pluviales son casi nulas, salvo durante el fenómeno del niño.

c) *Cuenca Chilca*

Se encuentra en el área de estudio y presenta características similares a las cuencas menores antes mencionadas.

d) *Intercuencas*

Al borde del litoral existen vertientes directas al mar, con o sin lechos de quebradas, en las laderas de las colinas y planicies costeras la brisa marina es fuerte y casi nula la precipitación pluvial.

4.4 Caracterización Demográfica y Económica.

El Balneario de Pucusana se caracteriza, desde el punto de vista demográfico, por ser un distrito netamente urbano, la población y las actividades rurales tienen presencia

mínima, De acuerdo a la información del Censo del 2007, más del 99.4% de la población es urbana. En el distrito existen pequeñas unidades agrícolas y una mediana escala de tierras cultivables que circunscriben el Balneario, por ello aparece con 0.6% de población rural. Cabe destacar que para el 2007 la población total del distrito ascendía a 10,633 habitantes, de los cuales el 50,5 son hombres y 49,5 mujeres. En la Tabla 5 se muestra los resultados oficiales del último censo efectuado en el año 2007 por el Instituto Nacional de Estadísticas e Informática.

Tabla 5; Población total por área y edades Balneario de Pucusana.

Distrito de Pucusana	Total	Población		Total	Urbana		Total	Rural	
		Hombres	Mujeres		Hombres	Mujeres		Hombres	Mujeres
<1 años	205	110	95	205	110	95			
1 a 4 años	972	470	502	967	467	500	5	3	2
5 a 9 años	1087	563	524	1086	563	523	1		1
10 a 14 años	1130	556	574	1126	556	570	4		4
15 a 19 años	1002	535	467	999	533	466	3	2	1
20 a 24 años	1004	498	506	995	492	503	9	6	3
25 a 29 años	970	473	497	961	466	495	9	7	2
30 a 34 años	875	454	441	887	447	440	8	7	1
35 a 39 años	741	379	362	729	369	360	12	10	2
40 a 44 años	599	296	303	591	290	301	8	6	2
45 a 49 años	542	271	271	536	266	270	6	5	1
50 a 54 años	431	198	233	430	197	233	1	1	
55 a 59 años	332	184	148	332	184	148			
60 a 64 años	234	123	111	234	123	111			
65 a más	489	262	227	488	261	227	1	1	
	10633	5372	5261	10566	5324	5242	67	48	19

Fuente: INEI Censos Nacionales 2007: XI de población y VI de vivienda.

El grupo de edades con mayor población es la de 15 a 64 años que representa el 63.5%, el índice de adulto mayor es bajo 6.8 % con respecto a la metrópoli. El índice de envejecimiento llega a un 21.3%, la edad promedio del distrito es de 27 años, lo cual demuestra que Pucusana está conformada en la actualidad por una población muy joven.

4.4.1 Dinámica Poblacional

Revisando los datos de los censos nacionales de población de 1961, 1972, 1981 y 1993, una característica que se aprecia es la gran variación del volumen de población que contiene en diferentes épocas del año. Durante el verano se triplica la población lo cual produce efectos positivos y negativos. En lo positivo se tiene el incremento de las actividades turísticas, extractivas y comerciales; mientras que, entre las negativas se

produce un impacto muy fuerte en tema de servicios, la escasez de agua potable, alcantarillado, servicios de salud, educación, la creciente inseguridad y falta de oportunidades de empleo o de generar propias fuentes de ingresos.

En los distritos del sur se tiene problemas múltiples en la población permanente, a la cual se debe agregar la migración pendular estacional que los dinamiza y afecta a la vez. La migración pendular anual trae por consecuencia un conjunto variado de situaciones y procesos urbanos ambientales, económicos, socio cultural, político administrativos entre otros. En suma una serie de externalidades positivas y negativas que se desarrollan en un marco político – institucional frágil y en muchos casos cuestionado, por la ineficacia de la gestión municipal tanto metropolitana como local. Analizando las cifras censales que aparecen en la Tabla 6, se puede observar los notorios cambios que se han producido en términos de volúmenes demográficos en los distritos considerados

Tabla 6; Crecimiento de las poblaciones del Sur de Lima

DISTRITOS	1961	1972	1981	1993	2000
PUNTA HERMOSA	301	908	1063	3327	5 695
PUNTA NEGRA	345	744	582	2406	4 659
PUCUSANA	1700	2835	4318	4293	4 243
SAN BARTOLO	972	1458	3065	3350	3 577
SANTA MARIA	-	44	101	185	242
TOTAL	3318	5989	9129	13561	18 416
% DEL TOTAL	0.18	0.18	0.20	0.21	0.25
TOTAL DE Lima – Callao	1 845 910	3 302 523	4 608 010	6 345 856	7 496 831

FUENTE: Censos Nacionales: 1961, 1972, 1981, 1993.

4.4.2 Caracterización económica del Balneario de Pucusana.

a)Evolución urbana.

El Balneario de Pucusana fue creado mediante la Ley N° 9782 del 22-01-1943, con los siguientes límites: por el Norte, el río Cruz de Hueso; por el Este, la Carretera Panamericana, desde el cruce con el río Cruz de Hueso, hasta el médano La Patita, sigue el perfil natural de la Quebrada de Parca en su lado norte hasta llegar a la Punta de Nave, sobre el Océano Pacífico.

El distrito, en el momento de su creación pertenecía a la Provincia de Cañete. La Ley N° 11582 del 18-02-1851, anexa el Balneario de Pucusana a la Prov. de Lima. El Decreto Ley Nro. 10966 del 02-03-1949, adjudica al Concejo Municipal de Pucusana los terrenos de propiedad del Estado comprendidos dentro de los límites que fija la ley de creación del distrito.

El Balneario de Pucusana es uno de los más antiguos de los Balnearios del sur; sin embargo, su desarrollo fue casi exclusivamente de vivienda temporal, lo que se demuestra en la población censal, que contabilizaba a aquella población que reside en el área en el momento del censo, el cual es realizado en los meses de invierno y muestra que en esa época del año, la población es muy pequeña con respecto al número de viviendas. Tradicionalmente Pucusana ha sido uno de los distritos de Lima Metropolitana con menor cantidad de población.

Así, el censo de 1961 muestra al distrito con 1,700 habitantes, la zona destinada al Balneario del distrito se consolidó rápidamente mientras que los terrenos eriazos más alejados de la ribera marina, se mantenían desocupados. Estos últimos comenzaron a ocuparse lentamente a raíz de dos hechos importantes para el área la construcción de la Autopista Panamericana Sur, que permitía acortar tiempos de desplazamientos hacia el área metropolitana y la instalación del servicio de energía eléctrica permanente en la zona, la que hasta entonces se abastecía por generadores que proporcionaba energía racionada de 3 a 4 horas diarias.

A fines de la década de los `60 e inicios de los `70, la población de residencia permanente ocupó áreas más cercanas a la Antigua Panamericana Sur. Por esta razón el crecimiento poblacional del Balneario es ligeramente más pequeño en comparación al Distrito.

En lo referente al territorio urbano ocupado, Pucusana es utilizado como Balneario, pero de los distritos que conforman los Balnearios del sur, es el que presenta mayor cantidad de población permanente. En el verano recibe turismo y veraneantes que incrementa su actividad turística comercial.

b) Usos del suelo.

En el Balneario de Pucusana gran parte del territorio está conformado por los cerros de fuerte pendientes que se encuentran en los límites del distrito. El área ocupada del distrito es entendida como aquella destinada a algún uso, sea urbano o extraurbano. El Balneario de Pucusana cuenta con un total de 58% de su territorio como área ocupada.

Se puede clasificar el uso del suelo en: uso de vivienda, que comprende la vivienda temporal y vivienda permanente, uso comercial, uso industrial o talleres y uso recreacional parques y campos deportivos, uso recreacional centros de esparcimientos, equipamiento urbano, y usos especiales, reservas militares, áreas arqueológicas, uso pecuario, uso agrícola.

- **Uso de Vivienda:** Se desarrolla principalmente en el área litoral, en donde se da en forma simultánea con los usos institucionales, comerciales y en sectores consolidados de urbanizaciones. Dentro de las zonas de uso residencial se puede distinguir diversos sectores en función a su grado de organización y consolidación. Las Habilitaciones Urbanas Progresivas, Urbanizaciones Populares de Interés Social y Asentamientos Humanos evidencian un cierto grado de organización espacial; de otro lado, se distinguen sectores residenciales en proceso de consolidación.
- **Uso Comercial:** Las funciones residenciales y recreacional de verano que cumplen los Balnearios del Sur, han originado la presencia de actividad comercial y de servicios cuyas características responden a estos requerimientos. Se distinguen dos tipos de actividades:
 - Comercio y servicios para la población residente.
 - Comercio y servicios derivados de la función recreacional.
 - Uso Industrial y Talleres.
 - Uso Recreacional.
- **Equipamiento Urbano Básico:** Comprende las áreas destinadas al equipamiento de Educación y de Salud. Pucusana cuenta con locales

educativos de educación inicial, primaria y secundaria, así como con Centros y/o Postas de Salud. En muchos casos, los colegios están contruidos sobre terrenos de gran dimensión que permitirían la ampliación de su infraestructura; además, cuenta con un Instituto Tecnológico.

➤ Usos Especiales: Comprende áreas destinadas a los servicios públicos en general como comisaría, local municipal, empresa de luz, telefonía, SEDAPAL, lagunas de oxidación, cementerio, etc. Se localizan en áreas urbanas complementando la actividad Residencial.

➤ Usos turísticos:

- La Isla Galápagos.- Se encuentra al frente de Pucusana, abarca 37 hectáreas y su nombre se debe a que en su parte baja vivían tortugas llamadas “galápagos” ya desaparecidas. El Instituto Geográfico Nacional (IGN) la llama Isla Chuncho, esta se observa en la Figura 18(ver Anexo II).



Figura 18. Isla Chuncho o galápagos, ubicado frente a Pucusana.

- El Boquerón del Diablo.- Ventana abierta en el cerro que da al sur de la ciudad y que ha sido formado por la erosión marina que ha destruido un dique existente. A través de ella, se contempla el mar en la baja marea y, en la alta, penetran grandes y violentas olas que terminan en la Playita del Boquerón, esta se observa en la Figura 19 (ver Anexo II).



Figura 19. Boquerón de Pucusana, lugar turístico más visitado.

- La Tiza.- Ubicada al norte de Pucusana, tiene ese nombre por el color blanco o color de tiza que presenta sus alrededores debido a la acción de ciertas sales que hay en el lugar y la descomposición que ha sufrido el suelo. El ingreso es restringido pues se halla un cuartel del Ejército.
- Playa La Honda.- Ubicada al norte de Pucusana. Esta playa es una pequeña ensenada horadada y profunda. El ingreso es restringido.
- Playa La Quipa.- Ubicada al norte de Pucusana, el nombre de esta playa exclusiva viene del quechua chipa o ch'ipa que significa "conjunto o lo que reúne en un solo lugar"; y en dicho cerro, las tres cumbres en un mismo lugar es lo que da el nombre de Quipa. El ingreso es restringido.
- Playa Naplo.- Ubicada al norte de Pucusana, es de arena, casi recta, de orilla ancha y plana y un mar muy manso. Hay casas de lujo y el ingreso es restringido.

CAPITULO V

ELABORACIÓN DE LA BASE DE DATOS

La base fundamental en cualquier estudio de riesgo sísmico, es sin duda contar con las características físicas, estructurales, sociales y económicas del lugar en estudio, indispensables para evaluar la vulnerabilidad sísmica, y con esto estimar el daño probable que pueden sufrir como consecuencia de un sismo. De esta misma forma, se requiere conocer las características del suelo en donde se encuentran localizados los elementos de estudio, debido a que los efectos locales pueden ser causantes de un mayor daño. Esto obliga a realizar un análisis de la información requerida por la metodología propuesta y de la información disponible para saber si es factible llevar a cabo el estudio. En muchas ocasiones la elección de una metodología dependerá de la disponibilidad de la información tanto de los elementos en riesgo como del tipo de suelo donde se encuentren edificados. Uno de los inconvenientes es que los datos que se requieren de las estructuras para los estudios de riesgo sísmico, frecuentemente no existen en forma organizada y en algunos casos, aun existiendo no son fácilmente accesibles.

5.1 Recopilación de la información

Para obtener la información necesaria para este estudio se realizó un levantamiento de tipo catastral a fin de obtener las principales características físicas y socioeconómicas del Balneario de Pucusana en una campaña de 25 días realizado durante el mes de febrero del 2011, con apoyo de personal capacitado en este tipo de trabajos de campo. La recopilación de esta información se realizó mediante encuestas haciendo uso de la ficha de la Figura 20.

Esta ficha de recolección de datos fue construida siguiendo las experiencias de otros estudios. Es sabido que, de no disponer de información de tipo catastral detallada para realizar la evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas, se debe realizar encuestas para conocer las principales características de las viviendas y para ello se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de material de construcción
- Número de pisos
- Antigüedad
- Estado actual
- Tipo de uso
- Tipo de techo
- Daños en sismos anteriores
- Número de habitantes
- Pendiente del terreno
- Tipo de suelo
- Presencia de alero o volado
- Sistema constructivo
- Ubicación del lote en la manzana
- Preguntas sobre la resiliencia en el hogar.
- Observaciones sobre malas prácticas de construcción

Luego de recaudar toda la información necesaria, esta debe ser debidamente organizada en una base de datos SIG llamada **“GEODATA BASE”**, lo cual facilitará su uso.

En estas fichas, se consideró también aspectos como el reconocimiento de los principales peligros antrópicos que afectan al Balneario como los puestos de ventas de gas, grifos, ferreterías, etc. También fue importante identificar la presencia y distribución de colegios, puestos de salud, comisarias, mercados y parques. Además, se tomó especial consideración de las principales vías del Balneario que sirven de acceso y evacuación en caso de presentarse cualquier tipo de peligro.

Esta ficha fue de gran importancia debido a que permitió recolectar la información base para realizar la clasificación por vulnerabilidad según la metodología planteada por Cardona (2003), con esta información es posible clasificar la vulnerabilidad de las viviendas según su fragilidad, nivel de exposición a peligros antrópicos y resiliencia de sus habitantes. Estas variables proporcionan una cantidad importante de información valiosa para estudios posteriores de gestión y ordenamiento territorial.

Esta encuesta fue realizada a un total de 1265 lotes, con una población aproximada de 6957 habitantes, algunos ejemplos de estas fichas se observa en el Anexo III.

Los resultados a obtenerse en este estudio dependen única y exclusivamente de los datos contenidos en esta ficha; sin embargo, está sujeta a posibles fallas de interpretación, observación, y técnicas realizadas en campo, todas ellas posteriormente corregidas mediante el uso de material fotográfico. Esta tarea permitió realizar una reevaluación de las base de datos a fin de elevar la calidad de los resultados.

FECHA: 23/02/2011		HORA:		URBANIZACION:	
OPERADOR: Angel Jair Ochoa Zamalloa			ALTITUD:		
LATITUD			LONGITUD		
CODIGO DE URBANIZACION:		CODIGO DE MANZANA:		CODIGO DE LOTE:	
		2		1	
MATERIAL PREDOMINANTE: ladrillo		NUMERO DE PISOS: 1		ALTURA POR PISO : 2.5	
TIPO DE USO: comercio - vivienda		ANTIGUEDAD : 50 años		ESTADO ACTUAL: regular	
TIPO DE TECHO: Ladrillo		HA SIDO DAÑADO EN SISMOS ANTERIORES: no		N° HABITANTES: 4	
PENDIENTE DEL TERRENO		☒ BAJA (1 - 2%) ☐ MEDIO (5 - 10%) ☐ FUERTE (10 - 20%) ☐ MUY FUERTE 20 % A +			
TIPO SUELO		☐ roca ☐ arcilla ☒ arena ☐ relleno sanitario ☐ otro _____			
TIENE ALERO?		☒ no ☐ sí, tipo _____			
DESCRIPCION DEL EDIFICIO		☐ adobe ☒ vigas y column ☐ hormigón+ vela ☐ vidrio-acero		Altura _____ Largo _____ Ancho _____	
tipo ☐		☐ madera ☐ albaniería cual? ☐ otro _____		EDIFICIO	
nivel de preparacion ante un sismo		sí no		DIBUJAR LA UBICACION EXACTA DEL LOTE EN LA MANZANA	
podría afrontar económicamente un sismo hasta que llegue la ayuda usted y su familia sabe que hacer en caso de sismo		x		 AV. JR CALLE.	
tiene conocimiento algun peligro que afecte a su hogar		x			
estaría dispuesto a apoyar en caso de sismo		x			
HA PARTICIPADO DE ALGUN SIMULACRO alguna institucion a realizado obras de mitigacion		x			
esas obras han sido eficientes				HA SIDO AFECTADA LA VIVIENDA POR LA HUMEDAD? ☒ no ☐ sí	
OBSERVACIONES					
13 metros esta el mar					
NUMERO DE FOTO: 840 					

Figura 20. Ficha técnica de catastro utilizada en el Balneario de Pucusana..

5.1.1 Resultados

Como resultado del trabajo de campo se obtuvo importante información que fue analizada y evaluada a fin de identificar y proceder a realizar una adecuada clasificación.

a) Distribución de viviendas según el material de construcción

Las viviendas del Balneario de Pucusana han sido construidas con materiales como madera, adobe, estera y ladrillo.

De acuerdo a la información recolectada, se ha evaluado, un total de 1265 viviendas y cuya distribución porcentual de acuerdo al tipo de material de construcción, se muestra en la Figura 21.

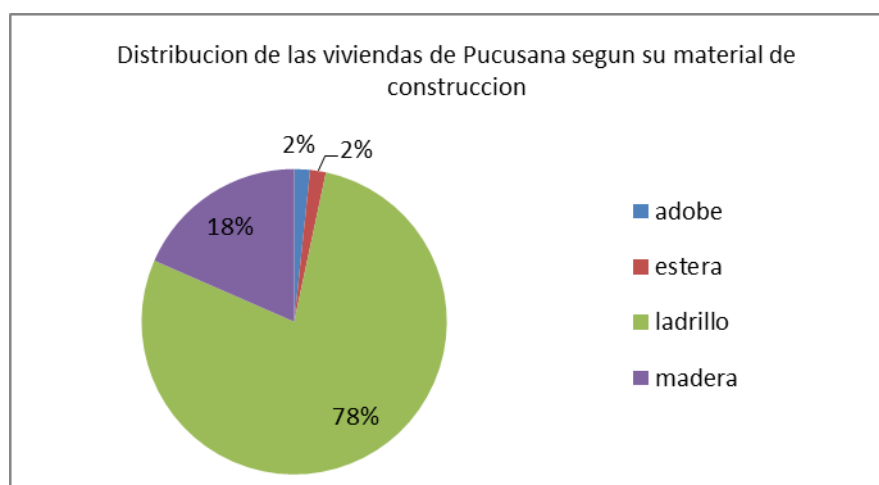


Figura 21. Distribución de las viviendas según su material de construcción.

- Ladrillo: el 78 % de las viviendas de Pucusana fueron construidas con ladrillo y se encuentran distribuidas en casi todo el Balneario. En muchos casos estas sirven de hoteles, restaurantes, bares, etc., en especial en los meses de verano cuando el Balneario es visitado por gran cantidad de turistas. En mayor porcentaje estas se encuentran ubicadas en las vías principales como la Av. Lima y el Malecón San Martín. En la Figura 22 se observa una construcción de ladrillo que sirve de hospedaje.



Figura 22. Hospedaje hecho de ladrillo.

- Adobe: el 2% de las viviendas del Balneario de Pucusana fueron construidas con adobe. Actualmente, este tipo de material es muy poco usado por los pobladores debido a que existen otros mucho más resistentes y económicos. Muchas de estas viviendas son muy antiguas y representan un gran peligro en caso de sismo. La mayoría de estas se encuentran en el malecón San Martín y son utilizados como hospedaje, tal como se observa en la Figura 23, hotel “Salón Blanco”, uno de los más antiguos y visitados de Pucusana.



Figura 23. Hospedaje hecho de adobe.

- Madera: el 0.3% de las viviendas del Balneario de Pucusana son de madera y algunas de estas datan desde la creación del Balneario, siendo conservados por motivos turísticos, tal como se observa en la Figura 24. En otros casos existen casas de madera en las zonas más altas del Balneario construidas de manera artesanal.



Figura 24. Antigua casa de verano típica de Pucusana.

- Estera: el 1.7% de las viviendas del Balneario de Pucusana son de este tipo, que al ser muy frágil, no es vulnerable debido a que ante posible colapso no representa peso suficiente para provocar daños en la personas que la habitan. Estas viviendas se encuentran ubicadas en las zonas de mayor pendiente del Balneario, especialmente en la zona conocida como ampliación Pucusana (Figura 25).



Figura 25. Casa hecha de estera.

En la Figura 26 se presenta la distribución espacial de las viviendas por tipo de material. Las viviendas de ladrillo conforman el 78 % del total y están ubicadas en casi todo el Balneario “color amarillo” principalmente en la parte baja del Balneario, en la Av. Lima, Av. Leoncio Prado, Ca. Miguel Grau y Av. Alfonso Ugarte, y en menor número en el área de alta pendiente. El 18% de las viviendas son del tipo prefabricado y se ubican en el área de alta pendiente (color rojo). El 2% de las viviendas son de adobe “color rojo” y conforman el centro histórico del Distrito, siendo algunas de estas utilizadas como hospedaje. El 1.7% de las viviendas son de estera “color azul” y se ubican en el área de alta pendiente. Asimismo, en la Figura 26 se ha indicado con estrellas de color la ubicación de los principales servicios como colegios, comisarias, postas médicas, etc.

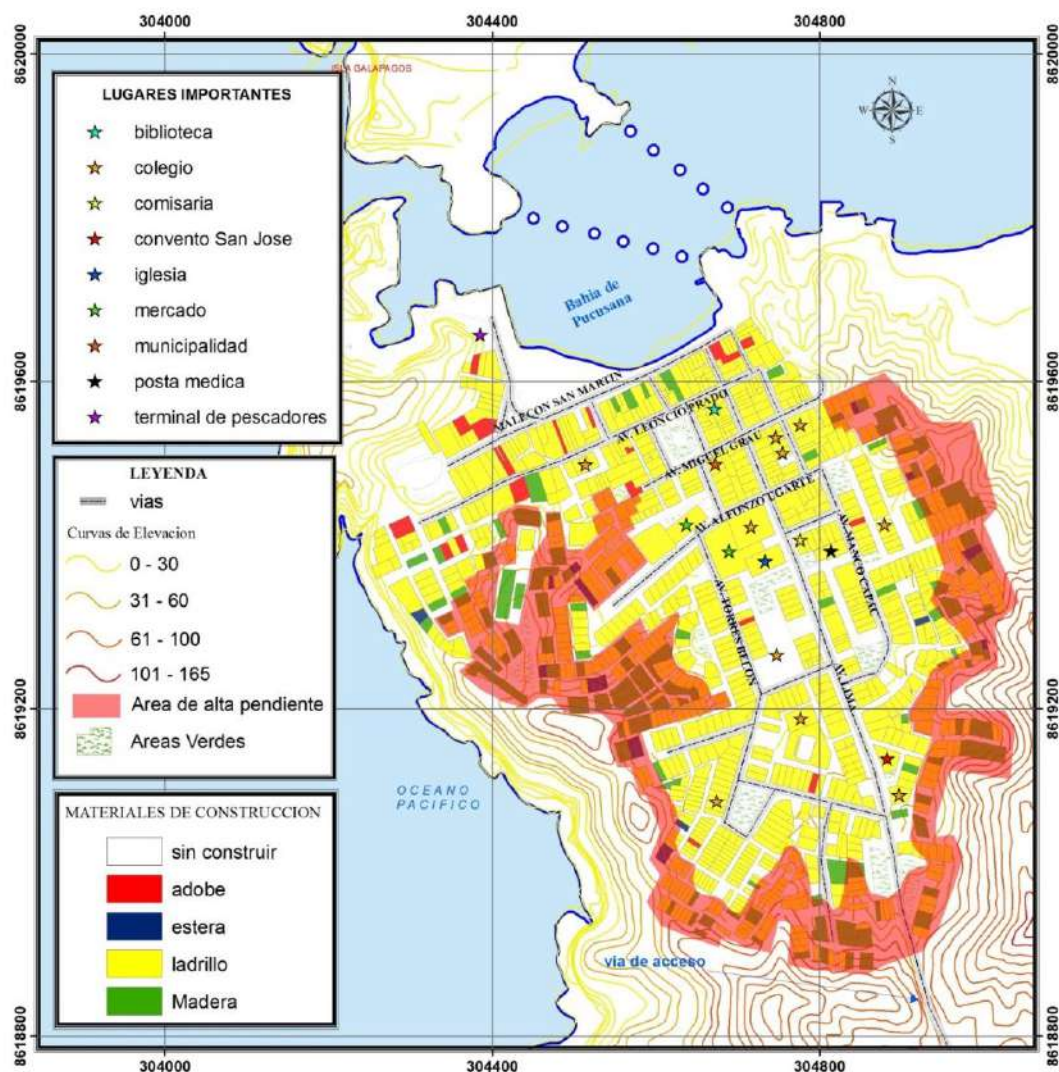


Figura 26. Distribución de las viviendas según su tipo de material de construcción.

b) Clasificación de viviendas según número de pisos

La información recolectada permitió realizar la clasificación de las viviendas en función del número de pisos en viviendas de 1, 2, 3 y 4 pisos.

De acuerdo a la información recolectada se ha evaluado un total de 1265 viviendas y cuya distribución porcentual de acuerdo al número de pisos, se muestra en la Figura 27.

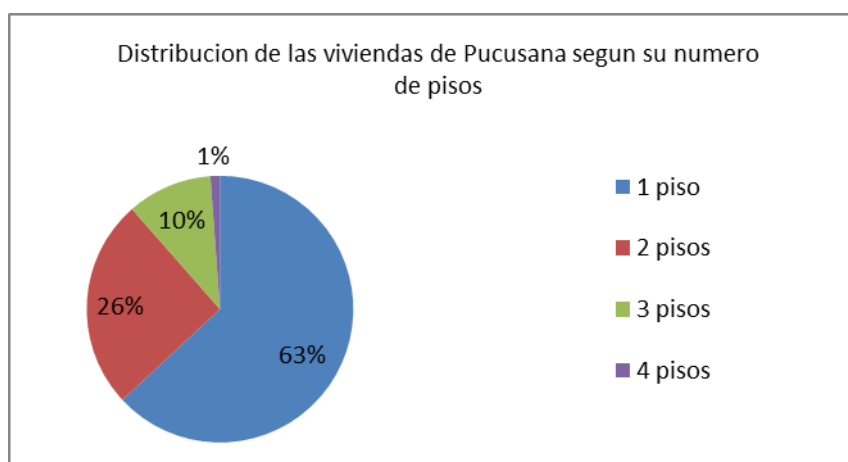


Figura 27. Distribución de las viviendas del Balneario de Pucusana según su número de pisos.

- 1 a 2 pisos: el 89% de las viviendas del Balneario de Pucusana tienen 1 o 2 pisos y se encuentran ubicados en casi todo el Balneario; sin embargo, la mayor parte de estas ocupan las zonas de alta pendiente. Un ejemplo de este tipo de vivienda se observa en la Figura 28, siendo de uso particular y comercio.



Figura 28. Viviendas de 1 y 2 pisos.

- 3 pisos: el 10% de las viviendas del Balneario de Pucusana son de 3 pisos y se ubican en las zonas más comerciales del Balneario (Malecón San Martín). Gran parte de estas sirven de hospedaje, restaurantes, tal como se observa en la Figura 29.



Figura 29. Viviendas de 3 pisos.

- 4 pisos: el 1% de las viviendas del Balneario de Pucusana son de 4 pisos y se ubican en las partes más bajas del Balneario, cerca al Malecón San Martín siendo en su mayoría hoteles, tal como se observa en la Figura 30 (construcción reciente).



Figura 30. Construcción de 4 pisos.

La distribución espacial de las viviendas del Balneario de Pucusana, según su número de pisos, se muestra en la Figura 31. En ella se observa que aproximadamente el 63 % son de 1 piso (color amarillo) y están ubicadas en casi todo el Balneario predominando estas en el área de alta pendiente. El 26% son de 2 pisos (color rojo), y se ubican en las zonas más bajas del Balneario, observándose muy pocas en el área de alta pendiente. El 10% de las viviendas son de 3 pisos y se ubican en la zona más comerciales del Balneario (color verde) y el 1% son de 4 pisos que se encuentran en las partes más comerciales y son usadas como hospedaje (color azul). Asimismo, en la Figura 31 se presentan estrellas de colores que representan los principales establecimientos como comisarias, puestos de salud, colegios, etc.

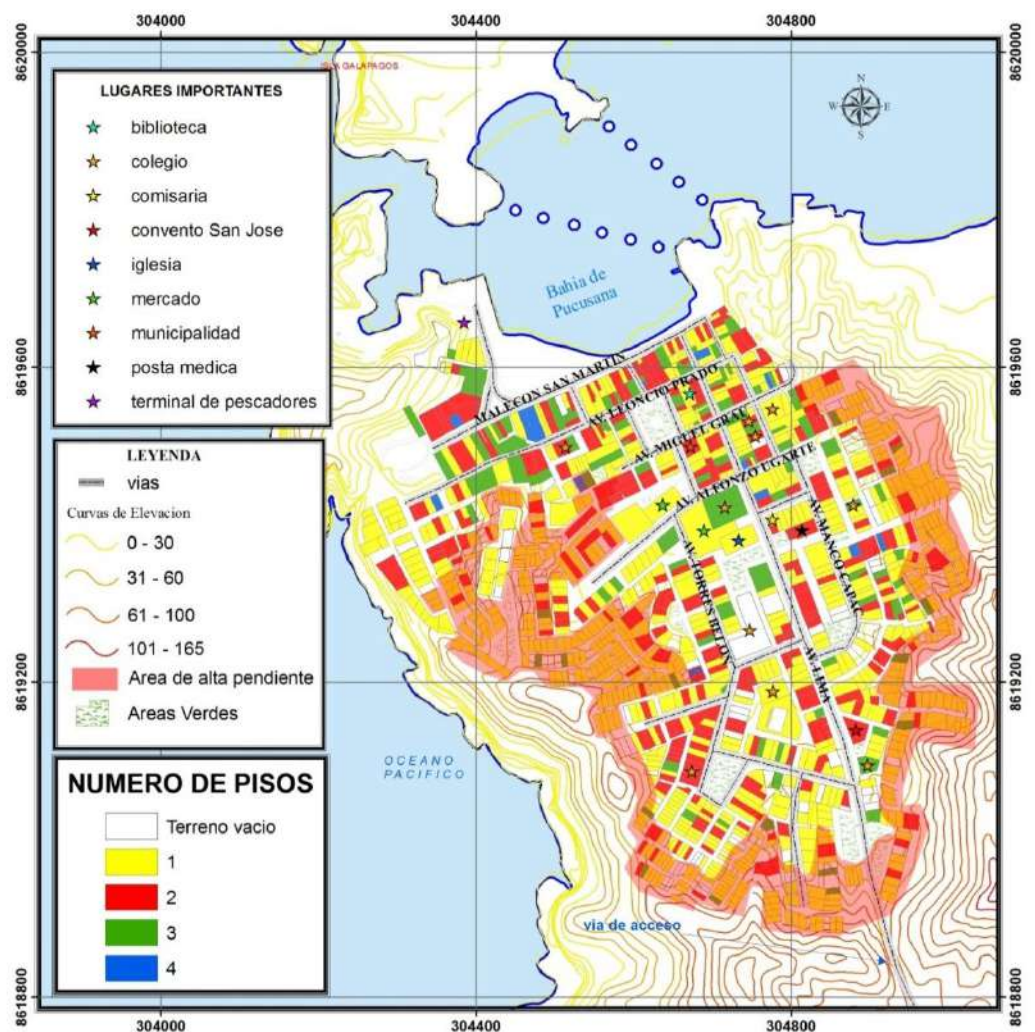


Figura 31. Distribución de las viviendas según su número de pisos.

c) *Clasificación de las viviendas de Pucusana según su antigüedad:*

La información recolectada permitió realizar la clasificación de las viviendas según su antigüedad en viviendas con menos de 15 años, entre 16 y 37 años y más de 38 años (Figura 32).

De acuerdo a la información recolectada se ha evaluado un total de 1265 viviendas y distribución porcentual de acuerdo a su antigüedad, se muestra en la Figura 32.

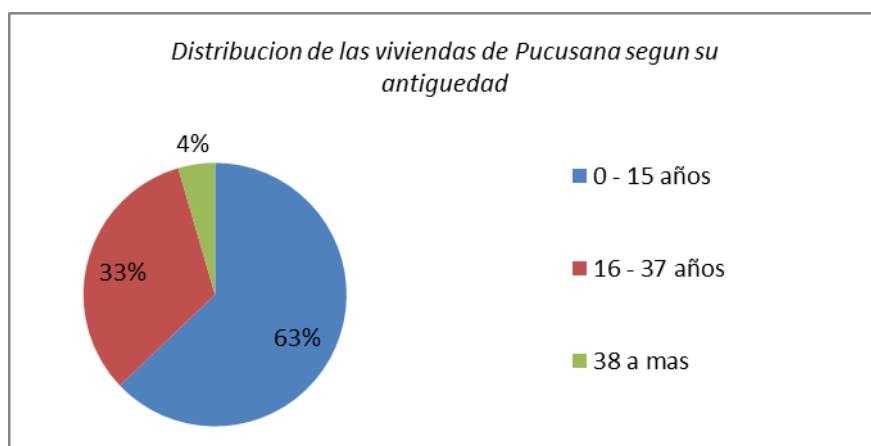


Figura 32. Distribución de las viviendas del Balneario de Pucusana según su antigüedad.

- 0 – 15 años: El 63 % de las viviendas del Balneario de Pucusana son de este tipo y gran parte de estas se ubican en el área de alta pendiente. En otros casos son usados como restaurantes ubicados en el Malecón San Martín. En la Figura 33 se observa una construcción joven de material prefabricado debido a invasiones. Estas viviendas han soportado los sismos recientes ocurridos en Arequipa (2001) y Pisco (2007).



Figura 33. Viviendas prefabricadas de poca antigüedad.

- 16 – 37 años: El 33 % de las viviendas del Balneario de Pucusana son de este tipo (Figura 34), y gran parte de estas se ubican en casi todo el Balneario. Estas viviendas han soportado sismos de gran magnitud como los de Lima (1993), Nazca (1996), Arequipa (2001) y Pisco (2007); Por lo tanto, se debe suponer que estas viviendas presentan daños en su estructura interna debido a estos sismos.



Figura 34. Viviendas de mediana antigüedad, para uso de hospedaje.

- 38 a más años: el 4% de las viviendas del Balneario de Pucusana son de este tipo y gran parte de estas se ubican en la parte más cercana al malecón San Martín. Algunas viviendas con más de 50 años de antigüedad, en su mayoría son hospedajes y albergan gran cantidad de turistas en los meses de verano, como por ejemplo el Hotel “Salón Blanco” que se muestra en la Figura 35.



Figura 35. Construcción antigua de adobe.

La distribución espacial de las viviendas del Balneario de Pucusana, según su antigüedad, se presenta en la Figura 36. En ella se destaca que el 63 % de viviendas tienen menos de 15 años y están ubicadas en casi todo el Balneario y especialmente en el área de alta pendiente (color rojo). El 33% tienen de 16 a 37 años de antigüedad y se ubican principalmente en el centro del Balneario, Av. Lima y Av. Manco Capac. El 4% tienen más de 38 años (color azul) y se encuentran principalmente en el Malecón San Martín y la Av. Leoncio Prado. Asimismo, en la Figura 36 se presentan estrellas de colores que representan los principales establecimientos como comisarias, puestos de salud, colegios, etc.

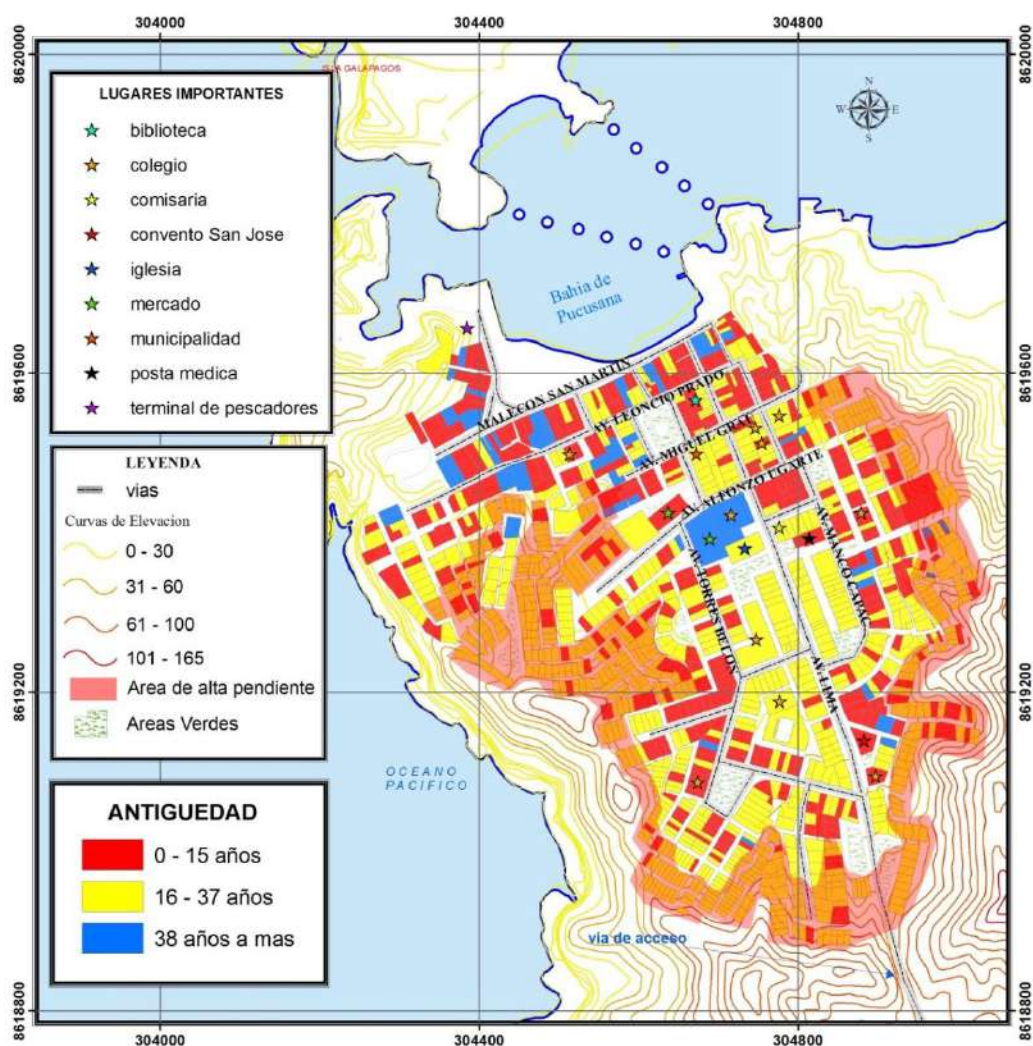


Figura 36. Distribución de las viviendas según su antigüedad.

d) *Clasificación de viviendas según su estado de conservación:*

La información recolectada permitió realizar la clasificación de las viviendas en función de su estado de conservación en viviendas en buen estado, viviendas en mal estado, viviendas en estado regular y viviendas en construcción.

De acuerdo a la información recolectada se ha evaluado un total de 1265 viviendas y cuya distribución porcentual, de acuerdo a su estado de conservación, se muestra en la Figura 37.

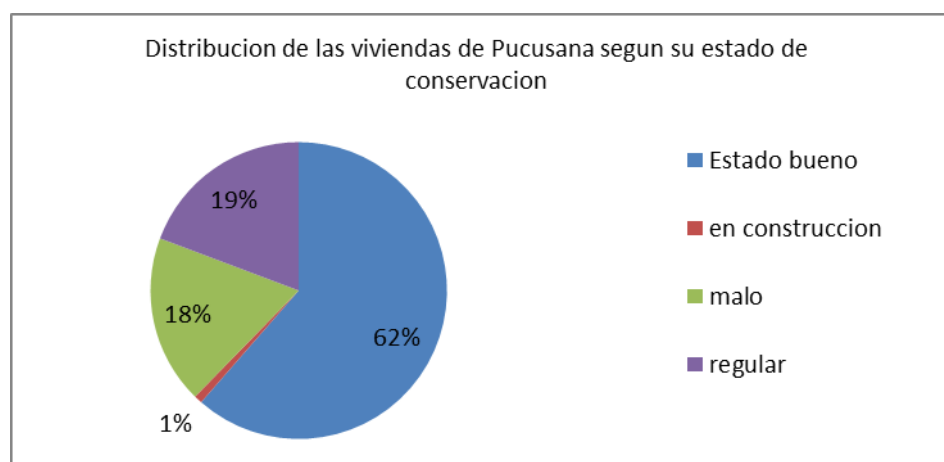


Figura 37. Distribución de las viviendas del Balneario de Pucusana según su estado de conservación.

- **Viviendas en Buen estado:** el 62% de las viviendas del Balneario de Pucusana se encuentran en buen estado, estas han recibido mantenimiento o han sido recientemente construidas. En la Figura 38 se observa un ejemplo y en muchos casos sirven de casas de playa. Estas viviendas se encuentran principalmente en la avenida Leoncio prado, hasta antes de llegar al área de alta pendiente.



Figura 38. Viviendas de alta calidad y técnica de construcción.

- Regular: el 19 % de las viviendas del Balneario de Pucusana se encuentran en estado regular, y muchas no han recibido mantenimiento en mucho tiempo, aunque no presentan daños visibles. En la Figura 39 se observa un ejemplo. Estas viviendas se encuentran principalmente en las avenidas Lima, Manco Capac y el Malecón San Martín.



Figura 39. Viviendas de estado conservación regular.

- Malo: el 18 % de las viviendas del Balneario de Pucusana están en mal estado debido a que no han recibido mantenimiento y por ello presentan rajaduras visibles, tal como se observa en la Figura 40. Estas viviendas se encuentran dispuestas en el malecón San Martín y en el área de alta pendiente.



Figura 40. Viviendas de estado conservación malo o ruinoso

- En construcción: el 1 % de las viviendas del Balneario de Pucusana se encuentran en construcción.

La distribución espacial de las viviendas del Balneario de Pucusana, según su estado de conservación, se presenta en la Figura 41 y en ella se destaca que el 62 % se encuentran en buen estado y están ubicadas en casi todo el Balneario, predominando estas en las zonas más bajas (color amarillo). El 19% se encuentran en estado regular y se ubican principalmente en la avenida Lima, y el área de alta pendiente (color azul) y el 18% de estas viviendas se encuentran en mal estado (color rojo) y se ubican en el área de alta pendiente. Asimismo, en la Figura 41 se presentan estrellas de colores que representan los principales establecimientos como comisarias, puestos de salud, colegios, etc.

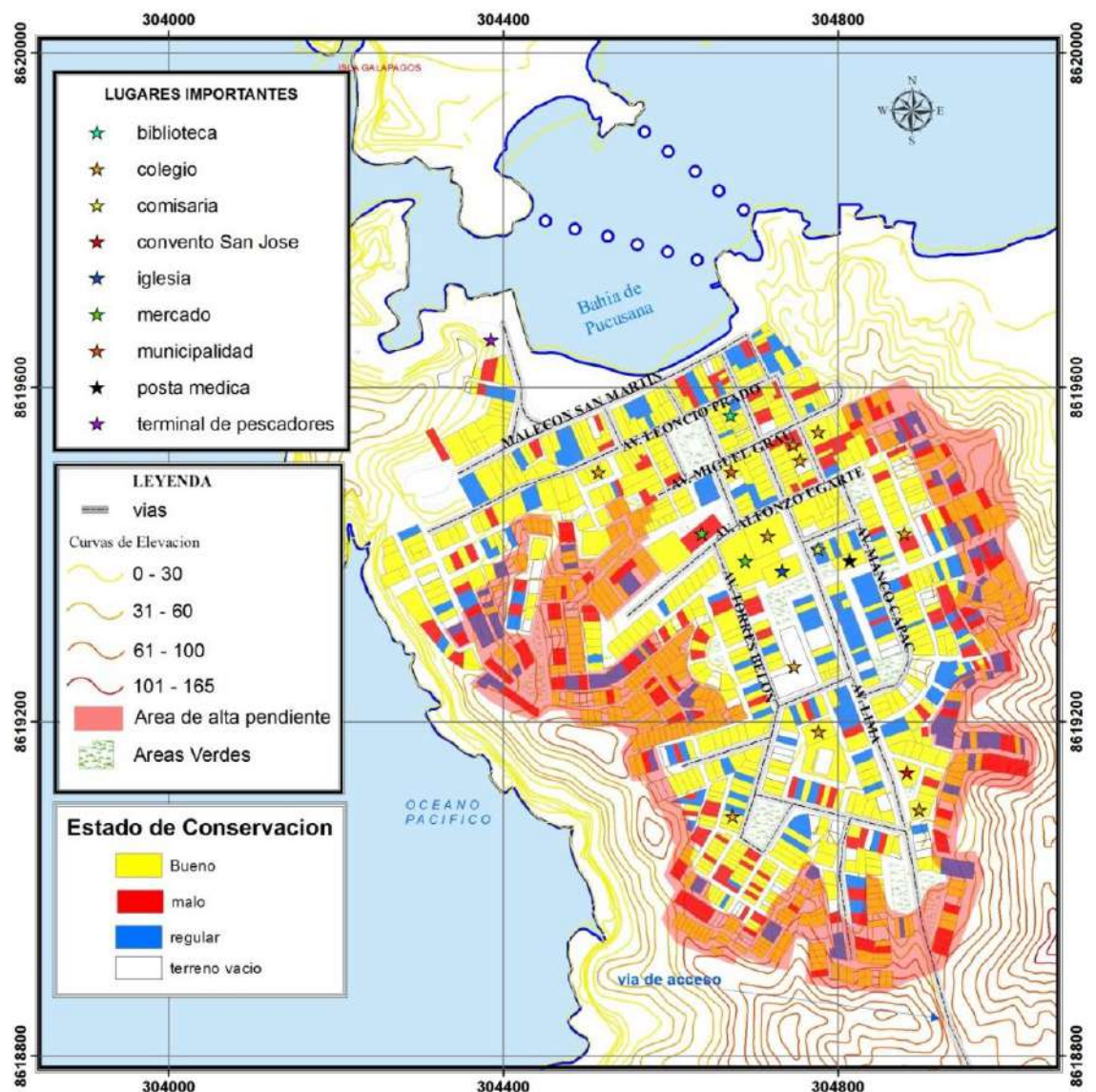


Figura 41. Distribución de las viviendas según su estado de conservación

e) *Clasificación de viviendas según su nivel de deterioro producido por la humedad*

Las viviendas del Balneario de Pucusana, según el nivel de humedad, han sido clasificadas entre las que tienen rasgos de humedad y las que no, y su distribución porcentual se observa en la Figura 42. En general, debe entenderse que un gran porcentaje de las viviendas de Pucusana se encuentran cerca al litoral, y/o en la bahía y ello hace que sean propensas a incrementar su nivel de humedad, lo cual las hace más vulnerables. Un ejemplo se muestra en la Figura 43 y corresponde a la avenida Manco Capac.

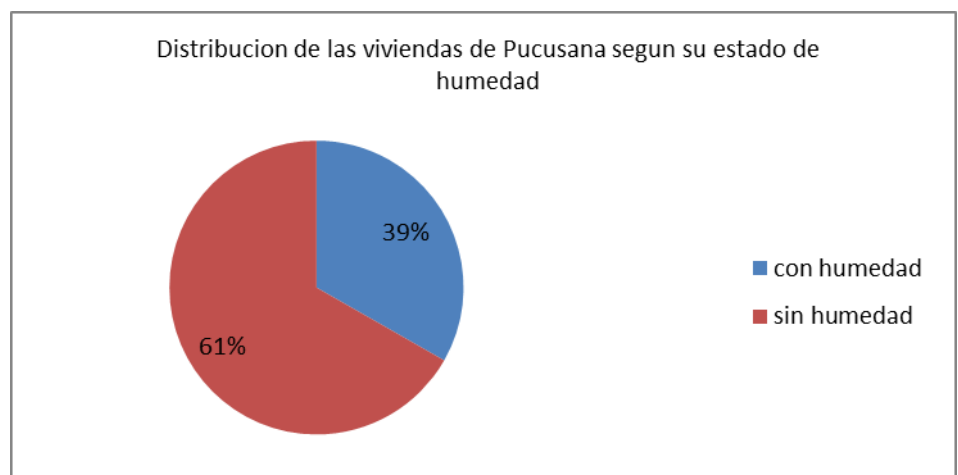


Figura 42. Distribución de las viviendas del Balneario de Pucusana según su estado de humedad.



Figura 43. Humedad registrada en el Balneario.

- Con humedad: el 39% de las viviendas del Balneario de Pucusana presentan humedad debido a su proximidad al mar, esto se evidencia mediante la presencia de marcas como oxidación en puertas y ventanas o pérdida de la capa de pintura en las paredes, tal como se observa en la Figura 44. Básicamente, estas viviendas se encuentran a menos de 100 metros de la playa y en el área de alta pendiente.



Figura 44. Construcción con exposición a humedad visible en las paredes.

- Sin humedad: el 61 % de las viviendas del Balneario de Pucusana no presenta ningún tipo de humedad en su estructura (puertas, ventanas y paredes), tal como se observa en la Figura 45. Estas viviendas se encuentran en las zonas más bajas del Balneario, aproximadamente a más de 100 metros de la playa.



Figura 45. Construcción sin humedad visible en sus paredes.

La distribución espacial de las viviendas del Balneario de Pucusana, según su nivel de humedad, se presenta en la Figura 46 y en ella se puede destacar que el 39 % de estas viviendas presentan rasgo de humedad en sus paredes y están ubicadas en casi todo el Balneario, predominando en áreas de alta pendiente y en el Malecón San Martín (color rojo) y el 61 % son de estas viviendas no presentan humedad en sus paredes y estas predominan en las partes más bajas (color amarillo). Asimismo, en la Figura 46 se presentan estrellas de colores que representan los principales establecimientos como comisarias, puestos de salud, colegios, etc.

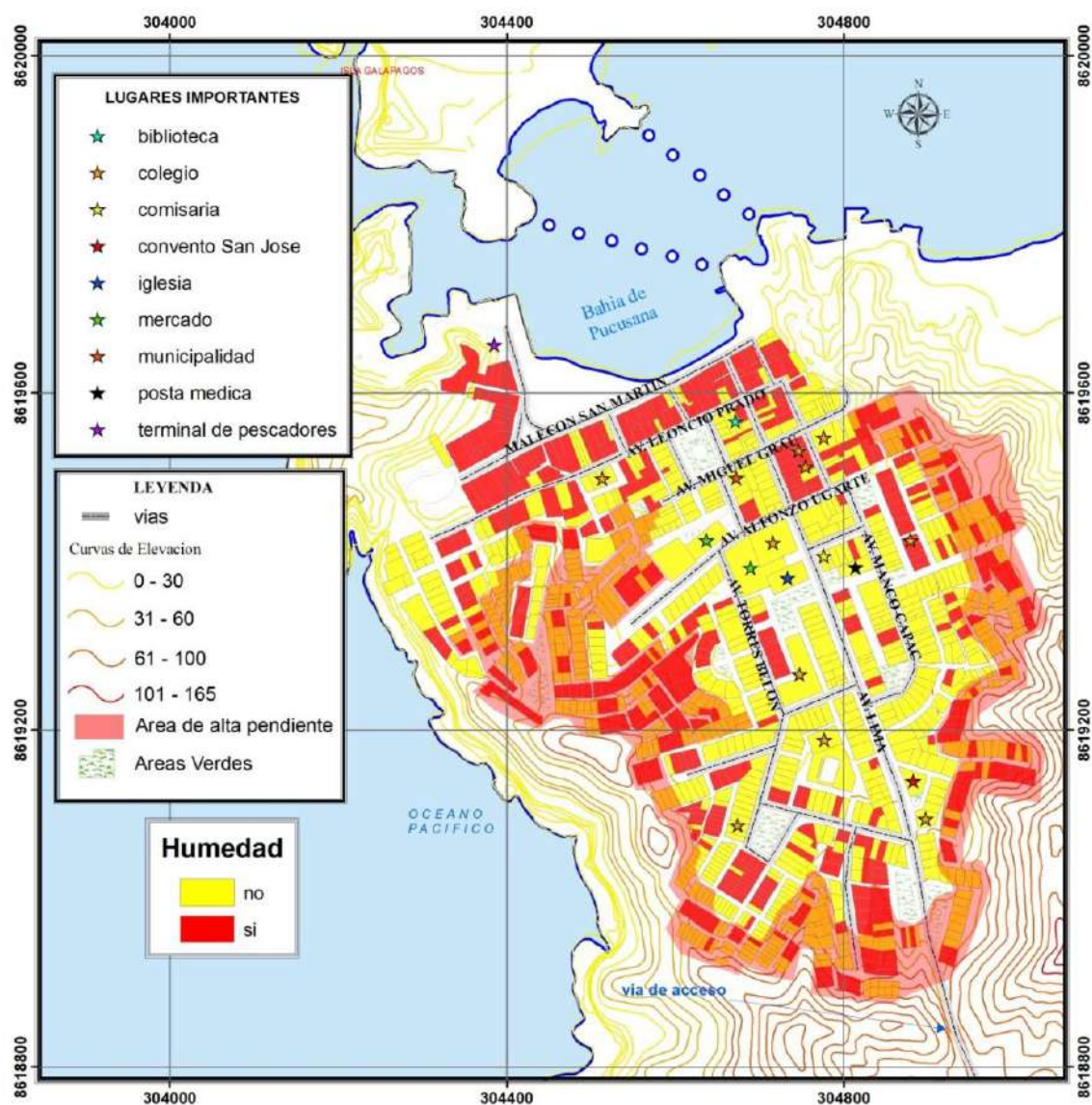


Figura 46. Distribución de las viviendas de Pucusana según su estado de humedad.

f) Clasificación de viviendas según su estado de daño por sismos

Las viviendas del Balneario de Pucusana, según su nivel de daño producido por sismos anteriores, se clasifican de la siguiente manera:

- Viviendas con daños visibles.
- Viviendas sin daños visibles.

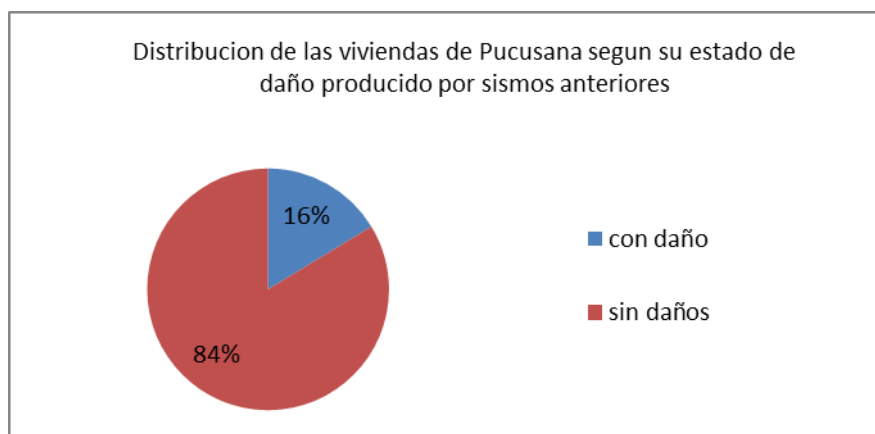


Figura 47. Distribución de las viviendas del Balneario de Pucusana según su estado de daños producidos por sismos anteriores.

En la Figura 48, se observa, en una vista panorámica, que las viviendas dañadas por sismos como los ocurridos en Nazca (1996) y Pisco (2007). Estas viviendas se encuentran en las zonas de alta pendiente del Balneario (áreas en rojo) y en el Malecón San Martín. Las viviendas que no sufrieron daños se muestran con color amarillo.



Figura 48. Vista panorámica de las viviendas del Balneario de Pucusana, clasificados por el nivel de daño producido por sismos anteriores.

En porcentajes (Figura 47), el mayor número corresponde a viviendas no dañadas, siendo solo el 16 % que presentan daños visibles y cuyas características se presentan a continuación.

- Con daños: el 16% de las viviendas del Balneario de Pucusana presentan daños en sus viviendas producto de la ocurrencia del sismo de Pisco 2007. En el Balneario muchas viviendas quedaron con serios daños, lo cual las hace inhabitables. Un ejemplo se muestra en la Figura 49, la vivienda presenta paredes con importantes fisuras. Esta vivienda se encuentra en el pasaje Francia.



Figura 49. Construcción con daño, producto a sismos anteriores.

- Sin daños: el 84% de las viviendas del Balneario de Pucusana no presentan daños en sus viviendas, habiendo soportado sin problemas el sismo de Pisco y como ejemplo, se muestra en la Figura 50 una vivienda sin daños ubicada en el pasaje Corbeta Unión.



Figura 50. Construcción sin daños.

La distribución espacial de las viviendas de Pucusana, según su estado de daño producido por sismos, se presenta en la Figura 51. De ellas, el 16 % presentan rajaduras en sus paredes, fachadas, producto del movimiento producido por los sismos de Pisco (2007), Arequipa (2001), Nazca (1996). Estas viviendas se encuentran en las partes más bajas y comerciales del Balneario (color rojo) y el resto del porcentaje, 84% no presentan daños (color amarillo). Asimismo, en la Figura 51 se presentan estrellas de colores que representan los principales establecimientos como comisarias, puestos de salud, colegios, etc.

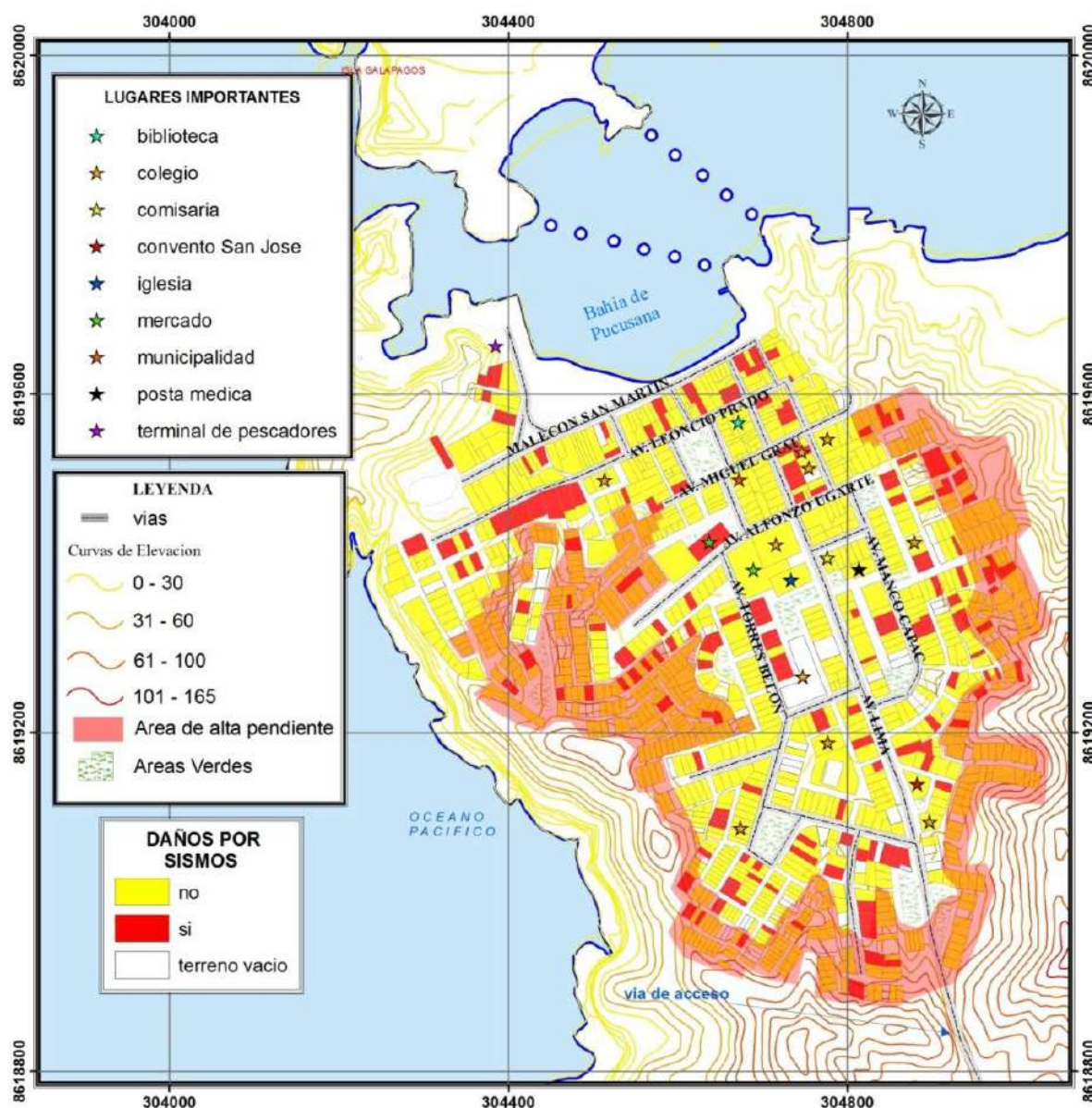


Figura 51. Distribución de las viviendas según su estado de daño producido por sismos anteriores.

g) Clasificación de las viviendas de Pucusana según su tipo de techo:

Las viviendas del Balneario de Pucusana según su tipo de techo se clasifican en techos de:

- ✓ Ladrillo.
- ✓ Madera.
- ✓ Quincha.
- ✓ Estera.
- ✓ Triplay.
- ✓ Adobe.
- ✓ Calamina.

De acuerdo a la información recolectada se ha evaluado un total de 1265 viviendas cuya distribución porcentual, de acuerdo a su tipo de techo, se muestra en la Figura 52.

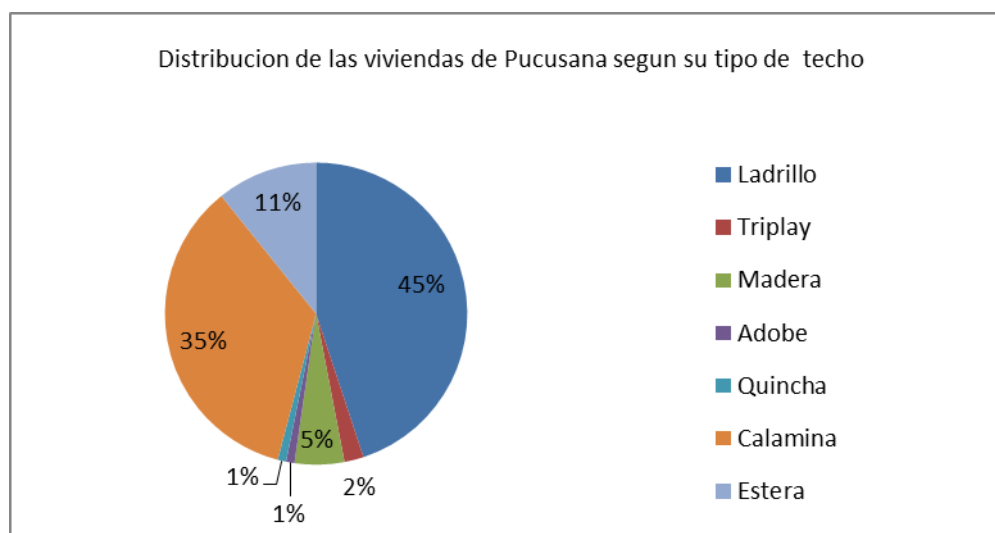


Figura 52. Distribución de las viviendas del Balneario de Pucusana según su tipo de techo.

la distribución espacial de las viviendas de Pucusana, según su tipo de techo, se presenta en la Figura 53 y en ella se observa que el 45 % de las viviendas tienen techo de ladrillo y están distribuidas en casi todo el Balneario, predominando estas en las zonas más bajas (color amarillo). El 35 % de las viviendas tienen techo de calamina y se ubican en el área de alta pendiente, el 11% tienen techo de estera se ubican en el área de alta pendiente (color naranja) y el 5% tienen techos de madera (color magenta) y corresponde a viviendas antiguas,

ubicadas en el Malecón San Martín. El 2% tienen techo de triplay (color fucsia) y se encuentran en el área de alta pendiente, 1% de las viviendas tienen techo de adobe (color verde) y se encuentran en el centro histórico de Pucusana y 1% de las viviendas tienen techo de quincha (color azul), ubicadas en el área de alta pendiente. Asimismo, en la Figura 53 se presentan estrellas de colores que representan los principales establecimientos como comisarias, puestos de salud, colegios, etc.

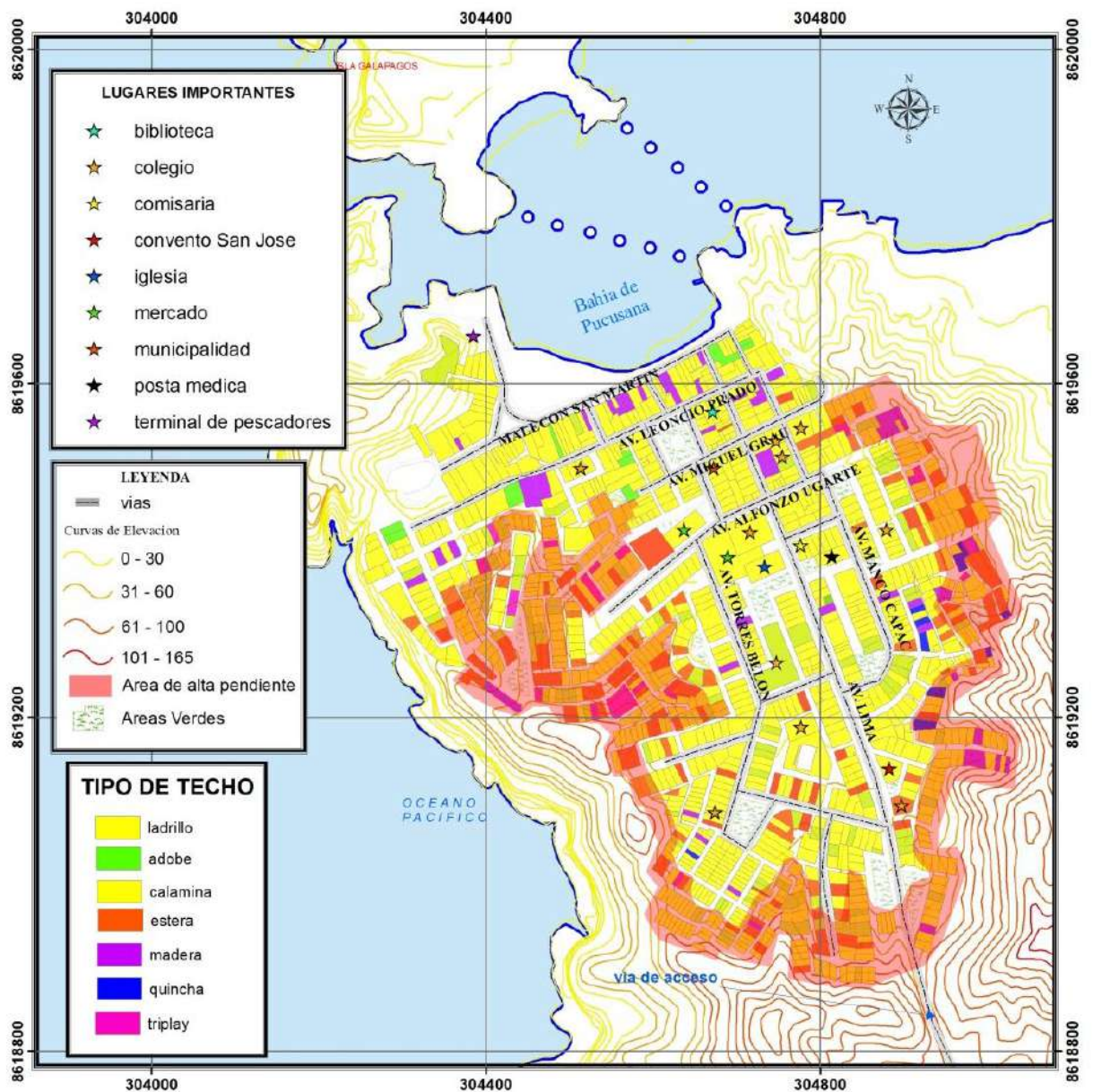


Figura 53. Distribución de las viviendas según su tipo de techo.

h) Clasificación de viviendas según su sistema constructivo

Las viviendas del Balneario de Pucusana, según su sistema constructivo fueron clasificadas de la siguiente manera:

- ✓ Adobe.
- ✓ Madera.
- ✓ Estera.
- ✓ Vigas y columnas.

La distribución porcentual de acuerdo a su sistema constructivo se muestra en la Figura 54.

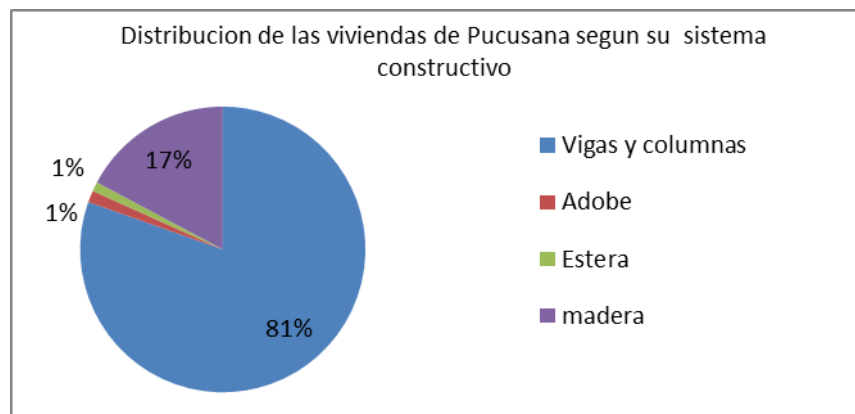


Figura 54. Distribución de las viviendas según su sistema constructivo.

La distribución espacial de las viviendas del Balneario de Pucusana, según su sistema constructivo, se presenta en la Figura 55 y en ella se destaca que el 81 % de las viviendas están hechas con vigas y columnas, todas ubicadas en casi todo el Balneario, pero predominando en las zonas más bajas (color amarillo). El 17 % de las viviendas están hechas de madera y se ubican en el área de alta pendiente, observándose muy pocas de estas en las zonas bajas del Balneario. El 1% de las viviendas están hechas de esteras y/o de adobe, estando ubicadas en la zona más comercial, como por ejemplo en el Malecón San Martín. Asimismo, en la Figura 55 se presentan estrellas de colores que representan los principales establecimientos como comisarias, puestos de salud, colegios, etc.

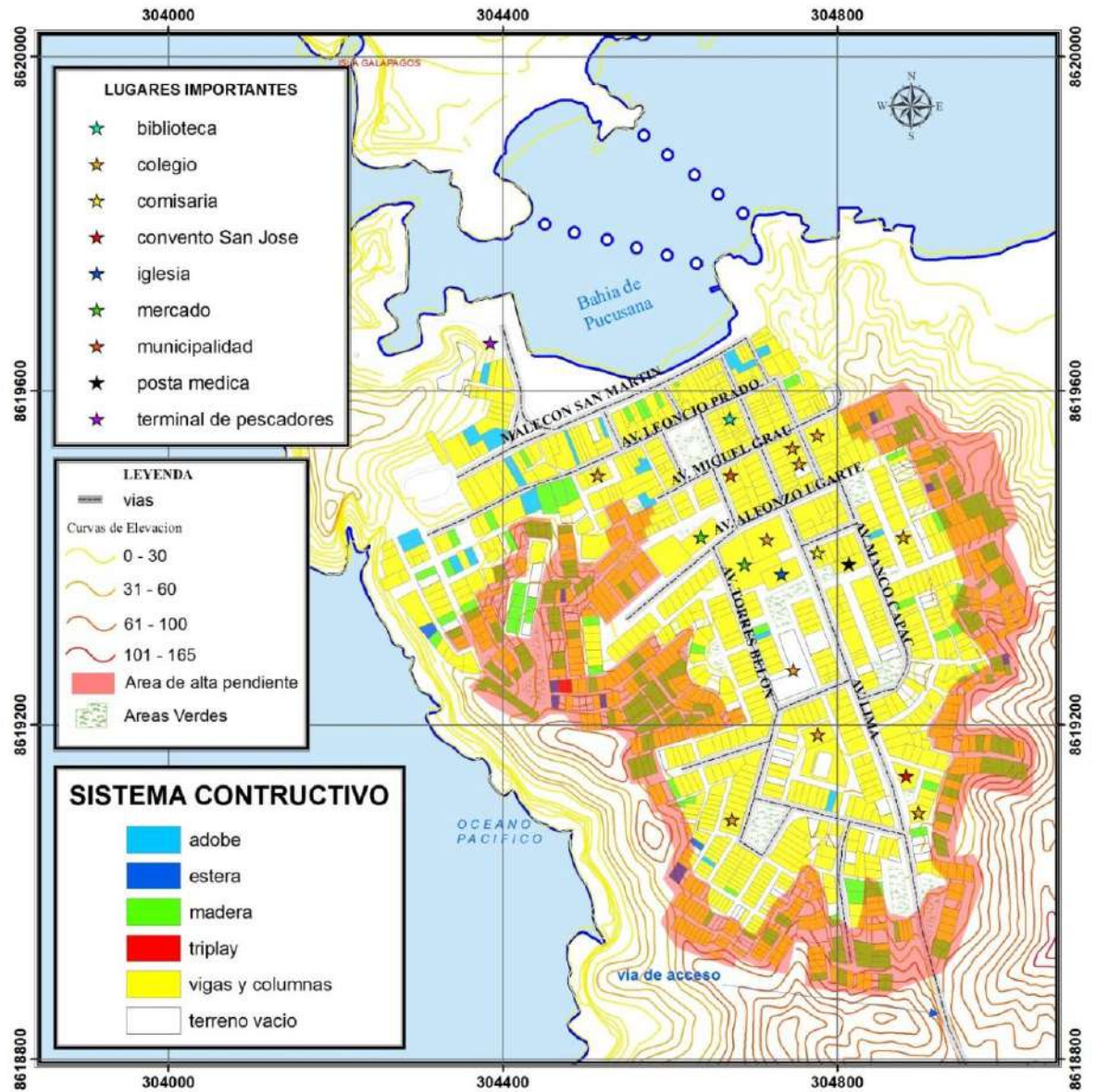


Figura 55. Distribución de las viviendas según su sistema constructivo

i) *Clasificación de viviendas según uso de alero:*

Las viviendas del Balneario de Pucusana, según el uso de alero, fueron clasificados en: con alero y sin alero, y su distribución porcentual se presenta en la Figura 56. Evaluar el uso de alero es muy importante debido a que según evidencias de sismos pasados, su presencia en algunas viviendas hizo de estas, más vulnerables debido a que soportan mayores pesos a los proyectados.

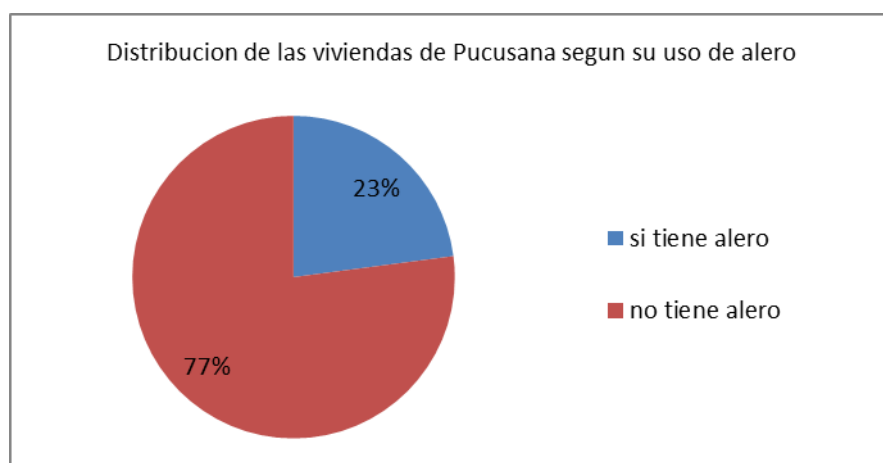


Figura 56. Distribución de las viviendas del Balneario según su uso de alero.

- Con alero: el 23% de las viviendas del Balneario de Pucusana presentan alero, evidenciando mayor peso en su estructura. En la Figura 57 se muestra un ejemplo de este tipo de viviendas.



Figura 57. Vivienda con alero.

- Sin alero: el 77% de las viviendas de Balneario de Pucusana no presentan alero. Estas viviendas no presentan problemas con el peso en su estructura.

La distribución espacial de las viviendas del Balneario de Pucusana, según su tipo de alero, se presenta en la Figura 58; y en ella se destaca que el 23 % de las viviendas lo usan y están ubicadas en casi todo el Balneario, predominando estas en las zonas más bajas y comerciales del Balneario (color azul). El 77% de las construcciones no presentan alero (color amarillo) y se ubican en el área de alta pendiente. Asimismo, en la Figura 58 se presentan estrellas de colores que representan los principales establecimientos como comisarias, puestos de salud, colegios, etc.

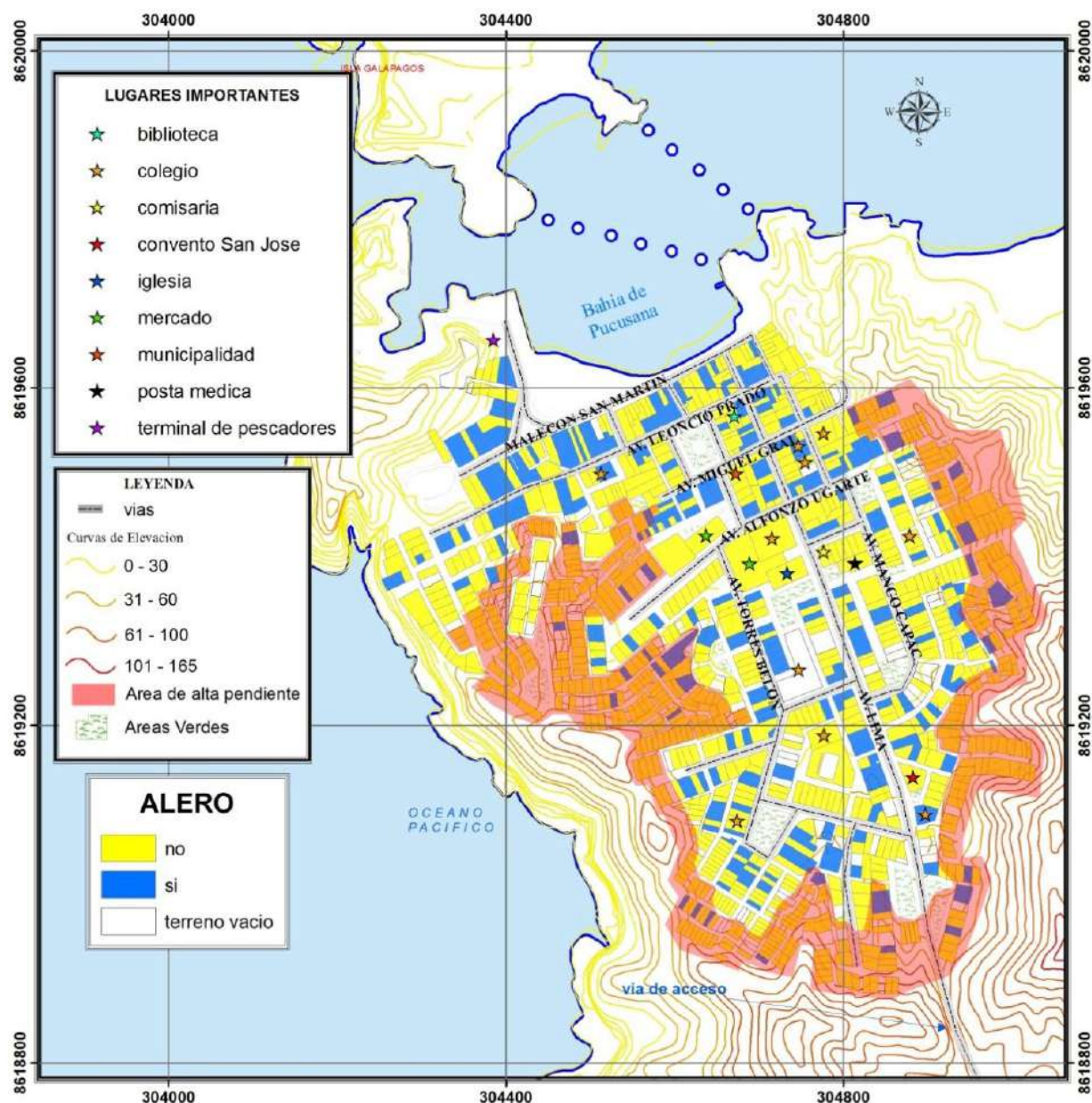


Figura 58. Distribución de las viviendas según su uso de alero.

j) *Clasificación de peligros antrópicos*

En el Balneario de Pucusana, existen varios peligros de los denominados antrópicos, estando muchos de ellos almacenados en el interior de las viviendas, lo cual incrementa su vulnerabilidad del distrito. Entre los principales peligros se ha identificado los siguientes:



Depositos de gasolina



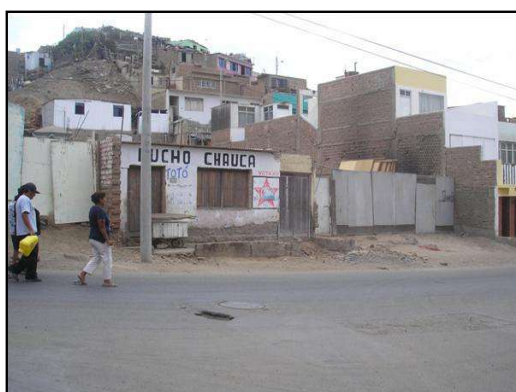
Grifos



Puesto de venta de gas



Antena de telefonía



Punto de acopio de basura



Ferreterías

- Grifos y depósitos de gasolina: El almacenamiento de gasolina, petróleo o algún tipo de aceite hacen de las viviendas lugares muy vulnerables debido a la exposición a incendios y explosiones. En el Balneario de Pucusana existen dos 2 grifos, uno de ellos se encuentra ubicado en el puerto pesquero de Pucusana (Figura 59); abastece de combustible a embarcaciones de pesca y vehículos de transporte de pescado. Otro grifo llamado “Gulf” (Figura 60) se encuentra ubicado en la Av. Lima y sirve de abastecimiento al mercado local de transporte público. El primero tiene un tratamiento adecuado, ya que es administrado por la Dirección General de Capitanías y Puertos del Perú y cuenta con plan de contingencias en caso de derrames o incendios. La ubicación de estos grifos son representados en la Figura 63 (estrellas azules).



Figura 59. Grifo Gremio de Pescadores, funciona en el terminal pesquero de Pucusana y abastece a embarcaciones de pesca.



Figura 60. Grifo Gulf, funciona en la Av. Lima. Abastece al comercio local.

- Ferreterías: El almacenamiento de pinturas en ferreterías hace de las viviendas lugares muy vulnerables debido a la exposición de estos a incendios. En Pucusana existen 2 ferreterías importantes y su ubicación se muestra en la Figura 63 (estrellas amarillas).

- Puestos de venta de gas: El almacén de este tipo de combustibles hace de la vivienda y/o adyacentes lugares muy vulnerables debido a la exposición de estos a incendios y/o explosiones. En Pucusana existen 10 puestos de venta de gas y su ubicación se muestra en la Figura 63 (estrellas magenta).
- Antena de telefonía celular: Esta antena se ubica entre Av. Lima y Av. Alfonso Ugarte. Esta antena hace de las viviendas adyacentes lugares vulnerables debido a la exposición de estos al desplome. su ubicación se muestra en la Figura 67 (estrellas verde).



Figura 61. Antena telefónica.

- Centro de acopio de basura: El almacenamiento de residuos inflamables como plásticos y papeles hace de las viviendas adyacentes lugares muy vulnerables debido a la exposición de estos a incendios. En el Balneario de Pucusana se encontró al menos, una vivienda que almacena este tipo de materiales, tal como se observa en la Figura 62. En la Figura 63. se muestra la ubicación de esta vivienda (estrella rojo).



Figura 62, vivienda que sirve de centro de acopio de papeles y plásticos.

En la Figura 63, se observa varios puntos peligrosos muy cerca a establecimientos especiales, como la existencia de varios colegios muy cerca de peligros como la antena telefónica, el grifo Gulf y algunos puestos de venta de gas.

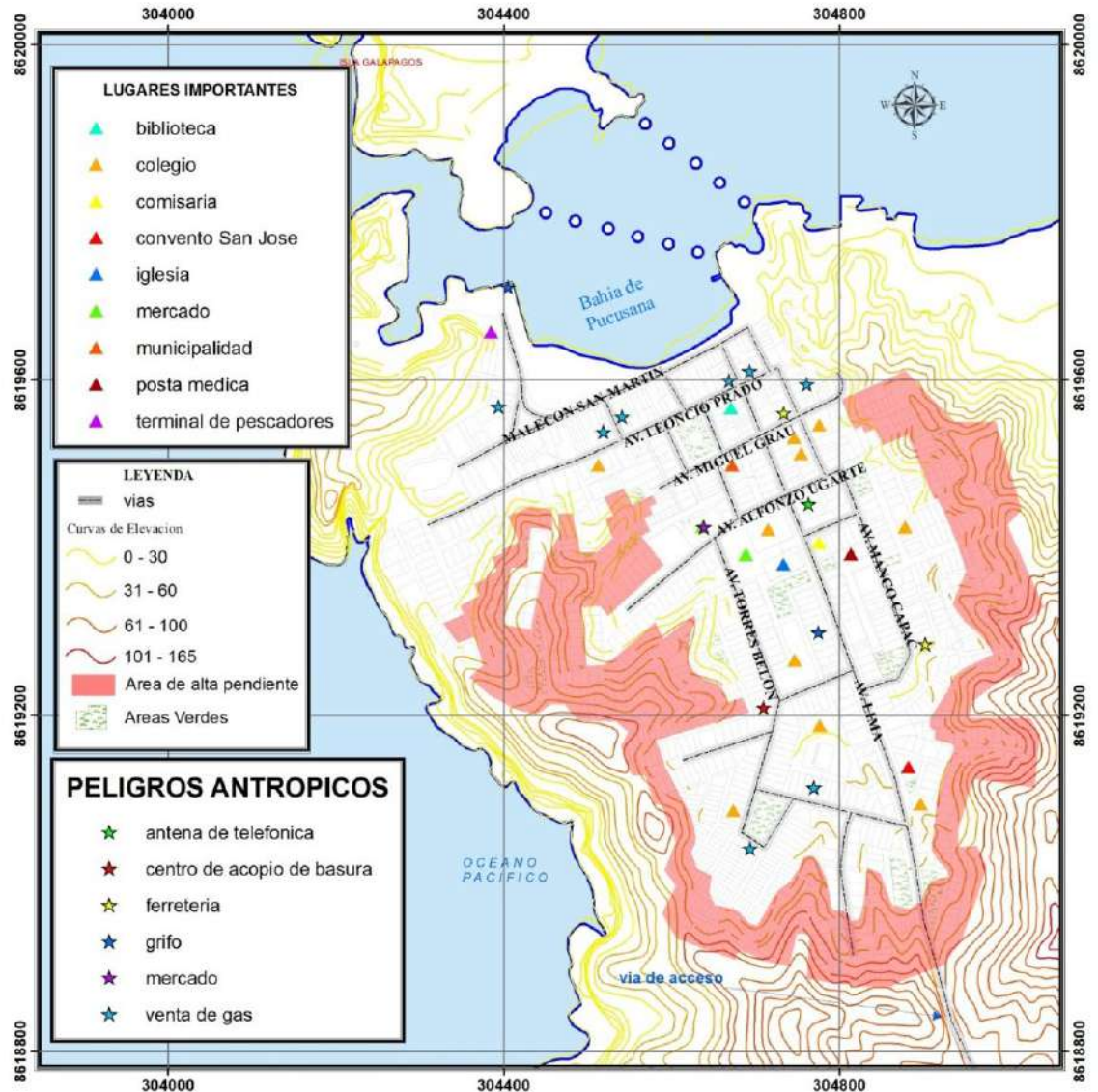


Figura 63. Puntos de peligro antrópico en el Balneario de Pucusana.

k) *Clasificación de viviendas del Balneario según el nivel de Resiliencia de la población*

Las viviendas del Balneario de Pucusana, según sus variables de Resiliencia, fueron clasificados de la siguiente manera:

- Tipo de comercio: Se tomó el mapa del Instituto Metropolitano de Planificación (IMP) como indicador de los tipos de comercio ejercidos en Pucusana. Siendo estos de tipo vecinal y zonal. Esta información

permitió determinar la capacidad adquisitiva de las familias y de esta manera, conocer si ellas están en capacidad de afrontar económicamente un eventual sismo. En la Figura 64 se presenta la información obtenida del IMP complementada con la tomada en campo mediante encuestas. Esta variable es conocida también por el INDECI como vulnerabilidad económica y fue estimada mediante la siguiente pregunta: **¿Tiene usted una economía estable capaz de afrontar un evento sísmico?** De acuerdo a la figura 64, el % presentan comercio de tipo vecinal color verde y el % presentan comercio de tipo zonal.

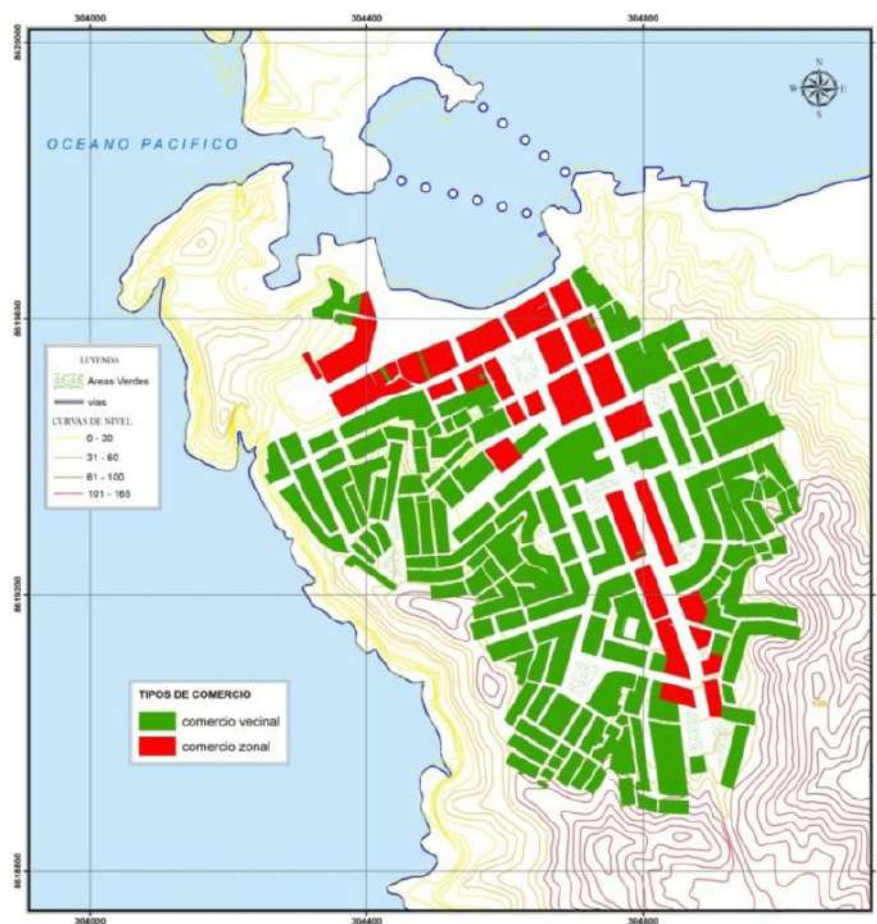


Figura 64. Tipos de comercio en el Balneario de Pucusana.

- Nivel de preparación: Esta variable se evaluó mediante encuestas tomadas en campo y tiene como objetivo determinar el nivel de preparación de los pobladores de Pucusana ante la ocurrencia de sismos. Se observó que gran parte de las personas encuestadas, mostraban un bajo nivel de preparación ante sismos, debido a que no han participado en simulacros locales, aparte de los programados por Defensa Civil. En algunos colegios, en donde se realizó este ejercicio, se llegó a la conclusión que gran porcentaje de los colegios carecen de información y preparación. Esta variable es conocida por el INDECI

como “vulnerabilidad cultural” y se evaluó en campo mediante la siguiente pregunta: ***¿ha participado en algún simulacro?***

- **Nivel de conocimiento de sismos:** Esta variable se evaluó mediante encuestas tomadas en campo donde se determinó el nivel de conocimiento de los habitantes de Pucusana sobre los efectos de un sismo. Esta variable hace resilientes a las personas, debido a que el hecho de reflexionar, indagar e informarse acerca del poder destructivo del sismo conlleva a invertir mucho más en hacer sus viviendas más resistentes. los habitantes de Pucusana no mostraron interés, ni nociones sobre el poder destructivo de los sismos y tsunamis. Esta variable es llamada también por el INDECI como “vulnerabilidad educativa” y se evaluó en campo mediante la siguiente pregunta: ***¿Tiene conocimiento sobre los poderes destructivos de un sismo?***

- **Trabajo de prevención:** Esta variable se evaluó mediante las encuestas tomadas en campo para determinar el nivel de intervención en el Balneario de instituciones como ONG’S o INDECI. Esta variable es de vital importancia debido a que, al no haber trabajos de mitigación, los efectos de los sismos serán mayores. De las personas encuestadas se pudo observar que Pucusana no han sido beneficiado con ningún tipo de obra de preparación. Esta variable es conocida por el INDECI como “vulnerabilidad institucional” y se evaluó en campo mediante la siguiente pregunta: ***¿Se han realizado obras de prevención en su Balneario?***

CAPITULO VI

IDENTIFICACION DE PELIGROS

La recopilación de datos para la realización del presente estudio, considera en este caso la información referente al comportamiento dinámico del suelo (CDS) disponible para el Balneario de Pucusana. Esta información es parte del proyecto SIRAD y específicamente se trata del estudio de tipificación de suelos del distrito aplicando técnicas ampliamente conocidas como es el uso de registros de vibración ambiental para el análisis de razones espectrales (H/V) y análisis geotécnico para conocer la capacidad portante del suelo. Este estudio fue realizado por la Dirección de Sismología del IGP (Tavera, 2010) a fin de complementar el mapa de zonificación sísmica de Lima propuesta por APESEG (2005) y en el cual, el autor participo activamente en la elaboración de dicho estudio (Figura 65).

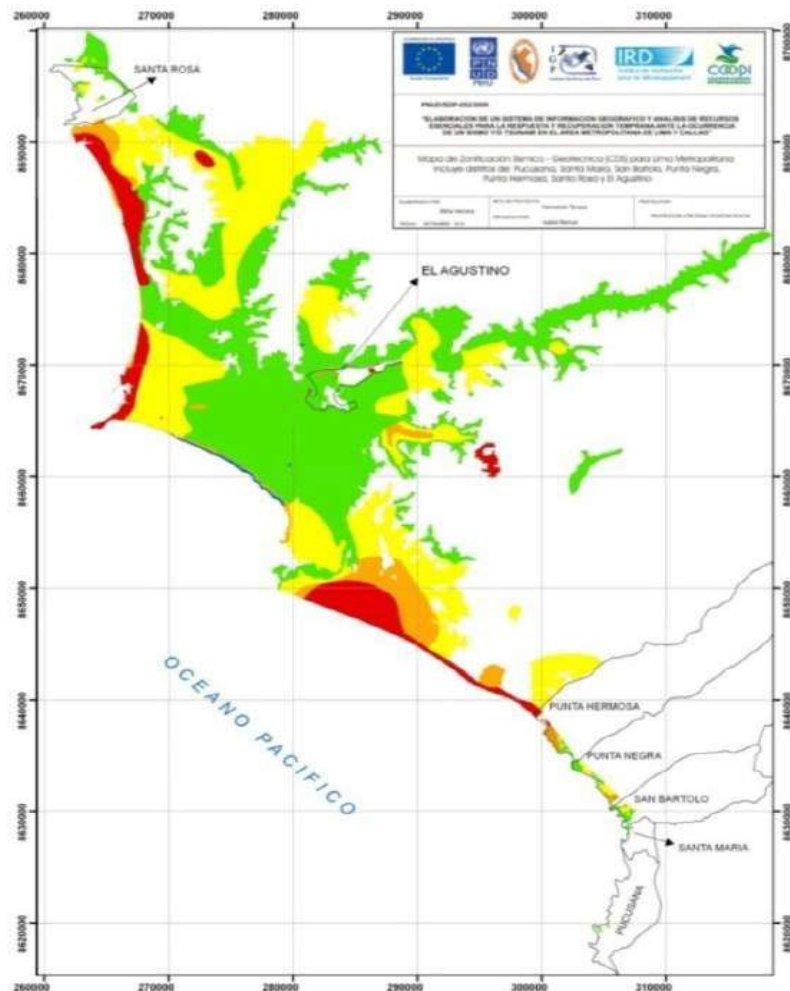


Figura 65. Mapa de Zonificación para Lima Metropolitana, en la cual se incluyen los Distritos de Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino. (ASEPEG; 2005, IGP; 2010).

6.1 Condiciones locales de sitio

Las condiciones locales de sitio son uno de los principales factores responsables de los daños sufridos en las edificaciones durante la ocurrencia de sismos. La amplificación sísmica es un efecto de las condiciones locales del sitio y es fuertemente dependiente de las condiciones sísmicas, geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de las zonas en estudio.

Los estudios de microzonificación sísmica son herramientas importantes para minimizar los daños producidos por sismos, con la finalidad de evaluar el comportamiento dinámico de los suelos (CDS); teniendo en cuenta que la intensidad de las sacudidas sísmicas varía considerablemente a distancias muy cortas y áreas pequeñas. Esto ha llevado a pensar que el factor esencial para la evaluación del daño en las estructuras son las condiciones locales del suelo; es decir, efectos de sitio en áreas urbanas, zonas de expansión urbana, complejos industriales y otros.

Una de las técnicas más aceptadas para realizar una aproximación de los efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad, es el uso de la razón espectral de registros de sismos fuertes (conocida como razón espectral estándar) obtenidos simultáneamente en estaciones ubicadas sobre suelo blando con respecto a una estación de referencia ubicada en suelo firme (asumiéndola libre de efectos de sitio). Sin embargo, el registro de estos sismos fuertes conlleva a un mayor tiempo de espera para realizar la evaluación (King y Tucker, 1984; Singh et al., 1988; Lermo y Chávez-García, 1994).

Para salvar estos problemas, recientemente se ha introducido la técnica de Nakamura (1989) para interpretar registros de vibración ambiental (microtremores) a partir de la razón espectral entre las componentes horizontales y la vertical de un mismo registro (H/V). La ventaja más importante de esta técnica es que elimina el requerimiento de una estación de referencia (Kanai y Tanaka, 1954). Los parámetros obtenidos con el análisis de los registros de los microtremores son la frecuencia predominante o periodo dominante (T_0) y, de manera referencial, la amplificación máxima relativa (A_r) del suelo. La técnica de Nakamura fue evaluada y discutida por Lermo y Chávez-García (1994a,b) a partir de la comparación de los resultados obtenidos de registros de microtremores contra la razón espectral estándar obtenida con registros de sismos, concluyendo que los microtremores, cuando son analizados con H/V, permiten determinar, con buena precisión, del período dominante (T_0) de los sedimentos sujetos a una amplificación dinámica dentro de un intervalo de frecuencias que van entre 0.4 y

10 Hz, junto con una estimación preliminar del nivel de amplificación (A_r).

Se concluye que los efectos que produce cada tipo de suelo sobre la amplitud y naturaleza de las ondas sísmicas, ha sido reconocido y su estudio aceptado internacionalmente como una herramienta útil para la estimación del comportamiento dinámico del suelo, a fin de proponer mapas de zonificación del tipo de suelo para una determinada ciudad, localidad o área de interés.

6.1.1 Condiciones mecánicas - dinámicas de suelos

a) Norma E-030

En la actualidad, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura se basa en la Norma E-030 (2003), la cual clasifica a los suelos en función de sus propiedades mecánicas, espesor del estrato, período fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte. Según la norma antes indicada, los suelos son de cuatro tipos:

➤ Suelos muy rígidos (Tipo S1).

A este tipo corresponden los suelos muy rígidos en los cuales la velocidad de propagación de la onda de corte es similar al de una roca, además el período fundamental de vibración del suelo es de baja amplitud sin exceder los 0,25 s. Se incluyen los casos en los cuales se cimienta sobre:

- Roca sana o parcialmente alterada, con una resistencia a la compresión no confinada mayor o igual que 500 kPa (5 kg/cm²).
- Grava arenosa densa.
- Estrato de no más de 20 m de material cohesivo muy rígido, con una resistencia al corte, en condiciones no drenadas, superior a 100 kPa (1 kg/cm²), sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.
- Estrato de no más de 20 m de arena muy densa con $N > 30$, sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.

➤ Suelos intermedios (Tipo S2).

Suelos con características intermedias entre las indicadas para los suelos S1 y S3.

➤ Suelos flexibles o con estratos de gran espesor (Tipo S3).

Corresponden a este tipo los suelos flexibles o estratos de gran espesor en los cuales el período fundamental para vibraciones de baja amplitud es mayor a 0,6 s.

➤ Condiciones excepcionales (Tipo S4)

A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables.

En general, para cualquier estudio deberá considerarse el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de cada zona de interés y utilizar los correspondientes valores de periodos T_p y del factor de amplificación del suelo S definido en la Norma E-030 (2003), ver Tabla 8.

Tabla 8; Parámetros sísmicos correspondientes al tipo de suelo según la Norma E-030 (2003)

Tipo	Descripción	T_p (S)	S
S1	Roca o suelos muy rígidos	0.4	1.0
S2	Suelos intermedios	0.6	1.2
S3	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0.9	1.4
S4	Condiciones excepcionales	*	*

(*) Los valores de T_p y S para este caso serán establecidos por el especialista, pero en ningún caso, serán menores que los especificados para el perfil tipo S3.

b) Instrumentación y datos

En este estudio se utilizan registros de vibración ambiental obtenidos con dos sismómetros de tres componentes ortogonales (Vertical, Norte-Sur, Este-Oeste) marca Lennarzt, modelo LE-3D/5s con un rango dinámico de 140Db y banda de frecuencias que fluctúa entre 0.2 y 40 Hz. El registrador es de Marca LEAS (Modelo City Shark II) que registra a una frecuencia de muestreo de 200 Hz en un rango de ganancias de 1024 dB. La longitud del registro es de 15 minutos, el cual es almacenado en una memoria Compac Flash (Figura 66).

De acuerdo a estas características instrumentales, los registros de vibración ambiental fueron obtenidos a 200 muestras/segundo en cada componente de registro. El equipo sísmico permite visualizar la información registrada en cada punto, lo cual permite evaluar la calidad del dato y de presentar alguna alteración en su registro, volver a repetir el registro hasta obtener señales de buena calidad para los objetivos del estudio. El tiempo de registro y ubicación de cada punto fue controlado por un GPS (Figura 67).

Para la toma de datos se consideró un número de puntos definidos para cada zona de estudio de acuerdo a las condiciones tectónicas, geológicas, geomorfológicas, geotécnicas y demográficas. El tiempo de registro en cada punto fue de 15 minutos, lo cual permite tener buena cantidad de información para su posterior análisis.

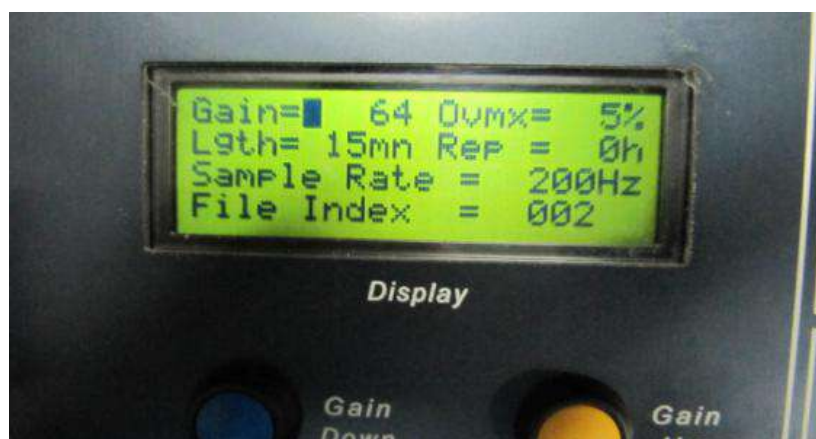
La data obtenida en cada punto fue transferida a una estación de trabajo para el cambio de formatos respectivos y corrección por línea base (offset) sin la utilización de ningún tipo de filtro a fin de no alterar la señal original. Asimismo, las incidencias y características instrumentales consideradas en cada punto de medición fueron cuidadosamente anotadas en una cartilla y cuyo formato permite contar con el total de información para la evaluación de las condiciones en las cuales se adquirieron los registros antes de su análisis y procesamiento.



Vista de los sensores y registradores



Vista del registrador City Shark II



Vista del Display del registrador

Figura 66. Equipo Sísmico utilizado en este estudio para la toma de datos en campo.

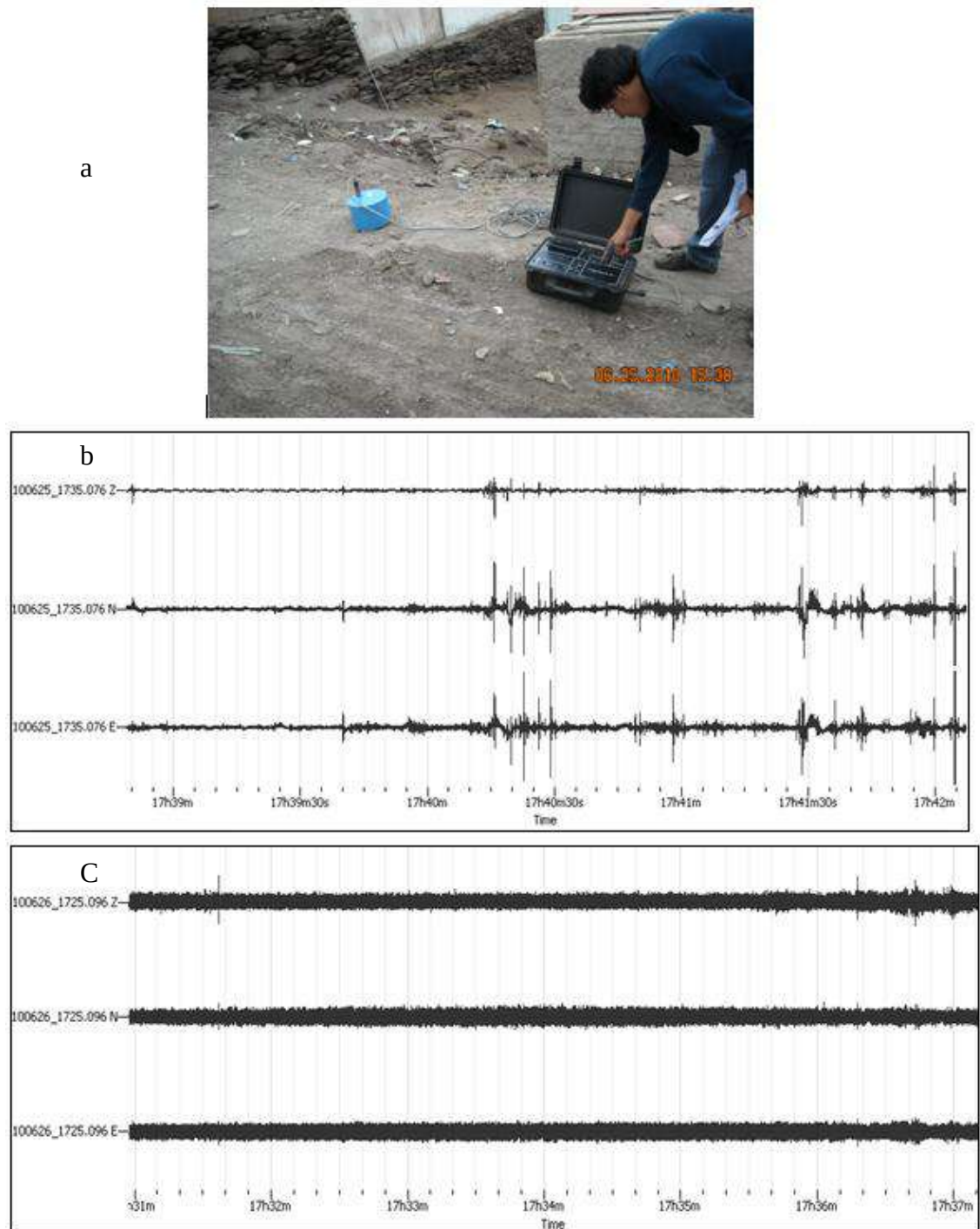


Figura 67. a) Imagen donde se observa la disposición del equipo a la hora de tomar los datos en campo.
 b) Ejemplo de un registro de vibración ambiental perturbado por el paso de peatones cerca del sensor y
 c) Ejemplo de un registro de vibración ambiental obtenido durante un periodo estable. En la imagen superior observa al autor durante la toma de datos en campo.

6.1.2 Metodología en sismica – registros de vibración ambiental

La técnica H/V considera como hipótesis de base que las vibraciones ambientales se deben principalmente a la excitación de las ondas Rayleigh en las capas superficiales generadas por la actividad humana. La información recolectada y su interpretación permiten conocer el periodo natural del suelo y el factor de amplificación, parámetros que definen el comportamiento dinámico del suelo ante la ocurrencia de un evento sísmico.

De las razones espectrales, se identifican las frecuencias predominantes y amplificaciones relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio (ver Figura 68), el mismo que está definido por las condiciones geológicas y geomorfológicas de las primeras decenas de metros de la superficie terrestre. Debe entenderse que, de acuerdo a la variación de las propiedades físicas del suelo, cualquier medio al ser afectado por algún tipo de onda de cuerpo o superficial puede causar la amplificación o de-amplificación de las mismas debido al efecto de las capas estratigráficas superficiales de diferente espesor, geometría y composición geológica.

Para aplicar la técnica H/V, se consideran los siguientes pasos:

- I. Los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas de 2048 muestras (20 segundos) con un traslape del 10%. Debido a la disponibilidad de considerable tiempo de registro, se procedió a seleccionar de forma aleatoria tramos de señal.
- II. Se calcula la transformada Rápida de Fourier para un número mayor a 10 ventanas de observación para cada punto.
- III. Los espectros horizontales se dividieron entre el espectro vertical para obtener la relación H/V y luego se promediaron estos para cada punto de observación considerando su respectiva desviación estándar. Luego se procedió a identificar la frecuencia predominante y la amplitud máxima relativa.

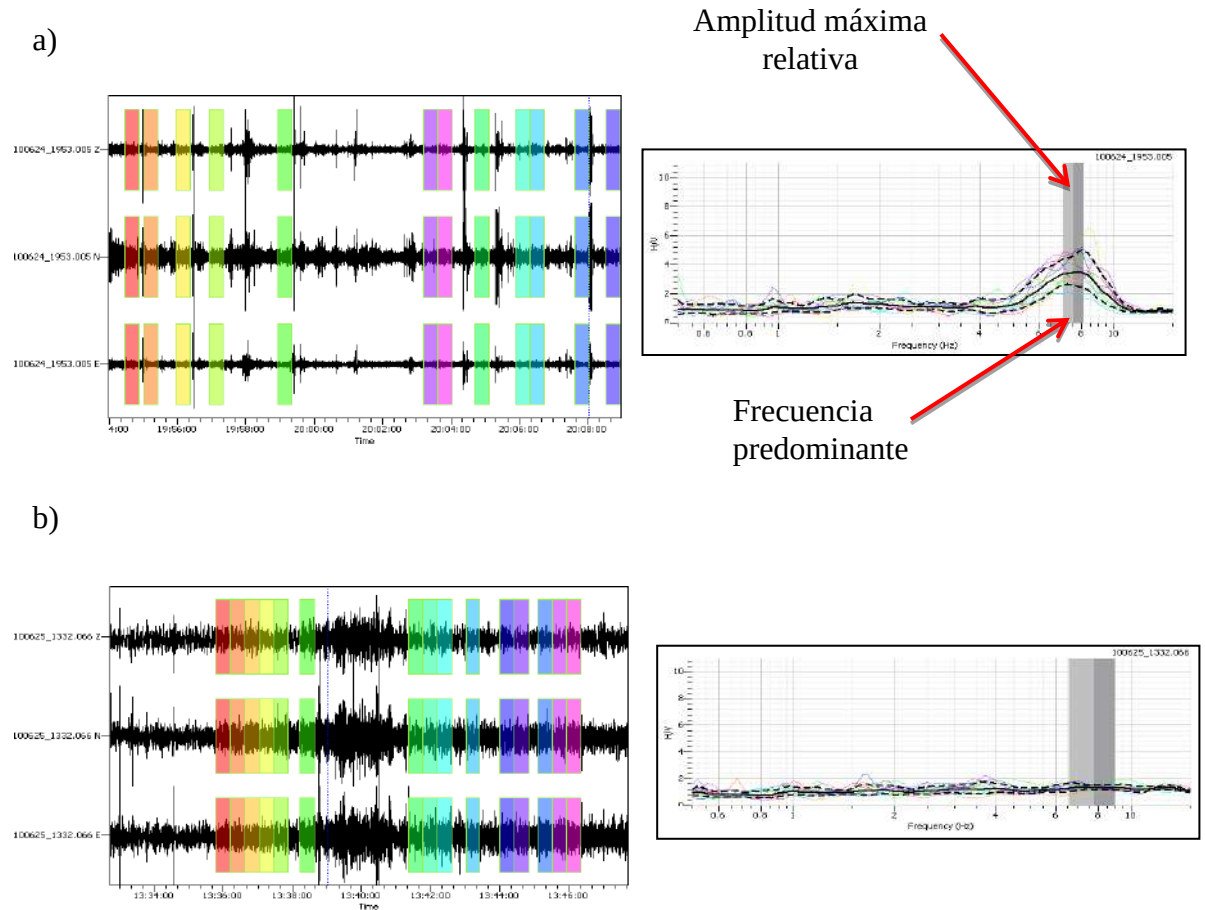


Figura 68. Ejemplo de selección de ventanas de registro de vibración ambiental (rectángulos de colores) en sus tres componentes con sus respectivos gráficos de razones espectrales H/V. a) Registros y razones H/V donde se identifican frecuencias predominantes, b) Registros en los cuales no resalta ninguna frecuencia predominante. Las líneas gruesas en las gráficas H/V indican el promedio de las curvas de razones espectrales y las líneas discontinuas su desviación estándar.

Para definir la frecuencia predominante se consideran tres criterios: primero, debe estar presente en un rango de interés que fluctúa entre 0.4 a 10 Hz (Lermo y Chávez-García -1994 a,b; Lachet y Bard, 1994); segundo, debe presentar amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de “1” como punto de referencia) y por último, se considera el pico/rango de frecuencias más representativos para cada punto de medida. Finalmente, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes.

6.1.3 Metodología en geotécnica

Para el análisis geotécnico ha sido necesario realizar el cartografiado geológico y geomorfológico teniendo como información base, la presentada en estudios anteriores, como por ejemplo Martínez (1975) e INGEMMET (1982 y 1994). Estos estudios son de carácter general y consideran toda el área de Lima Metropolitana.

Para complementar la información contenida en los mapas se realizó trabajos de campo, teniendo como base el mapa catastral proporcionado por la municipalidad del Distrito. El estudio geotécnico ha sido elaborado a partir de la construcción de siete (7) calicatas, de tal forma que cubra con una geometría adecuada y representativa los suelos existentes en el Balneario de Pucusana.

Las calicatas tuvieron las dimensiones siguientes: 1.5 m x 1.5 m de lado x 3.0 m de profundidad máxima. Las excavaciones estuvieron a cargo de personal técnico del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), quienes se encargaron también de obtener dos muestras de suelos por cada calicata. La UNALM igualmente se encargó del análisis geotécnico de las muestras de suelos obtenidas en el campo. Las muestras se obtuvieron de la capa más profunda y representativa del tipo de suelo en el sitio evaluado.

En la primera muestra de suelo obtenida se hicieron los análisis granulométricos, límites de elasticidad y contenido de humedad, y con ello se procedió a realizar la Clasificación Unificada de Suelos (SUCS) de la muestra. La SUCS es un sistema propuesto por Arturo Casagrande y sus modificaciones en el año de 1942. Esta clasificación es la más utilizada a nivel mundial para la clasificación de suelos desde un punto de vista geotécnico. La Clasificación SUCS divide los suelos en:

- Suelos de grano grueso
- Suelos de grano fino
- Suelos orgánicos

Los suelos de grano grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz No. 200.

Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y los finos a los que lo pasan, de esta forma se considera que un suelo es grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en el tamiz No. 200 y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz.

Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres en inglés de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turbas); mientras que, los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos:

G = Grava	C = Arcilla	L=Baja plasticidad
S = Arena	O = Limo o arcillas Orgánicas	W = Bien graduado
M = Limo	H = Alta plasticidad	P = Mal graduado

La segunda muestra fue utilizada para el análisis de corte directo que consiste en la aplicación de cargas diferenciadas hasta que falle la muestra. Esto permite determinar la capacidad portante del suelo (capacidad admisible última). En caso de que la muestra de suelo sea una grava sin contenido de arena, no es posible aplicar el ensayo de corte directo, sino de densidad máxima que también permite estimar el valor de capacidad portante.

6.1.4 Comportamiento dinámico del suelo

a) Recolección de Datos

A fin de realizar la evaluación de los suelos en el Balneario de Pucusana y estimar el comportamiento dinámico de estos, se procedió a distribuir, sobre todo el Distrito, un total de 84 puntos de medida, los mismos que fueron reagrupados en tres áreas de acuerdo a las características geológicas, geomorfológicas y demográficas del área de estudio (Figura 69). La selección de los puntos de medida se realizó de la siguiente manera:

- I. Los puntos de toma de datos fueron seleccionados siguiendo el mapa catastral del Balneario de Pucusana y las áreas circundantes haciendo un total de 84 puntos (Figura 73). Del total de puntos, 69 se encuentran en el Área-1, 10 en la Área-2 y 5 puntos en el Área-3 (zona de expansión urbana). En el Área-1 se

asienta el mayor porcentaje de viviendas y por ende, se concentra la mayor densidad poblacional.

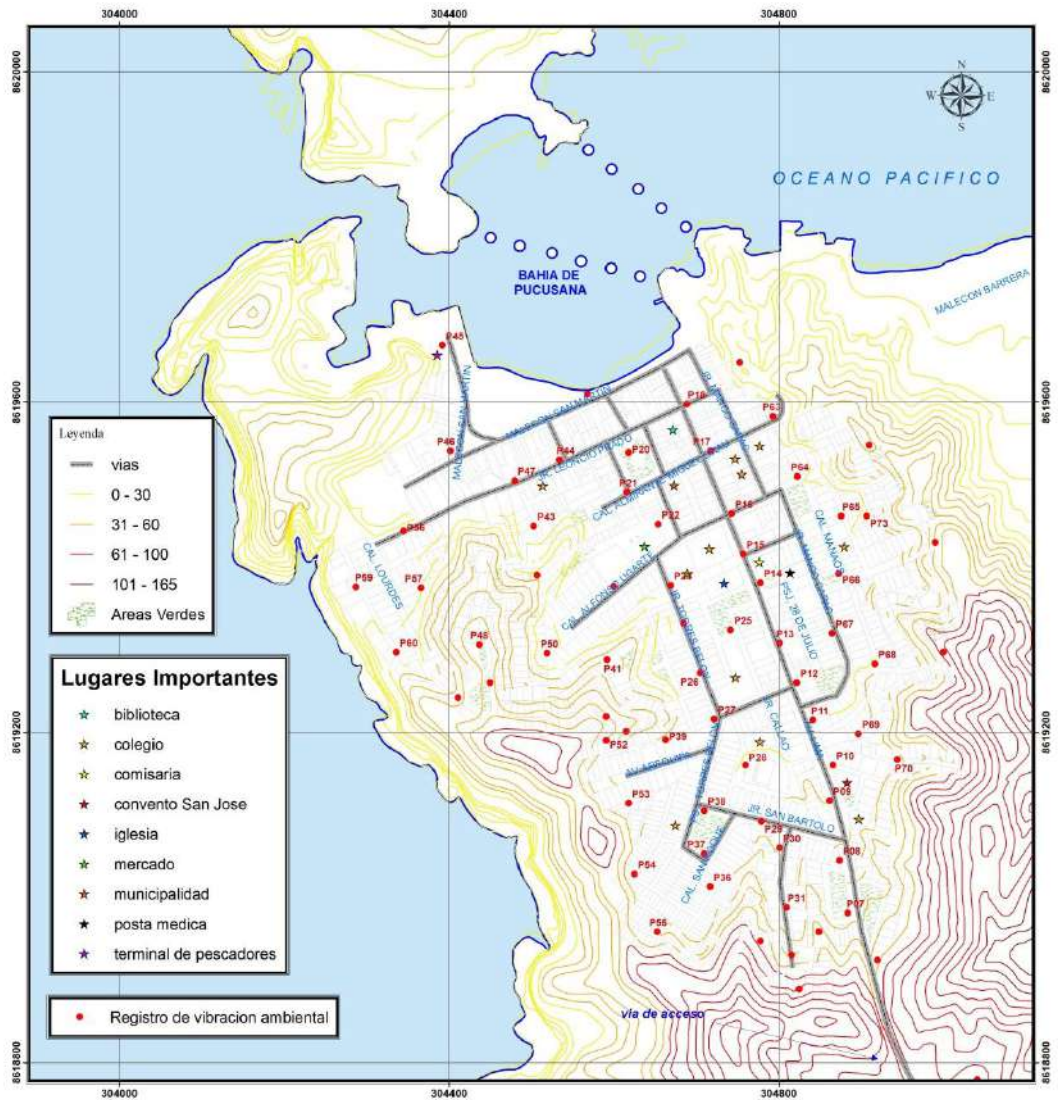


Figura 69. Distribución de puntos de registros de vibración ambiental para el Balneario de Pucusana. (Tavera, 2010)

- II. La toma de datos se realizó durante los días 24, 25 y 26 de junio del 2010, evitando en todo momento el paso de peatones y vehículos cerca al punto de registro, aunque en varias oportunidades fue necesario repetir el registro de datos. En cada punto se anotó la hora del registro, su ubicación y sus coordenadas geográficas (GPS).
- III. Siguiendo la metodología antes indicada, se procedió con el análisis de la señal y elaboración de las razones espectrales a fin de identificar las frecuencias predominantes considerando los criterios antes indicados.

b) Distribución de Periodos Dominantes

Para caracterizar el comportamiento dinámico del terreno en el Balneario de Pucusana se han tomado registros de vibración ambiental en 84 puntos siguiendo la distribución antes indicada, de este modo se abarcó toda el área actualmente poblada y/o en proyecto. Este ensayo geofísico permite determinar el periodo dominante de vibración natural del terreno y, en algunos casos, el factor de amplificación sísmica, parámetros que definen el comportamiento dinámico del terreno durante un evento sísmico.

En la Figura 70 se presentan ejemplos de las razones espectrales obtenidas para las diferentes áreas definidas en este estudio: P09, P15, P25, P27, P46 y P47 para el Área-1 y P76, P77, P78, P81, P82 y P84 para el Área 2.

- En las Figuras 70a-b se muestran las razones espectrales obtenidas para el Área-1. En el área céntrica del Distrito resaltan frecuencias predominantes en un rango de 6 a 8Hz, con amplificaciones de al menos 2 veces, y conforme se tiende hacia las colinas, ellas disminuyen al punto que no es posible identificar frecuencias predominantes.
- Las Figuras 70c-d muestran las razones espectrales para el Área-2, y en ellas se observa con claridad que en la zona céntrica y parte baja del distrito sobresalen frecuencias de hasta 3 Hz y hacia la periferia, se tiende a valores mayores pero con menor amplificación relativa.

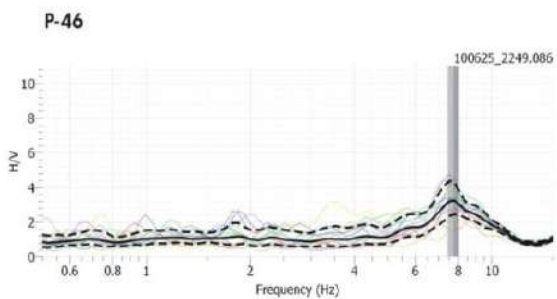
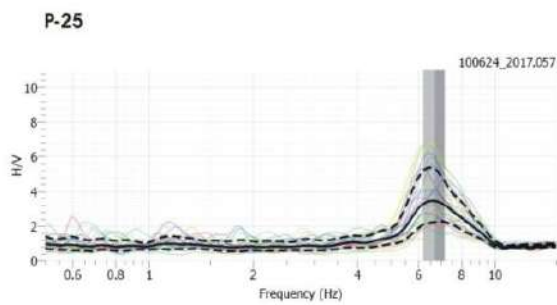
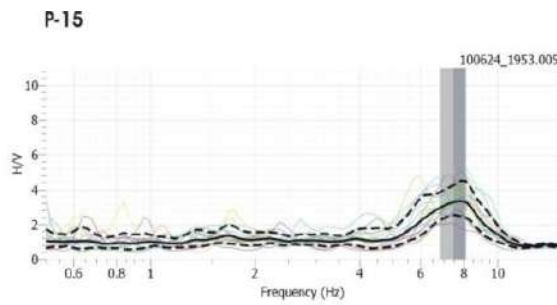


Figura 70a. Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en diferentes puntos del Balneario de Pucusana. Los puntos P15, P25, P46 se ubican en el Área-1 (zona céntrica del Distrito) y presentan frecuencias predominantes 6 a 8Hz. Las líneas delgadas continuas corresponden a las razones espectrales obtenidas para cada ventana de observación, la línea gruesa el promedio de estas curvas y las líneas discontinuas su desviación estándar.

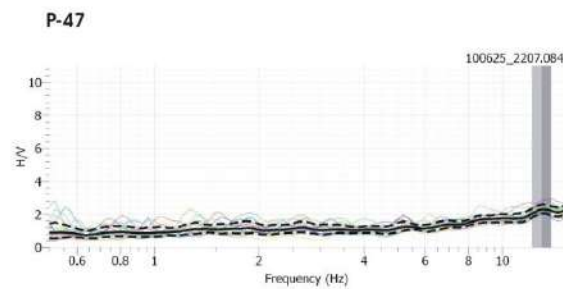
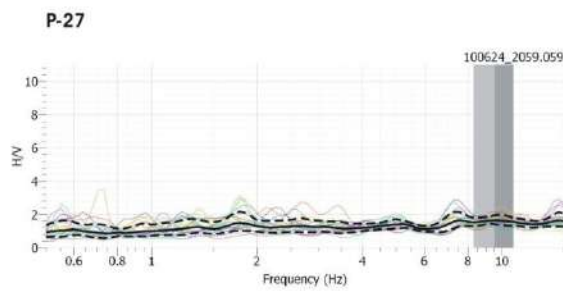
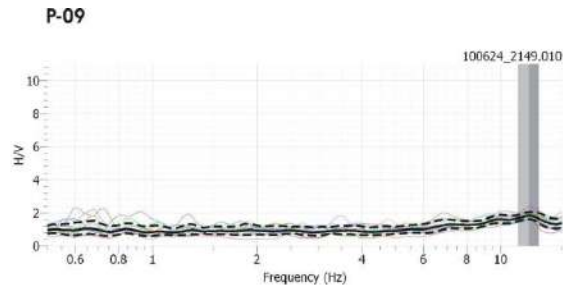


Figura 70b. Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas para diferentes puntos del Balneario de Pucusana. Los puntos P09, P27, P47 se ubican en el Área-1(periferia de la zona céntrica del Distrito) y se caracterizan por no presentar frecuencias predominantes. Otros, ver Figura 70a.

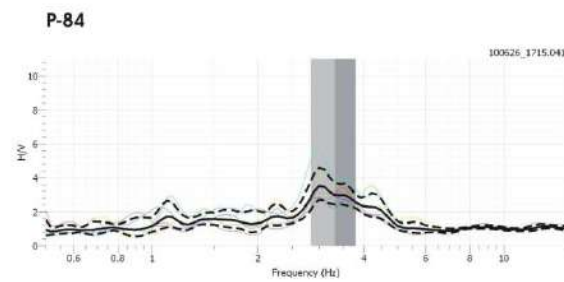
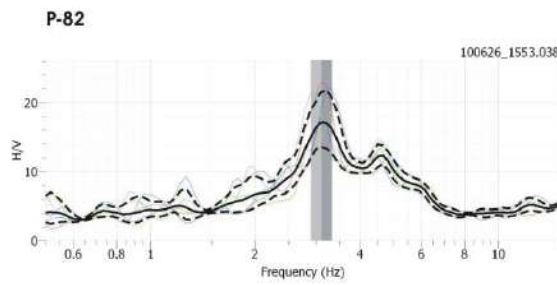
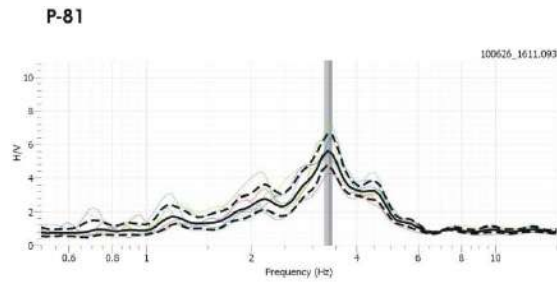


Figura 70c. Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en diferentes puntos del Balneario de Pucusana. Los puntos P51, P82, P84 se ubican en el extremo mas bajo del Área-2 (zona céntrica, Naplo) donde sobresalen frecuencias de 3Hz.

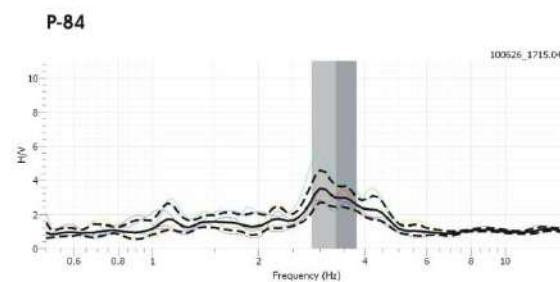
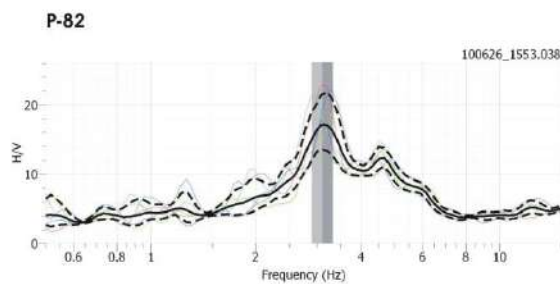
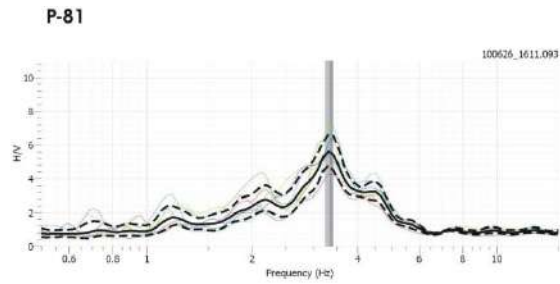


Figura 70d.- Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en diferentes puntos del Balneario de Pucusana. Los puntos P76, P77, P78 se ubican en el extremo más alto del Área-2 (periferia de la zona de Naplo) donde sobresalen frecuencias $>3\text{Hz}$ pero con menores amplitudes.

En la Figura 71 se muestra la distribución espacial de los periodos dominantes obtenidos a partir de las frecuencias predominantes en 84 puntos de observación. El análisis de esta información permite definir en el Balneario de Pucusana la presencia de tres zonas en las cuales el comportamiento sísmico es similar:

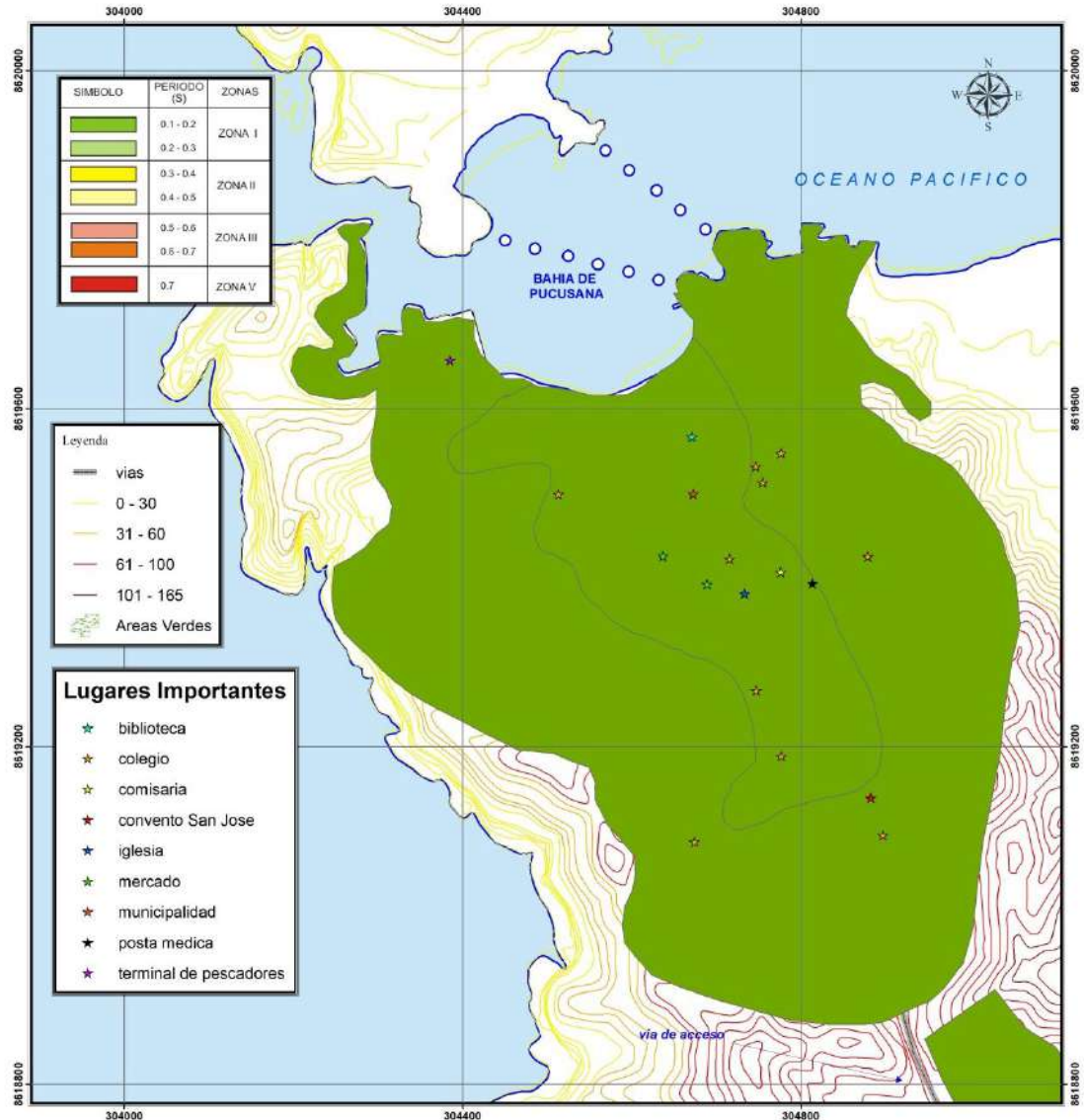


Figura 71. Distribución de periodos dominantes para el Balneario de Pucusana.

- La primera zona se encuentra en el extremo norte de este Distrito (Área-2) y se caracteriza por presentar los periodos dominantes más altos (0.3 s) y conforme tiende a los cerros que rodean al Área-2 disminuyen rápidamente hasta llegar a 0.1 s. La distribución de valores de igual periodo tiene concordancia con las características geomorfológicas del distrito.
- La segunda zona se encuentra en la parte céntrica y baja del distrito (Área-1). Esta zona se caracteriza por presentar periodos dominantes de 0.1 s que, conforme tiende a las colinas que bordean al distrito, disminuyen en su amplitud máxima relativa.
- La tercera zona considera aquellas áreas para las cuales no se logró identificar periodos dominantes, lo cual indica que

corresponde a suelos estables. En la Figura 71, se ha considerado áreas achuradas a fin de identificar su ubicación en las laderas de las colinas (completamente urbanizadas) y cuyos registros no permitieron identificar frecuencias predominantes.

c) ASPECTOS GEOTECNICOS

En el Balneario de Pucusana se elaboraron siete calicatas, distribuidos en toda el área de estudio (Figura 73). En la Figura 72 se muestra la ficha correspondiente a la calicata PU_1, en la cual identifica la fecha de realización, ubicación geográfica, características geológicas y geomorfológicas.

Nombre: PU_1	Distrito: Pucusana	Balneario centro oeste
Realizado por: E.G.T.	Fecha: Agosto 2010	



Ubicación:

Norte: 8619430
 Este : 304585
 Elevación: 09 m
 Referencia.: Calle Francisco Bolognesi (espalda del mercado)

Análisis granulométrico: suelo arenoso con gravas y pocos finos. Arena bien gradada, seca.
 Clasificación SUCS: SW
 Capacidad portante: 4.1

DESCRIPCIÓN:

0 – 0.9	Relleno compuesto de ladrillos y fragmentos de rocas, predomina tamaños de 5-10 cm., < 10% y con arenas finas a medias.
0.9 – 3	Deposito marino compuesto de arenas medias a finas, con moderado contenido de sales.

Observaciones: Esta calicata se encuentra en depósito marino, influenciado por acción eólica. en menor medida.

Figura 72. Ficha para la calicata PU_1.



Figura 73. Distribución espacial de las siete (7) calicatas elaboradas en el Balneario de Pucusana.

Después de haber realizado el análisis del total de calicatas, se han observado la presencia de hasta 4 tipos de suelos que se escriben a continuación:

El suelo tipo SP que corresponde a arenas pobremente gradadas con clastos subredondeados donde se asienta la parte central del Distrito y las edificaciones principales de Naplo.

El suelo tipo SW está localizado en la parte media a baja de la planicie sub-horizontal donde se asienta el Distrito, cuyo extremo occidental limita con los depósitos de playa. Está conformado por suelos arenosos medios a finos bien gradados.

Un tercer tipo de suelo es el GP que corresponde a gravas arenosas pobremente gradadas con materiales sub-angulosos de origen coluvial que se emplazan en los alrededores de las colinas rocosas.

Finalmente, el suelo tipo ML, corresponde a arenas finas que conforman la terraza marina en el borde litoral.

En base al análisis granulométrico y los ensayos de corte directo en las muestras de suelos (7 calicatas), ha sido posible calcular la capacidad portante de los suelos para los siete puntos analizados y cuyos resultados se presentan en el siguiente cuadro (Ver Anexo IV):

CODIGO DE LA MUESTRA	CAPACIDAD PORTANTE (Kg/cm ²)
PUC-1	4.33
PUC-2	4.70
PUC-3	13.77
PUC-4	15.54
PUC-5	7.54
PUC-6	4.55
PUC-7	5.58

De acuerdo a estos resultados, los suelos del Balneario de Pucusana presentan de buena a regular resistencia al corte y falla. Los suelos en la zona central del Balneario (muestras PUC-1 y PUC-2) presentan valores regulares de capacidad, aproximadamente 4 kg/cm², en cambio el sitio PUC-3, al igual que PUC-4, alejados de la zona de playa presentan las mejores capacidades, entre 13 a 15 kg/cm². El sitio PUC-5 ubicado al extremo SE del Balneario presenta regular capacidad portante y finalmente, los sitios PUC-6 y PUC-7 localizados en la zona de Naplo presentan condiciones de capacidad portante regular entre 4-5 kg/cm² debido al mayor contenido de arena existente en esta área.

6.2 Zonificación Sísmico-Geotécnica (CDS)

El mapa de zonificación sísmico-geotécnico (CDS) para el Balneario de Pucusana considera el análisis e interpretación de la información sísmica (vibración ambiental) y geotécnico (7 calicatas). Los resultados obtenidos permiten identificar para este Distrito las siguientes zonas (Figura 74):

ZONA I: Esta zona está conformada por afloramientos rocosos y estratos de grava coluvial, así como estratos de material fino con fragmentos de roca y/o rellenos compuestos de residuos sólidos de poco espesor formando parte de la terraza aluvio-marina cuyos periodos varían entre 0.1 y 0.3 s.

En la zona céntrica del Balneario de Pucusana se concentran periodos de vibración natural de 0.1 s, los mismos que decrecen hasta desaparecer conforme se tiende a los cerros y/o lomeríos. De acuerdo a los resultados geotécnicos, se clasifica a esta zona como de buena a regular resistencia al corte y falla.

ZONA II: Esta zona incluye las áreas conformadas por estratos superficiales de suelos granulares compuestos por arenas pobremente gradadas con clastos sub-angulosos. Los periodos dominantes del terreno determinados por las mediciones de vibración ambiental son de 0.3 s. De acuerdo a los resultados geotécnicos, se clasifica esta zona como de regular resistencia al corte y falla.

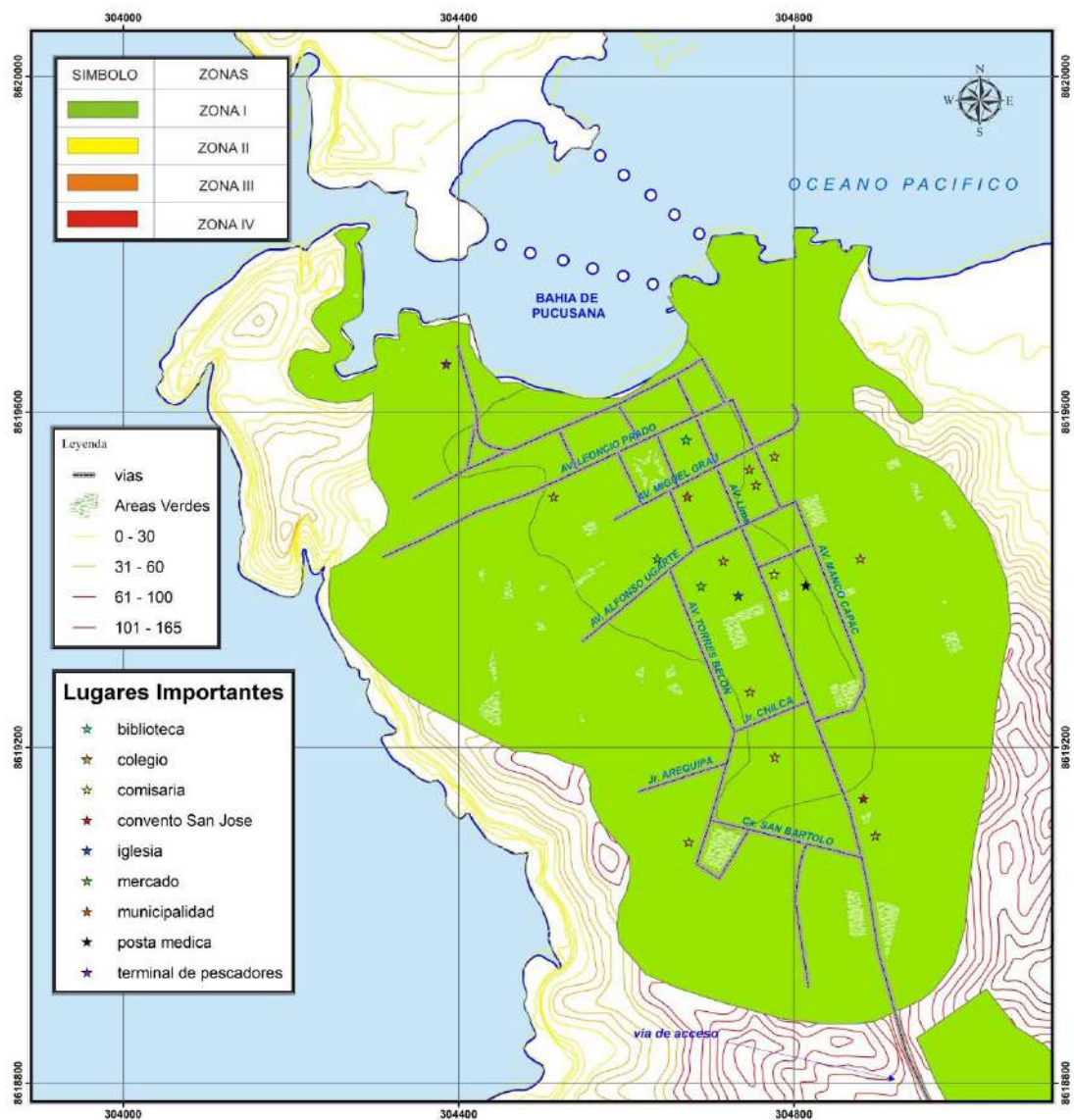


Figura 74. Mapa de Zonificación Sísmico-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el Balneario de Pucusana.

6.3 Tsunami

Los tsunamis son eventos naturales extremos, poco frecuentes, pero de rápida generación y que pueden tener su origen por diferentes mecanismos; siendo más frecuentes los originados por eventos sísmicos de gran magnitud. Estos son generados por movimientos verticales de la corteza oceánica produciendo una serie de olas en el mar con periodos que van de un minuto hasta una hora, propagándose a gran velocidad en todas las direcciones del océano, arribando rápidamente en las costas más cercanas a la zona de origen. Estas olas al llegar a las costas alcanzan alturas de grandes proporciones, descargando su energía con gran poder, generando numerosas pérdidas de vidas humanas y extensa destrucción en localidades cercanas a las costas.

Todos los países ubicados alrededor del Océano Pacífico, están expuestos a grandes sismos, en algunos casos con consecuencias tsunamigénicas, debido a que forman parte de una de las zonas más sísmicas conocida como el “Círculo del Fuego del Pacífico”. Dentro de este contexto, el Perú se encuentra en una zona altamente sísmica asociado al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la sudamericana, produciendo sismos de gran magnitud con relativa frecuencia y generando grandes tsunamis.

6.3.1 Antecedentes

En la historia del Perú han ocurrido una serie de sismos tsunamigénicos como los ocurridos en 1586, 1687, 1746, 1868, 1996, 2001 y 2007, que produjeron cuantiosos daños en todas las ciudades costeras del Perú.

En general, los daños pueden ser debido a diferentes escenarios dados por tsunamis y entre ellos resultan los siguientes:

a) Los daños producidos por el momento del flujo

Ocurren cuando la masa de agua del tsunami impacta sobre las poblaciones costeras y su entorno (construcciones, árboles, objetos, etc.) y durante el impacto, el tsunami muestra su fuerza destructiva arrastrando por la corriente diversos objetos; tal es así, que al regresar las aguas, los escombros arrastrados fortalecen la fuerza del empuje del flujo que irrumpe causando de este modo un efecto destructivo sobre las estructuras debilitadas por la primera embestida (Figura 75).

En algunos casos la magnitud del momento del flujo es tan alta, que es capaz de arrastrar tierra adentro a barcos de elevado tonelaje.



Figura 75. Imágenes de los destrozos provocados por el momento del flujo del tsunami ocurrido en Camaná el 23 de junio del 2011.

b) Los daños producidos por inundación

Los daños por inundación ocurren si el flujo no es de gran magnitud, haciendo que flote todo tipo de material que no esté fuertemente ligado su base en el terreno, tal como ocurre con las estructuras de madera que no tienen cimientos sólidos. En el caso de gran extensión de terreno plano, la masa de agua puede encontrar un pasaje hacia el

interior y por diferencias de pendiente, el flujo de agua es acelerado en ese pasaje originado el barrido de los elementos que se presenten a su paso como construcciones, estructuras, plantaciones, etc. (Figura 76). En estas inundaciones, normalmente personas y animales, barcos y otras embarcaciones menores son atracados en puertos y muelles; arrastrados a tierra y depositados posteriormente en áreas distantes a su localización inicial una vez que el flujo ha retrocedido.



Figura 76. Imágenes de los destrozos por inundación producidos por el tsunami ocurrido en Camaná el 23 de junio del 2011

c) Los daños por socavamiento

Son observados a menudo en las infraestructuras portuarias, cerca de la costa, la corriente del tsunami remueve el fango y arena del fondo del mar socavando a veces los cimientos de las estructuras de los muelles y puertos (Figura 77). El colapso de las estructuras puede producirse también cuando el refluo socava los cimientos.



Figura 77. Imágenes de los destrozos por socavamiento producidos por el tsunami ocurrido en Camaná el 23 de junio del 2011

6.3.2 Mapa de inundación por tsunami.

Se dispone de la carta de inundación por tsunami para el Balneario de Pucusana, propuesto por la Dirección de Hidrografía y Navegación del Perú. Este mapa fue elaborado en el año 2005 a una escala de 1:2500. Según, la información contenida en el Balneario de Pucusana se espera alturas de ola del orden de los 5 a los 7 m y un tiempo de llegada de las olas del tsunami de 10 a 20 minutos de ocurrido el sismo, siempre en cuando el sismo es de carácter local. El estudio no indica ubicación del epicentro ni otras características del sismo.

Los daños causados directamente por tsunami pueden resumirse de la forma siguiente:

- I. La ocurrencia de muertos y heridos.
- II. casas destruidas, inundadas, o arrastradas por las olas.
- III. barcos desplazados tierra adentro, dañados o destruidos.
- IV. instalaciones marinas destruidas.
- V. Daño a instalaciones públicas como ferrocarriles, caminos, plantas eléctricas, instalaciones de suministro de agua, y otros.

Los daños secundarios e indirectos causado por tsunami puede ser:

- I. daños por incendio de casas, barcos, estanques de petróleo, estaciones de gas y otras instalaciones.
- II. contaminación medioambiental causada por materiales flotantes, petróleo, u otras sustancias.
- III. Presencia de enfermedades epidémicas.

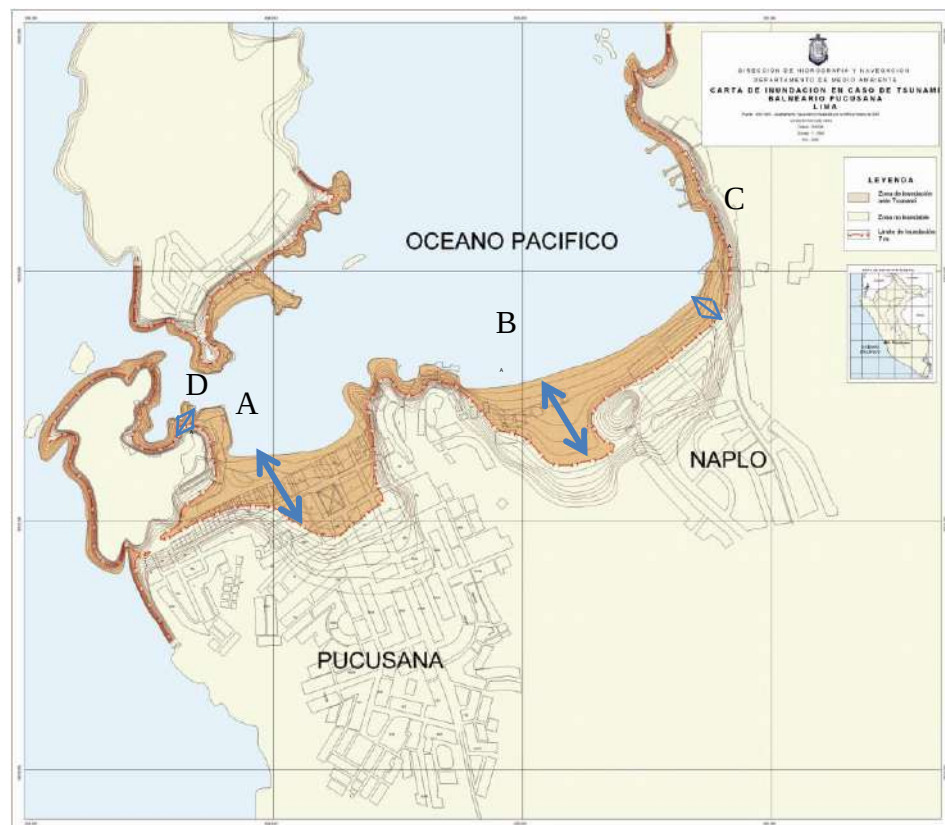


Figura 78. Mapa de inundación por tsunami para el Balneario de Pucusana.

De acuerdo a la Figura 78, el mayor nivel de inundación se producirá en la zona con letra “A”, con distancias del orden de los 150 metros, lo cual producirá daños en el Malecón San Martín y/o como terminal de pescadores y la municipalidad. El área de daño será de 0.8 km².

Por otro lado, la inundación también sería importante en la zona “B” con una distancia de 180 metros logrando dañar algunas casas de playa de la Urb. Naplo.

Menor daño se producirían en áreas donde la inundación solo alcanzaría distancias menores a 30 metros zona “C” pero aun así comprometiendo las viviendas que ocupan el Malecón San Martín.

La información correspondiente a los niveles de inundación por tsunami será adicionada al de la microzonificación sísmica – geotécnica a fin de elaborar el mapa de peligros naturales a los cuales esta propenso el Balneario de Pucusana.

Capítulo VII

ESCENARIO DE RIESGO DE SISMO Y TSUNAMI

Considerando que todas las ciudades que se ubican en el borde occidental de Perú han sido y serán afectadas por peligros naturales como los sismos y tsunamis. En este estudio se propone un escenario de riesgo de desastre para el Balneario de Pucusana, tomando como base el análisis de sus componentes, todos clasificados según su nivel de influencia en la composición del riesgo (Figura 79) y cuyos conceptos y características se desarrollan a continuación.

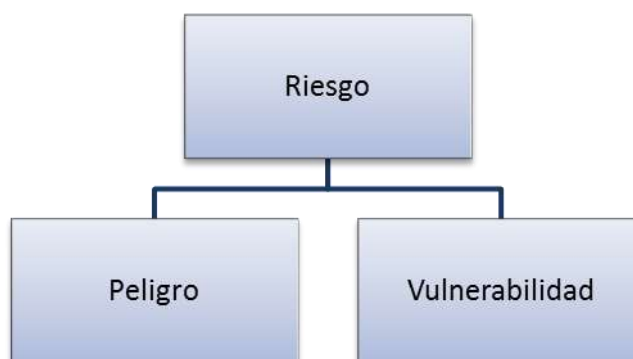


Figura 79. Esquema del riesgo sísmico.

7.1 Determinación de peligros naturales

Para la determinación de los peligros naturales se ha identificado la posible ocurrencia de dos importantes, los sismos y los tsunamis, y para lograr disponer de una base de datos que identifique cuales son esos peligros, es necesario verificar la información disponible. Para esto se consideró necesario definir la base de datos contenida en los mapas de microzonificación sísmica – geotécnica y el mapa de inundación por tsunami.

7.1.1 Mapa de Peligro en Función al Tipo de Suelo y Área de Inundación por Tsunami

Se determina el mapa de peligro en función al tipo de suelo y área de inundación por tsunami de la siguiente manera:

- I. Organización de la base de datos: se dispone de una base de datos debidamente organizada, en el software arcgis en archivos de formato denominado shapefile y su organización se muestra a continuación:

En la Tabla 9 se observa la información contenida en el mapa de peligro por tsunami esta información está organizada en un archivo de formato shapefile denominado “Peligro_tsunami”, donde se clasificó el área de estudio en dos; área inundada por tsunami y área no inundada por tsunami. Con su respectiva codificación, este servirá luego para identificar cada una de sus características en la matriz de peligro.

Tabla 9; Codificación del mapa de inundación por tsunami.

CODE_AREA	TSUNAMI
1	área cubierta por tsunami
2	área no cubierta por tsunami

En la Tabla 10 se observa la información contenida en el mapa de peligro Sísmico, esta información está organizada en un archivo de formato shapefile denominado “Peligro_sismico”, donde se clasificó el área de estudio en 4 zonas diferentes de tipos de suelo; zona I, zona II, zona III y zona IV. Con su respectiva codificación, este servirá luego para identificar cada una de estas características en la matriz de peligro.

Tabla 10; Codificación del mapa de microzonificación sísmica – geotécnica

CODE_ZONA	ZONAS
1	I
2	II
3	III
4	IV

- II. Introducción al SIG: se realiza la unión de los archivos de formato shapefile “Peligro_tsunami” y “Peligro_sismico”, mediante la herramienta denominada “**unión**” en el software arcgis 9.3, cuyo resultado es otro archivo denominado “peligro”. este nuevo archivo contiene una base de datos que posteriormente servirá para realizar una clasificación mediante una matriz de peligros.

- III. Aplicación de la matriz de peligros propuesta por INDECI: Se elabora un cuadro de matriz (Tabla 11), compuesta en las columnas por la información contenida en los mapas temáticos (microzonificación sísmica - geotécnica y área de inundación por tsunami) y en las filas se encuentran los pesos que determinan el nivel de peligro de cada una de las variables.

Tabla 11; Matriz de Peligro en Función al Tipo de Suelo y Área de Inundación por Tsunami

	Bajo			Medio			Alto			Muy alto
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MICROZONIFICACION SISMO -TECTONICA		1			2			3		4
AREA DE INUNDACION POR TSUNAMI	2									1

Luego de haber dado pesos a cada una de las características de las variables, se propone el cálculo del peligro con la siguiente relación:

$$\frac{\text{Peligro por tsunami} + \text{Peligro sísmico}}{2}$$

Luego se realiza la clasificación del mapa de peligro de la siguiente manera:

puntaje	Tipo de peligro
1 – 3	BAJO
4 - 7	MEDIO
7 – 9	ALTO
10	MUY ALTO

El mapa de peligros naturales que afectarían a Pucusana, se ha construido utilizando la información de microzonificación sísmica – geotécnica y de inundación por tsunami, el mismo que se observa en la Figura 80. Estos muestran valores altos en el área próxima a la orilla del mar, básicamente en el “Malecón San Martín” y en este caso, aunque el tipo de suelo es estable y con buena capacidad de carga, el riesgo se incrementa debido al nivel de inundación establecido a la

ocurrencia de tsunامي, que produciría daños en un área de 82.05 m², inundando aproximadamente 145 viviendas, y entre las más importantes tenemos: el terminal de pescadores, la municipalidad, la biblioteca municipal, negocios de comida y hospedaje. En otros casos el daño es menor. Por otro lado, otros centros principales del Balneario como colegios, la iglesia, la comisaria y la posta de salud se encuentran en suelos compactos y lejos del área de inundación por tsunami; por lo tanto, no representa peligro alguno, en este caso no se considera el tipo de estructura.

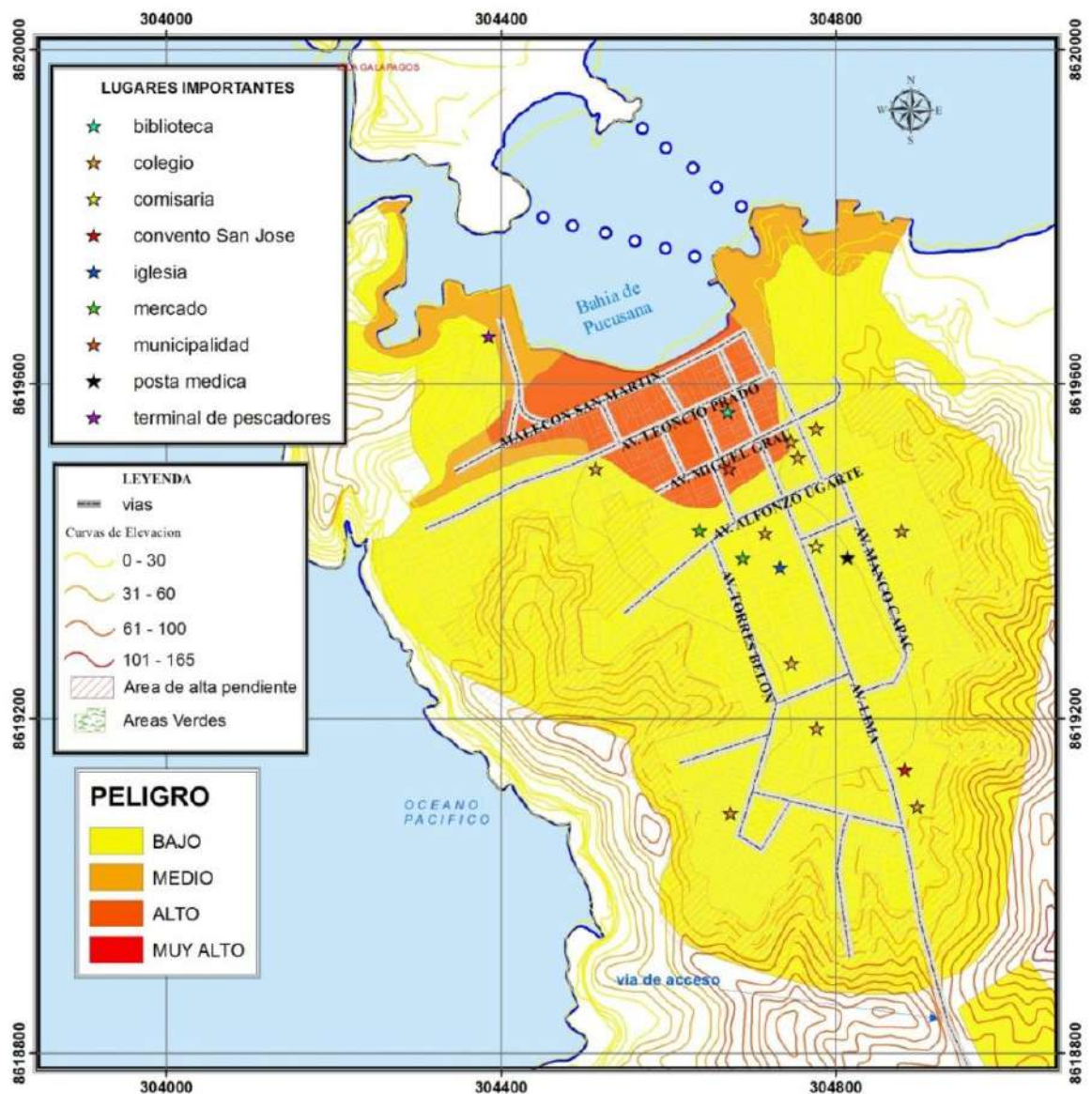


Figura 80. Mapa de peligros naturales para el Balneario de Pucusana.

7.2 Determinación de la vulnerabilidad

Para determinar la vulnerabilidad es necesario considerar tres factores, la fragilidad, la exposición y la resiliencia. Esta clasificación se describe en la Figura 81 y corresponde a la propuesta de Cardona (2003), y que viene siendo usada en muchos estudios a nivel nacional e internacional, debido a que permite al gestor del riesgo, esta metodología permite dividir los problemas de riesgo por sismo en tres grandes bloques, y que en un futuro, un grupo multidisciplinario podrá resolver en una gestión preventiva

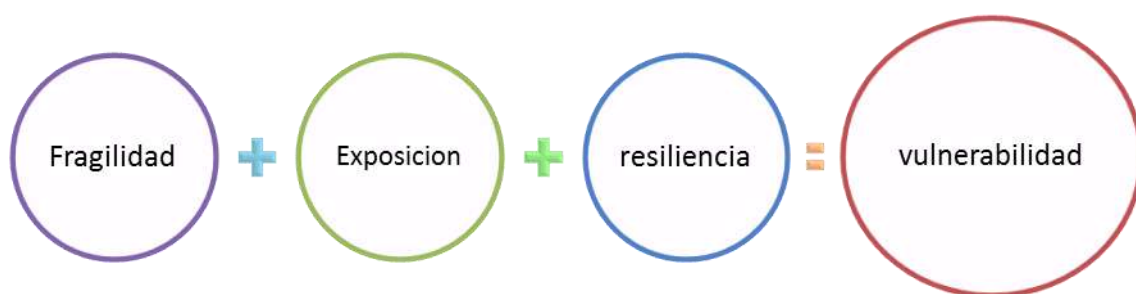


Figura 81. Esquema de la Determinación de la vulnerabilidad sísmica.

Para estimar el nivel de vulnerabilidad del Balneario de Pucusana, ha sido necesario determinar niveles de fragilidad, exposición y resiliencia de sus viviendas y habitantes, y para ello se ha utilizado un método de evaluación de vulnerabilidad empírico como es la metodología propuesta por Saaty (1980) denominada AHP.

La metodología AHP permite realizar un análisis multicriterio considerando la descomposición de estructuras complejas en sus componentes, ordenando estos componentes o variables en una estructura jerárquica, donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia y, finalmente los sintetiza para determinar qué variables tienen la más alta prioridad. Esta fundada sobre una base teórica simple pero sólida ya que propone una manera de ordenar el pensamiento analítico y de la cual destacan tres principios; construcción de las jerarquías, establecimiento de prioridades y principio de consistencia lógica.

- **Construcción de las jerarquías:** son aquellas que conducen un sistema hacia un objetivo deseado como la solución de conflictos, desempeño eficiente o *la determinación de un escenario*. El esquema jerárquico está compuesto por:

- ✓ Objetivo o foco: Es lo que se espera resolver, el objetivo principal.
- ✓ Criterios: son los elementos que definen el objetivo principal.
- ✓ Subcriterios: son los elementos cuantificables que definen el criterio debajo del cual se encuentran.
- ✓ Alternativas: son diferentes soluciones o cursos de acción.

➤ **Establecimiento de prioridades:** El cálculo de la prioridad se realiza en función de comparaciones a pares con respecto a un criterio dado. Para comparar los elementos se forma una matriz y se pregunta: ¿Cuánto supera este elemento (o actividad) al elemento con el cual se está comparando- en la medida en que posee la propiedad, contribuye a ella, la domina, influye sobre ella, la satisface, o la beneficia?. (ver la escala de Saaty, tabla 12)

El segundo principio que se destaca de este método es el establecimiento de prioridades entre los elementos de la jerarquía. Se propone una escala de prioridades como forma de independizarse de las diferentes escalas que existen entre sus componentes. La síntesis del conjunto de juicios arroja la escala de intensidades de preferencias (prioridad) entre el total de elementos comparados. De esta forma es posible integrar el pensamiento lógico con los sentimientos, la intuición (que es reflejo de la experiencia), etc. Los juicios que son ingresados en las comparaciones a pares responden a estos factores.

Tipos de comparaciones apareadas:

- I. Importancia: Apropiado cuando se comparan criterios entre sí.
- II. Preferencia: Apropiado cuando se comparan alternativas.
- III. Más probable: Usado cuando se compara la probabilidad de los resultados, ya sea con criterios o alternativas

Las comparaciones permiten crear una matriz para cada criterio o subcriterio de la jerarquía y que permita determinar la prioridad P_{ij} , de los elementos de su nivel inmediatamente inferior; es decir, comparar por pares los elementos del nivel inferior, usando una escala de proporciones. (Tabla 12, Escala de Saaty).

Tabla 12; Escala de Saaty

Intensidad	Definición	Explicación
1	De igual Importancia	Actividades contribuyen de igual forma al objetivo
3	Moderada Importancia	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra
7	Muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la práctica
9	Extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra, es absoluta y totalmente clara
2,4,6,8	Valores intermedios	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes
Recíprocos	$a_{ij}=1/a_{ji}$	Hipótesis del método

Ejemplo: debido a la importancia relativa de los criterios para solucionar un problema se ha propuesto un determinado objetivo (foco), para este se definieron los siguientes criterios: ambiental (representa el impacto en el medio ambiente), social (representa cómo se verán afectadas las costumbres del grupo social afectado) y económico (cuál es el beneficio económico para la zona donde se ejecutará el proyecto). Luego, se estableció la importancia relativa para cada criterio.

En el cuadro de la Tabla 13 se puede observar que el criterio económico es cuatro veces más importante que el ambiental (obsérvese la segunda columna y cuarta fila), de igual modo se podría decir que el criterio Ambiental posee 1/4 de la importancia del criterio Económico (cuarta columna y segunda fila).

Tabla 13, Matriz de comparación

	Ambiental	social	Económico
Ambiental	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
social	2	1	$\frac{1}{2}$
Económico	4	2	1

De acuerdo a lo establecido anteriormente, sobre el proceso analítico jerárquico, una vez que se ha construido el modelo jerárquico, se incorporan los diferentes criterios y alternativas relevantes para el proceso de decisión en cuestión y se han ingresado los juicios correspondientes a las comparaciones a pares entre los diferentes elementos del modelo. El problema se reduce al cálculo de valores y vectores propios a fin de representar las prioridades y el índice de consistencia del proceso respectivamente. Una vez completada la matriz, el problema se transforma en vectores y valores propios.

$$A \cdot w = I \cdot w$$

Dónde:

A = Matriz recíproca de comparaciones a pares (Juicios de importancia/ preferencia de un criterio sobre otro)

w = Vector propio que representa el ranking u orden de prioridad.

I = Máximo valor propio que representa una medida de la consistencia de los juicios.

Ejemplo: Cálculo de prioridades con el método de aproximación

- I. De acuerdo al ejemplo anterior, en primer lugar se debe simplificar la matriz de comparaciones, transformando las fracciones en números decimales con el fin de simplificar el desarrollo.

$$\begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} \\ 2 & 1 & \frac{1}{2} \\ 4 & 2 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0.5 & 0.25 \\ 2 & 1 & 0.5 \\ 4 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

- II. Luego, se multiplica por 3 la matriz simplificada (la que contiene números decimales) y se suman los elementos para cada fila.

$$\begin{pmatrix} 3 & 1.5 & 0.75 \\ 6 & 3 & 1.5 \\ 12 & 6 & 3 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{array}{r} 5.25 \\ 10.5 \\ \underline{21} \end{array}$$

- III. Los valores obtenidos para cada fila se suman ($5.25+10.5+21=36.75$). Posteriormente, cada uno de estos valores es dividido por la suma resultante. Para así obtener el vector propio, que representa el vector de prioridades para cada criterio.

$$\begin{array}{l} 5.25 / 36.75 \ 0.142857 \\ 10.5 / 36.75 \ 0.285714 \\ 21 / 36.75 \ 0.571429 \end{array} \begin{array}{c} \text{Amb} \\ \text{Social} \\ \text{Econ} \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c} 0.142857 \\ 0.285714 \\ 0.571429 \end{array}$$

Este procedimiento se repite (obtener la matriz cuadrada, sumar los elementos de cada fila, dividir esos resultados por la suma de los mismos y obtener los vectores propios) hasta que la diferencia entre los vectores propios de dos procesos consecutivos sea muy pequeña o cero. En este caso, si se repite el proceso, se obtendrá el mismo vector propio.

De esta forma se ha establecido el orden de las prioridades o ponderación de las variables En primer lugar se encuentra el criterio económico, le sigue el social y finalmente el ambiental.

- **Principio de consistencia lógica:** Los seres humanos tienen la capacidad de establecer relaciones entre los objetos o las ideas, de manera que sean consistentes; es decir, para que sus relaciones funcionen bien entre sí y muestren congruencia. En este sentido la consistencia debe implicar dos cosas:

- I. **Transitividad:** se debe respetar las relaciones de orden entre los elementos; es decir, si A es mayor que C y C es mayor que B, entonces la lógica dice que A es mayor que B.
- II. **Proporcionalidad:** las proporciones entre los órdenes de magnitud de estas preferencias también deben cumplirse con un rango de error permitido. Por ejemplo si A es 3 veces mayor que C y C es dos mayor que B, entonces A debe ser 6 veces mayor que B, este sería un juicio 100% consistente (se cumple la relación de transitividad y de proporcionalidad). La escala A qué se hace referencia existe en el inconsciente, no está explícita y sus valores no son números exactos, lo que existe en el cerebro es un ordenamiento jerárquico para los elementos.

Dada la ausencia de valores exactos para esta escala, la mente humana no está preparada para emitir juicios 100% consistentes (que cumplan las relaciones de transitividad y proporcionalidad). Se espera que se viole la proporcionalidad de manera tal que no signifique violaciones a la transitividad.

La consistencia tiene relación con el grado de dispersión de los juicios del actor. Los juicios consistentes imponen 2 propiedades en forma simultánea:

- Transitividad de las preferencias: Si C1 es mejor que C2 y C2 es mejor que C3 entonces se espera que C1 sea mejor que C3.
- Proporcionalidad de las preferencias: Si C1 es 3 veces mejor que C2 y C2 es 2 veces mejor que C3 entonces se espera que C1 sea 6 veces mejor que C3.

Por supuesto, es necesario, cierto grado de consistencia en la fijación de prioridades para los elementos o actividades con respecto de algún criterio para obtener resultados válidos en el mundo real. El AHP mide la inconsistencia global de los juicios mediante la Proporción de Consistencia, que es el resultado de la relación entre el Índice de Consistencia y el Índice Aleatorio. El Índice de Consistencia es una medida de la desviación de consistencia de la matriz de comparaciones a pares y el Índice Aleatorio es el índice de consistencia de una matriz recíproca aleatoria, con recíprocos forzados, del mismo rango de escala de 1 hasta 9. El valor de esta proporción de consistencia no debe superar el 10%, para que sea evidencia de un juicio informado. Esto dependerá del tamaño de la matriz de comparación a pares., Ejemplo: Cálculo de la Relación de Consistencia (RC)

Se sigue con el mismo ejemplo que se ha ido resolviendo. En un principio se había definido el problema como:

$$A * w = I * w$$

Sin embargo, resolver la ecuación anterior es bastante complejo. Saaty definió una nueva relación que ofrece cálculos más sencillos.

$$I \text{ Max} = V * B$$

Dónde:

I Max: es el máximo valor propio de la matriz de comparaciones a pares.

V: es el vector de prioridades o vectores propios, que ya obtuvimos, de la matriz de comparaciones.

B: es una matriz fila, correspondiente a la suma de los elementos de cada columna de la matriz de comparaciones a pares. Es una matriz de $m \times 1$, donde m es el número de columnas de la matriz de comparaciones.

$$B = \begin{bmatrix} 7 & 3.5 & 1.75 \end{bmatrix}$$

Reemplazando por los valores en la relación definida y resolviendo, nos queda:

$$I \text{ Max} = \begin{bmatrix} 7 & 3.5 & 1.75 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.142857 \\ 0.285714 \\ 0.571429 \end{bmatrix}$$

$$I \text{ Max} = 3$$

En este caso, el máximo valor propio es igual al rango de la matriz de comparaciones. En caso donde pueda existir inconsistencia en los juicios, el valor propio tiende a ser mayor. Con este resultado se puede calcular el Índice de Consistencia.

$$CI = \frac{I \text{ Max} - n}{n - 1} = \frac{3 - 3}{2} = 0$$

Finalmente, para obtener la Relación de Consistencia, se necesita antes el Índice Aleatorio, y para ello, existe una tabla elaborada por Saaty que muestra los Índices de Consistencia para una serie de matrices aleatorias con recíprocos forzados

Tabla 14

Tamaño de la matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice aleatorio	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Entonces se define y resuelve la Relación de Consistencia como:

$$RC = CI / RI = 0 / 0.56 = 0$$

Es evidencia de un juicio informado una Relación de Consistencia menor a 0.1; por lo tanto, no es necesario reevaluar los juicios expresados en la matriz de comparaciones. En caso contrario, si la Relación de Consistencia fuera mayor, se harían necesario reevaluar los juicios. Esto significaría que se vuelva a consultar a los expertos.

7.2.1 Determinación de la vulnerabilidad según el nivel de fragilidad de sus construcciones

La vulnerabilidad por fragilidad de las viviendas del Balneario de Pucusana han sido clasificadas según su nivel de aportación al riesgo y sus principales variables son:

- tipo de material de construcciones.
- número de pisos construidos.
- antigüedad.
- estado de conservación.
- nivel de deterioro producido por la humedad.
- estado de daño en sismos anteriores.
- tipo de techo.
- sistema constructivo.
- Presencia de alero o volado en su estructura.

La información para estas variables fue tomada en campo, obteniéndose importante información y que ya fue descrita en el capítulo anterior. A continuación se presenta un modelo de cálculo de la vulnerabilidad a fin de obtener un escenario de daños considerando un sismo de gran magnitud.

a) Vulnerabilidad según su el tipo de material de construcción

1. Clasificación de la vulnerabilidad: Esta clasificación se basa en el estudio propuesto por Sauter, (2000) y considera las relaciones promedio de daños para diferentes materiales de construcción según la intensidad sísmica a la que es expuesta en la escala de Mercalli. (Figura 82). Con esta clasificación se busca hacer la diferencia entre los diferentes tipos de materiales usados en la construcción y determinar su influencia en el escenario de sismo. los principales grupos de materiales son;

1. Adobe.
2. Albañilería no reforzada.
3. Estructuras de concreto reforzado (CR) sin diseño sísmico (con defectos de estructuración).
4. Albañilería reforzada de calidad media, sin diseño sísmico.
5. Estructuras de (CR) con diseño sísmico (normas anteriores a los años 80).
6. Edificios con paredes de corte de (CR) diseño sísmico (normas posteriores a los años 80).
7. Viviendas de estructuras de madera.
8. Albañilería reforzada con alta calidad de diseño sísmico. También edificios de (CR) con normas de los años 90, simetría en planta y elevación y deflexión lateral controlada.

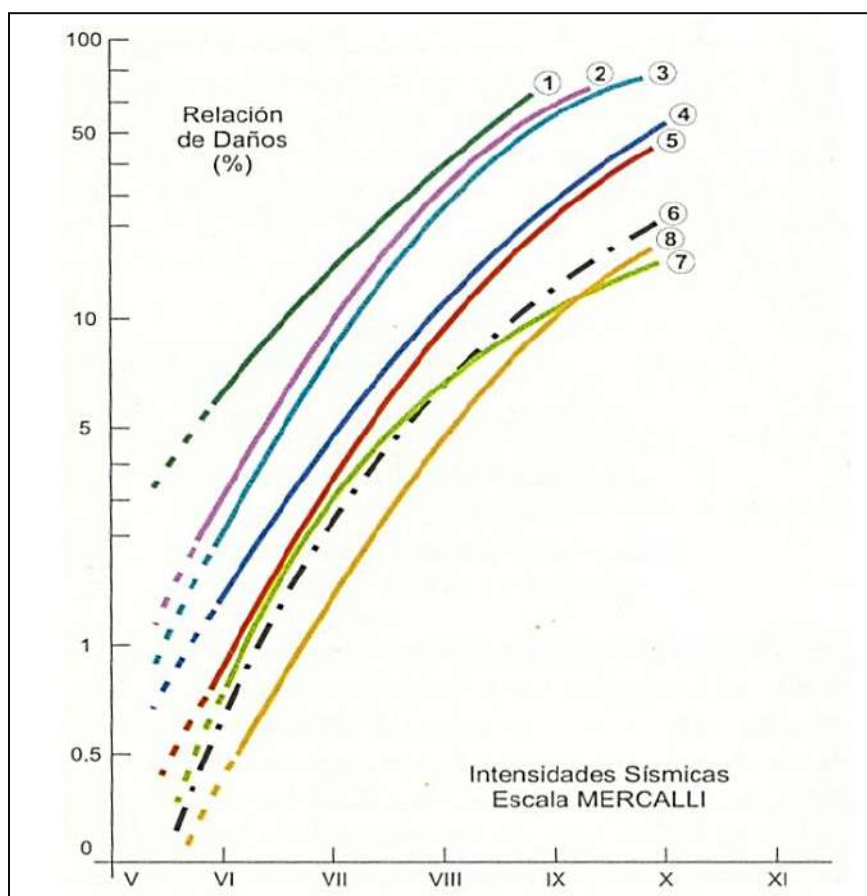


Figura 82. Relación promedio de daño en los tipos de materiales de construcción.

- II. *Análisis multicriterio:* Se procede a realizar la comparación entre los diferentes tipos de materiales de construcción, y se establece entre pares una comparación donde se determinara cuál de las 2 variables influye más en la vulnerabilidad, y luego se evalúa por cuanto es más importante es esta variable sobre la otra (ver Tabla 12, escala de Saaty).
- III. *Matriz de vulnerabilidad:* A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad, que es producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo, en la fila 1 y columna 5 (ver círculo rojo), se observa que las construcciones de adobe tienen influencia sobre las construcciones de ladrillo calificada como muy fuerte.

Para el cálculo de pesos por vulnerabilidad se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1, poniendo estos valores en la Matriz 2, luego se realiza

la suma de los valores de las filas de Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que este caso es 4, de esta manera se obtiene los pesos de las variables que componen la vulnerabilidad por tipo de material de construcción en el Balneario de Pucusana, tal como se muestra a continuación:

Matriz 1

↪	adobe	madera	estera	ladrillo
adobe	1.00	8.00	9.00	7.00
madera	0.13	1.00	2.00	0.14
estera	0.11	0.50	1.00	0.13
ladrillo	0.14	5.00	8.00	1.00
Σ valores	1.38	14.50	20.00	8.27

Matriz 2

↪	adobe	madera	estera	ladrillo	
adobe	0.73	0.55	0.45	0.85	2.57/4= 0.64
madera	0.09	0.07	0.10	0.02	0.28/4= 0.07
estera	0.08	0.03	0.05	0.02	0.18/4= 0.05
ladrillo	0.10	0.34	0.40	0.12	0.97/4= 0.24
Σ valores					

IV. *Resultado:* en la Figura 83 se presenta los valores de vulnerabilidad obtenidos para las viviendas del Balneario de Pucusana. De acuerdo, a esto el mayor peso corresponde a las construcciones hechas de adobe con un 64% y el menor a las construcciones hechas de estera con un 5%. Esto significa que en el Balneario de Pucusana, las construcciones de adobe representan un gran problema para las personas que la habitan, en menor medida las construcciones de ladrillo y por ultimo las construcciones de madera y/o estera, no representan mayores problemas.

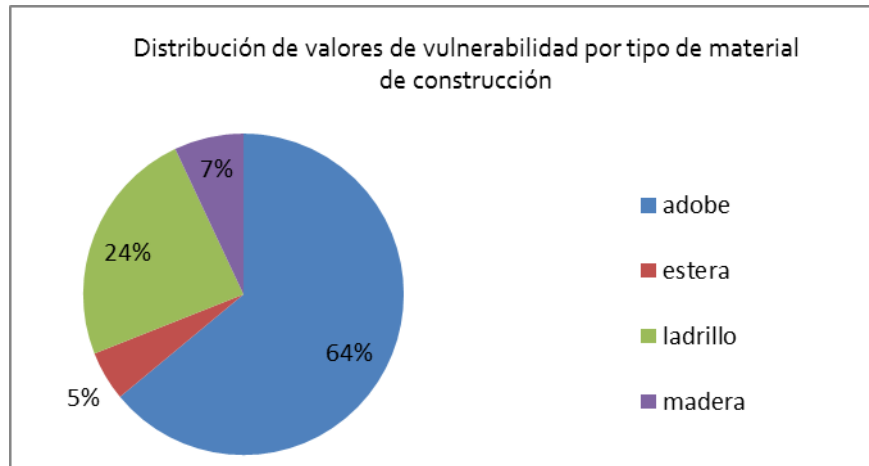


Figura 83. Distribución de valores de vulnerabilidad en función al tipo de material de sus construcciones.

b) vulnerabilidad según el número de pisos

- I. *Clasificación de vulnerabilidad: la clasificación utilizada se basa en el estudio “Preliminary loss estimates for possible future earthquakes near Lima, Perú” propuesto Wyss (2009) donde se establece niveles de vulnerabilidad para las construcciones según su número de pisos, descritos en la Tabla 13.*

Tabla 13; Clasificación de la vulnerabilidad según su número de pisos

Niveles de vulnerabilidad	Construcciones de acero y RC	Mampostería y madera
baja	1 - 3 pisos	1 - 2 pisos
media	4 - 7 pisos	3 - 4 pisos
alta	≥ 8 pisos	≥ 5 pisos

- II. *Análisis multicriterio: Se procede a realizar la comparación entre los diferentes números de piso de las construcciones, y se establece entre pares una comparación donde se determinara cuál de las 2 variables influye más en la vulnerabilidad y luego se determina por cuanto es más importante esta variable sobre la otra (ver escala de Saaty, Tabla 12).*
- III. *Matriz de vulnerabilidad: A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad, producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo, en el siguiente cuadro la fila 3 y columna 2 (ver círculo rojo), las construcciones*

de 3 a 5 pisos tienen mayor influencia sobre las construcciones de 1 a 2 pisos calificada como fuertemente más importante.

Para el cálculo de pesos por vulnerabilidad se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1, poniendo estos valores en la Matriz 2, luego se realiza la suma de los valores de las filas de Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que este caso es 3, de esta manera se obtiene los pesos de las variables que componen la vulnerabilidad por número de piso para el Balneario de Pucusana, tal como se muestra a continuación.

Matriz 1

	1 - 2 pisos	3 - 5 pisos	6 pisos a mas
1 - 2 pisos	1.00	0.20	0.14
3 - 5 pisos	5.00	1.00	0.50
6 pisos a mas	7.00	2.00	1.00

Matriz 2

	1 - 2 pisos	3 - 5 pisos	6 pisos a mas
1 - 2 pisos	0.08	0.12	0.05
3 - 5 pisos	0.38	0.59	0.64
6 pisos a mas	0.54	0.29	0.32

- I. Resultado: luego del análisis AHP, en la Figura 84 se presenta los valores de vulnerabilidad para las viviendas del Balneario de Pucusana. De acuerdo, a esto el mayor peso corresponde a las construcciones de 6 pisos a más con un 59% y el menor valor

corresponde a las viviendas que tienen de 1 a 2 pisos con un 8%. Esto significa que en el Balneario de Pucusana, las construcciones de 6 a más pisos representan un gran problema para las personas que la habitan, en menor medida las construcciones de 3 a 5 pisos y por ultimo las construcciones de 1 o 2 pisos, no representan mayores problemas.

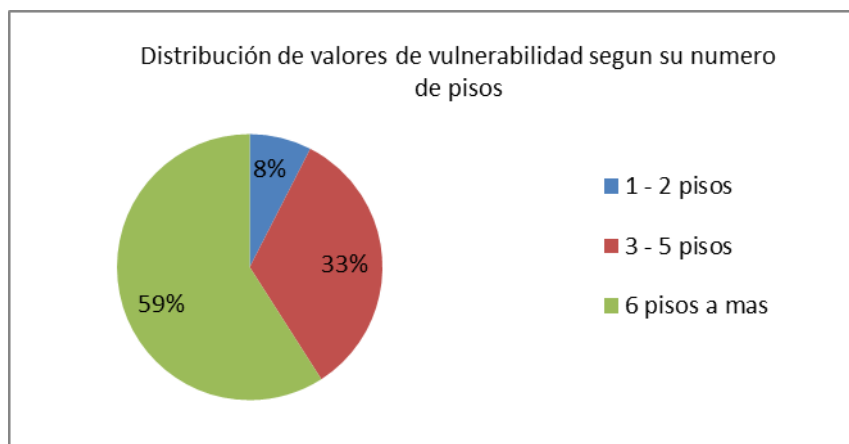


Figura 84. Distribución de valores de vulnerabilidad en función al número de pisos de sus construcciones.

c) Vulnerabilidad estructural según su antigüedad.

I. Clasificación de vulnerabilidad: para clasificar el nivel de vulnerabilidad de las construcciones de Pucusana según su antigüedad, se ha considerado tres periodos de tiempo:

- ✓ 0 a 15 años: Estas construcciones no tienen mucho tiempo de haber sido construidas, por lo tanto no son muy vulnerables, aunque se debe mencionar que ellas sufrieron los efectos de sismos de gran magnitud como los ocurridos en Nazca (1996), Arequipa (2001) y Pisco (2007), pudiendo quedar afectadas.
- ✓ 16 a 37 años: Estas construcciones tienen un tiempo regular de haber sido construidos, debido a esto son medianamente vulnerables. Además estas construcciones soportaron sismos de gran magnitud como Lima (1993), Nazca (1996), Arequipa (2001) y Pisco (2007), pudiendo quedar afectadas.

- ✓ 37 a más: Estas construcciones tienen un tiempo importante de haber sido construidas, y debido a esto, son altamente vulnerables, debido a que estas construcciones soportaron hasta 7 sismos de gran magnitud (1940, 1966, 1974, 1993, 1996, 2001, 2007, 2011). Además fueron construidas sin ningún tipo de normas o reglamento de construcción, debido a que el reglamento nacional de construcciones data del año 1974.

II. *Análisis multicriterio: Se procede a realizar la comparación entre los diferentes tiempos de periodo de antigüedad, y se establece entre pares una comparación donde se determinara cuál de las 2 variables influye más en la vulnerabilidad y luego se determina por cuanto es más importante es esta variable sobre la otra (ver escala de Saaty, Tabla 12).*

III. *Matriz de vulnerabilidad: A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad como producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo, en el siguiente cuadro la fila 4 y columna 2 (ver círculo rojo), por ejemplo las construcciones de 38 a más años tienen una influencia sobre las construcciones de 0 a 15 años calificada entre muy fuertemente y extremadamente más importante.*

Para el cálculo de pesos por vulnerabilidad se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1, poniendo estos valores en la Matriz 2, luego se realiza la suma de los valores de las filas de Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que este caso es 3, de esta manera se obtiene los pesos de las variables que componen la vulnerabilidad por número de piso, para el Balneario de Pucusana, tal como se muestra a continuación:

Matriz 1

	0 - 15 años	16 - 37 años	38 años a mas
0 - 15 años	1.00	3.00	0.13
16 - 37 años	0.33	1.00	4.00
38 años a mas	8.00	0.25	1.00

Matriz 2

	0 - 15 años	16 - 37 años	38 años a mas
0 - 15 años	0.11	0.71	0.02
16 - 37 años	0.04	0.24	0.78
38 años a mas	0.86	0.06	0.20

- IV. *Resultado: luego del análisis AHP, en la Figura 85 se presenta los valores de vulnerabilidad para las viviendas del Balneario de Pucusana. De acuerdo, a esto el mayor peso corresponde a las construcciones de 38 años a más con un 37% y el menor valor corresponde a las viviendas que tienen de 0 a 15 años con un 28%.*

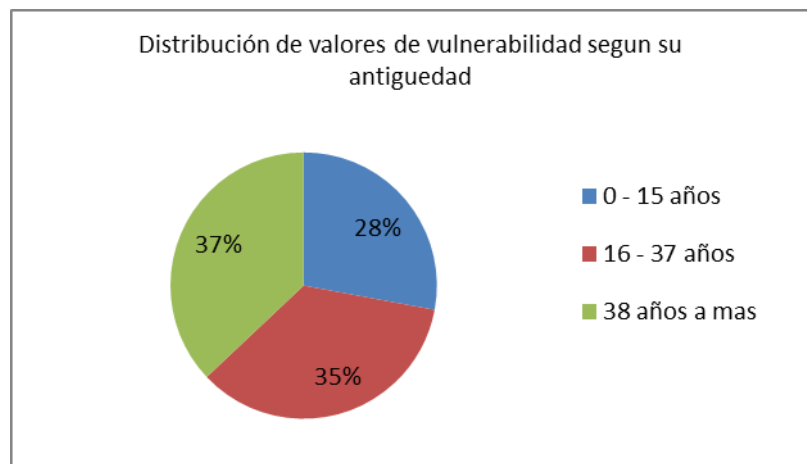


Figura 85. Distribución de valores de vulnerabilidad en función a la antigüedad de las viviendas

d) *vulnerabilidad según su estado de conservación.*

I. *Clasificación de vulnerabilidad: la vulnerabilidad de las construcciones de Pucusana según estado de conservación, puede ser clasificado en 3 tipos:*

- ✓ Bueno: estas construcciones han sido construidas recientemente y se encuentran en aparente condición óptima para soportar un sismo de gran magnitud.
- ✓ Regular: construcciones que tienen varios años de construcción y por su falta de mantenimiento, son más vulnerables a un evento sísmico.
- ✓ Malo: estas construcciones se encuentran en estado ruinoso por ende son más vulnerables a un evento sísmico de gran magnitud.

II. *Análisis multicriterio: Se procede a realizar la comparación entre los diferentes tipos de estado de conservación de las viviendas y se establece, entre pares, una comparación para se determinar cuál de las 2 variables influye más en la vulnerabilidad y luego se determina por cuanto es más importante es esta variable sobre la otra (ver escala de Saaty, Tabla 12).*

III. *Matriz de vulnerabilidad: A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad como producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo, en el siguiente cuadro, la fila 3 y columna 3 (ver círculo rojo), las construcciones en mal estado tienen mayor influencia sobre las construcciones en estado regular y es calificada como moderadamente más importante.*

Para el cálculo de pesos, por vulnerabilidad, se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1, poniendo estos valores en la Matriz 2, luego se realiza la suma de los valores de las filas de Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que este caso es 3, de esta manera se obtiene los pesos de las variables que componen la vulnerabilidad por

número de pisos, para el Balneario de Pucusana, tal como se muestra a continuación.

Matriz 1

	Bueno	Regular	Malo
Bueno	1.00	0.33	0.17
Regular	3.00	1.00	0.20
Malo	6.00	5.00	1.00



Matriz 2

	Bueno	Regular	Malo
Bueno	0.10	0.05	0.12
Regular	0.30	0.16	0.15
Malo	0.60	0.79	0.73



- IV. Resultado: luego del análisis AHP, en la Figura 86 se presenta los valores de vulnerabilidad estimada para las viviendas del Balneario de Pucusana. De acuerdo, a esto el mayor peso corresponde a las construcciones en estado de conservación malo con un 71% y el menor valor corresponde a las viviendas que tienen un estado de conservación bueno, con un 9%.



Figura 86. Distribución de valores de vulnerabilidad en función a su estado de conservación

e) Vulnerabilidad según el nivel de deterioro producido por humedad.

I. *Clasificación de vulnerabilidad: esta variable merece especial consideración debido a que la toma de datos se realizó en un mes de verano donde la humedad es menor. Esta variable podría incrementar sus niveles en los meses de invierno, donde la humedad es mayor por la neblina, lluvias, etc.*

- ✓ Con humedad: estas construcciones tienen especial consideración en los meses de invierno, y sobre todo las que se encuentran en las partes más altas del Balneario por estar construidas con material prefabricado y podrían desplomarse debido al debilitamiento de sus paredes producto de la humedad. En la Figura 87 se observa una vivienda con el problema de desmoronamiento de sus paredes, producto de la humedad. Por otro lado las construcciones cercanas al malecón San Martín, debido a que están muy cerca al mar reciben humedad constante durante todo el año, lo cual las hace más vulnerables.



Figura 87. Construcción con problemas de humedad. Obsérvese las paredes dañadas por la acumulación de humedad.

- ✓ Sin humedad: construcciones sin presencia de humedad, no presentan vulnerabilidad alguna en caso de sismo. Ya que se encuentran alejadas de la zona costera.
- II. *Análisis multicriterio: Se procede a realizar la comparación entre los diferentes estados de humedad de las viviendas y se establece, entre pares, la comparación para determinar cuál de las 2 variables influye más en la vulnerabilidad y luego se*

determina por cuanto es más importante esta variable sobre la otra (ver escala de Saaty, Tabla 12).

- III. *Matriz de vulnerabilidad:* A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad como producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo, en el siguiente cuadro la fila 2 y columna 3 (ver círculo rojo), indica que las construcciones con humedad tienen mayor influencia sobre las construcciones sin humedad y es calificada como fuertemente más importante

Para el cálculo de pesos por vulnerabilidad se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1, poniendo estos valores en la Matriz 2. Luego se realiza la suma de los valores de las filas de la Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que este caso es 2, de esta manera se obtiene los pesos de las variables que componen la vulnerabilidad por número de piso, para el Balneario de Pucusana, tal como muestra a continuación:

Matriz 1

	con humedad	sin humedad
con humedad	1.00	5.00
sin humedad	0.20	1.00



Matriz 2

	con humedad	sin humedad
con humedad	0.83	0.83
sin humedad	0.17	0.17



- IV. *Resultado:* luego del análisis AHP, en la Figura 88 se presenta los

valores de vulnerabilidad para las viviendas del Balneario de Pucusana. De acuerdo, a esto el mayor peso corresponde a las construcciones con estado de húmedo con un 83 % y el menor valor corresponde a las viviendas que no tienen humedad con un 17 %.

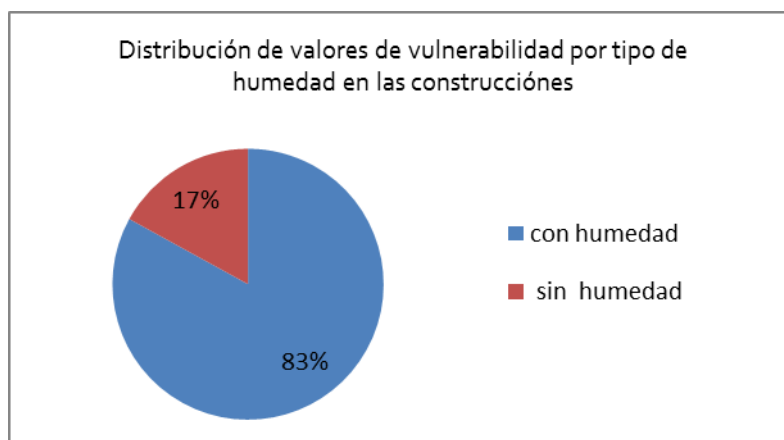


Figura 88. Distribución de valores de vulnerabilidad según la humedad de sus construcciones.

f) Vulnerabilidad según el estado de daño de viviendas por sismo

- I. Clasificación de vulnerabilidad: debido a la ocurrencia de sismos anteriores, muchas viviendas de Pucusana han sufrido serios daños, en especial debido al sismo del 15 de agosto del 2007, que al poco tiempo se desplomaron, y otras quedaron en mal estado, evidenciándose estas fallas en las rajaduras que presentan las paredes, techos, pisos, etc.



Figura 89. Construcción ubicada en el Malecón San Martín con problemas de agrietamiento debido al sismo de Pisco 2007.

- ✓ Con daños: viviendas con grietas visibles, que no tuvieron un tratamiento adecuado de reparación. Por otro lado, el mal

uso de técnicas o materiales de construcción utilizados, hacen que las viviendas sean muy vulnerables. Las viviendas dañadas en su estructura interna hacen suponer que en otro movimiento sísmico son muy probables de colapsar.

✓ Sin daños: construcciones sin grietas visibles.

II. *Análisis multicriterio: Se procede a realizar la comparación entre los diferentes estados de las viviendas después de haber sido dañados por sismos en el pasado, y se establece entre pares una comparación donde se determinara cuál de las 2 variables influye más en la vulnerabilidad y luego se determina por cuanto es más importante esta variable sobre la otra (ver escala de Saaty, Tabla 12).*

III. *Matriz de vulnerabilidad: A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad como producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo, en el siguiente cuadro la fila 2 y columna 3 (ver círculo rojo) las construcciones con algún daño tienen mayor influencia sobre las construcciones si daños siendo definida como muy fuertemente más importante.*

Para el cálculo de pesos por vulnerabilidad se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1, poniendo estos valores en la Matriz 2, luego se realiza la suma de los valores de las filas de Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que en este caso es 2. De esta manera se obtiene los pesos de las variables que componen la vulnerabilidad por daños de sismos pasados, para el Balneario de Pucusana, tal como se muestra a continuación:

Matriz 1

	con daños	sin daños
con daños	1.00	7.00
sin daños	0.14	1.00

Matriz 2

	con daños	sin daños
con daños	0.88	0.88
Sin daños	0.13	0.13

- IV. Resultado: luego del análisis AHP, en la Figura 90 se presenta los valores de vulnerabilidad para las viviendas del Balneario de Pucusana. De acuerdo, a esto el mayor peso corresponde a las construcciones de estado dañado con un 87 % y el menor valor corresponde a las viviendas que no tienen daños con un 13 %.

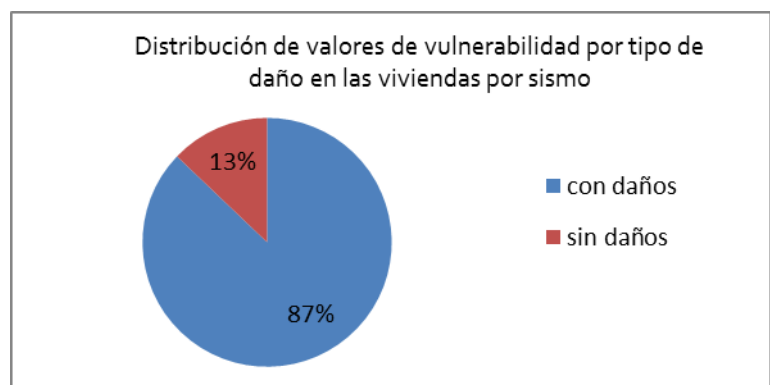


Figura 90. Distribución de valores de vulnerabilidad en según el tipo de daño por sismos anteriores.

g) vulnerabilidad según tipo de techo

- I. clasificación de vulnerabilidad: Se estima la vulnerabilidad según el tipo de techo, a fin de evaluar posibles desplomes que produzcan daños, tal como ocurrió con la Catedral de Pisco que colapso matando a muchas personas.

✓ Ladrillo: Aporta un valor medio de vulnerabilidad debido a

las malas prácticas de construcción y al uso de materiales de baja calidad.

- ✓ Adobe: Aporta gran vulnerabilidad debido a su gran peso. Por ejemplo, durante el terremoto de Pisco 2007 murieron más de 150 personas por el desplome del techo de adobe de la catedral de San Clemente durante la celebración de una misa.
- ✓ Madera: Es menos vulnerable debido a su peso ligero.
- ✓ Estera: Es menos vulnerable debido a su peso ligero.
- ✓ Triplay: Es menos vulnerable debido a su peso ligero.
- ✓ Calamina: Es menos vulnerable debido a su peso.

II. *Análisis multicriterio: Se procede a realizar la comparación entre los diferentes estados de humedad de las viviendas, y se establece entre pares una comparación donde se determinará cuál de las 2 variables influye más en la vulnerabilidad y luego se determina por cuanto es más importante esta variable sobre la otra (ver escala de Saaty, Tabla 12).*

III. *Matriz de vulnerabilidad: A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad como producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo, en el siguiente cuadro, la fila 6 y columna 2 (ver círculo rojo), corresponde a las construcciones con techo de adobe tienen mayor influencia sobre las construcciones de techo de ladrillo y es calificada como fuertemente más importante.*

Para el cálculo de pesos por vulnerabilidad se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1, poniendo estos valores en la Matriz 2. Luego se realiza la suma de los valores de las filas de Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que este caso es 2, de esta manera se obtiene los pesos de las variables que componen la vulnerabilidad por tipo de techo, para el Balneario de Pucusana, tal como se muestra a continuación:

Matriz 1

	Ladrillo	Madera	Estera	Triplay	Adobe	Calamina
Ladrillo	1.00	4.00	6.00	7.00	0.20	6.00
Madera	0.25	1.00	2.00	1.00	0.14	2.00
Estera	0.17	0.50	1.00	0.50	0.11	0.33
Triplay	0.14	1.00	2.00	1.00	0.13	0.50
Adobe	5.00	7.00	9.00	8.00	1.00	8.00
Calamina	0.17	0.50	3.00	2.00	0.13	1.00

Matriz 2

	Ladrillo	Madera	Estera	Triplay	Adobe	Calamina
Ladrillo	0.15	0.29	0.26	0.36	0.12	0.34
Madera	0.04	0.07	0.09	0.05	0.08	0.11
Estera	0.02	0.04	0.04	0.03	0.07	0.02
Triplay	0.02	0.07	0.09	0.05	0.07	0.03
Adobe	0.74	0.50	0.39	0.41	0.59	0.45
Calamina	0.02	0.04	0.13	0.10	0.07	0.06

- IV. Resultado: luego del análisis AHP, en la Figura 91 se presenta los valores de vulnerabilidad para las viviendas del Balneario de Pucusana según su tipo de techo. De acuerdo a esto el mayor peso corresponde a las construcciones de techo de adobe con un 51 % y el menor valor corresponde a las viviendas de techo de estera con un 4 %.

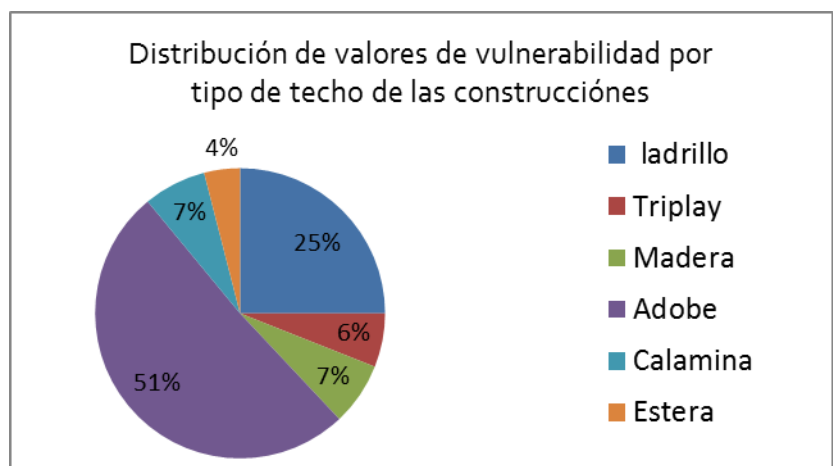


Figura 91. Distribución de valores de vulnerabilidad en según el tipo de techo de las construcciones.

h) Vulnerabilidad según el sistema constructivo.

I. *Clasificación de vulnerabilidad: la calidad del sistema constructivo es la variable que define cual será el comportamiento de la construcción en caso de sismo de gran magnitud, y entre ellos se tiene los siguientes tipos:*

- ✓ Adobe: sistema probablemente no resistente, altamente vulnerable.
- ✓ Estera: sistema probablemente menos vulnerable, debido a su poco peso.
- ✓ Madera: sistema vulnerable, debido a su poco peso.
- ✓ Triplay: sistema triplay, vulnerable, debido a su poco peso.
- ✓ Vigas y columnas: sistema medianamente vulnerable debido al mal empleo de las técnicas de construcción.

II. *Análisis multicriterio: Se procede a realizar la comparación entre los diferentes sistemas constructivos de las viviendas de Pucusana y se establece, entre pares, una comparación donde se determinara cuál de las 2 variables influye más en la vulnerabilidad y luego se determina por cuanto es más importante esta variable sobre la otra (ver escala de Saaty, Tabla 12).*

III. *Matriz de vulnerabilidad: A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad como producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo, en el siguiente cuadro la fila 6 y columna 2 (ver círculo rojo) corresponden a las construcciones de adobe y tienen mayor influencia sobre las construcciones de vigas y columnas siendo calificada como moderadamente más importante*

Para el cálculo de pesos por vulnerabilidad se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1, poniendo estos valores en la Matriz 2. Luego se realiza la suma de los valores de las filas de la Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que este caso es 2. De esta manera se obtiene los pesos de las variables que componen la

vulnerabilidad según el sistema constructivo de sus construcciones, para el Balneario de Pucusana, tal como muestra a continuación:

Matriz 1

	vigas y columnas	Madera	Estera	Triplay	Adobe
vigas y columnas	1.00	3.00	4.00	5.00	0.25
Madera	0.33	1.00	2.00	3.00	0.14
Estera	0.25	0.50	1.00	1.00	0.11
Triplay	0.20	0.33	1.00	1.00	0.13
Adobe	4.00	7.00	9.00	8.00	1.00

Matriz 2

	vigas y columnas	Madera	Estera	Triplay	Adobe
vigas y columnas	0.17	0.25	0.24	0.28	0.15
Madera	0.06	0.08	0.12	0.17	0.09
Estera	0.04	0.04	0.06	0.06	0.07
Triplay	0.03	0.03	0.06	0.06	0.08
Adobe	0.69	0.59	0.53	0.44	0.61

IV. R

resultado: luego del análisis AHP, en la Figura 92 se presenta los valores de vulnerabilidad para las viviendas del Balneario de Pucusana. De acuerdo, a esto el mayor peso corresponde a las construcciones del tipo de sistema constructivo “adobe” con un 87 % y el menor valor corresponde a las construcciones del tipo de sistema constructivo “Estera” y “triplay” con un 5% cada uno.

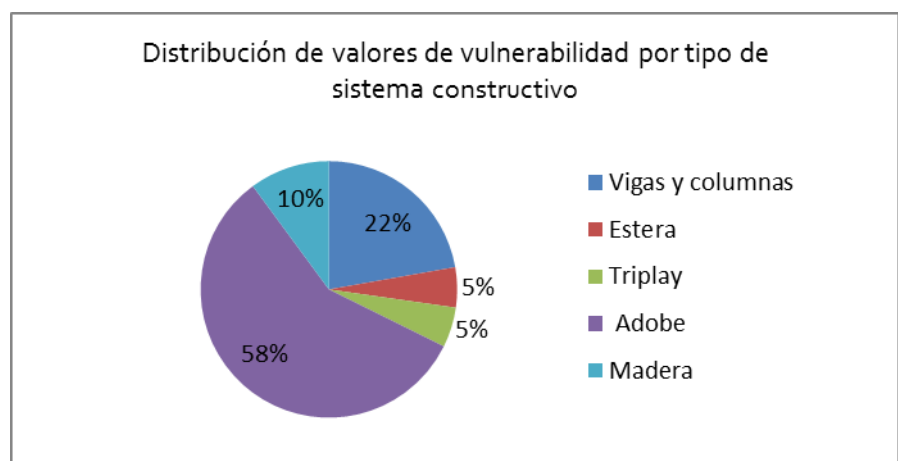


Figura 92. Distribución de valores de vulnerabilidad en según el sistema constructivo.

i) Vulnerabilidad según el uso de alero.

- I. *Clasificación de vulnerabilidad: Después del último sismo de gran magnitud ocurrido en Perú, sismo de Pisco (2007), se encontró que muchas de las casas colapsaron debido a la sobrecarga de las bases con pesos para las cuales no fueron diseñadas.*



Figura 93. Construcción con problemas de sobrepeso, después de ocurrido el sismo de Pisco 2007.

- ✓ Con alero: al tener mayor peso la vivienda se balancean y se hacen vulnerables, al ocurrir un movimiento sísmico y esto es debido a que soportan mayor peso, tal como se observa en la Figura 96. Durante el terremoto de Pisco 2007, muchas de las construcciones, colapsaron por sobrecarga y estos malos ejemplos de construcción se observan en el Balneario de Pucusana.
 - ✓ Sin alero: no aporta vulnerabilidad a una construcción.
- II. *Análisis multicriterio: Se procede a realizar la comparación entre los diferentes tipos de viviendas de Pucusana, según su uso de alero y se establece, entre pares, la comparación a fin de determinar cuál de las 2 variables influye más en la vulnerabilidad y luego se determina por cuanto es más importante esta variable sobre la otra (ver escala de Saaty, Tabla 12).*
 - III. *Matriz de vulnerabilidad: A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad como producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo, en el siguiente cuadro la fila 2 y columna 3 (ver círculo rojo) indica que*

las construcciones que tienen alero tienen mayor influencia sobre las construcciones que no la tienen como fuertemente más importante.

Para el cálculo de pesos por vulnerabilidad se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1, poniendo estos valores en la Matriz 2, luego se realiza la suma de los valores de las filas de Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que este caso es 2, de esta manera se obtiene los pesos de las variables que componen la vulnerabilidad por número de piso, para el Balneario de Pucusana, tal como se muestra a continuación:

Matriz 1

	no tiene alero	si tiene alero
no tiene alero	1.00	2.00
Si tiene alero	5.00	1.00



Matriz 2

	no tiene alero	si tiene alero
no tiene alero	0.83	0.83
Si tiene alero	0.17	0.17



- IV. Resultado: luego del análisis AHP, en la Figura 94 se presenta los valores de vulnerabilidad para las viviendas del Balneario de Pucusana. De acuerdo, a esto el mayor peso corresponde a las construcciones con alero en su estructura con un 83 % y el menor valor corresponde a las construcciones sin alero en su estructura con un 17%.

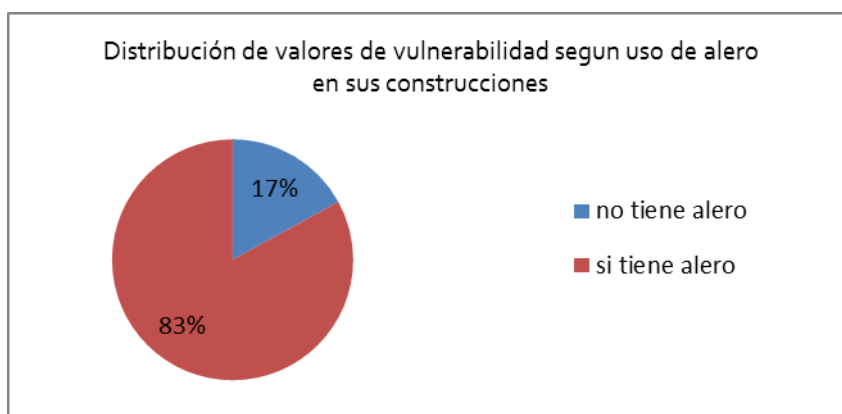


Figura 94. Distribución de valores de vulnerabilidad en según el uso de alero en sus construcciones.

j) *Vulnerabilidad por fragilidad de las construcciones*

- I. *Clasificación de vulnerabilidad: Después de haber desarrollado, analizado y determinado pesos para cada una de las variables de la vulnerabilidad de las construcciones de Pucusana, se debe hacer una clasificación de vulnerabilidad por fragilidad entre todas las variables usadas anteriormente, a fin de obtener pesos entre ellas y así poder determinar de manera más detallada un escenario de vulnerabilidad por fragilidad.*
- II. *Análisis multicriterio: Se procede a realizar la comparación entre los diferentes tipos de variables de vulnerabilidad por fragilidad para Pucusana y se establece, entre pares, la comparación para determinar cuál de las 2 variables influye más en la vulnerabilidad por fragilidad y luego se determina por cuanto es más importante esta variable sobre la otra (ver escala de Saaty, Tabla 12).*
- III. *Matriz de vulnerabilidad: A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad como producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo, en el siguiente cuadro la fila 2 y columna 6 (ver círculo rojo) se considera que la variable material de construcción es extremadamente más influyente que la variable tipo de techo, en la composición del escenario de vulnerabilidad por fragilidad.*

Para el cálculo de pesos por vulnerabilidad se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego

se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1, poniendo estos valores en la Matriz 2, luego se realiza la suma de los valores de las filas de Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que este caso es 9, de esta manera se obtiene los pesos de las variables que componen la vulnerabilidad por fragilidad de las construcciones, para el Balneario de Pucusana, tal como se muestra a continuación.

Matriz 1

	material de construcción	número de pisos	antigüedad	Estado de la construcción	tipo de techo	daños en sismos anteriores	tiene alero	sistema constructivo	humedad de las construcciones
material de construcción	1.00	3.00	3.00	5.00	8.00	2.00	3.00	4.00	9.00
número de pisos	0.33	1.00	2.00	3.00	6.00	3.00	2.00	2.00	8.00
Antigüedad	0.33	0.50	1.00	5.00	7.00	3.00	7.00	2.00	6.00
estado de la vivienda	0.20	0.33	0.20	1.00	3.00	4.00	2.00	0.20	7.00
tipo de techo	0.13	0.17	0.14	0.33	1.00	0.25	0.50	0.14	2.00
daños en sismos anteriores	0.50	0.33	0.33	0.25	4.00	1.00	2.00	0.14	7.00
tiene alero	0.33	0.50	0.14	0.50	2.00	0.50	1.00	0.20	3.00
sistema constructivo	0.25	0.50	0.50	5.00	7.00	7.00	5.00	1.00	7.00
humedad de las construcciones	0.11	0.13	0.17	0.14	0.50	0.14	0.33	0.14	1.00

Matriz 2

	material de construcción	número de pisos	antigüedad	estado de la construcción	tipo de techo	daños en sismos anteriores	tiene alero	sistema constructivo	humedad de las construcciones
material de construcción	0.30	0.45	0.38	0.22	0.20	0.09	0.13	0.40	0.17
número de pisos	0.10	0.15	0.25	0.13	0.15	0.13	0.09	0.20	0.15
antigüedad	0.10	0.08	0.13	0.22	0.17	0.13	0.30	0.20	0.12
estado de la vivienda	0.06	0.05	0.03	0.04	0.07	0.17	0.09	0.02	0.13
tipo de techo	0.04	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.04
daños en sismos anteriores	0.15	0.05	0.04	0.01	0.10	0.04	0.09	0.01	0.13
tiene alero	0.10	0.08	0.02	0.02	0.05	0.02	0.04	0.02	0.06
sistema constructivo	0.08	0.08	0.06	0.22	0.17	0.31	0.22	0.10	0.13
humedad de las construcciones	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02

U material de construcción : 0.26

U número de pisos : 0.16

U sistema constructivo : 0.16

U antigüedad : 0.20

U estado de la vivienda : 0.07

U tipo de techo : 0.02

U daños en sismos : 0.06

U uso de alero : 0.06

U humedad : 0.02

- IV. *Resultado: luego del análisis AHP, en la Figura 95 se presenta los valores de vulnerabilidad para las viviendas del Balneario de Pucusana. De acuerdo, a esto se encontró que entre las variables de vulnerabilidad por fragilidad que la variable “material de construcción” es la variable de mayor importancia en la determinación de la vulnerabilidad por fragilidad con un 26 % y el menor valor corresponde a la variable “tiene alero” con un 17%.*

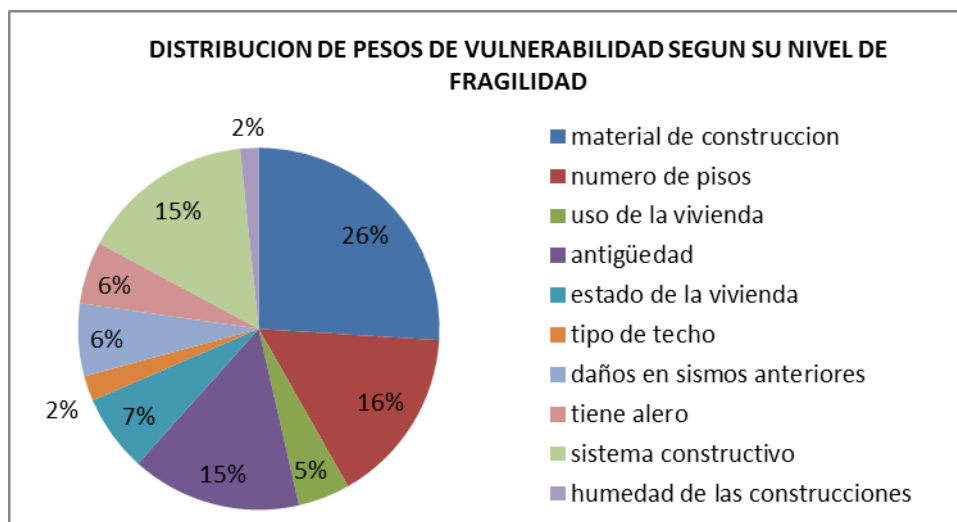


Figura 95. Distribución de valores de vulnerabilidad según el nivel de vulnerabilidad por fragilidad de las construcciones.

- k) *Determinación de vulnerabilidad según el nivel de fragilidad de sus construcciones:*

Para estimar este valor se consideró el producto de los pesos encontrados para cada característica de las variables con los pesos asignados a cada tipo de variable, con la cual se tiene una visión integral de las principales zonas con vulnerabilidad importante. La relación que expresa este valor es:

$$\text{Vulnerabilidad por fragilidad} = U_j \times U_i$$

U_j = peso de la característica de la variable

U_i = peso de la variable

Por otro lado, esta relación permite asignar a los resultados obtenidos en este estudio el calificativo de peligro definido por INDECI.

Color	Rango	Nivel
	0.000 – 0.116350	Bajo
	0.116351 – 0.232700	Medio
	0.232701 – 0.349050	Alto
	0.349051 – 0.465400	Muy alto

Estos valores de vulnerabilidad corresponden a la metodología propuesta por **INDECI**, dentro del manual básico de estimación de riesgo, estableciendo niveles de vulnerabilidad, según las características de las viviendas. Por ejemplo se conoce que las casas con 4 pisos o más, de adobe, o con daños estructurales pueden ser clasificadas como de vulnerabilidad por fragilidad alta. Fijado este valor y considerando la clasificación AHP, se procede a asignar al escenario 4 grados de vulnerabilidad

A. Mapa de vulnerabilidad por fragilidad de las construcciones

El detalle de lo descrito anteriormente se ha proyectado en la Figura 96, Y a la vez, a cada vivienda se le asigna un valor de vulnerabilidad que van desde bajo hasta muy alto de acuerdo a la definición propuesta por INDECI.

Obsérvese que en la zona 1, algunas casas están en grado de vulnerabilidad muy alta, debido a que en muchos casos estas construcciones son de gran antigüedad, y otras de adobe y/o gran altura, etc. Estas construcciones sirven principalmente de hospedajes, restaurantes y bares. En la zona 2 se observa un grupo de construcciones en vulnerabilidad alta debido a que en este lugar se ha producido el problema de hacinamiento, es decir, un numeroso grupo de personas habitan el mismo lugar elevando el nivel de vulnerabilidad expresados en casas de gran altura. etc. En la zona 3 se observa un grupo de viviendas con valores de vulnerabilidad de alta y muy alta, y es debido principalmente a las condiciones del lugar como la gran pendiente que obliga a los pobladores a construir sus casas sobre pircas aumentando considerablemente el nivel de vulnerabilidad. En la zona 4 se

observa el mismo problema. De estos resultados se concluye que el Balneario de Pucusana está en su nivel más alto de ocupación y se debe proponer nuevas áreas de expansión urbana.

Entre las principales viviendas se puede destacar que los colegios se poseen valores de vulnerabilidad baja con la excepción de los colegios “Hilda Carrillo” y “Niña María” que tienen un grado de vulnerabilidad alta, la iglesia, la comisaria y la posta médica, tienen valores de vulnerabilidad media. La municipalidad en estado de vulnerabilidad medio y el mercado en estado de vulnerabilidad alta.

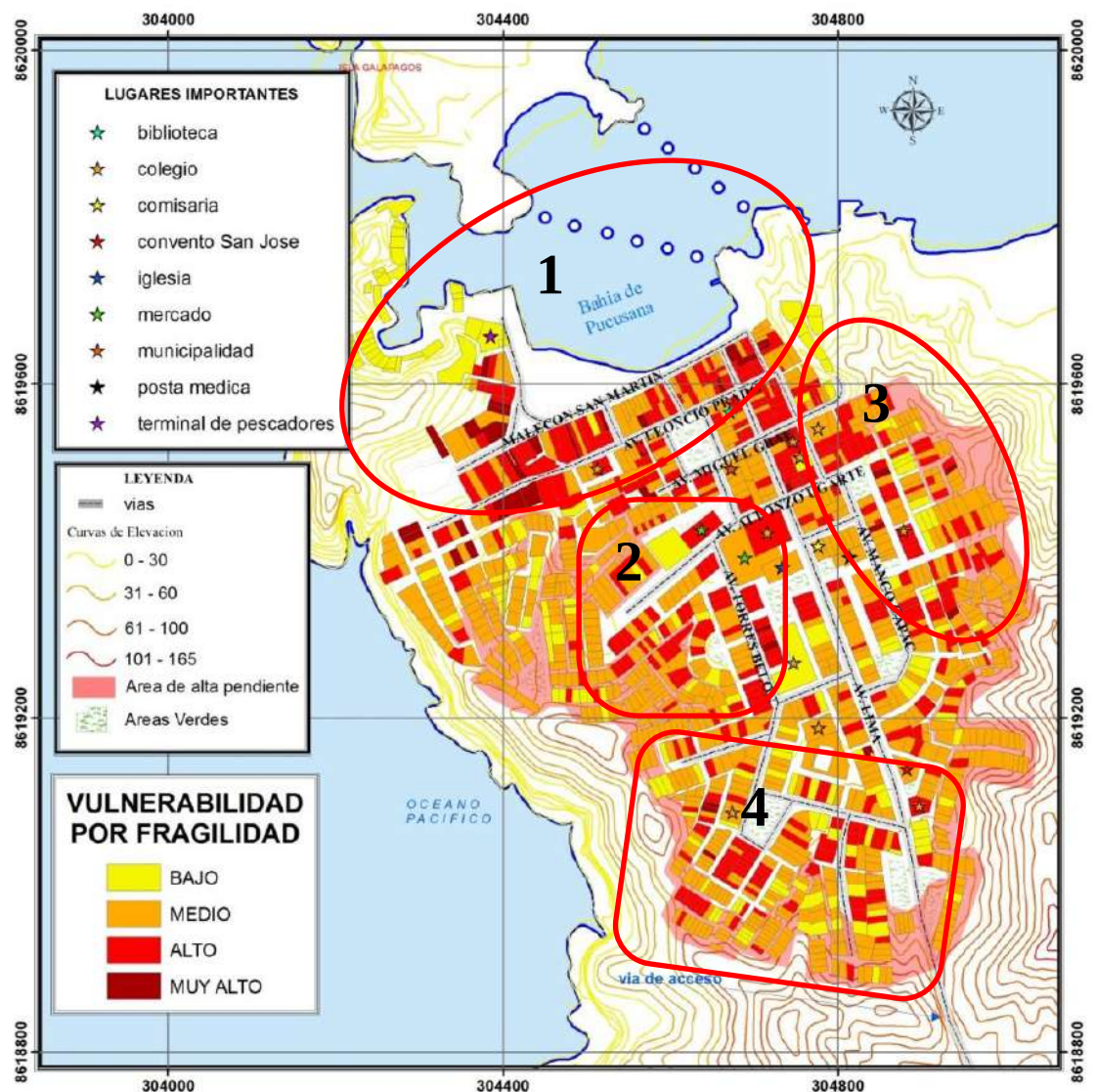


Figura 96. Mapa de vulnerabilidad por fragilidad de las construcciones.

7.3 Determinación de la vulnerabilidad según el nivel de exposición

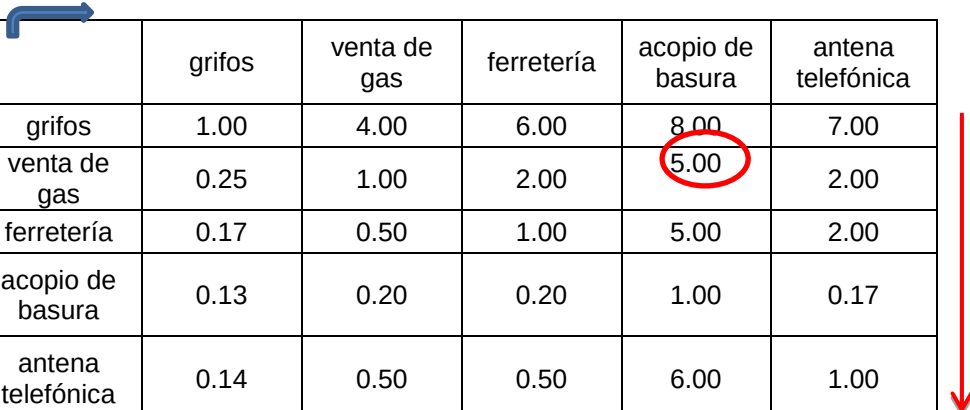
7.3.1 Clasificación de vulnerabilidad por exposición

- a) *Clasificación de la Vulnerabilidad: En función a la exposición de las construcciones a peligros antrópicos, se considera la siguiente clasificación:*
- ✓ Explosiones: el poder detonante de las sustancias químicas expuestas a fricciones altas como la caída de una casa, son tomados en cuenta.
 - ✓ Incendios: de acuerdo al tipo de fuego producido por cada sustancia química, se determina el tamaño o proporciones de daño que desataría un incendio.
 - ✓ Desplome de objetos pesados: el desplome de objetos pesados como antenas de telefonía de gran tamaño sobre las construcciones son tomados en cuenta debido a que estas podrían causar daños en las construcciones y a sus habitantes.
- b) *Metodología: En este caso se va a considerar radios de alcance de daño para diferentes peligros como explosiones, incendios y desplomes de objetos. Luego se define pesos para cada una de estos radios mediante la metodología AHP, necesaria para dar pesos y definir su calificativo.*
- c) *Evaluación multicriterio: Se procede a realizar la comparación entre los diferentes tipos de variables de vulnerabilidad por exposición para Pucusana, se establece, entre pares, una comparación donde se determina cuál de las 2 variables influye más en la vulnerabilidad por exposición y luego se determina por cuanto es más importante esta variable sobre la otra (ver escala de Saaty, Tabla 12).*
- d) *Matriz de vulnerabilidad por exposición: A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad como producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo, en el siguiente cuadro la fila 2 y columna 5 (ver círculo rojo) los grifos tienen mayor influencia sobre los centros de acopio de basura calificada como entre “muy fuertemente más importante” a*

“extremadamente más importante” en la composición del escenario de vulnerabilidad por exposición.

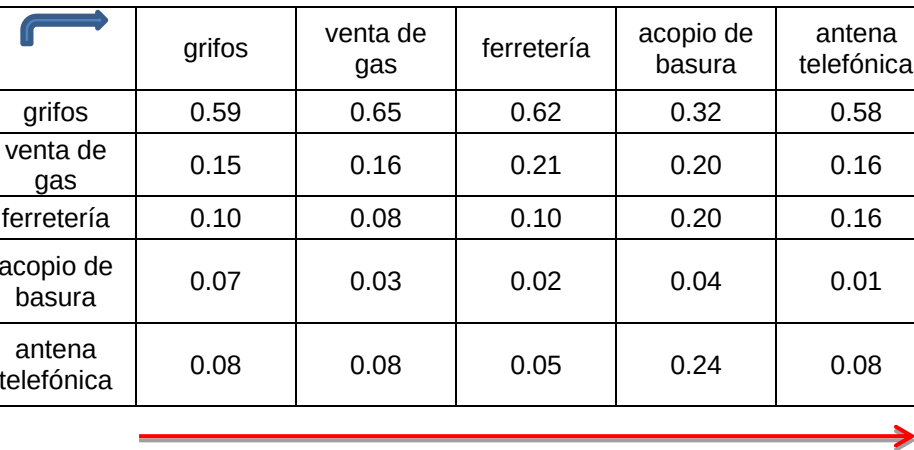
Para el cálculo de pesos por vulnerabilidad se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1, poniendo estos valores en la Matriz 2. Luego se realiza la suma de los valores de las filas de Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que este caso es 5. De esta manera, se obtiene los pesos de las variables que componen la vulnerabilidad por exposición, para el Balneario de Pucusana. Tal como se muestra a continuación:

Matriz 1



	grifos	venta de gas	ferretería	acopio de basura	antena telefónica
grifos	1.00	4.00	6.00	8.00	7.00
venta de gas	0.25	1.00	2.00	5.00	2.00
ferretería	0.17	0.50	1.00	5.00	2.00
acopio de basura	0.13	0.20	0.20	1.00	0.17
antena telefónica	0.14	0.50	0.50	6.00	1.00

Matriz 2



	grifos	venta de gas	ferretería	acopio de basura	antena telefónica
grifos	0.59	0.65	0.62	0.32	0.58
venta de gas	0.15	0.16	0.21	0.20	0.16
ferretería	0.10	0.08	0.10	0.20	0.16
acopio de basura	0.07	0.03	0.02	0.04	0.01
antena telefónica	0.08	0.08	0.05	0.24	0.08

e) Resultado: luego del análisis AHP, en la Figura 100 se presenta los valores de vulnerabilidad estimada para las viviendas del Balneario de

Pucusana. De acuerdo su nivel de exposición a peligros antrópicos, a esto el mayor peso corresponde a los grifos con un 55 % y el menor valor corresponde a los centros de acopio de basura con un 4 %.

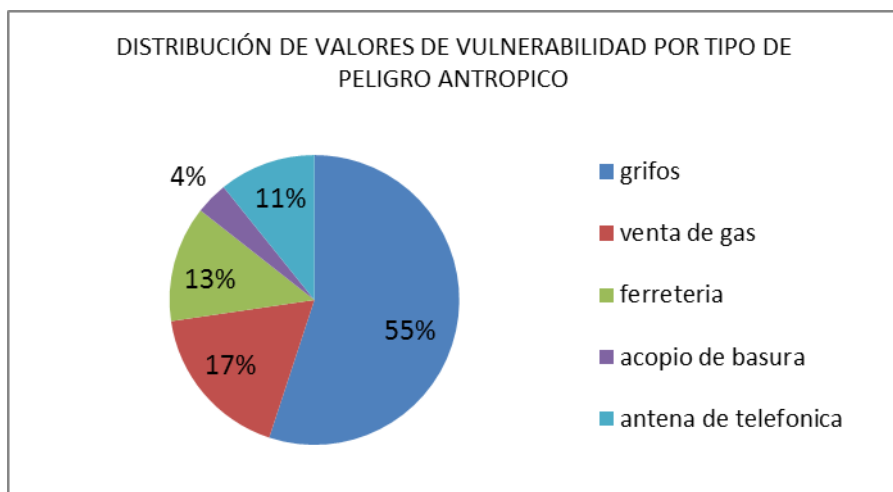


Figura 97. Distribución de valores de vulnerabilidad por peligro antrópico.

f) *Matriz de rango de alcance de los peligros: cada uno de estos campos representan rangos de alcance donde se le asigna un valor como producto del análisis entre estas variables.*

Por ejemplo, las construcciones que se encuentran de 0 a 10 metros del punto de peligro antrópico tienen mayor posibilidad de ser dañadas que las construcciones que se encuentran de 30 a 50 metros del punto de peligro antrópico. Entonces es calificada como; entre “muy fuerte” a “extremadamente más importante”.

g) *Matriz de vulnerabilidad por exposición: A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad como producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo, en el siguiente cuadro la fila 2 y columna 5 (ver círculo rojo). los grifos tienen una influencia sobre los centros de acopio de basura y es calificada como entre “muy fuertemente más importante” a “extremadamente más importante” en la composición del escenario de vulnerabilidad por exposición.*

Para el cálculo de pesos por vulnerabilidad se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1, poniendo

estos valores en la Matriz 2, luego se realiza la suma de los valores de las filas de Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que este caso es 4, de esta manera se obtiene los pesos de las variables que componen la vulnerabilidad por exposición, para el Balneario de Pucusana. Tal como se muestra a continuación:

Matriz 1

	0 - 10 m	10 -30 m	30 - 50	50- mas
0 - 10 m	1.00	8.00	5.00	3.00
10 -30 m	0.13	1.00	4.00	5.00
30 - 50	0.20	0.25	1.00	2.00
50- mas	0.33	0.20	0.20	1.00



Matriz 2

	0 - 10 m	10 -30 m	30 - 50	50- mas
0 - 10 m	0.60	0.85	0.49	0.27
10 -30 m	0.08	0.11	0.39	0.45
30 - 50	0.12	0.03	0.10	0.18
50- mas	0.20	0.02	0.02	0.09



- h) Resultado: luego del análisis AHP, en la Figura 98 se presenta los valores de vulnerabilidad para las viviendas del Balneario de Pucusana. De acuerdo a su nivel de exposición a peligros antrópicos, a esto el mayor peso corresponde al radio menor de 10 metros y es de 55 % y el menor valor corresponde a las construcciones con un radio de 50 metros a mas con un 17%.

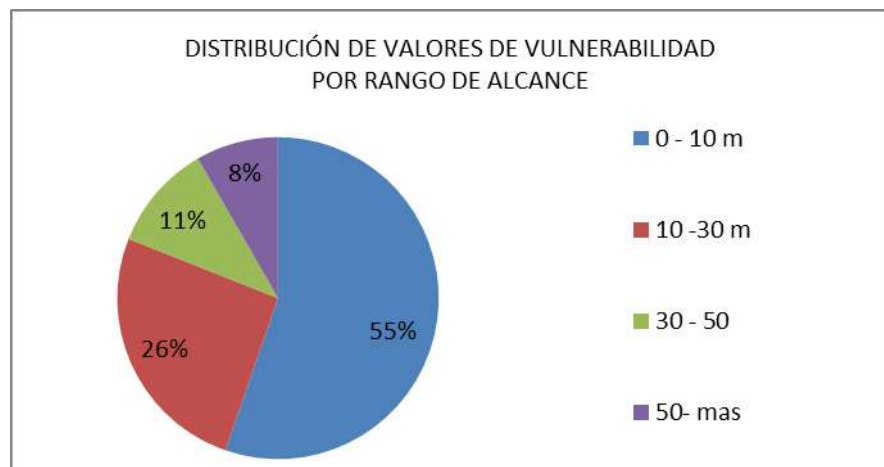


Figura 98. Distribución de valores de vulnerabilidad según el rango de alcance.

Como siguiente paso se propuso la siguiente relación:

$$\text{Vulnerabilidad por exposición} = U_j \times U_i$$

U_j = peso por tipo de peligro antrópico

U_i = peso rango de alcance

Estos valores de vulnerabilidad corresponden a una comparación de los daños ocasionados por la ocurrencia de una explosión, incendio o desplome de algún objeto pesado, según las características que estas posean, como por ejemplo se conoce que las construcciones que se encuentran a menos de 10 metros de un depósito de gasolina, hacen de estas muy vulnerable debido a la exposición alta (vulnerabilidad alta). Fijado este valor dentro del rango antes obtenido con la clasificación AHP se procede a determinar el escenario en 4 grados de vulnerabilidad.

Color	Rango	Nivel
	0.000	Bajo
	0.000 – 0.004400	Medio
	0.004401 – 0.071500	Alto
	0.071501 – 0.302500	Muy alto

B. Mapa de vulnerabilidad por exposición de las construcciones

El detalle, de lo descrito anteriormente se ha proyectado en la Figura 102, y en este caso a cada vivienda se le asigna un valor de vulnerabilidad que van desde bajo hasta muy alto.

En la Figura 102 se puede observar que en algunos casos, estos peligros podrían afectar en mayor grado a construcciones importantes como los dedicados a negocios de hospedaje y restaurant, ubicados en el Malecón San Martín. Los mercados tienen un alto peligro por exposición debido a que en ellos se encuentran gran cantidad de peligros antrópicos como puestos de venta de gas y otros elementos inflamables.

De la Figura 99 se puede observar que entre las construcciones más importantes en vulnerabilidad por exposición tenemos:

La biblioteca, 7 colegios y el mercado tienen en vulnerabilidad alta, se debe tener especial consideración en estas construcciones ya que este tipo de vulnerabilidad se puede reducir mediante la prevención. La municipalidad la posta y la comisaria se encuentran en vulnerabilidad baja las cuales no presentan mayores problemas

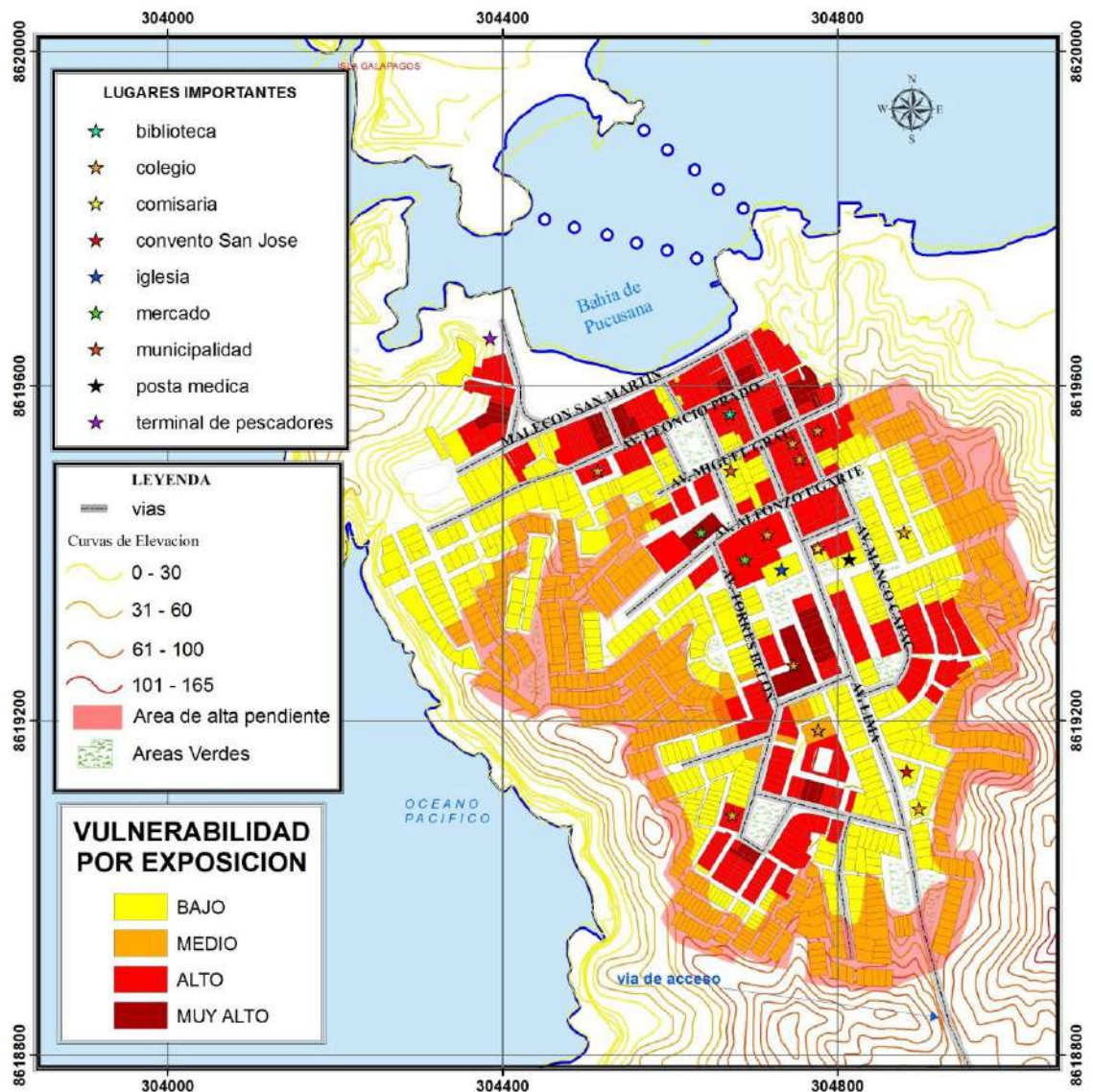


Figura 99. Mapa de vulnerabilidad por exposición de las construcciones.

7.4 Determinación de la vulnerabilidad según el nivel de Resiliencia

Las viviendas del Balneario de Pucusana según sus variables de Resiliencia se clasifican de la siguiente manera:

- *Vulnerabilidad según su poder adquisitivo.*
- *Vulnerabilidad según su nivel de preparación.*
- *Vulnerabilidad según su nivel de conocimiento de los peligros.*
- *Vulnerabilidad según la cantidad de obras de mitigación realizadas.*

a) vulnerabilidad según el poder adquisitivo:

Se propone el mapa de vulnerabilidad en función del poder adquisitivo de las personas; es decir, según su capacidad económica. Debido a esto se tiene como indicador base, el mapa de tipos de comercios en el Balneario, propuesta del “Instituto Metropolitano de Planificación” donde se clasifica los comercios en zonas de comercio vecinal y zonal. Estas variables permiten determinar la capacidad económica de las familias para afrontar los daños causados por un posible sismo.

- I. Evaluación multicriterio: Se procede a realizar la comparación entre los diferentes tipos viviendas de Pucusana, según poder adquisitivo y se establece, entre pares, la comparación para determinar, cuál de las 2 variables influye más en la vulnerabilidad exposición y luego se determina por cuanto es más importante esta variable sobre la otra (ver escala de Saaty, Tabla 12).*
- II. Matriz de vulnerabilidad: A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad como producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo, las zonas de comercio vecinal tienen mayor influencia sobre las zonas de comercio zonal por lo tanto es calificada como fuertemente más importante a generar vulnerabilidad por resiliencia, debido a que las personas que no tienen negocios se dedican a actividades*

poco rentables haciendo, que estas no puedan afrontar económicamente un desastre.

Para el cálculo de pesos por vulnerabilidad se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1, poniendo estos valores en la Matriz 2. Luego se realiza la suma de los valores de las filas de Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que este caso es 2. De esta manera, se obtiene los pesos de las variables que componen la vulnerabilidad por resiliencia, para el Balneario de Pucusana, tal como se muestra a continuación:

Matriz 1

	comercio vecinal	Comercio zonal
comercio vecinal	1.00	7.00
Comercio zonal	0.14	1.00

Matriz 2

	comercio vecinal	Comercio zonal
comercio vecinal	0.83	0.88
comercio zonal	0.13	0.13

- III. Resultado: luego del análisis AHP, en la Figura 101 se presenta los valores de vulnerabilidad para las viviendas del Balneario de Pucusana. De acuerdo su nivel de resiliencia, el mayor peso corresponde a la población de que realiza un comercio vecinal y es de 83 % y el menor valor corresponde a la población que realiza un comercio zonal con un 17%.

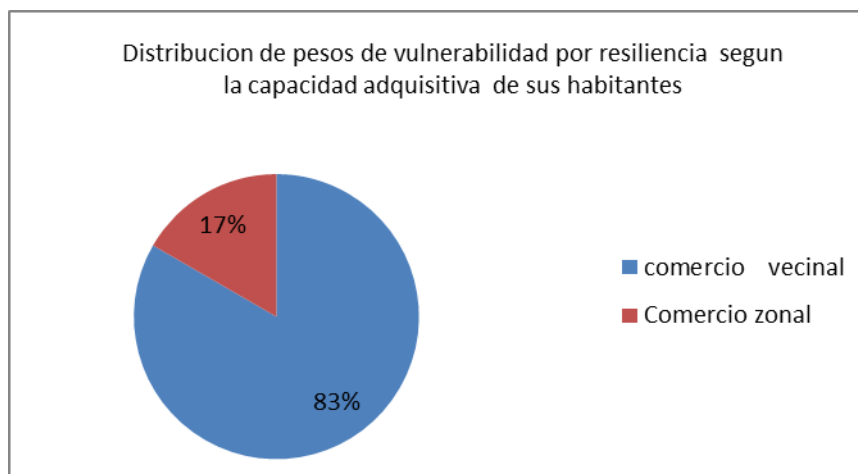


Figura 101. Distribución de valores de vulnerabilidad según el nivel de preparación de sus habitantes.

b) *Determinación de la vulnerabilidad según nivel de preparación*

Se propone un mapa de vulnerabilidad educativa tomando en cuenta el nivel de preparación de la población ante sismos. Se observó que gran parte de las personas encuestadas, mostraron un bajo nivel de preparación ante sismos, debido a que no habían participado en simulacros, aparte de los programados por Defensa Civil. En algunos colegios no se realizó este ejercicio. Esta variable concluir que gran parte de la población tiene un bajo nivel de preparación a excepción de algunos colegios donde se realizaron simulacros.

- I. *Evaluación multicriterio: Se procede a realizar la comparación entre los diferentes tipos de viviendas existentes en Pucusana y el nivel de preparación de sus habitantes a fin de establecer, entre pares, la comparación para determinar cuál de las 2 variables influye más en la vulnerabilidad y luego se determina por cuanto es más importante esta variable sobre la otra (ver escala de Saaty, Tabla 12).*
- II. *Matriz de vulnerabilidad: A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad como producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo, las personas con baja preparación para enfrentar sismos tienen mayor influencia sobre las personas que si tienen preparación ante sismos y es calificada como “fuertemente más importante” a*

generar vulnerabilidad por resiliencia. Las personas capacitadas no pierden tiempo en ponerse a salvo y saben qué medidas tomar en caso de un evento natural de gran magnitud.

Para el cálculo de pesos por vulnerabilidad se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1, poniendo estos valores en la Matriz 2. Luego se realiza la suma de los valores de las filas de Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que este caso es 2. De esta manera se obtiene los pesos de las variables que componen la vulnerabilidad por resiliencia, para el Balneario de Pucusana, tal como se muestra a continuación:

Matriz 1



	Baja preparación	con preparación
baja preparación	1.00	5.00
con preparación	0.20	1.00

Matriz 2



	Baja preparación	con preparación
baja preparación	0.83	0.83
con preparación	0.17	0.17

- III. Resultado: luego del análisis AHP, en la Figura 102 se presenta los valores de vulnerabilidad obtenidos para las viviendas del Balneario de Pucusana. De acuerdo su nivel de resiliencia, el mayor peso corresponde a la población de baja preparación con el 83 % y el menor valor, a la población con preparación con un 17%.

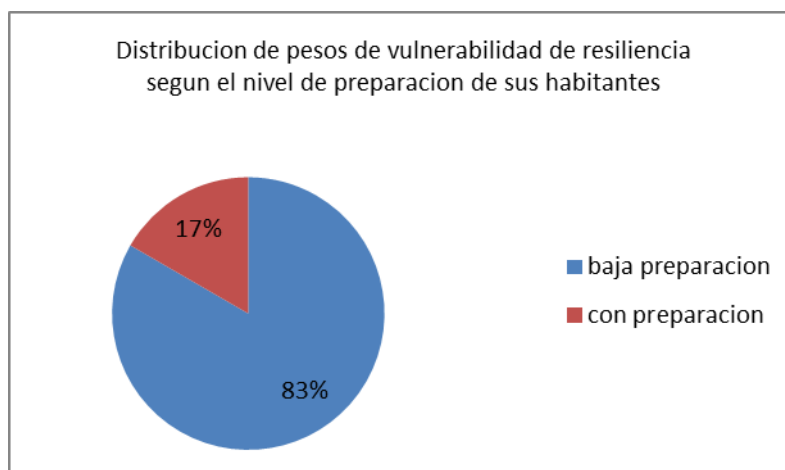


Figura 102. Distribución de valores de vulnerabilidad según el nivel de preparación de sus habitantes.

c) *Determinación de la vulnerabilidad según nivel de conocimiento sobre sismos*

Se propone un mapa de vulnerabilidad cultural en función al nivel de conocimiento sobre los riesgos ante sismo. Conocer los efectos de los sismos hace a las personas resilientes, debido a que estarían preparadas y serian menos vulnerables.

- I. *Evaluación multicriterio: Se procede a realizar la comparación entre los diferentes tipos de viviendas de Pucusana, según el nivel de conocimientos de sus habitantes sobre sismos y se establece, entre pares, la comparación para determinar cuál de las 2 variables influye más en la vulnerabilidad y luego se determina por cuanto es más importante esta variable sobre la otra (ver escala de Saaty, Tabla 12).*
- II. *Matriz de vulnerabilidad: A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad como producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo las personas con bajos conocimientos sobre el poder destructor de un sismo tienen mayor influencia sobre las personas que tienen conocimientos y puede ser calificada como “fuertemente más importante” a generar vulnerabilidad sísmica por resiliencia, debido a que las personas con conocimientos saben en qué lugares están son más peligrosos que otros. Por ejemplo, el*

saber la altura promedio de un tsunami podría ser útil para que las personas que asciendan a un lugar de altura.

Para el cálculo de pesos por vulnerabilidad se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1, poniendo estos valores en la Matriz 2. Luego se realiza la suma de los valores de las filas de Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que este caso es 2. De esta manera, se obtiene los pesos de las variables que componen la vulnerabilidad por resiliencia, para el Balneario de Pucusana, tal como se muestra a continuación:

Matriz 1

	bajo conocimientos	Con conocimientos
bajo conocimientos	1.00	5.00
con conocimientos	0.20	1.00

Matriz 2

	bajo conocimientos	Con conocimientos
bajo conocimientos	0.83	0.83
con conocimientos	0.17	0.17

- III. Resultado: luego del análisis AHP, en la Figura 103 se presenta los valores de vulnerabilidad para las viviendas del Balneario de Pucusana. De acuerdo su nivel de resiliencia, el mayor peso corresponde a la población de bajos conocimientos y es de 83 % y el menor valor corresponde a la población con conocimientos con un 17%.

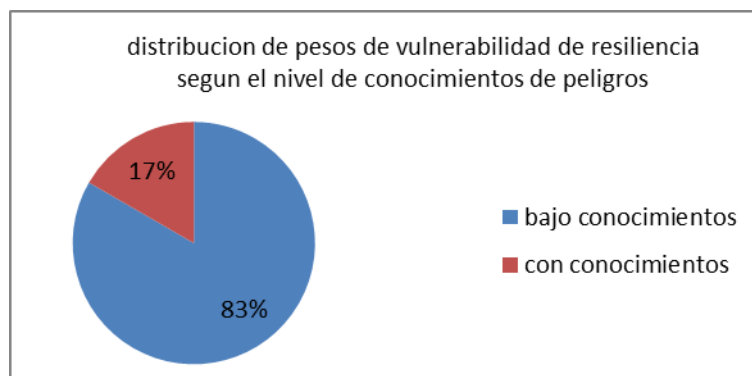


Figura 103. Distribución de valores de vulnerabilidad según el nivel de preparación de sus habitantes.

d) *Determinación de la vulnerabilidad según los trabajos de mitigación*

Se propone un mapa de vulnerabilidad institucional debido a la falta de intervención de instituciones como ONG'S o Defensa Civil. De las personas encuestadas se pudo constatar que no hubo obras de mitigación y/o actividades de prevención o gestión de Riesgo en Pucusana.

- I. *Evaluación multicriterio: Se procede a realizar la comparación entre los diferentes tipos viviendas existentes en Pucusana, según el nivel trabajos de mitigación realizados en el Balneario y se establece, entre pares, la comparación para determinar cuál de las 2 variables influye más en la vulnerabilidad y luego se determina por cuanto es más importante esta variable sobre la otra (ver escala de Saaty, Tabla 12).*
- II. *Matriz de vulnerabilidad: A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad como producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo, las poblaciones que no tienen obras de mitigación tienen mayor influencia sobre las poblaciones que sí las tienen y pueden ser calificadas como "fuertemente más importante" a generar vulnerabilidad sísmica por resiliencia.*

Para el cálculo de pesos por vulnerabilidad se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1,

poniendo estos valores en la Matriz 2. Luego se realiza la suma de los valores de las filas de Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que este caso es 2. De esta manera se obtiene los pesos de las variables que componen la vulnerabilidad por resiliencia, para el Balneario de Pucusana, tal como se muestra a continuación:

Matriz 1

	Sin obras de mitigación	Con obras de mitigación
Sin obras de mitigación	0.83	0.83
Con obras de mitigación	0.17	0.17

Matriz 2

	Sin obras de mitigación	Con obras de mitigación
Sin obras de mitigación	0.83	0.83
Con obras de mitigación	0.17	0.17

- III. *Resultado: luego del análisis AHP, en la Figura 104 se presenta los valores de vulnerabilidad para las viviendas del Balneario de Pucusana. De acuerdo su nivel de resiliencia, a esto el mayor peso corresponde a la población de que no ha tenido obras de mitigación en su localidad y es de 83 % y el menor valor corresponde a la población de que ha tenido obras de mitigación en su localidad 17%.*

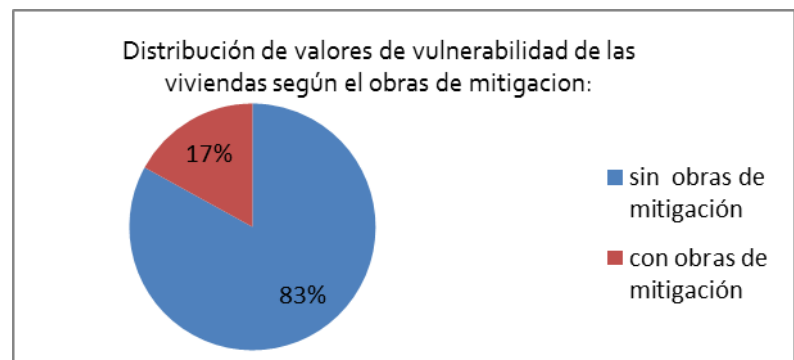


Figura 104. Distribución de valores de vulnerabilidad según el nivel de preparación de sus habitantes.

e) Vulnerabilidad sísmica por Resiliencia

Se realizara la clasificación de las vulnerabilidades en función a la resiliencia teniendo en cuenta las variables desarrolladas anteriormente:

- I. Metodología: Se elaboraran una matriz con el objetivo de encontrar pesos entre los diferentes variables evaluadas con la clasificación AHP. Estas variables serán definidas en niveles de vulnerabilidad por resiliencia como bajo, medio, alto y muy alto.*
- II. Evaluación multicriterio: Se procede a realizar la comparación entre los diferentes tipos de viviendas en Pucusana, según el nivel de Resiliencia de sus habitantes y se establece, entre pares, una comparación donde se determinara cuál de las 2 variables influye más en la vulnerabilidad y luego se determina por cuanto es más importante esta variable sobre la otra (ver escala de Saaty, Tabla 12).*
- III. Matriz de vulnerabilidad por resiliencia: A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad como producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo, el factor económico tiene mayor influencia sobre el factor de obras de mitigación y es calificada como “muy fuertemente más importante”.*

Para el cálculo de pesos por vulnerabilidad se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1, poniendo estos valores en la Matriz 2. Luego se realiza la suma de los valores de las filas de Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que este caso es 2. De esta manera se obtiene los pesos de las variables que componen la vulnerabilidad por resiliencia, para el Balneario de Pucusana, tal como se muestra a continuación:

Matriz 1

	economía	nivel de preparación	conocimientos de sismos	obras de mitigación
economía	1.00	3.00	4.00	5.00
nivel de preparación	0.20	1.00	2.00	0.25
conocimientos de sismos	0.25	0.50	1.00	0.20
obras de mitigación	0.20	0.25	5.00	1.00

Matriz 2

	economía	nivel de preparación	conocimientos de sismos	obras de mitigación
Economía	0.61	0.63	0.33	0.78
nivel de preparación	0.12	0.21	0.17	0.04
conocimientos de sismos	0.15	0.11	0.08	0.03
obras de mitigación	0.12	0.05	0.42	0.16

IV. Resultado: luego del análisis AHP, en la Figura 105 se presenta los valores de vulnerabilidad obtenidos para las viviendas del Balneario de Pucusana. De acuerdo su nivel de resiliencia.

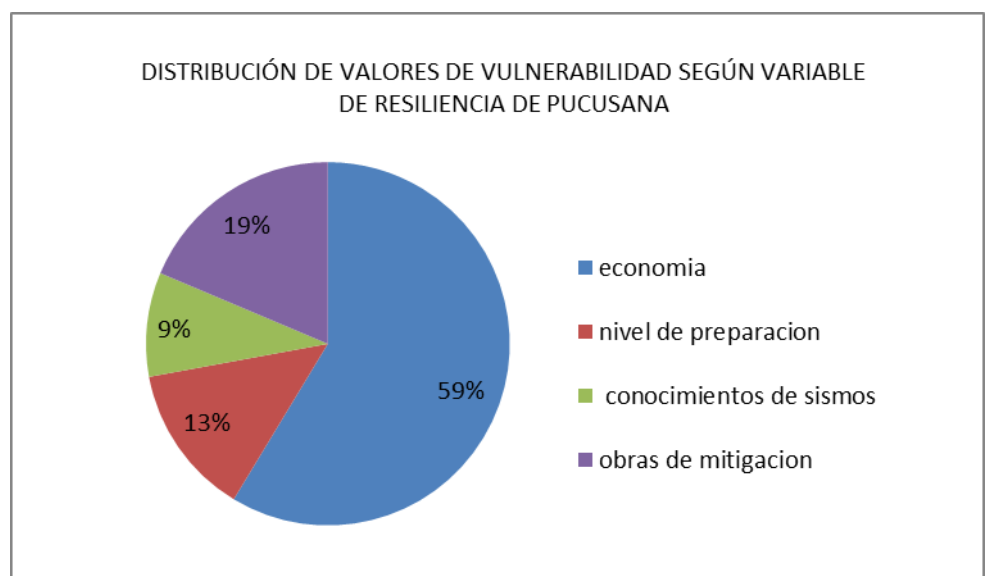


Figura 105. Distribución de valores de vulnerabilidad según el nivel de preparación de sus habitantes.

Como siguiente paso para determinar el grado de vulnerabilidad por resiliencia de los habitantes de Pucusana se propuso la siguiente relación.

$$\text{Vulnerabilidad por exposición} = U_j \times U_i$$

U_j = peso de la característica de la variable

U_i = peso de la variable general

La discriminación entre puntajes permitió establecer los siguientes niveles de vulnerabilidad de acuerdo a la clasificación propuesta por INDECI:

Color	Rango	Nivel
Amarillo	0.000 – 0.41700	Bajo
Naranja	0.472840 – 0.585600	Medio
Rojo	0.585601 – 0.860000	Alto
Violeta	0.860001 – 0.853600	Muy alto

C. Mapa de vulnerabilidad por resiliencia

En la Figura 106 se presenta el mapa de vulnerabilidad por resiliencia de los habitantes del Balneario de Pucusana, de donde se observa que existen 2 zonas bien marcadas de vulnerabilidad alto y bajo, esto debido principalmente a la formación de dos grandes grupos definidos por la capacidad adquisitiva. Los valores bajos de vulnerabilidad corresponden principalmente a la población que vive en la zona donde se establece el comercio de tipo zonal “Av. Lima y Malecón San Martín”, que se encuentra en mejores condiciones económicas para soportar el sismo, estas personas pueden solventar cualquier gasto de presentarse durante la ocurrencia del sismo y solventar la reconstrucción de su vivienda en caso estas lleguen a desplomarse. Los valores de vulnerabilidad alta por resiliencia se deben principalmente a variables como; conocimiento sobre sismos, trabajos de mitigación y nivel de preparación, el cual luego de haberse realizado encuestas en campo se llegó a la conclusión que en materia de resiliencia el Balneario de Pucusana presenta graves problemas de falta de

obras de mitigación, falta de preparación ante sismos y un nivel bajo de conocimientos del poder destructor de un sismo.

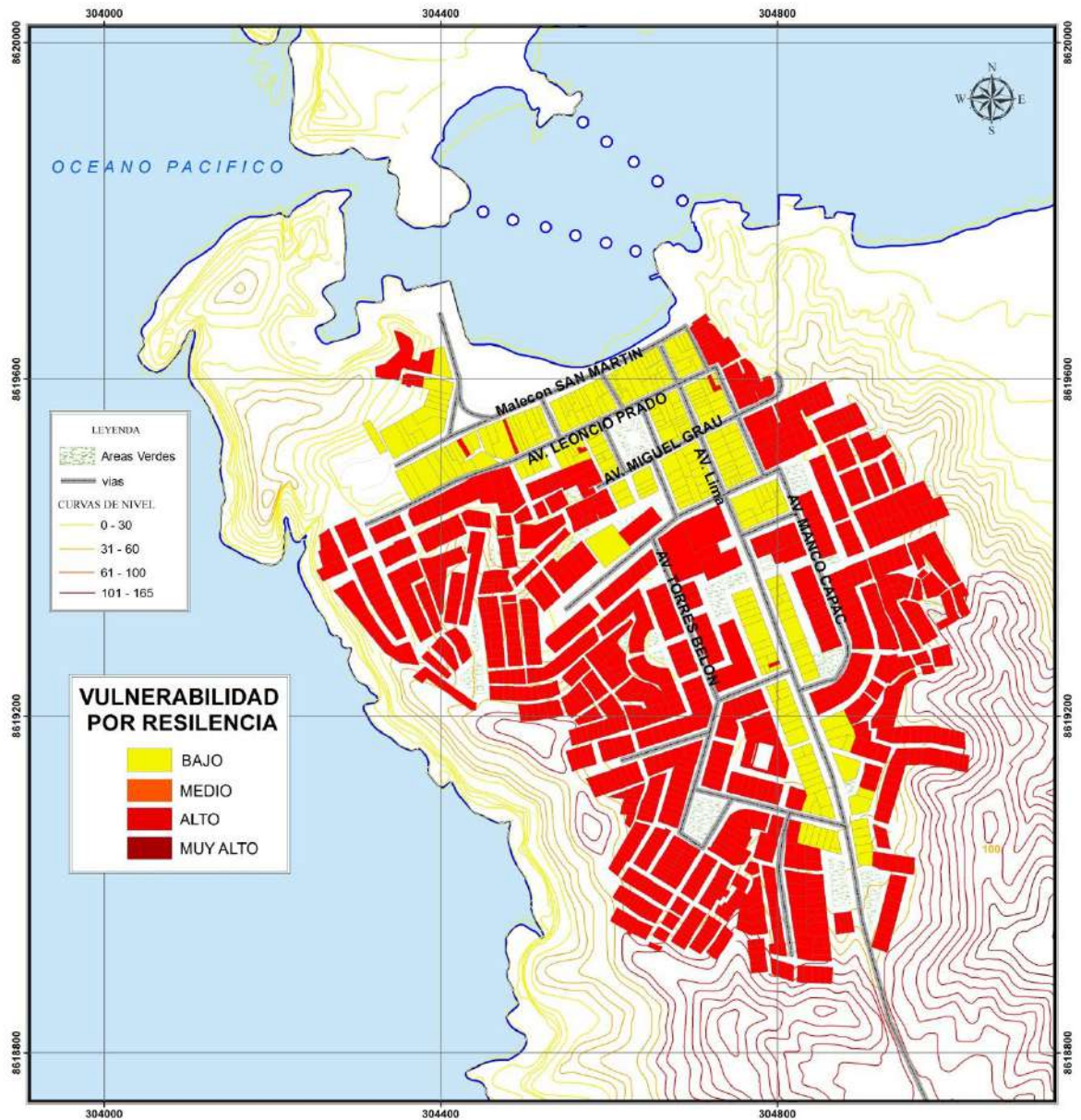


Figura 106. Mapa de vulnerabilidad por resiliencia.

7.4.1 Mapa de vulnerabilidad sísmica

Se realiza la clasificación de la vulnerabilidad total tomando en cuenta los factores como la fragilidad de las construcciones, el nivel de exposición de sus habitantes a peligros antrópicos y el nivel de resiliencia.

- I. *Metodología:* Se elaboraran una matriz con el objetivo de encontrar pesos entre los diferentes factores de vulnerabilidad, los cuales al ser evaluados con la clasificación AHP son definidos en niveles de vulnerabilidad sísmica como bajo, medio, alto y muy alto.
- II. *Evaluación multicriterio:* Se procede a realizar la comparación entre los diferentes tipos viviendas de Pucusana, según el nivel de vulnerabilidad y se establece, entre pares, la comparación para determinar cuál de las 2 variables influye más en la vulnerabilidad y luego se determina por cuanto es más importante esta variable sobre la otra (ver escala de Saaty, Tabla 12).
- III. *Matriz de vulnerabilidad por resiliencia:* A cada uno de los campos de la Matriz 1 se le asigna un valor de vulnerabilidad como producto del análisis entre variables de la siguiente manera. Por ejemplo, el factor económico tiene una influencia sobre el factor de obras de mitigación y es calificada como “muy fuertemente más importante”.

Para el cálculo de pesos por vulnerabilidad se realiza la suma de los valores de cada variable por columnas en la Matriz 1 y luego se divide este valor entre cada uno de los valores de la Matriz 1, poniendo estos valores en la Matriz 2. Luego se realiza la suma de los valores de las filas de Matriz 2 y se dividen entre el número de variables, que este caso es 2. De esta manera se obtiene los pesos de las variables que componen la vulnerabilidad por resiliencia, para el Balneario de Pucusana, tal como se muestra a continuación:

Matriz 1

	fragilidad	exposición	resiliencia
fragilidad	1.00	5.00	7.00
exposición	0.20	1.00	4.00
resiliencia	0.14	0.25	1.00

Matriz 2

	fragilidad	exposición	resiliencia
fragilidad	0.74	0.80	0.58
exposición	0.15	0.16	0.33
resiliencia	0.11	0.04	0.08

- IV. *Resultado: luego del análisis AHP, en la Figura 107 se presenta los valores de vulnerabilidad para las viviendas del Balneario de Pucusana, donde podemos mencionar que la variable de mayor peso es la vulnerabilidad por fragilidad con 71%, esto debido a lo observado en sismos anteriores, donde la fragilidad de las construcciones tuvieron mayor influencia en la composición del escenario de sismos tales como los ocurridos el terremotos de (Pisco 2007) (Arequipa 2001) (chile 2010) (Haití 2010), la segunda variables en importancia en la composición del riesgo es la vulnerabilidad por exposición con un 21 % esta importancia es debido a la gran cantidad de peligros antrópicos presentes en el Balneario y por último la vulnerabilidad por resiliencia con un 8%, donde se evidencio grandes problemas de falta de preparación y obras de mitigación.*

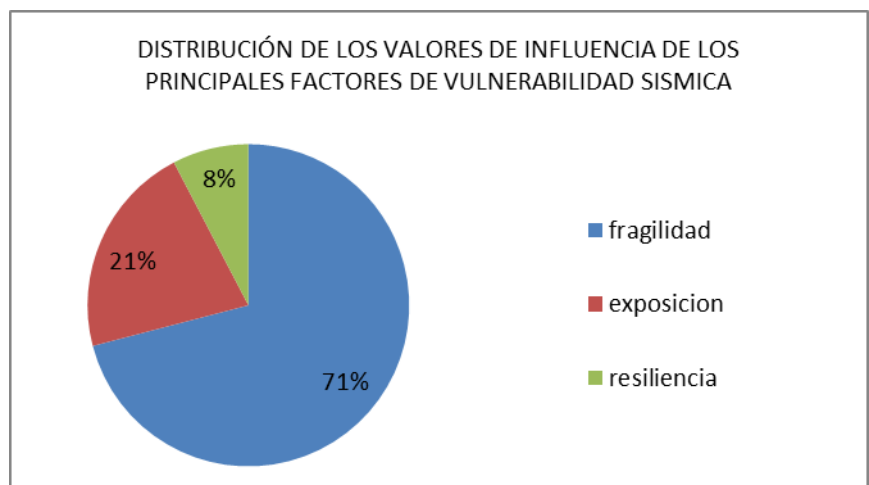


Figura 107. Valores de vulnerabilidad para Pucusana.

Como siguiente paso para determinar el grado de vulnerabilidad sísmica de Pucusana se propuso la siguiente relación.

$$\text{Vulnerabilidad sísmica} = U_j \times U_i$$

U_j = peso del factores de vulnerabilidad

U_i = peso de la variable general de vulnerabilidad

La aplicación de la relación permitió discriminar entre niveles de vulnerabilidad y los resultados se muestran a continuación.

Color	Rango	Nivel
Amarillo	0.033360 – 0.098318	Bajo
Naranja	0.098319 – 0.199513	Medio
Rojo	0.199514 – 0.274715	Alto
Violeta	0.274716 – 0.398722	Muy alto

D. Mapa de vulnerabilidad sísmica

En la Figura 108, se observa el mapa de vulnerabilidad sísmica del Balneario de Pucusana, como resultado de la suma de los mapas de vulnerabilidad por fragilidad, exposición y resiliencia desarrollados anteriormente.

El mapa obtenido mapa presenta hasta 5 zonas con viviendas de niveles similares de vulnerabilidad. De estas se destaca que las zonas 1 y 2 tienen construcciones con vulnerabilidades que van desde bajo a muy alto, esto debido a la gran cantidad de construcciones antiguas, esta zona es la más importante debido a que en ella se desarrolla casi todo el comercio zonal, principalmente las construcciones emblemáticas como el hotel Salón Blanco. La zona 3 se encuentra en el centro del Balneario, aquí se concentran mercados, comisaria, la posta y un colegio. La zona 4 mucho más alejada, es una zona de alta pendiente y carente de servicios de saneamiento básico. La zona 5 se encuentra en una zona de uso inadecuado del suelo debido a que sus altas pendientes las hacen vulnerables.

En la Figura 108, se muestra una comparación de la población con el nivel de vulnerabilidad y se concluye, que de existir un sismo de gran magnitud, aproximadamente 301 personas se encontrarían en zona de vulnerabilidad muy alta. En estas zonas se debe trabajar el factor resiliencia.

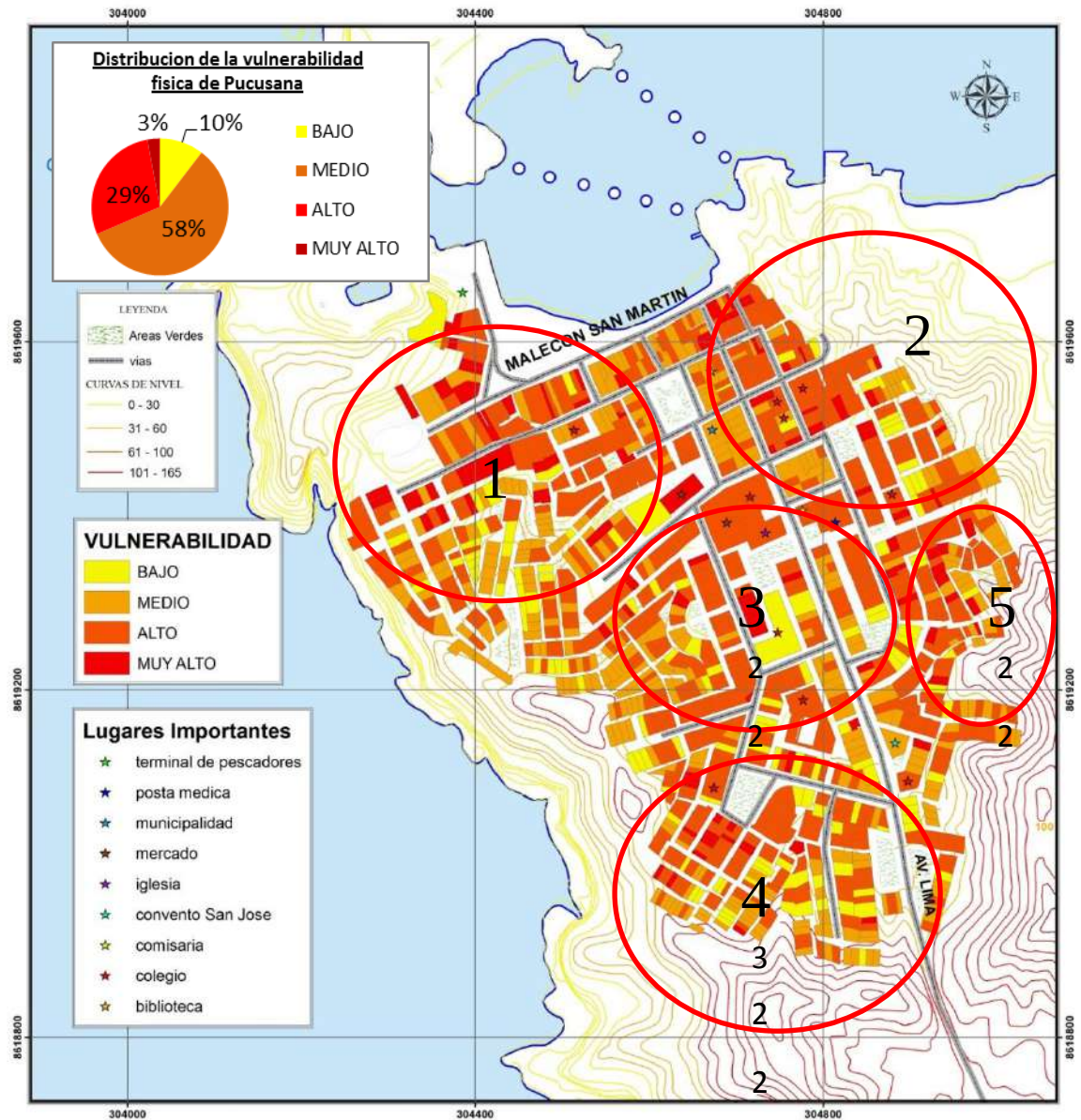


Figura 108. Mapa de vulnerabilidad sísmica para Pucusana.

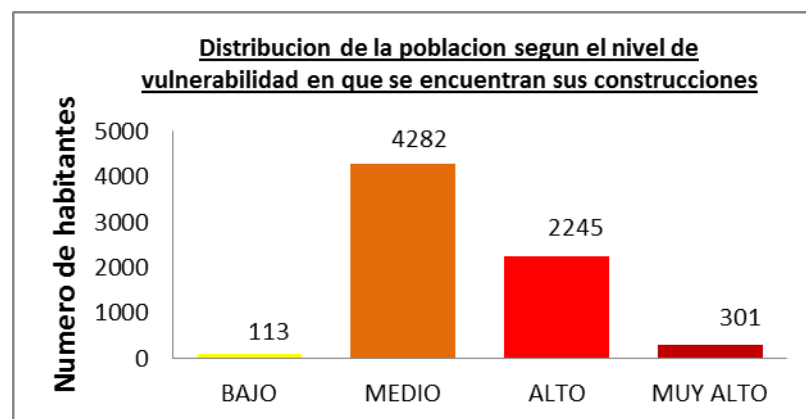


Figura 109. Distribución poblacional según el nivel de vulnerabilidad en que se encuentran sus construcciones.

7.5 Cálculo del riesgo

Según el INDECI, para el cálculo del riesgo se debe usar una matriz donde se pueda correlacionar las variables de peligro y vulnerabilidad a fin de llegar a un escenario común donde se pueda evaluar los daños.

El criterio analítico, llamado también matemático, se basa fundamentalmente en la aplicación o el uso de la relación siguiente:

$$R = P \times V$$

El criterio descriptivo, se basa en el uso de una matriz de doble entrada: “Matriz de Peligro y Vulnerabilidad” y para tal efecto, se requiere que previamente se haya determinado los niveles de probabilidad de ocurrencia del peligro identificado y del análisis de vulnerabilidad, respectivamente. Con ambos porcentajes, se interrelaciona, por un lado (vertical) el valor y nivel estimado del peligro y por otro (horizontal) el nivel de vulnerabilidad promedio determinado en el cuadro siguiente.

Matriz de riesgo sísmico en función a sus niveles de peligro
y vulnerabilidad

Peligro muy alto	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo muy alto	Riesgo muy alto
Peligro alto	Riesgo medio	Riesgo medio	Riesgo Alto	Riesgo muy alto
Peligro medio	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo medio	Riesgo Alto
Peligro bajo	Riesgo bajo	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo Alto
	Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Alta	Vulnerabilidad Muy Alta

Con intersección de los valores peligro y vulnerabilidad se podrá estimar el nivel de riesgo esperado.

Por otro lado, una vez disponible la información sobre la vulnerabilidad y el peligro de cada lote, es necesario compáralos en una matriz de doble entrada para realizar el cálculo del riesgo de desastre en el Balneario de Pucusana.

E. Mapa de riesgo de desastre en función a sus niveles de peligro y vulnerabilidad

En la Figura 110, se presenta el mapa de riesgo de desastre para el Balneario de Pucusana, complementado a partir los mapas de vulnerabilidad y peligro, obtenidos en este estudio usando la metodología propuesta por INDECI.

En el mapa de la Figura 110 se ha podido zonificar el riesgo en cuatro zonas importantes, La primera es la más cercana al Malecón San Martín donde se concentran viviendas de mayor riesgo con valores de bajo a muy alto debido al peligro de inundación por tsunami y a la vulnerabilidad de sus viviendas por antigüedad, tipo de material de construcción "adobe" y el número de pisos de algunas de sus construcciones.

Una segunda zona que abarca mayor espacio, se encuentra en casi toda la parte céntrica del distrito, en ella se observa valores de bajo a alto riesgo, siendo esta zona muy importante debido a en este lugar se encuentran las construcciones como mercados, la comisaria, la posta medica y la municipalidad.

En la tercera y cuarta zona se observan valores de bajo a alto riesgo, esto debido a las caracterizas de las construcciones de esta zona que en su mayoría son de material muy frágil como casas prefabricadas ubicadas en zonas de gran pendiente. Esta condición obliga al poblador a construir bases de piedra, llamadas "pirca" las cuales son susceptibles a deslizamientos en caso de sismo de gran magnitud.

En general se puede proponer la existencia de 19 lotes en riesgo muy alto, los cuales necesitan mayor evaluación de su vulnerabilidad mediante métodos teóricos, en especial geofísicos, que determinen su comportamiento en caso de haber un sismo de gran magnitud.

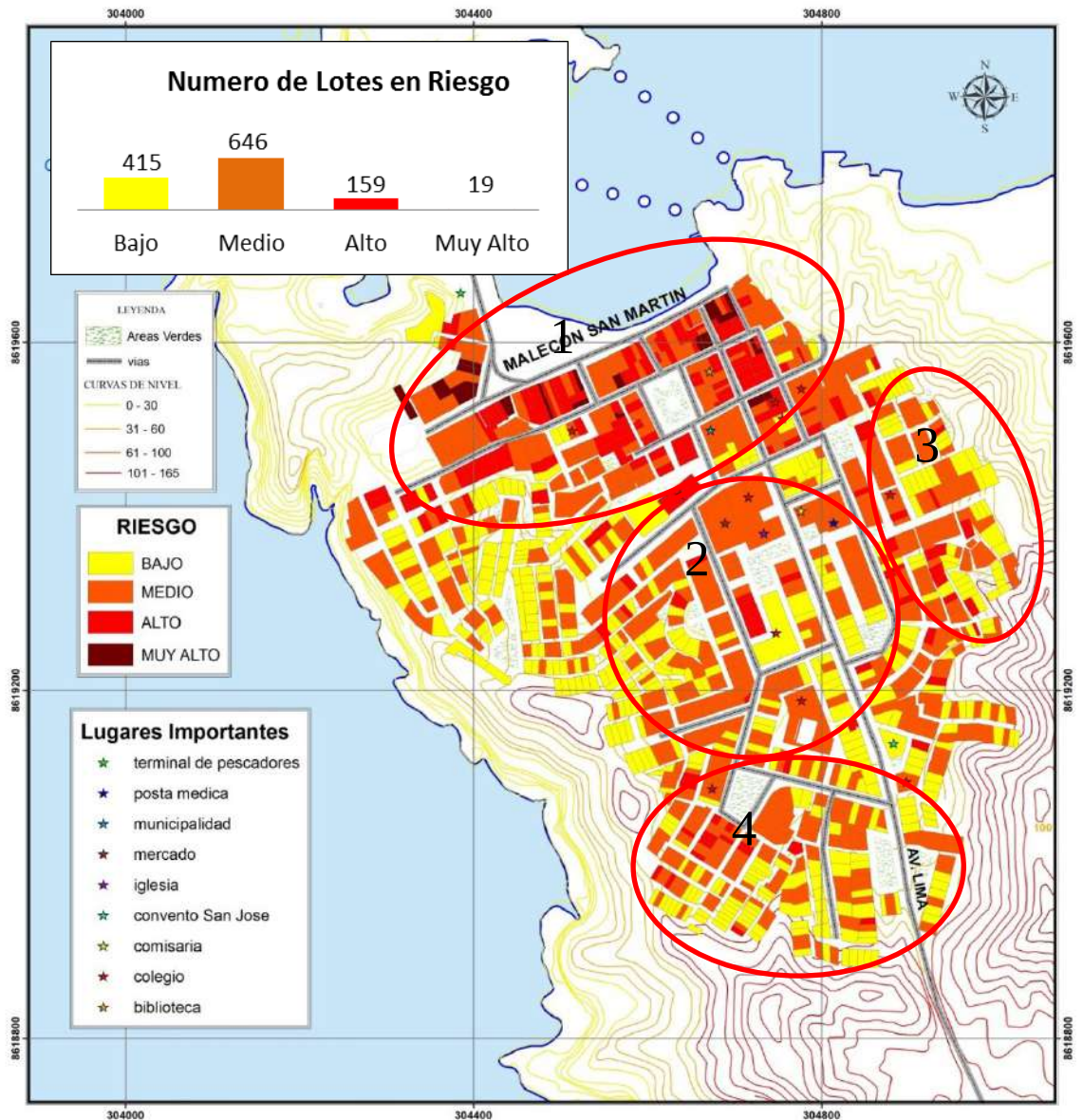


Figura 110. Mapa de Riesgo de desastre en función al tipo de suelo y área de inundación por tsunami para Pucusana.

En la Tabla N° 10, se observan los resultados finales del estudio, en donde se destaca la gran cantidad de habitantes en riesgo alto y muy alto, las cuales deberían recibir atención de las autoridades gestionadoras del riesgo.

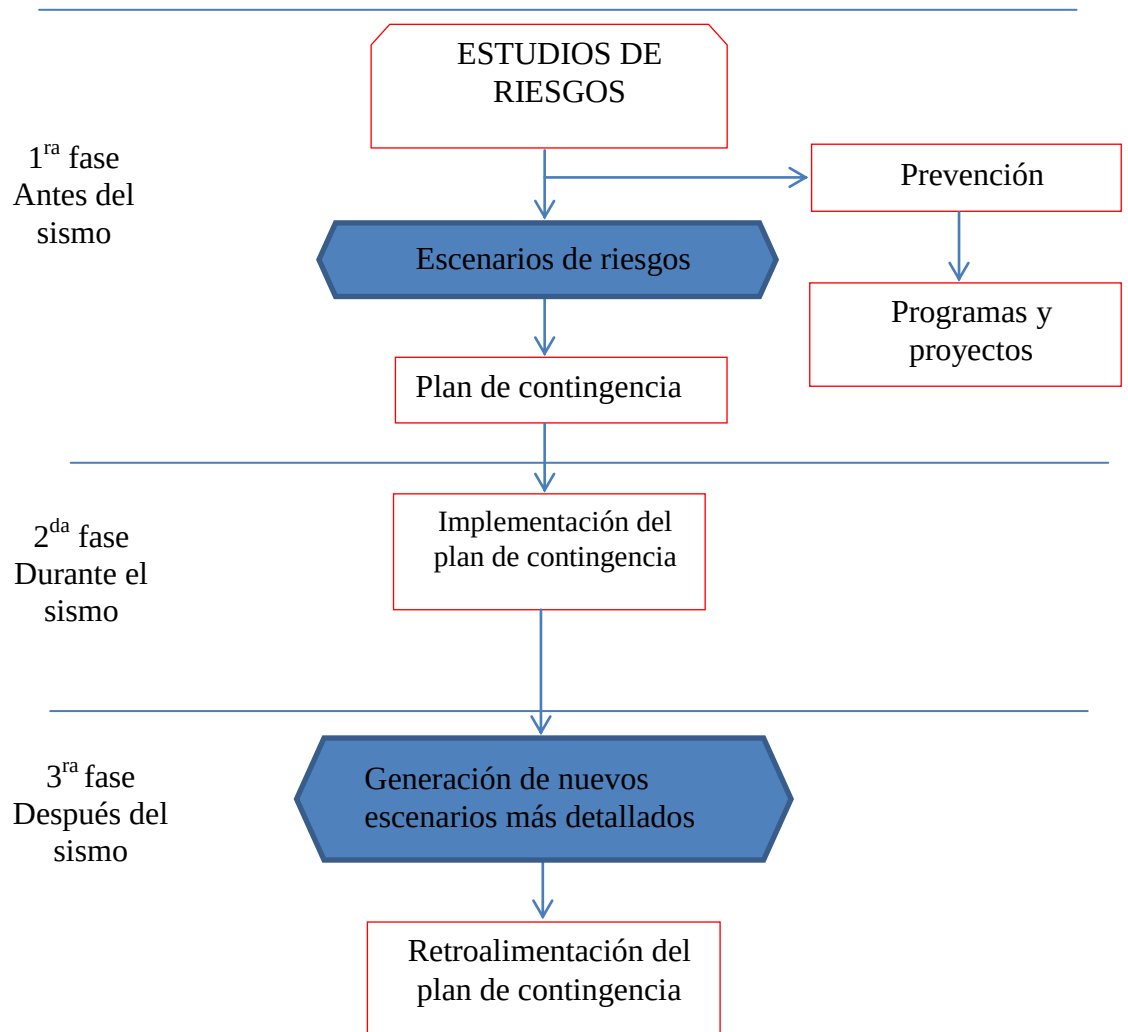
Tabla N° 10, Resultados finales del estudio.

NIVEL DE RIESGO	N° LOTES	N° HABITANTES	ÁREA EN RIESGO m ²	POBLACIÓN %
BAJO	415	1673	78454.8496	24
MEDIO	646	4019	127816.439	58
ALTO	159	1095	28646.18654	16
MUY ALTO	19	154	3951.828468	2
total	1239	6941	238869.3036	1000

CAPITULO VIII

Escenarios de riesgo de sismo y tsunami en Pucusana

Luego de haber realizado los cálculos de peligro y vulnerabilidad para el Balneario de Pucusana se pueden proponer diferentes escenarios de daños por sismo en base a la información obtenida en los capítulos anteriores. En total se proponen 10 escenarios de riesgo, sobre los cuales se obtendrá información importante para realizar una buena gestión y reducir la vulnerabilidad de la población. A continuación se desarrolla un modelo de gestión del riesgo, donde se muestra la importancia de los escenarios propuestos en este estudio:



Fase 1: En la primera fase se canaliza toda la información posible y se traducen en estudios de riesgos y en donde juegan un papel muy importante los escenarios. Al ser aproximaciones de posibles eventos futuros, con las cuales se deben optar por soluciones que se transformen en mejoras. El mapeo de la vulnerabilidad es de gran importancia debido a que estos son los únicos elementos trabajables, al ser los eventos naturales totalmente difíciles de predecir, estimar su grado de daño, etc. De esta manera, se toman estos estudios como las bases para la formulación de proyectos de prevención orientados a un plan de contingencia.

Fase 2: En la segunda fase, una vez ocurrido el sismo se debe ejecutar el plan de contingencia como un instrumento técnico normativo de gran importancia.

Fase3: En esta etapa se debe realizar el inventario de los principales errores del plan de contingencias. A fin de realizar un nuevo escenario con mayor detalle y con mejores opciones de prevención.

8.1 Primer escenario

En la Figura 111, se observa el mapa de riesgo de desastre en función a la vulnerabilidad por fragilidad (Cardona, 2001) y al peligro sísmico, mediante la metodología de cálculo propuesta por INDECI. De este mapa se puede concluir que en caso de ocurrir de un sismo de gran magnitud se tendría aproximadamente 13 viviendas en zona de riesgo muy alto, todas en el Malecón San Martín, esto debido a la cantidad de construcciones de gran antigüedad y altura. El denominado Centro Histórico debe ser examinado por especialistas en vulnerabilidad, ya que en caso de sismo de gran magnitud se vería seriamente afectado, siendo uno de las zonas más importantes del distrito debido al turismo y la pesca que se genera en este lugar. Luego se observa en la parte central del Balneario un grupo de construcciones con grado de riesgo medio, debido principalmente a las malas prácticas construcción como el uso de alero, altura de las construcciones, etc. Un sector de las viviendas que se encuentran en el área de alta pendiente se encuentran en riesgo medio debido a la vulnerabilidad generada por las malas prácticas de construcción en los cerros.

Los resultado de la comparación entre la vulnerabilidad por fragilidad y el peligro sísmico se observan en la Tabla N° 11. Se destaca la existencia de 13 viviendas en riesgo muy alto con aproximadamente 104 personas, estas deberían recibir adecuado tratamiento para soportar un sismo de gran magnitud, 96 viviendas con aproximadamente 677 personas en riesgo alto y para los cuales se deberían aplicarse programas de prevención. En la Figura 114 se observa que el 12 % de la población del Balneario, se encuentra en riesgo alto y muy alto.

Tabla N° 11; Resultados de la comparación entre la vulnerabilidad por fragilidad y el peligro sísmico.

NIVEL DE RIESGO	N° LOTES	N° HABITANTES	Área vulnerable m ²	% de la población	% Área ocupada
BAJO	415	1673	78454.8496	24	33
MEDIO	646	4019	127816.439	58	53
ALTO	159	1095	28646.18654	16	12
MUY ALTO	19	154	3951.828468	2	2
total	1239	6941	238869.3036	100	100

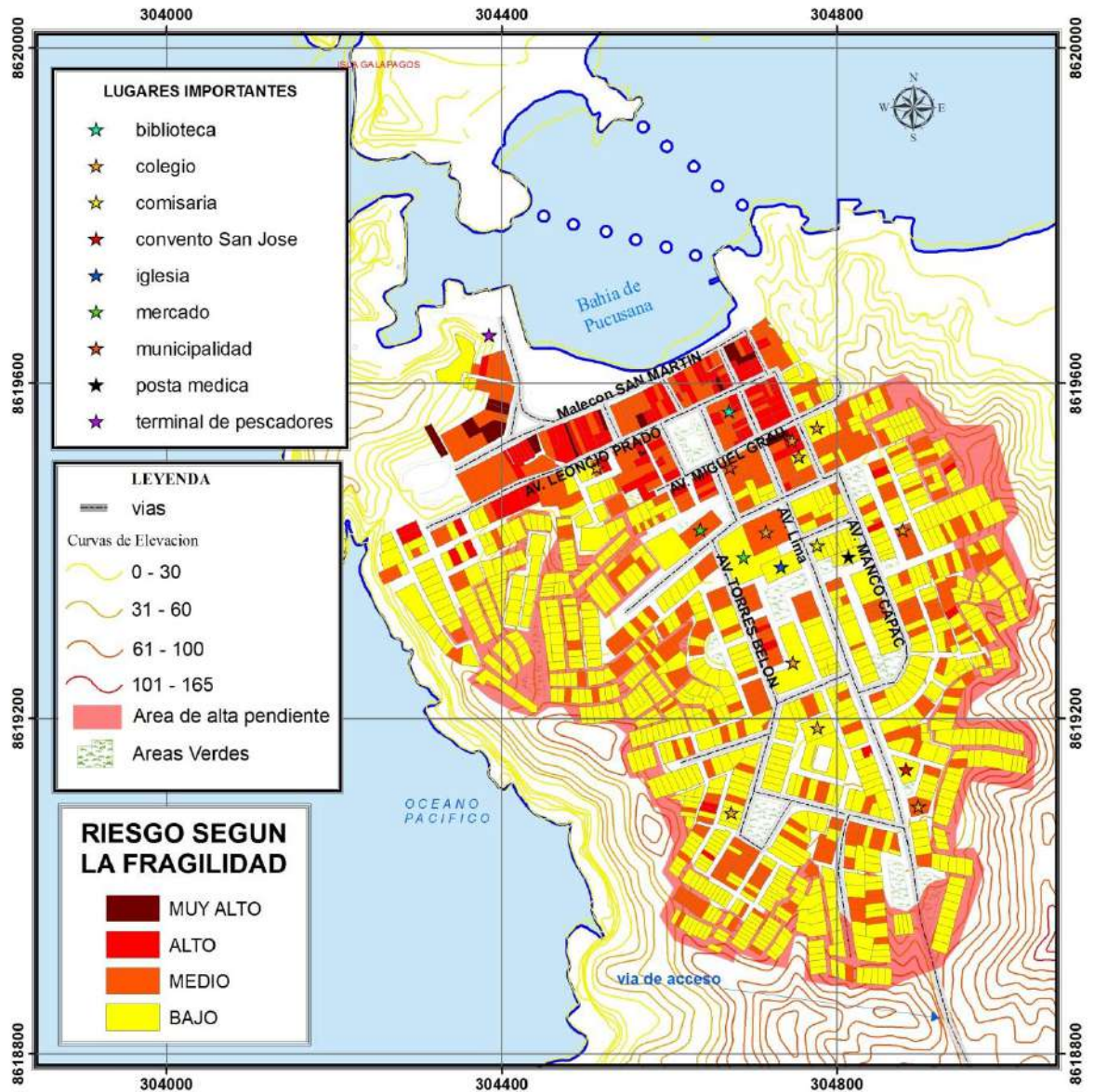


Figura 111. Mapa de Riesgo físico de las construcciones.

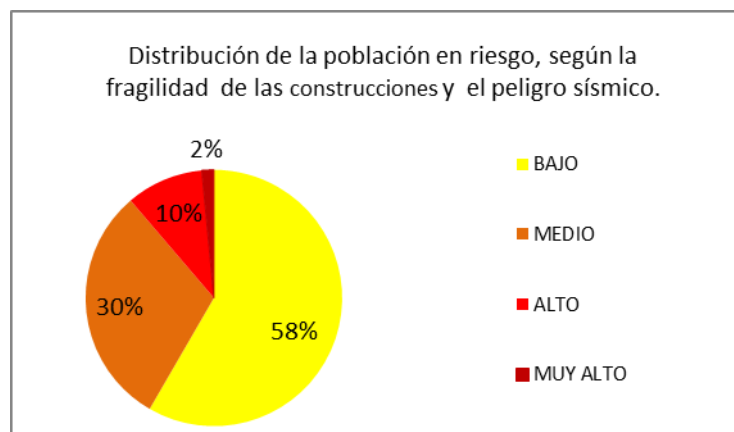


Figura 112. Distribución de la población en riesgo, según la fragilidad de las construcciones y peligro sísmico.

8.2 Segundo escenario:

En la Figura 113, se observa el mapa de riesgo de desastre en función a la vulnerabilidad por exposición (Cardona, 2001) y al peligro sísmico mediante la metodología propuesta por INDECI. Este mapa muestra que en el caso de ocurrir un sismo de gran magnitud la zonas más afectadas serán el Malecón San Martín, la Av. Leoncio Prado, la Av. Miguel Grau y la Av. Torres Belón, debido a que en esta zona se concentra todo el comercio del Balneario, además de puestos de venta de gas, ferreterías, etc. Se deben realizar trabajos de prevención en estas avenidas para reducir los efectos de un sismo de gran magnitud. Entre las principales construcciones en riesgo son la Biblioteca, la Municipalidad, el terminal de pescadores, los dos mercados y la posta médica).

Estadísticamente (Tabla 12), se observa que existen 19 construcciones que se encuentran en riesgo alto con aproximadamente 135 personas, debido a conjunción de diferentes variables de peligro antrópico como, grifos, puesto de venta de gas, etc. Otras 117 construcciones en riesgo alto, en su mayoría muy cerca al Malecón San Martín y que deben tomar las medidas adecuadas para prevenir la ocurrencia de incendios, explosiones o desplomes de objetos pesados. En la Figura 114 se observa que el 12 % de la población del balneario se encuentra en vulnerabilidad alta y muy alta.

NIVEL DE RIESGO	N° LOTES	N° HABITANTES	Area vulnerable m ²	% población	% Área ocupada
BAJO	847	4552	157839.35	66	65
MEDIO	256	1574	53169.71212	22	23
ALTO	117	680	23954.12503	10	10
MUY ALTO	19	135	3906.121054	2	2
total	1239	6941	238869.3082	100	100

Tabla N° 12; Resultados de la comparación entre la vulnerabilidad por exposición y el peligro sísmico.

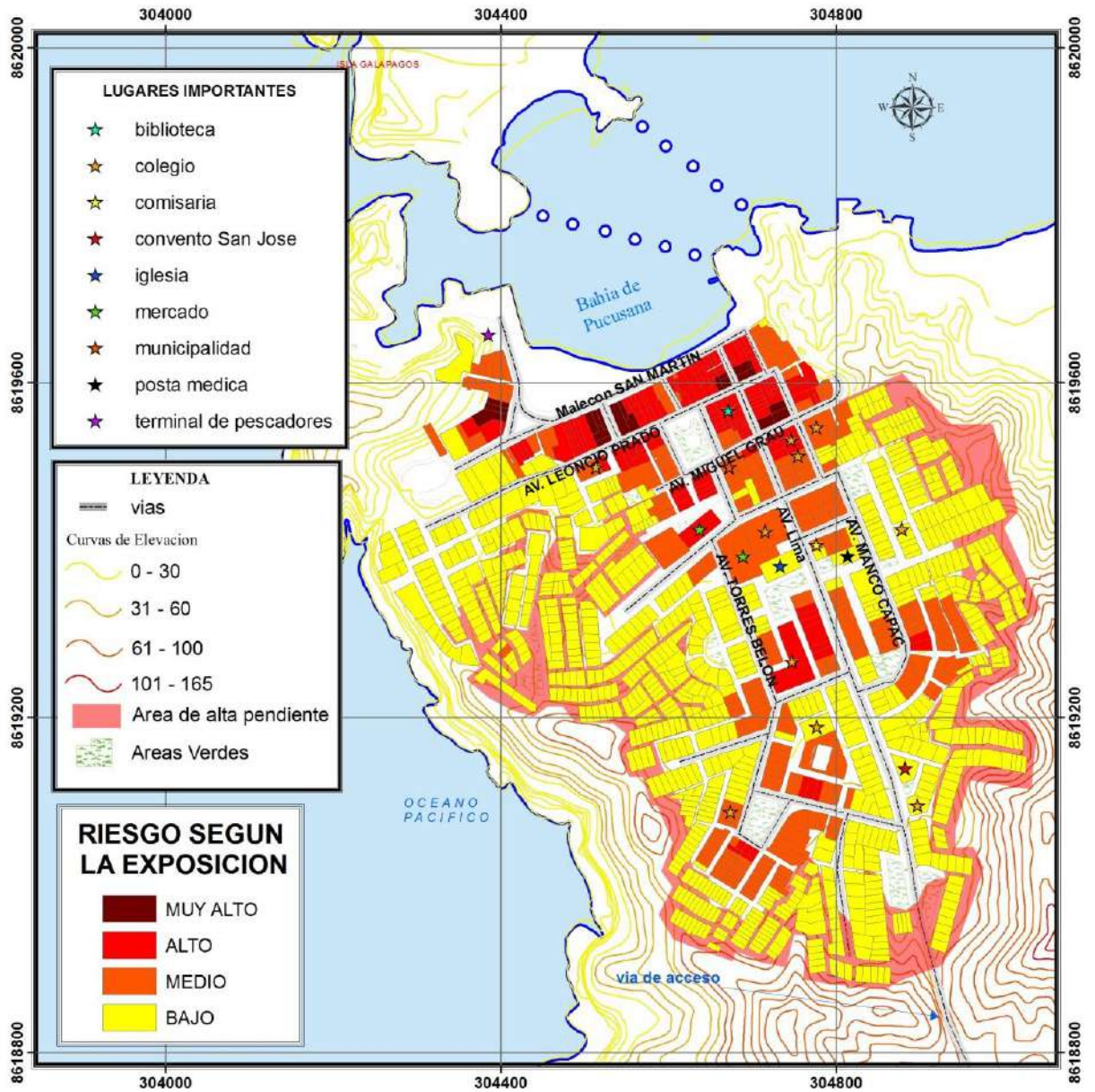


Figura 113. Mapa de Riesgo por exposición de las construcciones.

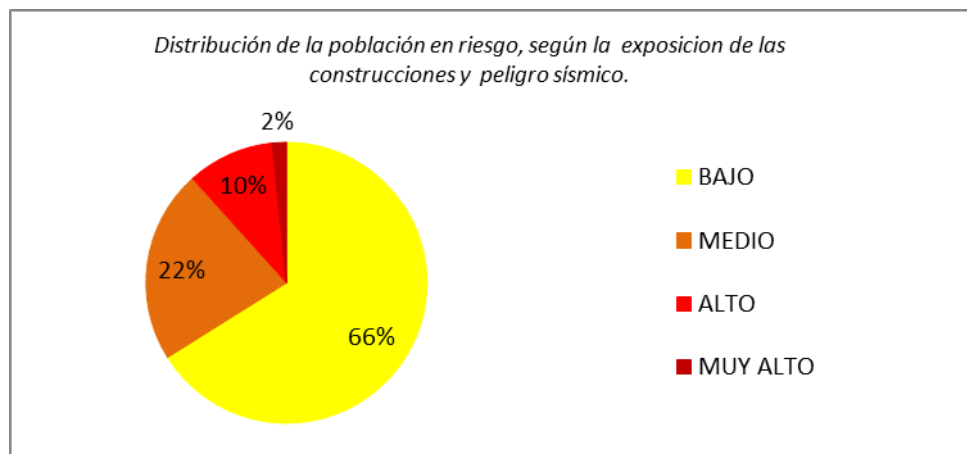


Figura 114. Distribución de la población en riesgo, según la exposición de las construcciones y peligro sísmico.

8.3 Tercer escenario:

En la Figura 115, se presenta el mapa de riesgo de desastre en función de la vulnerabilidad por resiliencia (Cardona, 2001) y al peligro compuesto de la conjunción de los mapas de tipo de suelo y área de inundación por tsunami, según la metodología propuesta por INDECI. Este mapa muestra que en caso de la ocurrencia de un sismo de gran magnitud se tendría un total de 10 viviendas en zona de riesgo muy alto con aproximadamente 59 habitantes que al no contar con preparación en caso de sismo y encontrarse en una zona que no es comercial y presentar un bajo nivel de preparación ante sismos son más vulnerables. Esta población debe practicar simulacros y programas de educación para prevenir un desastre mayor

Estadísticamente (Tabla 13), se observa que 1129 lotes se encuentran en zona de riesgo medio, lo cual demuestra la falta de capacidades de las personas a sobrellevar un evento adverso como son los sismos. En el Balneario de Pucusana es necesario realizar programas de educación, simulacros, mitigación y prevención, de manera intensiva, ya que de todas las variables de vulnerabilidad, la resiliencia es la más fácil de trabajar y de esta manera disminuir la vulnerabilidad del Balneario. En la Figura 116 se observa que el 93% de la población de Pucusana se encuentran en vulnerabilidad media y alta.

Tabla N° 13; Resultados de la comparación entre la vulnerabilidad por resiliencia y el peligro sísmico.

NIVEL DE RIESGO	N° LOTES	N° HABITANTES	Área vulnerable m ²	% población	% Área ocupada
BAJO	100	522	22286.06	7	9
MEDIO	1129	6360	214633.8362	92	90
ALTO	10	59	1949.410036	1	1
MUY ALTO	0	0	0	0	0
total	1239	6941	238869.3062	100	100

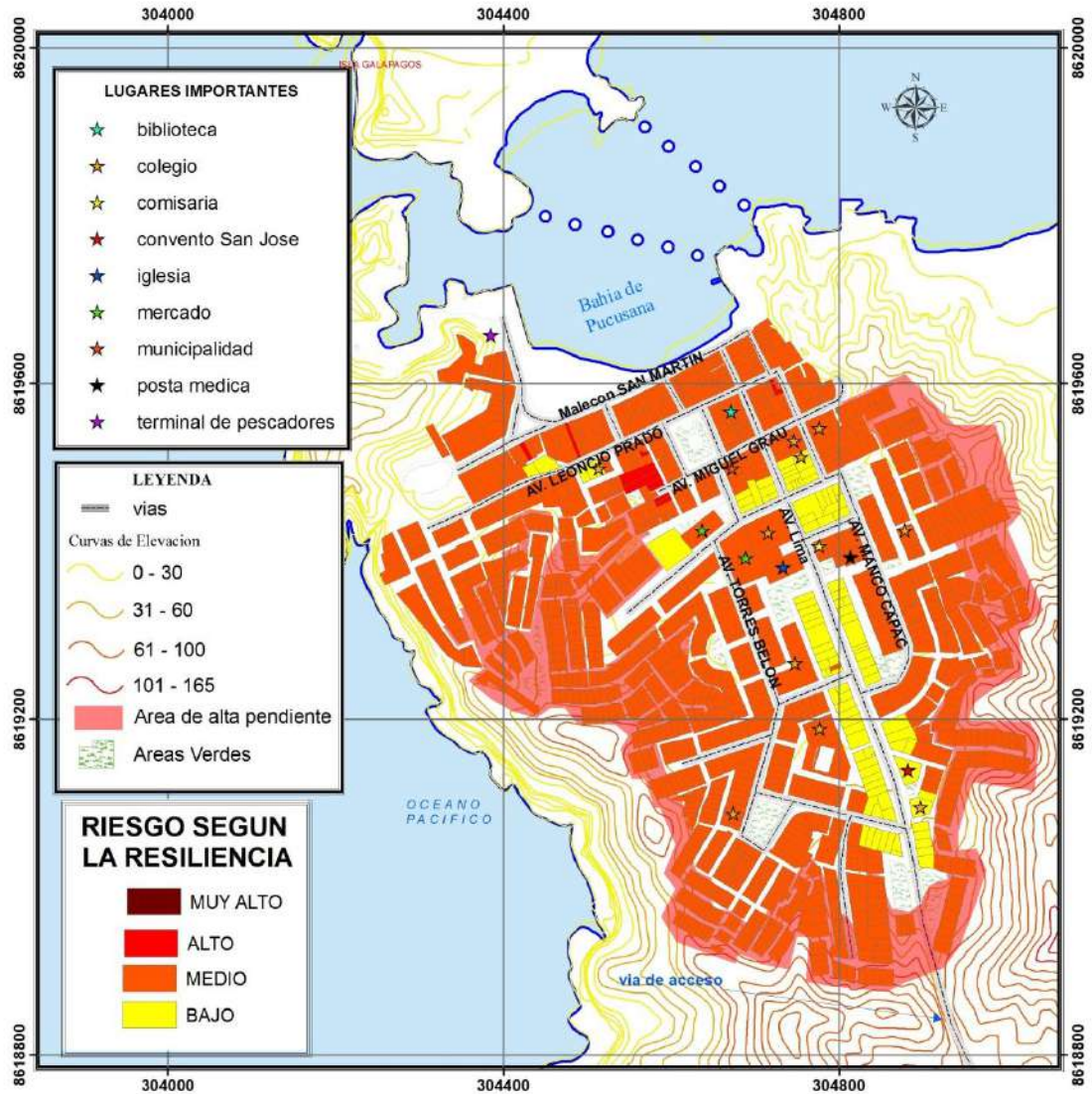


Figura 115. Mapa de Riesgo por resiliencia de las personas.

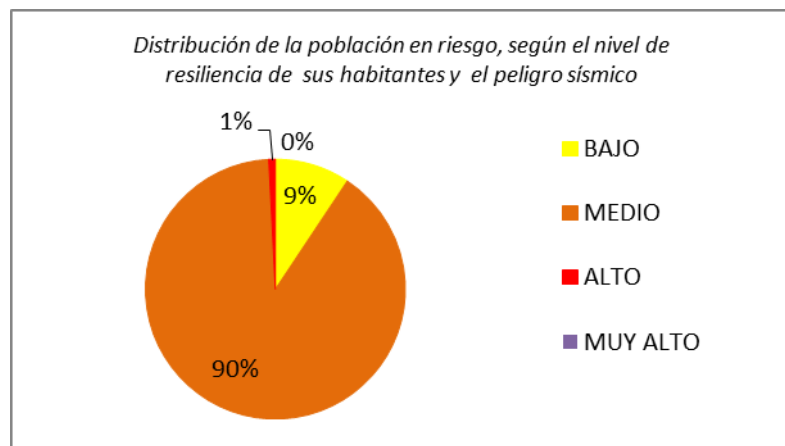


Figura 116. Distribución de la población en riesgo, según el nivel de resiliencia de sus habitantes y el peligro sísmico

8.4 Cuarto escenario:

En la Figura 117, se observa el mapa de accesibilidad a una zona segura y muestra la comparación de las viviendas de Pucusana en cuanto a su número de pisos. Se considera que las personas que habitan las viviendas de 1 piso tienen mayor tiempo para evacuar sus viviendas, y esto hace a las personas menos vulnerables que las que viven en construcciones de más de 2 pisos. Este mapa muestra que en caso de la ocurrencia de un sismo de gran magnitud, se tiene un total de 714 viviendas de 1 piso, de estas 58 se encuentran en zona de muy alto peligro, estas personas tendrán un fácil acceso a la calle y sufrirán menores daños físicos que las personas que viven en casas de más de 2 pisos y en zonas de peligro alto y muy alto. Asimismo 656 viviendas de 1 piso se encuentran en zona de peligro bajo debido a la estabilidad del suelo y la lejanía a la zona de inundación por tsunami, estas son menos vulnerables.

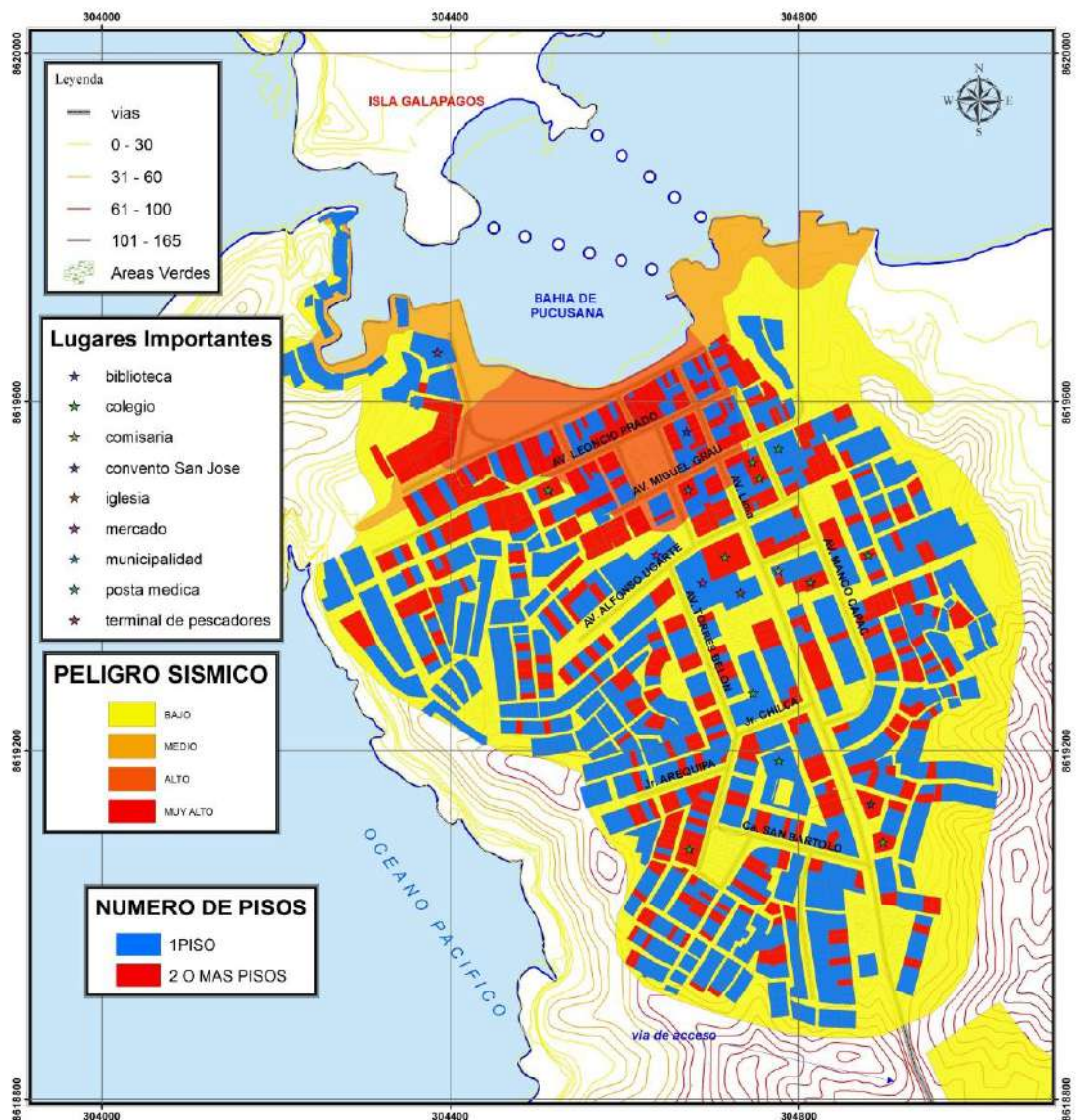


Figura 117. Mapa de accesibilidad a una zona segura.

8.5 Quinto escenario:

En la Figura 118 se presenta el escenario con las zonas de peligro debido a construcciones hechas de adobe. En ella misma se observa la existencia de 20 viviendas construidas de este tipo. De estas, 7 se encuentran en zona de peligro alto y muy alto, y según registro de sismos anteriores como el de Pisco (2007) y Arequipa (2011), gran parte de estas viviendas de adobe no soportaron la intensidad alcanzada por el sismo (VI, MM), este tipo de estas construcciones tienen alta probabilidad de derrumbe y fueron prohibidas en la Ciudad de Lima luego de los sismo de 1940, 1970 y 1974 donde hubo grandes pérdidas materiales e inmateriales. Sin embargo, se debe indicar que en la actualidad la Universidad Católica del Perú ha desarrollado técnicas adecuadas para la construcción de adobe, permitiendo dar mayor tiempo previo al posible colapso, lo suficiente como para salir fuera de las viviendas.

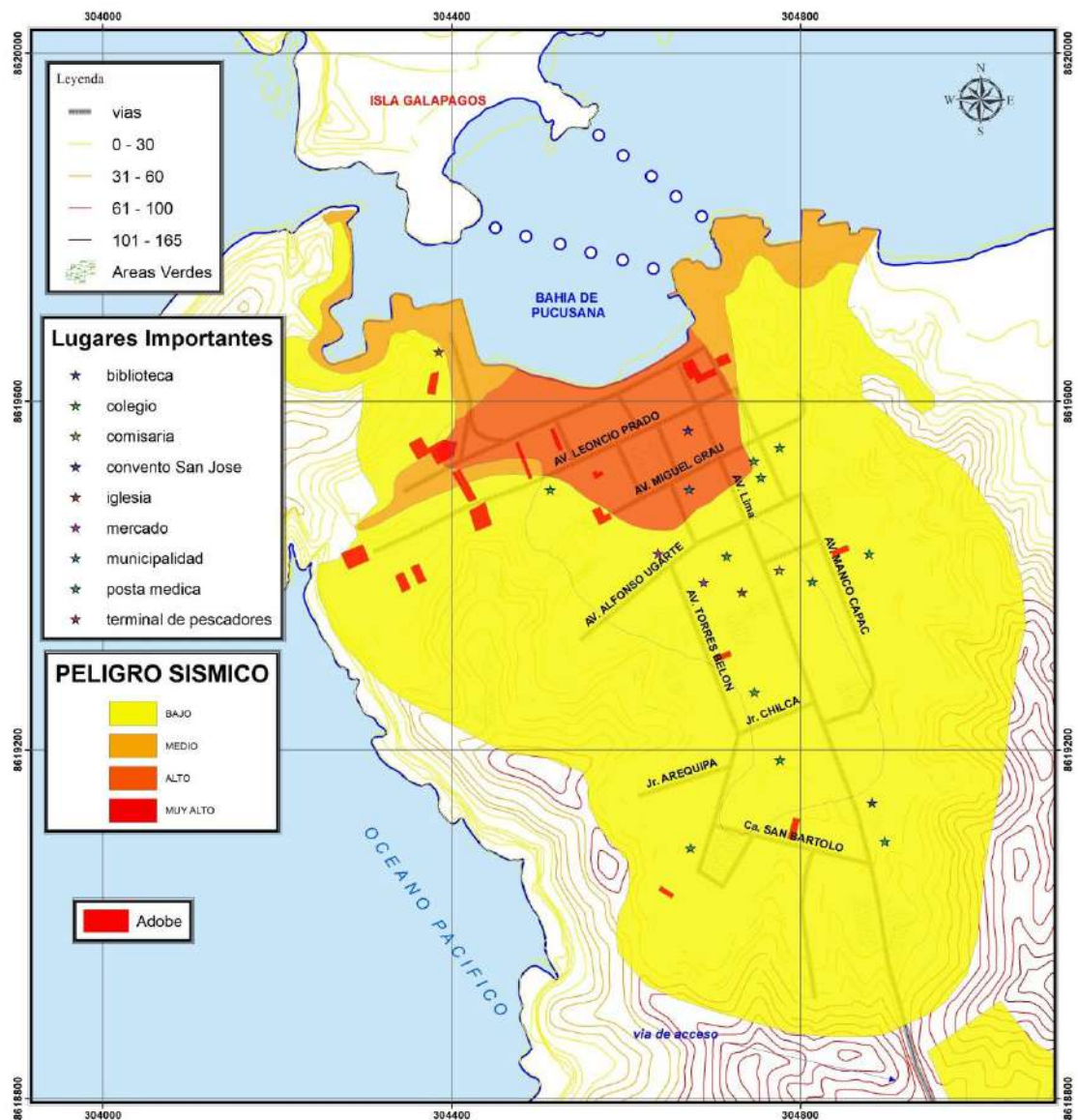


Figura 118. Mapa de comparación entre, suelo, tsunami y casas de adobe.

8.6 Sexto escenario:

En la Figura 119, se presenta la distribución de los peligros antrópicos sobre el mapa de peligros naturales. Se observa que 5 puestos de venta de gas están en zona de peligro alto y esto podría perjudicar a las personas que habitan estas viviendas ya que existe la posibilidad de producirse, incendios y explosiones. El círculo indica la ubicación del área más crítica ya que es la parte céntrica donde se encuentra los mercados, comisaria, posta médica; además de existir un mercado, una antena y un grifo.

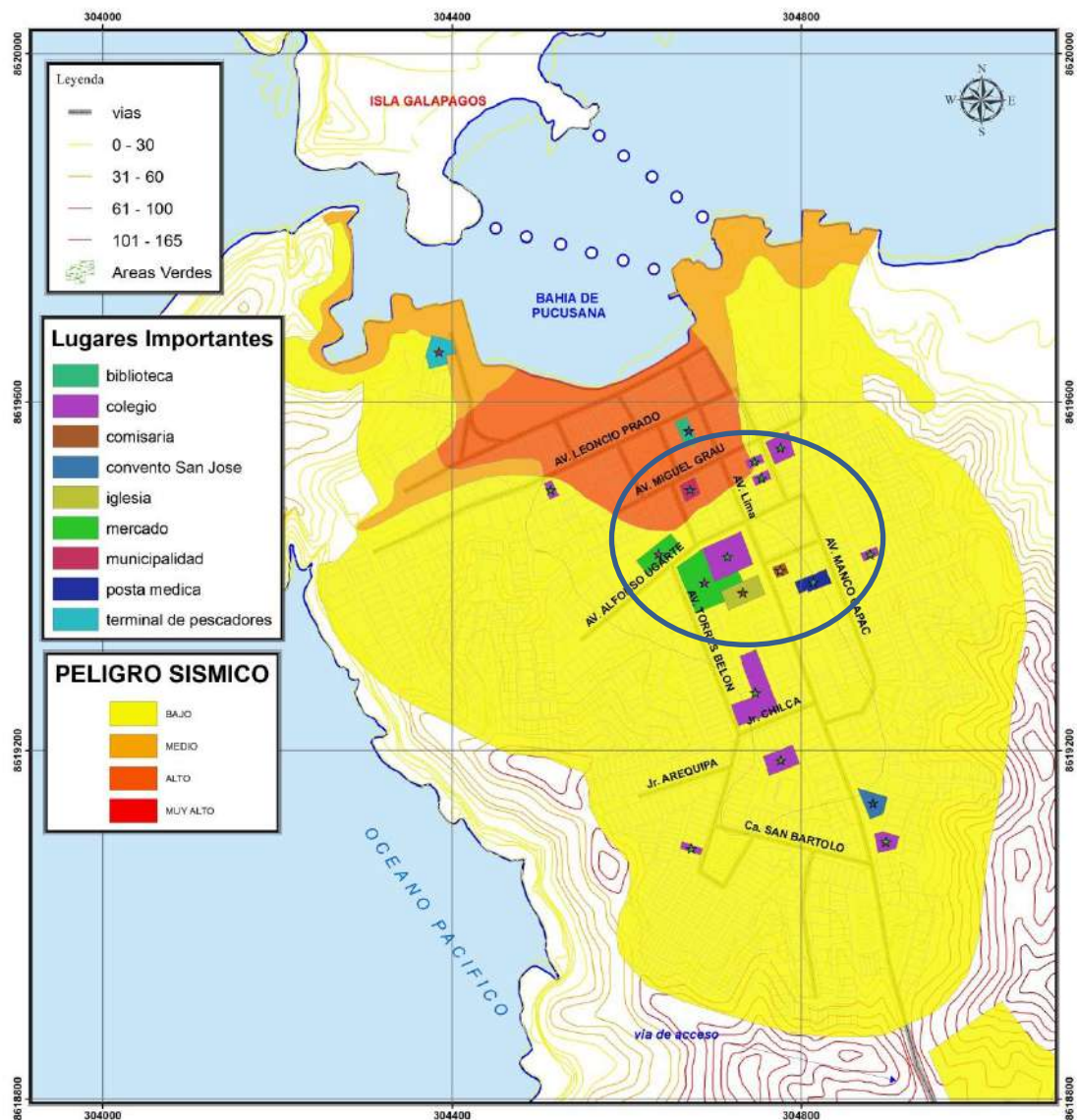


Figura 119. Mapa de comparación entre peligros antrópicos y peligros naturales.

8.7 Séptimo escenario:

En la Figura 120, se evalúa la ubicación de áreas de posibles escombreras y fosa común. De acuerdo a la topografía del lugar, en caso de ocurrir un sismo de gran magnitud se podrá establecer la ubicación de posibles áreas de escombreras o fosas comunes en caso de tener una gran cantidad de pérdidas inmateriales. Existen 2 zonas con fácil acceso y buena topografía, en las cuales se podrían establecer las escombreras, en caso se establecieran fosas de sepelio común, se deberían realizar estudios de impacto ambiental donde certifique la no contaminación de los suelos o el agua subterránea por filtración de residuos tóxicos como residuos de pinturas o residuos humanos.

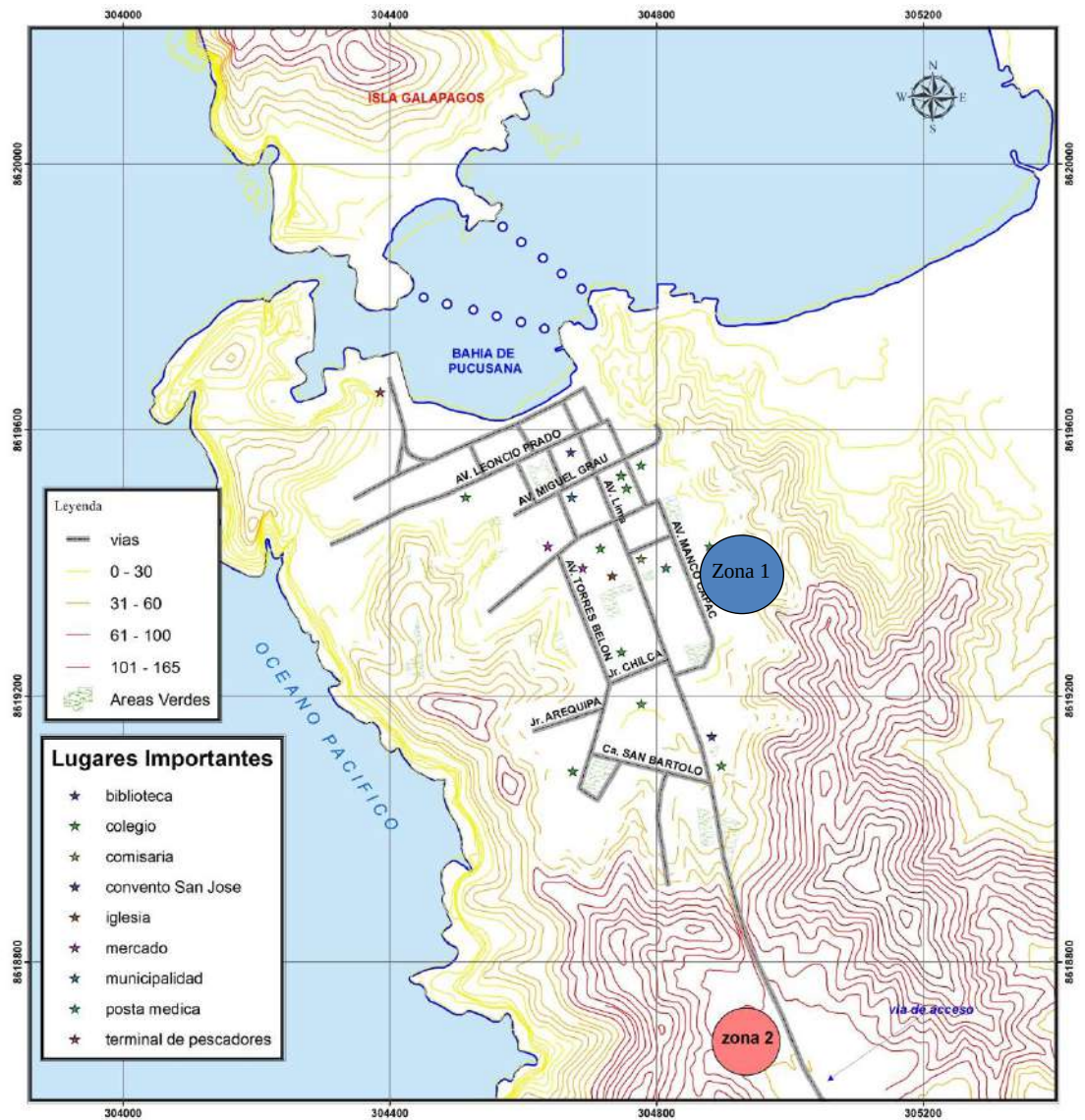


Figura 120. Mapa propuesto para futuras áreas de escombreras y fosa común.

Conclusiones

El desarrollo del presente estudio ha permitido obtener las siguientes conclusiones:

1. En el Perú, a pesar de ser un país de gran actividad sísmica, muchas de sus ciudades carecen de estudios de riesgos que les permitan asumir medidas preventivas. Este estudio propone una metodología de fácil y de rápido empleo para la gestión de riesgos de ciudades, tomando como base conceptos modernos y las experiencias vividas en el Perú y el mundo con la ocurrencia de peligros como los sismos y tsunamis de gran magnitud.
2. Uno de los principales problemas para los estudios de gestión de riesgos, es la falta de una base de datos e información debidamente organizada y que considere variables físicas, sociales y económicas, necesarias para analizar y evaluar la vulnerabilidad de una determinada ciudad. Por lo tanto, es importante considerar levantamientos de datos mediante encuestas o crear una base de datos a nivel nacional que contenga todas las variables necesarias para este tipo de estudios, y sobre todo, que toda esta información pueda ser usada en cualquier software SIG.
3. La aplicación de la metodología AHP al Balneario de Pucusana, ha permitido evaluar su vulnerabilidad ante sismos y tsunamis de gran magnitud en base a modelos propios fácilmente aplicables a áreas específicas con morfologías complejas. El resultado obtenido es el mapa de Riesgo de Desastre debido a la ocurrencia de sismo y tsunami.
4. Para conocer las características del peligro del balneario de Pucusana, se ha evaluado el comportamiento dinámico del suelo y el área de inundación por tsunami. Se identificó la presencia de suelos tipo S1 (norma E.030), que define un suelo compacto, con buena capacidad de carga y peligro bajo. El área inundable por tsunami es aproximadamente de 0.078 km² y se concentra en el Malecón San Martín, pudiendo afectar a 145 viviendas, entre las que se considera al terminal de pescadores, la Municipalidad, la Biblioteca Municipal, negocios de comida y hospedaje.
5. Para identificar la vulnerabilidad del balneario de Pucusana, se ha realizado 1240 encuestas con las cuales se elaboró una base de datos de tipo catastral que permitió conocer el estado y calidad de las construcciones, el nivel de exposición de sus viviendas y el nivel de resiliencia de la población. La evaluación de esta información, más la correspondiente a los peligros naturales, permitió conocer el nivel del riesgo del Balneario de Pucusana ante sismos y tsunamis.

6. Se ha observado que más del 18 % de la población habita en viviendas con vulnerabilidad alta y muy alta por fragilidad, Estas viviendas presentan materiales de adobe, algunas son de gran tamaño y antigüedad del orden de 50 años. En otros casos, habitan viviendas dañadas por la ocurrencia de sismos anteriores, viviendas con malas prácticas de construcción y uso como la presencia de aleros y acumulación de objetos de gran peso en las azoteas, y/o presencia de casas prefabricadas, paneles comerciales, etc.
7. El 12 % de las viviendas se encuentra en vulnerabilidad alta y muy alta por exposición a incendios, explosiones, desplomes de objetos pesados, etc. Estos peligros están asociados a la presencia de grifos, puestos de venta de gas, almacenes de basura, paneles comerciales, antenas de radio difusión de gran tamaño, etc.
8. El 91 % de la población del Balneario de Pucusana se encuentra en grado de vulnerabilidad por resiliencia media y alta, debido al poco conocimiento de los peligros. Un elemento importante a considerar es el factor económico.
9. Los resultados también muestran que 2446 personas, correspondiente al 18 % de la población del Balneario de Pucusana, se encuentra en riesgo alto y muy alto, debido a la proximidad de sus viviendas a la orilla del mar. En general estas viviendas son de gran altura (3 pisos) y antigüedad, todos ubicados en el Malecón San Martín.
10. La correlación de la vulnerabilidad por fragilidad y el peligro sísmico, permiten observar que aproximadamente el 12 % de los habitantes del Balneario de Pucusana se encuentran en riesgo alto y muy alto, todos en viviendas ubicadas en el Malecón San Martín, Av. Lima, Plaza de armas, Av. Leoncio Prado y Av. Miguel Grau.
11. La correlación de la vulnerabilidad por exposición y el peligro sísmico, permiten observar que un 12 % de los habitantes se encuentran en riesgo alto y muy alto, por ocupar viviendas cercanas a los principales puntos de peligros antrópico del balneario, estos ubicados en el Malecón San Martín, Av. Lima, Plaza de armas, Av. Manco Capac, Av. Leoncio Prado, Av. Miguel Grau y Av. Torres Belón.
12. La correlación de la vulnerabilidad por resiliencia y el peligro sísmico, permite concluir que un 93 % de los habitantes del Balneario de Pucusana se encuentran en riesgo medio y alto. En este caso se considera a todo el Balneario de Pucusana con algunas excepciones de pobladores que habitan en la Av. Lima.

Recomendaciones

A fin de complementar los resultados obtenidos de este estudio y a la vez proponer mejoras en la gestión de riesgo en el Balneario de Pucusana, es necesario realizar las siguientes recomendaciones:

1. Para complementar los estudios de vulnerabilidad es necesario realizar estudios de comportamiento dinámico de algunos edificios como la Municipalidad, el terminal de pescadores, Colegios, la Posta Médica, la comisaria, el mercado, negocios de comida y hospedaje. Esto permite evaluar el porcentaje de posible daño estructural por sismo.
2. Se recomienda reforzar la capacidad de resistencia de las construcciones con altos niveles de vulnerabilidad, que se encuentren en estado ruinoso, presenten daños estructurales por sismos anteriores, de gran antigüedad y las que son de adobe.
3. Se recomienda, normar y/o prohibir mediante algún ente fiscalizador el uso del alero en las construcciones, ubicadas en zonas de alto peligro sísmico, más aun en viviendas de gran altura.
4. Se deben realizar simulacros ante sismos y tsunamis en el balneario de Pucusana, tomando en cuenta lo expuesto en las conclusiones anteriores.
5. Se debe realizar el análisis de la capacidad de atención de la Posta Médica del Balneario de Pucusana, debido a la gran demanda que este soportaría, en caso de la ocurrencia de sismo de gran magnitud.
6. Se recomienda la construcción de muelles y/ o muros de contención para tsunamis en el malecón San Martín, a fin de salvaguardar la vida y principales áreas de concentración de negocios del balneario de Pucusana.
7. De ocurrir un sismo y tsunami de gran magnitud, y de acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio en cuanto a la vulnerabilidad por fragilidad, se recomienda a los bomberos, policías y voluntarios, prestar mayor atención y servicios de rescate y búsqueda en las viviendas ubicadas en el malecón San Martín, Av. Lima, La Plaza de Armas, Av. Leoncio Prado y Av. Miguel Grau, que al ser zonas de alto riesgo podrían necesitar mayor atención.

8. Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Pucusana, realizar un ordenamiento territorial de los principales puntos de peligro antrópico y/o la prohibición del funcionamiento de algunos locales dedicados a la venta de productos contaminantes, inflamables y explosivos, que podrían producir serios daños en caso de un sismo de gran magnitud y/o tsunami.
9. Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Pucusana, realizar obras de prevención, talleres de educación y proporcionar ayuda técnica, para que la población construya viviendas más resistentes y sea de esta manera, más resiliente en caso de la ocurrencia de sismo y tsunami de gran magnitud
10. Este estudio debe ser considerado e implementado en un plan de contingencias y/o proceso de ordenamiento territorial del Balneario de Pucusana, donde se tome como prioridad el riesgo de sismo y tsunami.

Bibliografía

Álvarez, A. Hidalgo, A. y Izquierdo, M. (2005) *“Empleo del AHP (proceso analítico jerárquico) incorporado en SIG para definir el emplazamiento óptimo de equipamientos universitarios. Aplicación a una biblioteca”*. Facultad de informática (U.P.M.) Madrid. Págs. 579 – 593.

Asenjo, S. Irrigaray, C. y Chacón, J. (2006). *“Análisis del riesgo sísmico en zonas urbanas mediante sistemas de información geográfica. Aplicación a la ciudad de Granada”*. Revista; cuadernos geográficos, numero 039. Universidad de Granada, España. Págs. 147 – 166.

Allende, T. (2006). *“Estudio de Mapa de peligros de la ciudad de Barranca”*. Proyecto PNUD PER/02/051 00014426 ciudades sostenibles – Primera etapa. Informe Final. Sistema Nacional de Defensa Civil. Informe final. Págs. 81-86.

Barbat, A. Pujades, L. y Lantada, N. (2008). *“Seismic damage evaluation in urban areas using the capacity spectrum method: application to Barcelona”*. Revista soil dynamics and earthquake engineering. Págs. 851-865.

Bosque, J. (2003). *“Cartografía de riesgos naturales en américa central con datos obtenidos desde internet”*. Revista. anales de Geografía. Págs. 41 - 70

Batista, R. y Bustos, X. (2009). *“Sistema de información geográfica y teledetección. Determinación de vulnerabilidad urbana. Caso estado Vargas-Venezuela”*. Volumen 25. Págs. 167-190.

Campos, A. (2005). *“Algunas consideraciones sobre los mapas de riesgo”*. Elaboración de Mapas de Riesgo. Págs. 1 – 8.

Cardona, O. Hurtado, J. Duque, G. Moreno, A. Chardon, A. Velásquez, L. y Prieto, D. (2003). *“La Noción de Riesgo desde la Perspectiva de los Desastres: Marco Conceptual para su Gestión Integral”*. IDB/IDEA Program of Indicators for Disaster Risk Management, National University of Colombia, Manizales. Págs.

Cardona, O. (2003). *“La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión”*. Centro de estudios sobre desastres y riesgos CEDERI. Bogotá, Págs. 3-15.

Cardona, O. Martha, C. Marulanda, M. y Barbat, A. (2006). *"Evaluación del riesgo sísmico urbano: un enfoque holístico"*. Revista internacional de ingeniería de estructuras. Vol. 11. Págs. 45 – 76.

CENAPRED. (2006). *"Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos"*. Secretaria de la gobernación. Centro nacional de prevención de desastres. 1era edición México D. F. Págs. 30 - 140.

CISMID. (2003). *"Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico de la Gran Lima y Callao"*. APESEG/CISMID-EVR-LYC-Fase I. Asociación Peruana de Empresas de Seguros-APESEG. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres-CISMID. Lima - Perú. págs.37-44.

Eustaquio, C. (1998). *"Aplicación de sistemas de información geográfica en la determinación de áreas vulnerables a riesgos naturales"*. Instituto Nacional de Defensa Civil. Proyecto: Sistema de Información Geográfica – GEODECI. Lima – Perú. Págs. 6 – 8.

Eustaquio, C. y Quispe, J. (1998). *"Sistema de información geográfica para la defensa civil y sus aplicaciones"*. Instituto Nacional de Defensa Civil. Lima - Perú. Pág. 3-5.

FEMA y EERI. (2006). *"Guidelines for developing an earthquake scenario"*. Funded by Endowment fund of the Earthquake engineering research institute and FEMA. Department of homeland security. California – USA. Págs. 10 – 20.

Frau, C. Valenzuela, J. y Ormazábal, Y. (2006). *"Spatial modeling by means of geomatic and multicriteria evaluation for territorial arrangement"*. Revista. Facultad de ingeniería – Univ. Tarapacá. Vol. 14 N°1, Págs. 81 – 89.

García, C. (2003). *"Modelo basado en lógica difusa para la construcción de indicadores de vulnerabilidad urbana frente a fenómenos naturales"*. Tesis M.sc. Universidad nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil. Págs. 38 – 45.

IMP. CENCA. y IRDC. (2009). *"Reducción de la vulnerabilidad en la Margen izquierda del Río Rímac- Cercado de Lima- Lima Caracterización De La Vulnerabilidad Integral En La Margen Izquierda Del Río Rímac (Mirr)"*. Proyecto Ciudades Focales Lima - MIRR - PERÚ. Págs. 97 – 106.

INDECI. (2010). *"Estudio para determinar el nivel de vulnerabilidad física ante la probable ocurrencia de un sismo de gran magnitud"*. Plan de prevención por sismo 2010 – Distrito Villa María del triunfo. Págs. 14 - 55.

INDECI. (2006). *“Manual básico de estimación de riesgos”*. Dirección nacional de prevención. Unidad de estudios y evaluación de riesgos. Lima –Perú. Págs. 11 – 26.

IRD y COOPI. (2009). *“Zonificación sísmico - geotécnico para siete distritos de Lima Metropolitana y cartografía a la escala metropolitana”*. Proyecto SIRAD: Informe de actividades N° 3. Volumen 13. pág. 15-49.

Jiménez, L. (1998). Tesis: *“Valoración de riesgos de un proyecto jerárquico de análisis”*. Universidad de Castilla la Mancha Pág. 2 -8.

Kuroiwa, J. (1990). *“Prevención y Mitigación de Desastres en el Perú”*. Seminarios CISMID. Lima.

La Mesa de Concertación para la Lucha Contra la Pobreza. (2009). *“Gestión del riesgo de desastres para la planificación del desarrollo local”*. Primera edición. Proyecto: “Fortaleciendo la participación social y las capacidades de gestión de los gobiernos locales en el proceso de reconstrucción”. Págs. 50 – 57.

Massimo, P. (2010). *“Information technology and management of diagnostics for analysis of seismic vulnerability in buildings”*. Revista procedía computer science. Italia. págs. 352 – 360.

Ministerio de Economía y Finanzas. (2009). *“La gestión del riesgo de desastres: un enfoque basado en procesos”*. Págs. 9 – 21.

Moreno, A. Aguilar, Z. (2003). *“Análisis de riesgo sísmico de la ciudad de Moquegua usando sistemas de información geográfica”*. Congreso nacional de ingeniería civil – Iquitos 2003. Págs. 2 – 9.

Ocaña, C. Galacho, B. (2002). *“Un Modelo de Aplicación de SIG y Evaluación Multicriterio, al Análisis de las Capacidad del Territorio en Relación a Funciones Turísticas”*. IV Congreso “Turismo y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones” TuriTec 2002. Departamento de geografía. Universidad de Málaga. Págs. 247 -252.

Olarte, J. Julca, J. Orbegoso, E. (2006). *“Evaluación del riesgo sísmico del centro histórico de Chiclayo”*. CISMID. Págs. 2 – 10.

PLASISMEX. (2008) *“Escala macrosísmica Europea EMS-98”*. Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico de Extremadura. Págs. 4-8.

PNUD. (2005). *“Diagnósticos de soluciones espontaneas y estudio de procedimientos de la precarización - Rímac”*. Proyecto de capitalización y des precarización de la propiedad urbana PER/04/026. Págs. 48 – 132.

PREDES. (2009). *“Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao”*. Págs. 10 - 44.

Reque, K. y Ríos, J. (2003). *“Aplicación de sistemas de información geográfica para la diagnosis de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del distrito de Ate vitarte”*. XIV Congreso Nacional de ingeniería Civil – Iquitos 2003. CISMID – FIC – UNI. Págs. 2 – 8.

Roche, H. y Constantino, V. (2005). *“Métodos cualitativos aplicados a la administración material de apoyo Análisis multicriterio”*. Págs. 4 – 14.

Rondón, E. Jasbón, N. Chío, G. (2010). *“Funciones de vulnerabilidad calculadas para edificaciones en muros de hormigón reforzado”*, universidad de Bucaramanga. Colombia. Págs. 68 – 70.

Rondón, E. Jasbón, N. Chío, G. (2010). *“Estimación de las funciones de vulnerabilidad sísmica en edificaciones en tierra”*. Revista Ingeniería y Desarrollo. Universidad del norte de Colombia. Págs. 189 – 194.

Rondón, E. Gómez, D. Chío, G. (2010). *“Estimación del daño sísmico en edificaciones de mampostería a partir de la aplicación de funciones de vulnerabilidad simuladas”*. Revista Ingenierías. Universidad de Medellín. Volumen 7. Págs. 39 – 56.

Saaty, T. (1988). *“The Analytical Hierarchy Process”*. McGraw Hill.

Saavedra, V. (2007). *“Estudio de pre inversión de infraestructura vial urbana incorporando el análisis de riesgo y determinación de su rentabilidad social y económica en la ciudad de El Alto - Talara”*. Piura. Tesis: Págs. 19 – 23.

Saldaña, L. (1997). *“Metodología para la evaluación del riesgo sísmico de pequeñas y medianas ciudades. Estudio de caso: zona centro de la ciudad de armenia - Colombia”*. Revista. Desastres Naturales, Accidentes e Infra estructura Civil. Vol. 5. Págs. 3-10.

Safina, M. (2003). *“vulnerabilidad sísmica en edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico”*. Barcelona. Págs. 45 – 64.

SIRAD. (2010). *"Elaboración de un sistema de información geográfico y análisis de recursos esenciales para la respuesta y recuperación temprana ante la ocurrencia de un sismo y/o tsunami en el área metropolitana de Lima y callao"*. vol 13. pags 15 y 16.

Stavros, A. Costas, P. Salvaneschi, P. Athanasopoulos, G. Bonacina, G. (2008). *"An efficient Gis for scenario-type investigations of seismic risk of existing cities"*. Revista Soil dynamics and earthquake engineering. Págs. 73 -84.

Tavera, H y Bernal, I. (2005). *"Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el borde oeste del Perú"*. Volumen N° 6. Alberto Guiesecke Matto (2005). Págs. 89 – 102.

Trendafiloski, G. Wyss, M. Rosset, P. y Marmureanu, G. (2009). *"Constructing city models to estimate losses due to earthquakes worldwide: Application to Bucharest, Romania"*. Earthquake Spectra.

USAID. (1991). *"Desastres, planificación y desarrollo: manejo de amenazas naturales para reducir los daños"*. Págs 25-45.

Vegas, G. y Quiñones, C. (2010). *"Aplicación de la geotecnología en la determinación de la vulnerabilidad y riesgo de ciudades. Caso: Ciudad de Huaraz"*. Tesis de Ing. Escuela académica profesional de Ingeniería Geográfica. Lima – Perú. Págs. 64 – 80.

Wyss, M. Trendafiloski, G. Rosset, P. Wyss, B. (2009). *"Preliminary loss estimates for possible future earthquakes near Lima, Peru"*. With addendum (Internal report). Geneva: WAPMERR. Págs. 1–65.

Wyss, M. Trendafiloski, G. Elashvili, M. Jorjiashvili, N. Javakhishvili, J. (2011). *"The mapping of teleseismic epicenter errors into errors in estimating casualties in real time due to earthquakes worldwide"*. Presented at European Geosciences Union General Assembly, Vienna.

Wilches-Chaux, G. (1993). *"La vulnerabilidad global"*. Revista; LA RED. www.desenredando.org.

Yauri, S. (2008). *"Detección, localización y análisis de sismos Tsunamigenicos"*. Tesis de Ing. Presentado a la Universidad nacional San Agustín de Arequipa, escuela profesional de ingeniería Geofísica. Págs. 28-30.

Anexo I

FOTOGRAFIAS



MUNICIPALIDAD DEL DISTRITO DE PUCUSANA.



PLAZA DE ARMAS DE PUCUSANA



BOQUERON DE PUCUSANA.



MALECON SAN MARTÍN



VISTA PANORAMICA DEL BALNEARIO DE PUCUSANA



VISTA PANORAMICA DE LA PARTE ALTA DEL BALNEARIO DE PUCUSANA



EMBARCACIONES DE PESCA



CENTRO DE SALUD PUCUSANA



ISLA CHUNCHO



PARTE POSTERIOR DE LA ISLA CHUNCHO

Anexo II

*Se adjunta 8 fichas técnicas de campo utilizadas en la recolección de información
catastral*

FECHA: 23/02/2011	HORA:	URBANIZACION:
OPERADOR: Angel Jair Ochoa Zamalloa		ALTITUD:
LATITUD:		LONGITUD:
CODIGO DE URBANIZACION:	CODIGO DE MANZANA: 1	CODIGO DE LOTE: 8B
MATERIAL PREDOMINANTE: ladrillo	NUMERO DE PISOS: 2	ALTURA POR PISO: 2.5
TIPO DE USO: vivienda	ANTIGUEDAD: 4 años	ESTADO ACTUAL: regular
TIPO DE TECHO: ladrillo	HA SIDO DAÑADO EN SISMOS ANTERIORES: no	Nº HABITANTES: 4
PENDIENTE DEL TERRENO: ☒ BAJA (1 - 2%) ☐ MEDIO (5 - 10%) ☐ FUERTE (10 - 20%) ☐ MUY FUERTE 20 % A +		
TIPO SUELO: ☐ roca ☐ arcilla ☒ arena ☐ relleno sanitario ☐ otro _____		
TIENE ALERO? ☒ no ☐ sí, tipo _____		
DESCRIPCION DEL EDIFICIO		
tipo ☐	☐ adobe ☒ vigas y column ☐ hormigón+ vela ☐ madera ☐ albañilería cual? ☐ vidrio-acero ☐ otro _____	Altura _____ Largo _____ Ancho _____
nivel de preparación ante un sismo		EDIFICIO
podría afrontar económicamente un sismo hasta que llegue la ayuda usted y su familia sabe que hacer en caso de sismo tiene conocimiento algún peligro que afecte a su hogar estaría dispuesto a apoyar a su barrio en caso de sismo HA PARTICIPADO DE ALGUN SIMULACRO alguna institución a realizado obras de mitigación esas obras han sido eficientes		DIBUJAR LA UBICACION EXACTA DEL LOTE EN LA MANZANA AV. JR. CALLE HA SIDO AFECTADA LA VIVIENDA POR LA HUMEDAD? ☒ no ☐ sí
OBSERVACIONES		
NUMERO DE FOTO: 840 		

FECHA: 23/02/2011	HORA:	URBANIZACION:
OPERADOR: Angel Jair Ochoa Zamalloa		ALTITUD:
LATITUD:		LONGITUD:
CODIGO DE URBANIZACION:	CODIGO DE MANZANA: 1	CODIGO DE LOTE: 8A
MATERIAL PREDOMINANTE: ladrillo	NUMERO DE PISOS: 1	ALTURA POR PISO: 2.5
TIPO DE USO: vivienda	ANTIGUEDAD: 15 años	ESTADO ACTUAL: regular
TIPO DE TECHO: Ladrillo	HA SIDO DAÑADO EN SISMOS ANTERIORES: no	Nº HABITANTES: 6
PENDIENTE DEL TERRENO: ☒ BAJA (1 - 2%) ☐ MEDIO (5 - 10%) ☐ FUERTE (10 - 20%) ☐ MUY FUERTE 20 % A +		
TIPO SUELO: ☐ roca ☐ arcilla ☒ arena ☐ relleno sanitario ☐ otro _____		
TIENE ALERO? ☒ no ☐ sí, tipo _____		
DESCRIPCION DEL EDIFICIO		
tipo ☐	☐ adobe ☒ vigas y column ☐ hormigón+ vela ☐ madera ☐ albañilería cual? ☐ vidrio-acero ☐ otro _____	Altura _____ Largo _____ Ancho _____
nivel de preparación ante un sismo		EDIFICIO
podría afrontar económicamente un sismo hasta que llegue la ayuda usted y su familia sabe que hacer en caso de sismo tiene conocimiento algún peligro que afecte a su hogar estaría dispuesto a apoyar a su barrio en caso de sismo HA PARTICIPADO DE ALGUN SIMULACRO alguna institución a realizado obras de mitigación esas obras han sido eficientes		DIBUJAR LA UBICACION EXACTA DEL LOTE EN LA MANZANA AV. JR. CALLE HA SIDO AFECTADA LA VIVIENDA POR LA HUMEDAD? ☒ no ☐ sí
OBSERVACIONES		
NUMERO DE FOTO: 840 3 metros esta el mar 		

FECHA: 23/02/2011		HORA:		URBANIZACION:																
OPERADOR: Julio Cesar Martinez			ALTITUD:																	
LATITUD			LONGITUD																	
CODIGO DE URBANIZACION:		CODIGO DE MANZANA : 1		CODIGO DE LOTE: 10																
MATERIAL PREDOMINANTE: ladrillo		NUMERO DE PISOS : 2		ALTURA POR PISO : 2.5																
TIPO DE USO: vivienda		ANTIGUEDAD : 45 años		ESTADO ACTUAL: bueno																
TIPO DE TECHO: ladrillo		HA SIDO DAÑADO EN SISMOS ANTERIORES: no		Nº HABITANTES: 7																
PENDIENTE DEL TERRENO:		☒ BAJA (1 - 2%)		☐ MEDIO (5 - 10%) ☐ FUERTE (10 - 20%) ☐ MUY FUERTE 20 % A																
TIPO SUELO:		☐ roca ☐ arcilla ☒ arena ☐ relleno sanitario ☐ otro																		
TIENE ALERO?		☒ no ☐ sí, tipo																		
DESCRIPCION DEL EDIFICIO		☐ adobe ☒ vigas y columna ☐ hormigón+ veta ☐ madera ☐ albañilería cual? ☐ vidrio-acero ☐ otro		Altura _____ Largo _____ Ancho _____																
tipo ☐ nivel de preparacion ante un sismo		<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>si</th> <th>no</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>podría afrontar económicamente un sismo hasta que llegue la ayuda usted y su familia sabe que hacer en caso de sismo</td> <td>x</td> <td></td> </tr> <tr> <td>tiene conocimiento algun peligro que afecte a su hogar estaria dispuesto a apoyar a su barrio en caso de sismo</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>HA PARTICIPADO DE ALGUN SIMULACRO alguna institucion a realizado obras de mitigacion</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>esas obras han sido eficientes</td> <td></td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table>			si	no	podría afrontar económicamente un sismo hasta que llegue la ayuda usted y su familia sabe que hacer en caso de sismo	x		tiene conocimiento algun peligro que afecte a su hogar estaria dispuesto a apoyar a su barrio en caso de sismo	x	x	HA PARTICIPADO DE ALGUN SIMULACRO alguna institucion a realizado obras de mitigacion	x	x	esas obras han sido eficientes		x	DIBUJAR LA UBICACION EXACTA DEL LOTE EN LA MANZANA  AV. JR.CALLE.	
	si	no																		
podría afrontar económicamente un sismo hasta que llegue la ayuda usted y su familia sabe que hacer en caso de sismo	x																			
tiene conocimiento algun peligro que afecte a su hogar estaria dispuesto a apoyar a su barrio en caso de sismo	x	x																		
HA PARTICIPADO DE ALGUN SIMULACRO alguna institucion a realizado obras de mitigacion	x	x																		
esas obras han sido eficientes		x																		
OBSERVACIONES		HA SIDO AFECTADA LA VIVIENDA POR LA HUMEDAD ☒ no ☐ sí																		
		NUMERO DE FOTO: 840 																		

FECHA: 23/02/2011		HORA:		URBANIZACION:													
OPERADOR: Julio Cesar Martinez			ALTITUD:														
LATITUD:			LONGITUD:														
CODIGO DE URBANIZACION:		CODIGO DE MANZANA: 1		CODIGO DE LOTE: 11													
MATERIAL PREDOMINANTE: ladrillo		NUMERO DE PISOS: 3		ALTURA POR PISO: 2.5													
TIPO DE USO: vivienda		ANTIGUEDAD: 20 años		ESTADO ACTUAL: bueno													
TIPO DE TECHO: Ladrillo		HA SIDO DAÑADO EN SIMOS ANTERIORES: no		N° HABITANTES: 6													
PENDIENTE DEL TERRENO		☐ BAJA (1 - 2%) ☐ MEDIO (5 - 10%) ☒ FUERTE (10 - 20%) ☐ MUY FUERTE 20 % A															
TIPO SUELO		☐ roca ☐ arcilla ☒ arena ☐ relleno sanitario ☐ otro _____															
TIENE ALERO?		☒ no ☐ si, tipo _____															
DESCRIPCION DEL EDIFICIO		☐ adobe ☒ vigas y column ☐ hormign+ vela		Altura _____ Largo _____ Ancho _____													
tipo ☐		☐ madera ☐ albaneria cual? ☐ vidrio-acero		EDIFICIO													
☐ otro _____																	
nivel de preparacion ante un sismo		<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>si</th> <th>no</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>podria afrontar economicamente un sismo hasta que llegue la ayuda usted y su familia sabe que hacer en caso de sismo</td> <td>x</td> <td></td> </tr> <tr> <td>tiene conocimiento algun peligro que afecte a su hogar estaria dispuesto a apoyar a su barrio en caso de sismo</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>HA PARTICIPADO DE ALGUN SIMULACRO alguna institucion a realizado obras de mitigacion esas obras han sido eficientes</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table>			si	no	podria afrontar economicamente un sismo hasta que llegue la ayuda usted y su familia sabe que hacer en caso de sismo	x		tiene conocimiento algun peligro que afecte a su hogar estaria dispuesto a apoyar a su barrio en caso de sismo	x	x	HA PARTICIPADO DE ALGUN SIMULACRO alguna institucion a realizado obras de mitigacion esas obras han sido eficientes	x	x	DIBUJAR LA UBICACION EXACTA DEL LOTE EN LA MANZANA AV. JR. CALLE _____	
	si	no															
podria afrontar economicamente un sismo hasta que llegue la ayuda usted y su familia sabe que hacer en caso de sismo	x																
tiene conocimiento algun peligro que afecte a su hogar estaria dispuesto a apoyar a su barrio en caso de sismo	x	x															
HA PARTICIPADO DE ALGUN SIMULACRO alguna institucion a realizado obras de mitigacion esas obras han sido eficientes	x	x															
OBSERVACIONES		HA SIDO AFECTADA LA VIVIENDA POR LA HUMEDAD ☒ no ☐ si															
		NUMERO DE FOTO: 841															



FECHA: 23/02/2011	HORA:	URBANIZACION:																								
OPERADOR: Angel Jair Ochoa Zamalloa		ALTITUD:																								
LATITUD		LONGITUD																								
CODIGO DE URBANIZACION:	CODIGO DE MANZANA: 1	CODIGO DE LOTE: 12 A																								
MATERIAL PREDOMINANTE: ladrillo	NUMERO DE PISOS: 2	ALTURA POR PISO: 2.5																								
TIPO DE USO: vivienda	ANTIGUEDAD: 15 años	ESTADO ACTUAL: bueno																								
TIPO DE TECHO: Ladrillo	HA SIDO DAÑADO EN SISMOS ANTERIORES: no	Nº HABITANTES: 6																								
PENDIENTE DEL TERRENO: ☐ BAJA (1 - 2%) ☐ MEDIO (5 - 10%) ☒ FUERTE (10 - 20%) ☐ MUY FUERTE 20 % A +																										
TIPO SUELO: ☒ roca ☐ arcilla ☐ arena ☐ relleno sanitario ☐ otro																										
TIENE ALERO? ☒ no ☐ sí, tipo																										
DESCRIPCION DEL EDIFICIO		Altura																								
☐ adobe ☒ vigas y column ☐ hormigón+ vela ☐ madera ☐ albanilería cual? ☐ vidrio-acero ☐ otro		EDIFICIO																								
tipo		Largo																								
		Ancho																								
nivel de preparacion ante un sismo: <table border="1"> <tr> <td></td> <td>sí</td> <td>no</td> </tr> <tr> <td>podría afrontar económicamente un sismo hasta que llegue la ayuda</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>usted y su familia sabe que hacer en caso de sismo</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>tiene conocimiento algun peligro que afecte a su hogar</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>estaría dispuesto a apoyar a su barrio en caso de sismo</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>HA PARTICIPADO DE ALGUN SIMULACRO</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>alguna institución a realizado obras de mitigacion</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>esas obras han sido eficientes:</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			sí	no	podría afrontar económicamente un sismo hasta que llegue la ayuda			usted y su familia sabe que hacer en caso de sismo			tiene conocimiento algun peligro que afecte a su hogar			estaría dispuesto a apoyar a su barrio en caso de sismo			HA PARTICIPADO DE ALGUN SIMULACRO			alguna institución a realizado obras de mitigacion			esas obras han sido eficientes:			DIBUJAR LA UBICACION EXACTA DEL LOTE EN LA MANZANA  AV. JR. CALLE. HA SIDO AFECTADA LA VIVIENDA POR LA HUMEDAD? ☒ no ☐ sí
	sí	no																								
podría afrontar económicamente un sismo hasta que llegue la ayuda																										
usted y su familia sabe que hacer en caso de sismo																										
tiene conocimiento algun peligro que afecte a su hogar																										
estaría dispuesto a apoyar a su barrio en caso de sismo																										
HA PARTICIPADO DE ALGUN SIMULACRO																										
alguna institución a realizado obras de mitigacion																										
esas obras han sido eficientes:																										
OBSERVACIONES		NUMERO DE FOTO: 843																								
																										

FECHA: 23/02/2011	HORA:	URBANIZACION:																								
OPERADOR: Julio Cesar Martinez		ALTITUD:																								
LATITUD		LONGITUD																								
CODIGO DE URBANIZACION:	CODIGO DE MANZANA: 1	CODIGO DE LOTE: 10																								
MATERIAL PREDOMINANTE: ladrillo	NUMERO DE PISOS: 2	ALTURA POR PISO: 2.5																								
TIPO DE USO: vivienda	ANTIGUEDAD: 45 años	ESTADO ACTUAL: bueno																								
TIPO DE TECHO: ladrillo	HA SIDO DAÑADO EN SISMOS ANTERIORES: no	Nº HABITANTES: 7																								
PENDIENTE DEL TERRENO: ☒ BAJA (1 - 2%) ☐ MEDIO (5 - 10%) ☐ FUERTE (10 - 20%) ☐ MUY FUERTE 20 % A +																										
TIPO SUELO: ☐ roca ☐ arcilla ☒ arena ☐ relleno sanitario ☐ otro																										
TIENE ALERO? ☒ no ☐ sí, tipo																										
DESCRIPCION DEL EDIFICIO		Altura																								
☐ adobe ☒ vigas y column ☐ hormigón+ vela ☐ madera ☐ albanilería cual? ☐ vidrio-acero ☐ otro		EDIFICIO																								
tipo		Largo																								
		Ancho																								
nivel de preparacion ante un sismo: <table border="1"> <tr> <td></td> <td>sí</td> <td>no</td> </tr> <tr> <td>podría afrontar económicamente un sismo hasta que llegue la ayuda</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>usted y su familia sabe que hacer en caso de sismo</td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>tiene conocimiento algun peligro que afecte a su hogar</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>estaría dispuesto a apoyar a su barrio en caso de sismo</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>HA PARTICIPADO DE ALGUN SIMULACRO</td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>alguna institución a realizado obras de mitigacion</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>esas obras han sido eficientes:</td> <td></td> <td>X</td> </tr> </table>			sí	no	podría afrontar económicamente un sismo hasta que llegue la ayuda	X		usted y su familia sabe que hacer en caso de sismo		X	tiene conocimiento algun peligro que afecte a su hogar	X		estaría dispuesto a apoyar a su barrio en caso de sismo	X		HA PARTICIPADO DE ALGUN SIMULACRO		X	alguna institución a realizado obras de mitigacion	X		esas obras han sido eficientes:		X	DIBUJAR LA UBICACION EXACTA DEL LOTE EN LA MANZANA  AV. JR. CALLE. HA SIDO AFECTADA LA VIVIENDA POR LA HUMEDAD? ☒ no ☐ sí
	sí	no																								
podría afrontar económicamente un sismo hasta que llegue la ayuda	X																									
usted y su familia sabe que hacer en caso de sismo		X																								
tiene conocimiento algun peligro que afecte a su hogar	X																									
estaría dispuesto a apoyar a su barrio en caso de sismo	X																									
HA PARTICIPADO DE ALGUN SIMULACRO		X																								
alguna institución a realizado obras de mitigacion	X																									
esas obras han sido eficientes:		X																								
OBSERVACIONES		NUMERO DE FOTO: 840																								
																										

Anexo III

Se adjunta fichas y análisis geotécnico de calicatas, granulometría y corte directo hechos en el Laboratorio de la Universidad Agraria La Molina.

Calicatas

Nombre: PU_1	Distrito: Pucusana	Balneario centro oeste
Realizado por: E.G.T.	Fecha: Agosto 2010	



Ubicación:

Norte: 8619430
 Este : 304585
 Elevación : 09 m

Referencia.: Calle Francisco Bolognesi
 (espalda del mercado)

Análisis granulométrico:
 suelo arenoso con gravas y pocos finos. Arena bien gradada, seca.
 Clasificación SUCS: SW
 Capacidad admisible: 4.33 Kg/cm²

DESCRIPCIÓN:

0 – 0.9	Relleno compuesto de ladrillos y fragmentos de rocas, predomina tamaños de 5-10 cm., < 10% y con arenas finas a medias.
0.9 – 3	Deposito marino compuesto de arenas medias a finas, con moderado contenido de sales.

Observaciones:

Esta calicata se encuentra en depósito marino, influenciado por acción eólica, en menor medida.

Nombre: PU_ 2	Distrito: Pucusana	Balneario centro
Realizado por: E.G.T.	Fecha: Agosto 2010	



Ubicación:

Norte: 8619182
 Este : 304724
 Elevación : 39 m

Referencia.: Jiron Torres Belon con Arequipa

0 – 1.7	Relleno compuesto de ladrillos, fragmentos de rocas, predomina tamaños de 10-15 cm., < 15% y con arenas finas a gruesas.
1.7 – 3	Deposito marino compuesto de arenas medias a finas, con moderado contenido de sales.

Análisis granulométrico:
 suelo arenoso poco gradado, seco.

Clasificación SUCS: SP
Capacidad admisible:
 4.70 Kg/cm²

Observaciones:

Esta calicata se encuentra en la zona de depósito marino.

Nombre: PU - 3	Distrito: Pucusana	Balneario Este
Realizado por: E.G.T.	Fecha: Agosto 2010	



Ubicación:

Norte: 8619032
Este : 304870
Elevación : 40 m
Referencia.: Pj. Nazca con
Pj. Cailloma

Análisis granulométrico:
suelo arenoso poco gradado
Clasificación SUCS: SP
Capacidad admisible:
13.77 Kg/cm2.

DESCRIPCIÓN:

0 – 1.7	Relleno compuesto de fragmentos de rocas, ladrillos y residuos sólidos, predomina tamaños de 20-25 cm., < 60% y con arenas.
1.7 – 1.8	Deposito marino de arenas medias a finas, de baja compactación, con
1.8 – -----	Material tipo caliche, consolidado compuesto de arenas finas a medias con abundantes sales, se rompe de 2 a 3 golpes.

Observaciones:

La zona tiene influencia marina formando material tipo caliche.

Granulometría

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES
DCR-LMS 286/2010

SOLICITANTE : INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU
PROYECTO : MICROZONIFICACION SISMO GEOTECNICA EN LIMA METROPOLITANA - INDECI - PNUD - COOPI - IRD - IGP
UBICACIÓN : PUCUSANA
FECHA : La Molina, 23 de Agosto del 2010

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO															LIMITES DE		HUM.
(% QUE PASA MALLA No)															ATTERBERG		NAT.
MUESTRA	PROF.	3"	2"	1½"	1"	3/4"	3/8"	No 4	No 10	No 20	No 40	No 60	No 140	No 200	L.L	L.P	w
	(m)														(%)	(%)	(%)
PU-1	3.00							100	96	94	93	87	8	2	-	NP	3.06
PU-2	3.00										100	94	9	3	-	NP	3.11
PU-3	3.00										100	95	81	3	-	NP	0.97
PU-4	3.00									100	95	93	88	3	-	NP	1.09
PU-5	3.00						100	86	67	46	35	26	5	2	-	NP	2.73
PU-6	3.00										100	60	4	2	-	NP	2.9
PU-7	3.00										100	67	4	2	-	NP	2.69

Corte directo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES****LABORATORIO MECANICA DE SUELOS**

DCR - LMS

286/2010

SOLICITANTE : INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU
PROYECTO : MICROZONIFICACION SISMO GEOTECNICA EN LIMA
UBICACIÓN : METROPOLITANA - INDECI - PNUD - COOPI - IRD - IGP
CALICATAS : PUCUSANA
PROFUNDIDAD : PUC-1
FECHA : 3.00 m
 13 de September de 2010
 La Molina ,

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Especimen	:	A	B	C
Lado (cm)	:	6.00	6.00	6.00
Altura (cm)	:	2.544	2.544	2.544
Densidad Seca (gr/cm³)	:	1.57	1.57	1.57
Humedad Inicial (%)	:	3.06	3.06	3.06
Humedad Saturación (%)	:	17.02	18.24	18.31
Esfuerzo Normal (kg/cm²)	:	0.50	1.00	1.50

Deformación Unitaria
 (ε - %)

Esfuerzo Cortante
 (kg/cm²)

0.5	0.11	0.16	0.21
1.0	0.16	0.25	0.30
2.0	0.20	0.35	0.50
3.0	0.25	0.43	0.59
4.0	0.28	0.49	0.71
5.0	0.29	0.52	0.85
7.0	0.31	0.56	0.91
9.0	0.32	0.58	0.95
11.0	0.33	0.60	0.95
13.0	0.33	0.62	0.95
15.0	0.32	0.62	0.96

Angulo de Fricción Interna del Suelo (°) 29.31
Cohesión Aparente del Suelo (kg/cm²) 0.00

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES****LABORATORIO MECANICA DE SUELOS**

DCR - LMS

286/2010

SOLICITANTE : INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU
PROYECTO : MICROZONIFICACION SISMO GEOTECNICA EN LIMA
UBICACIÓN : METROPOLITANA - INDECI - PNUD - COOPI - IRD - IGP
CALICATAS : PUCUSANA
PROFUNDIDAD : PUC-2
FECHA : 3.00 m
 La Molina , 13/10/2010

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Especimen	:	A	B	C
Lado (cm)	:	6.00	6.00	6.00
Altura (cm)	:	2.544	2.544	2.544
Densidad Seca (gr/cm³)	:	1.56	1.56	1.56
Humedad Inicial (%)	:	3.11	3.11	3.11
Humedad Saturación (%)	:	17.23	17.02	18.24
Esfuerzo Normal (kg/cm²)	:	0.50	1.00	1.50

Deformación Unitaria
 (ε - %)

Esfuerzo Cortante
 (kg/cm²)

0.5	0.10	0.10	0.28
1.0	0.16	0.18	0.30
2.0	0.21	0.32	0.60
3.0	0.24	0.43	0.69
4.0	0.25	0.51	0.77
5.0	0.26	0.60	0.83
7.0	0.27	0.63	0.88
9.0	0.28	0.64	0.93
11.0	0.30	0.64	0.95
13.0	0.30	0.64	0.96
15.0	0.30	0.64	0.96

Angulo de Fricción Interna del Suelo (°) 30.03
Cohesión Aparente del Suelo (kg/cm²) 0.00

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES****LABORATORIO MECANICA DE SUELOS**

DCR - LMS

286/2010

SOLICITANTE : INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU
PROYECTO : MICROZONIFICACION SISMO GEOTECNICA EN LIMA
UBICACIÓN : METROPOLITANA - INDECI - PNUD - COOPI - IRD - IGP
CALICATAS : PUCUSANA
PROFUNDIDAD : 3.00 m
FECHA : La Molina , 13 de September de 2010

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Especimen	:	A	B	C
Lado (cm)	:	6.00	6.00	6.00
Altura (cm)	:	2.544	2.544	2.544
Densidad Seca (gr/cm³)	:	2.24	2.24	2.24
Humedad Inicial (%)	:	0.97	0.97	0.97
Humedad Saturación (%)	:	19.56	20.14	19.72
Esfuerzo Normal (kg/cm²)	:	0.50	1.00	1.50

Deformación Unitaria
 (ε - %)

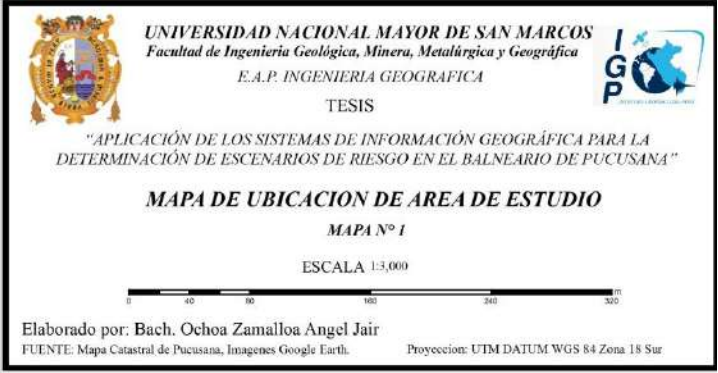
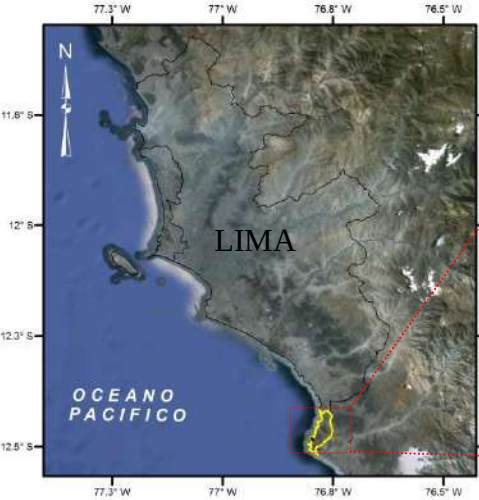
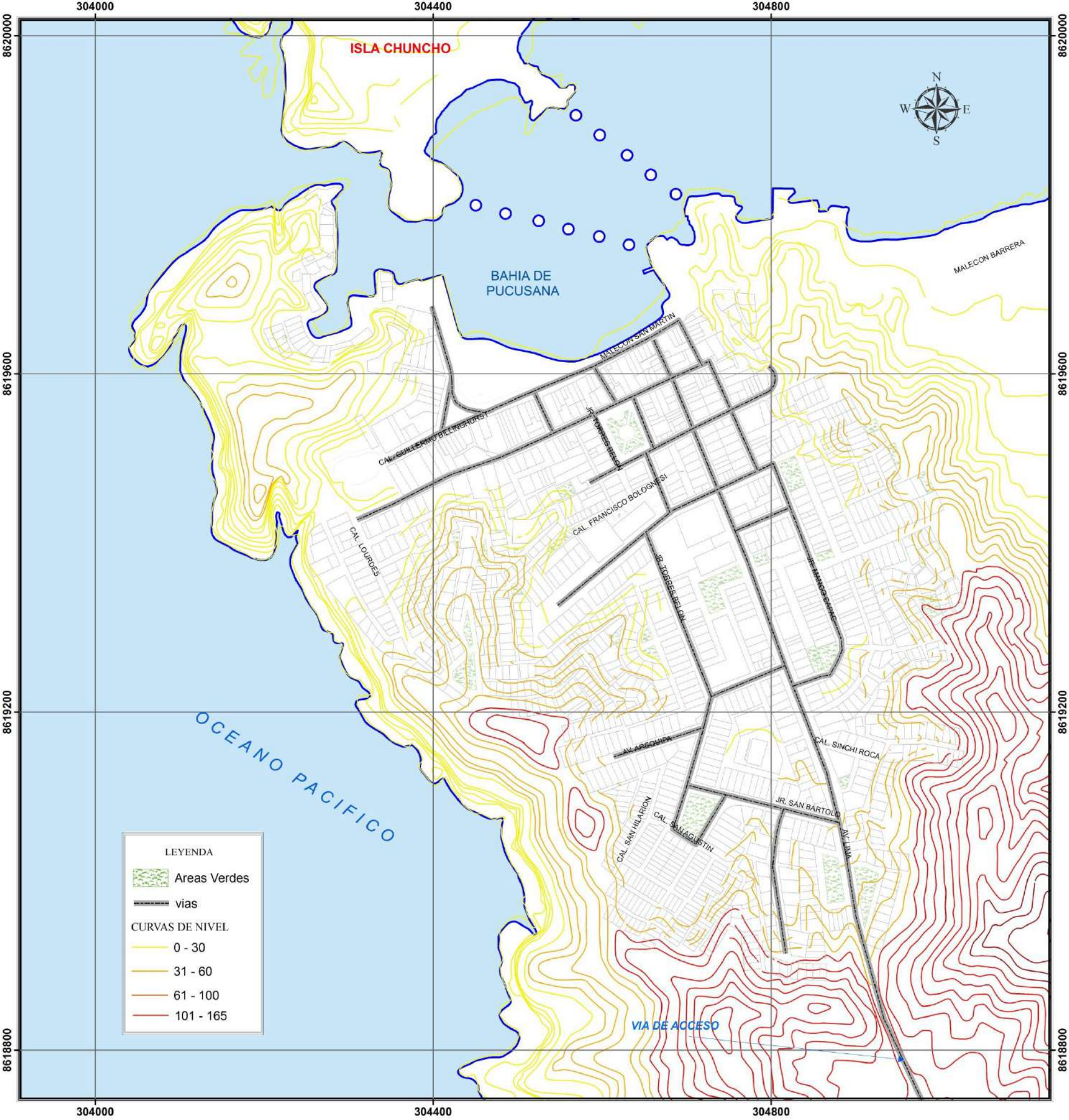
Esfuerzo Cortante
 (kg/cm²)

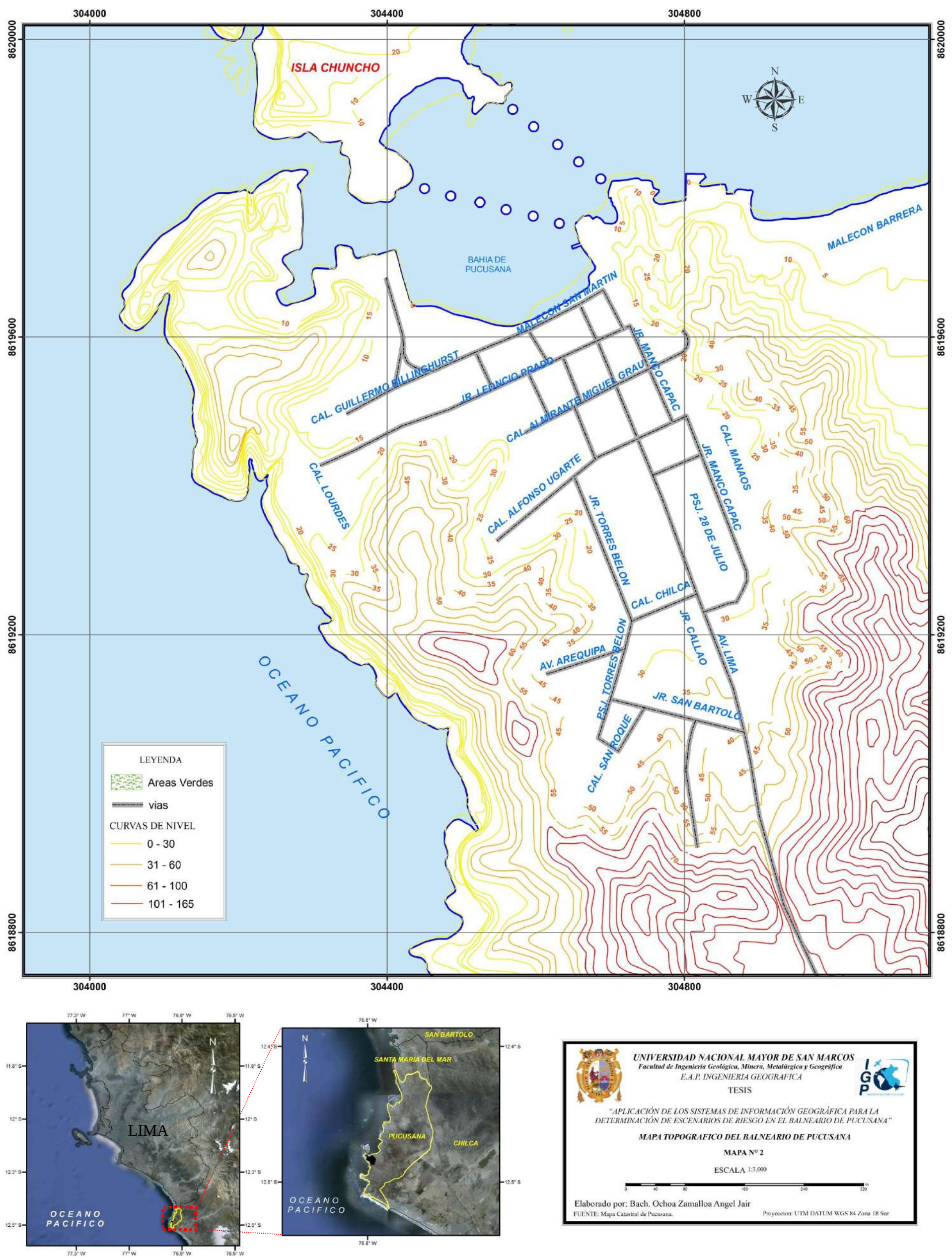
0.5	0.15	0.14	0.30
1.0	0.20	0.21	0.30
2.0	0.25	0.36	0.61
3.0	0.28	0.42	0.72
4.0	0.32	0.61	0.92
5.0	0.41	0.75	1.02
7.0	0.45	0.80	1.15
9.0	0.43	0.76	1.20
11.0	0.42	0.75	1.22
13.0	0.41	0.72	1.17
15.0	0.40	0.71	1.16

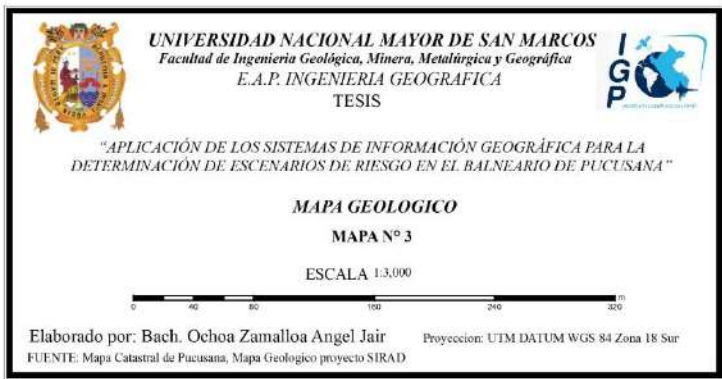
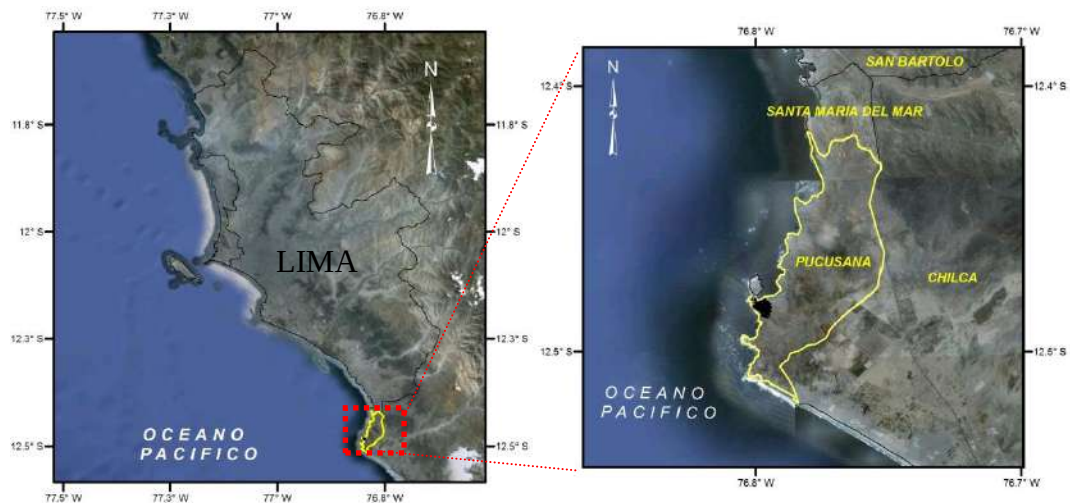
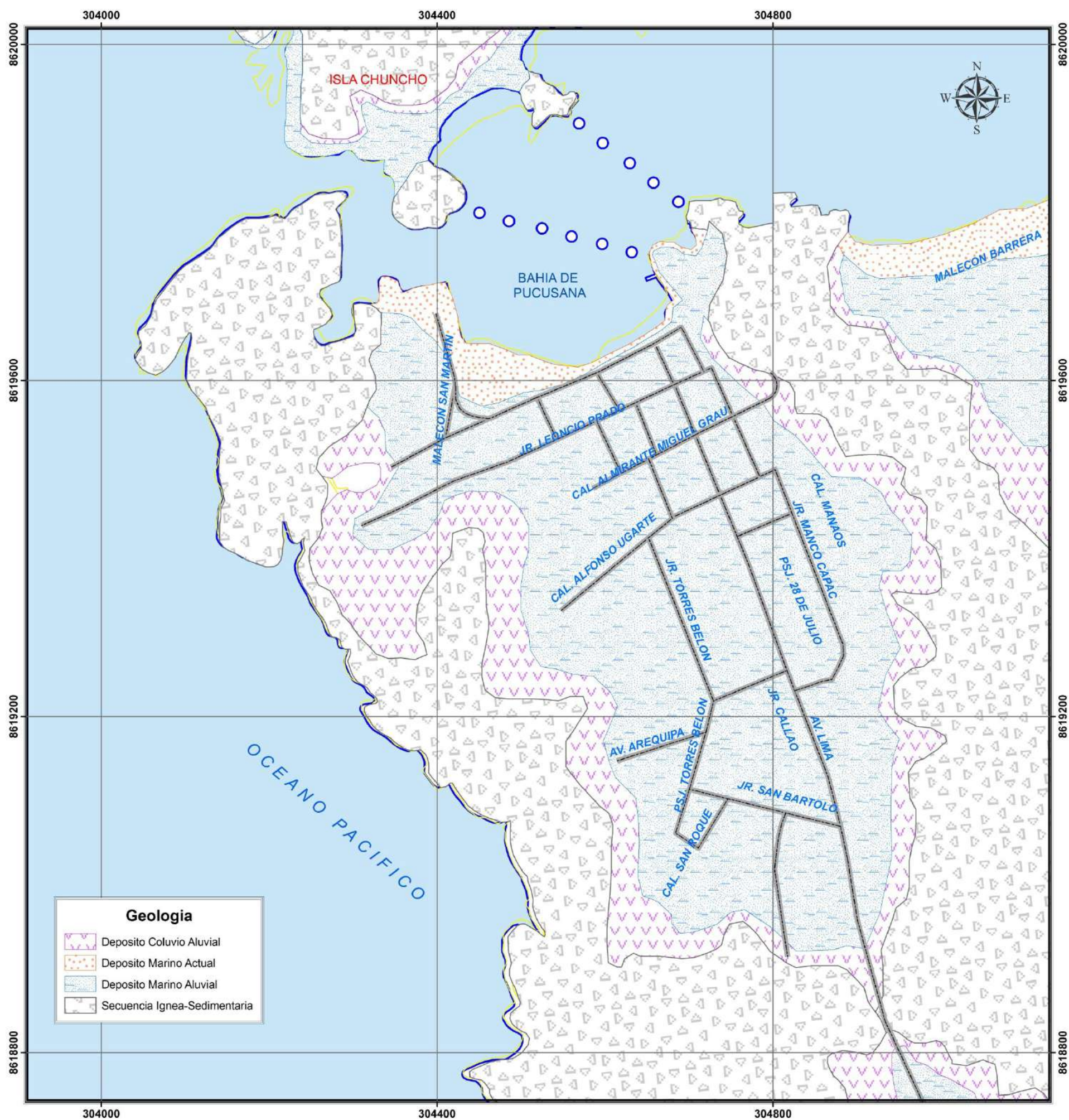
Angulo de Fricción Interna del Suelo (°) 35.19
Cohesión Aparente del Suelo (kg/cm²) 0.02

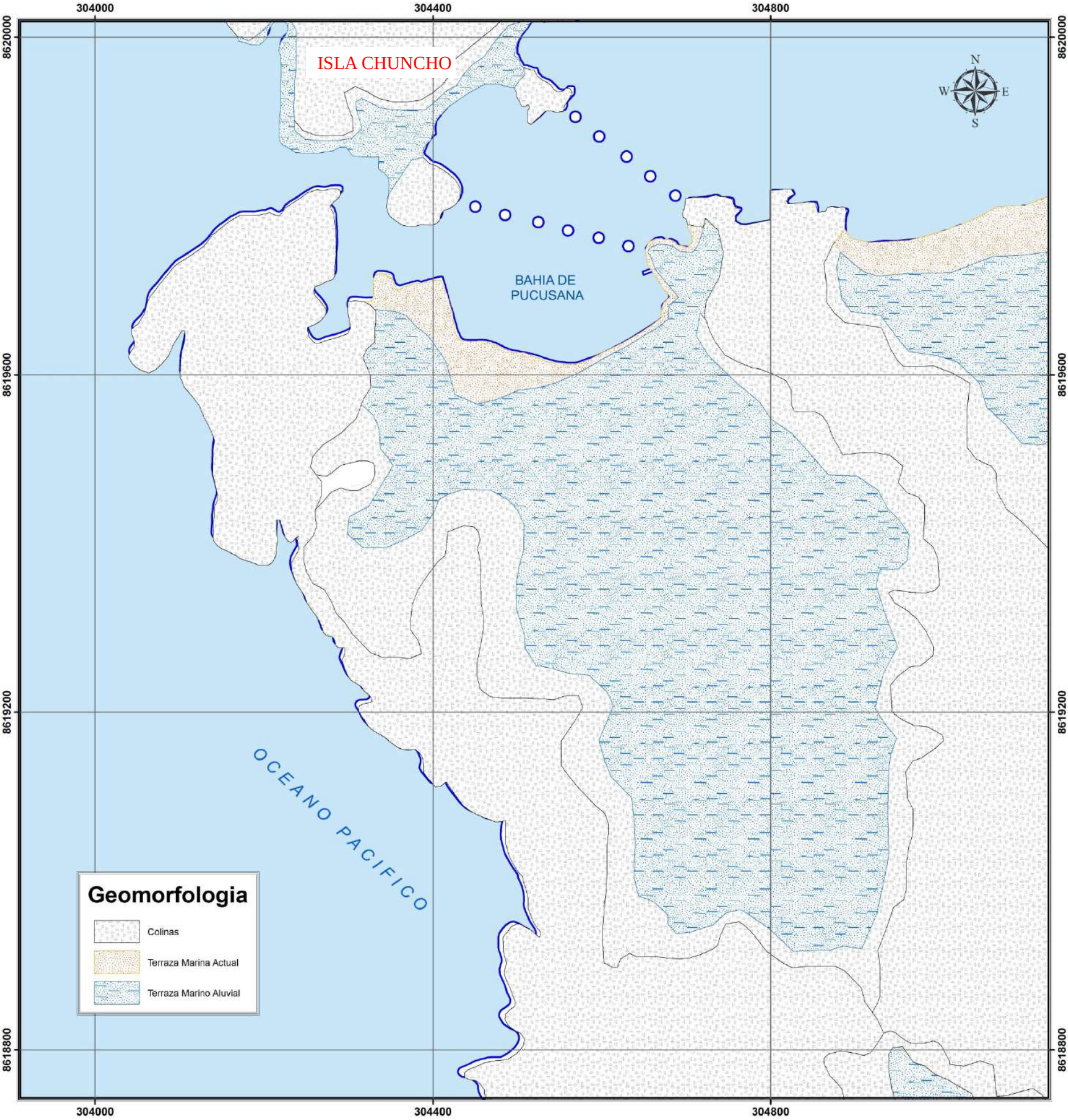
Anexo V

Mapas y Resultados











UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

E.A.P. INGENIERIA GEOGRAFICA

TESIS

"APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO EN EL BALNEARIO DE PUCUSANA"

MAPA GEOMORFOLOGICO

MAPA Nº 4

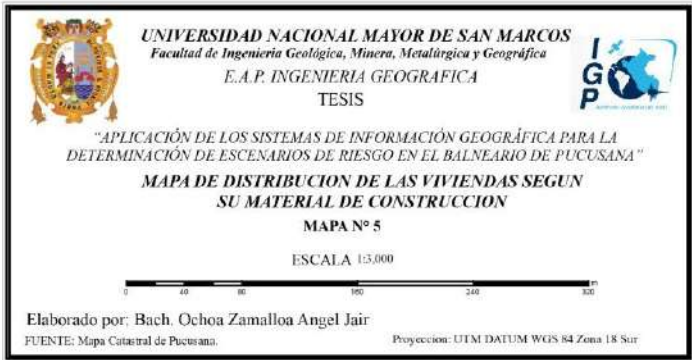
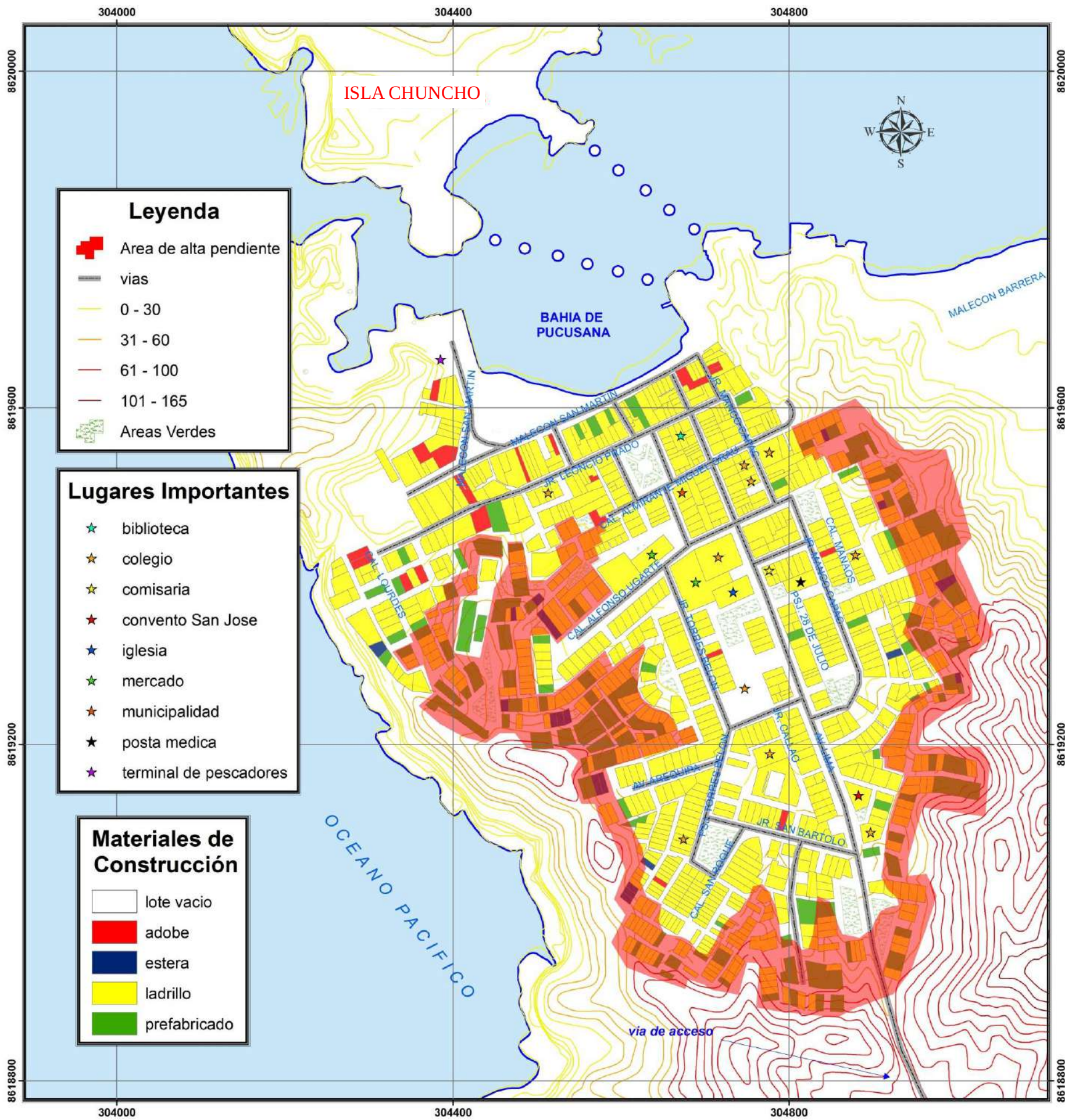
ESCALA 1:3,000

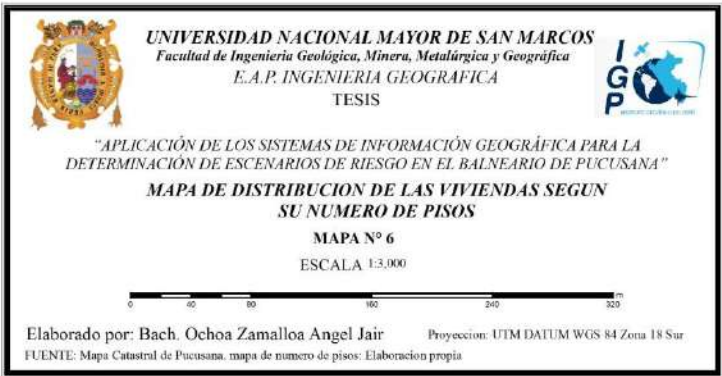
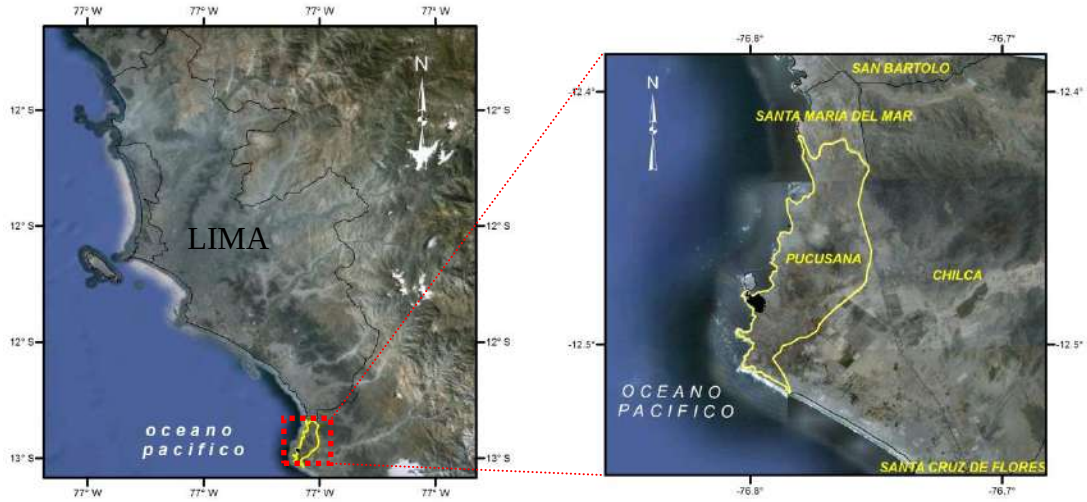
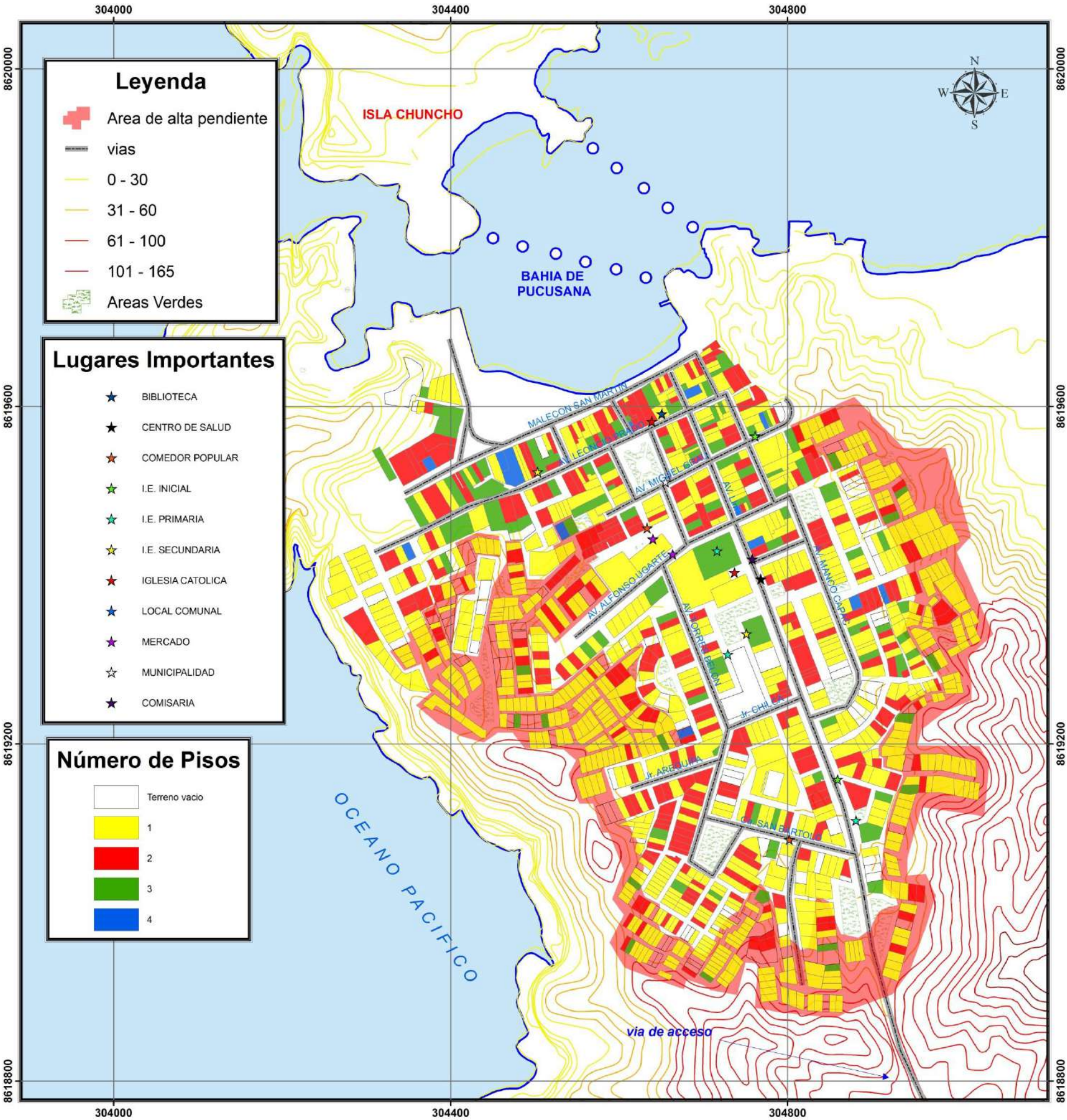


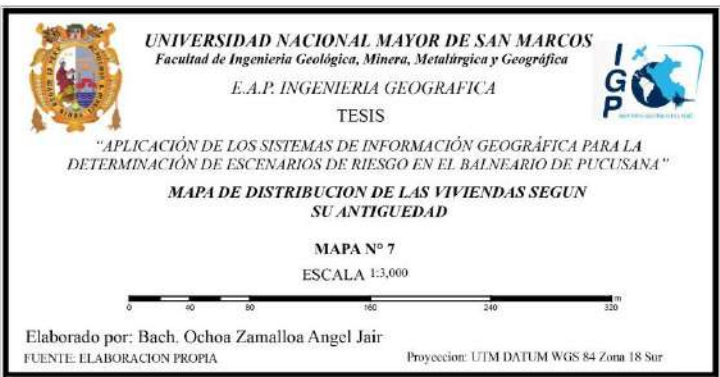
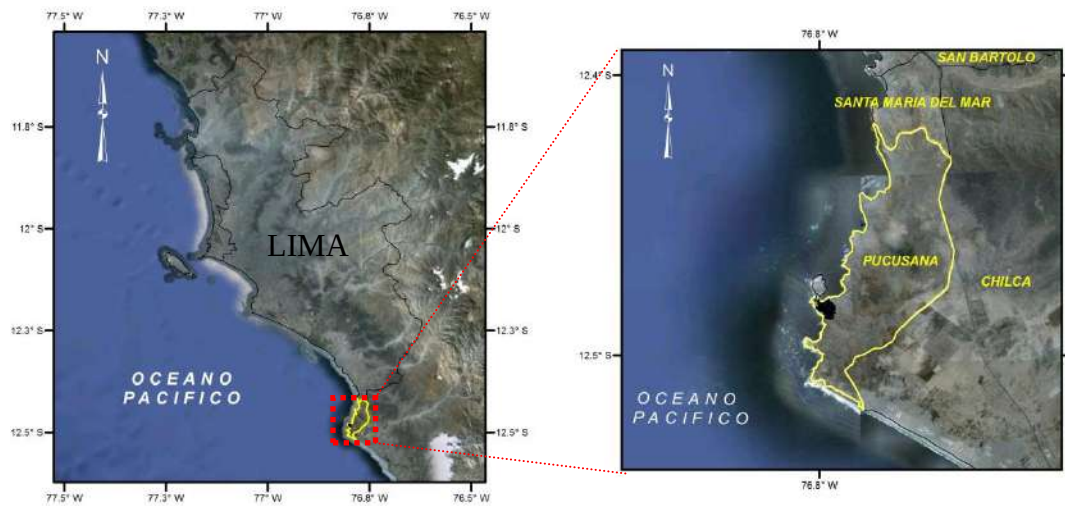
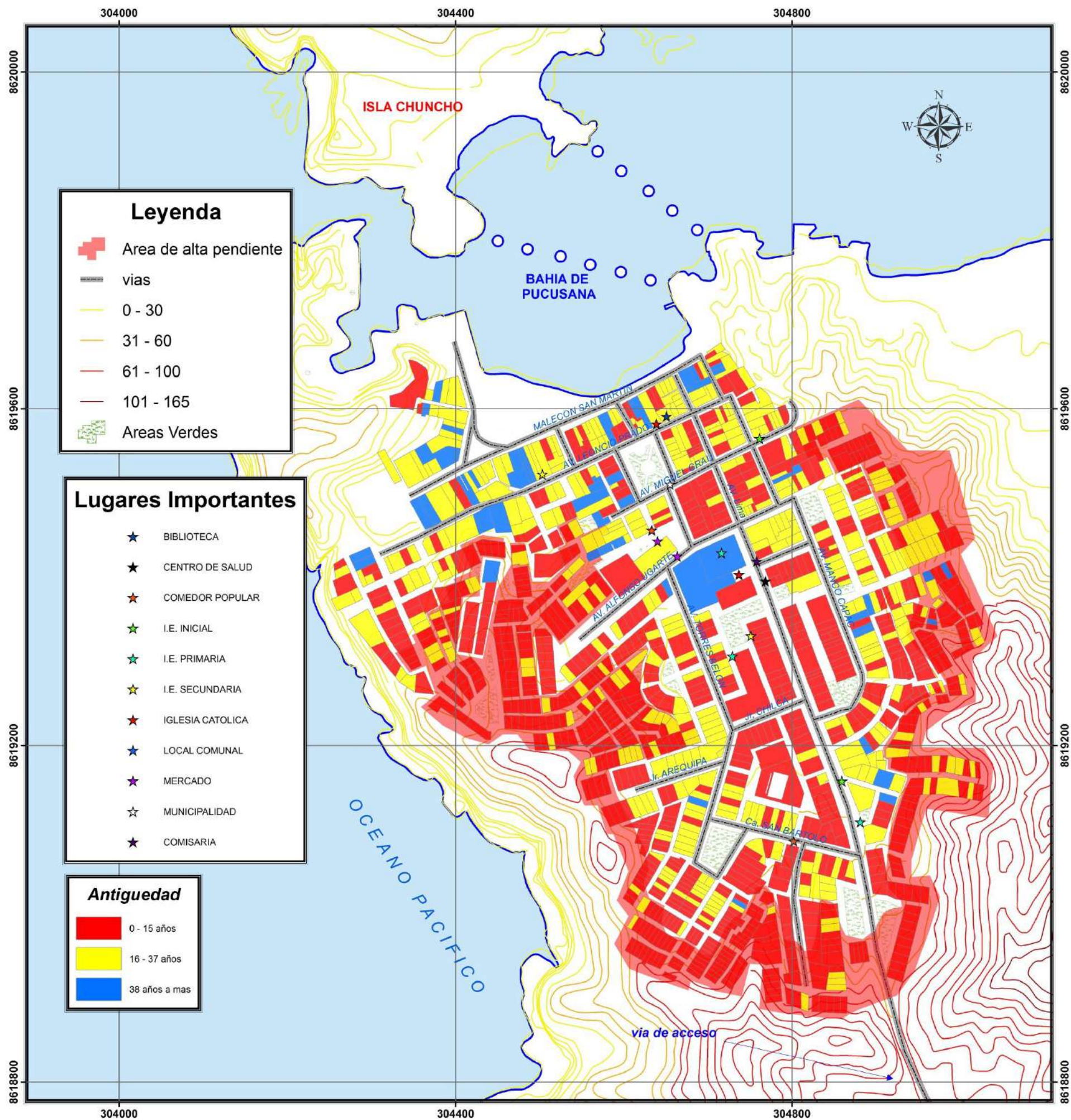


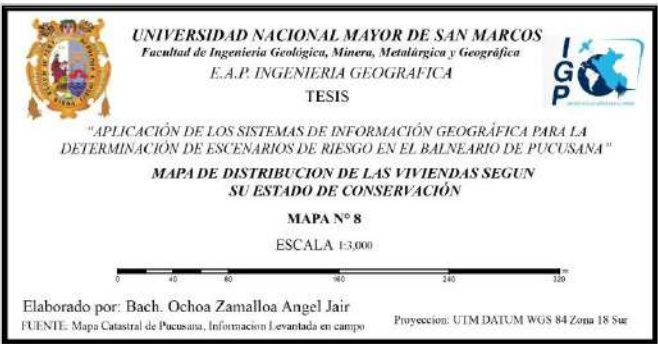
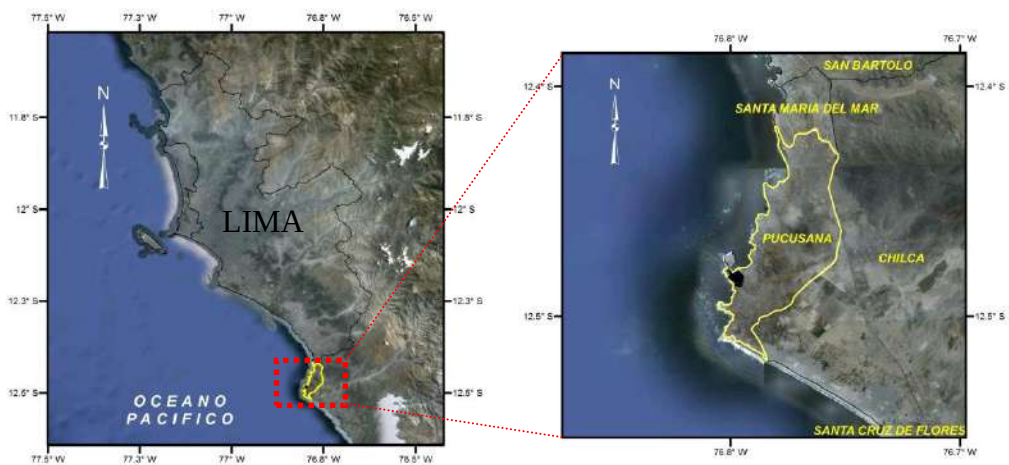
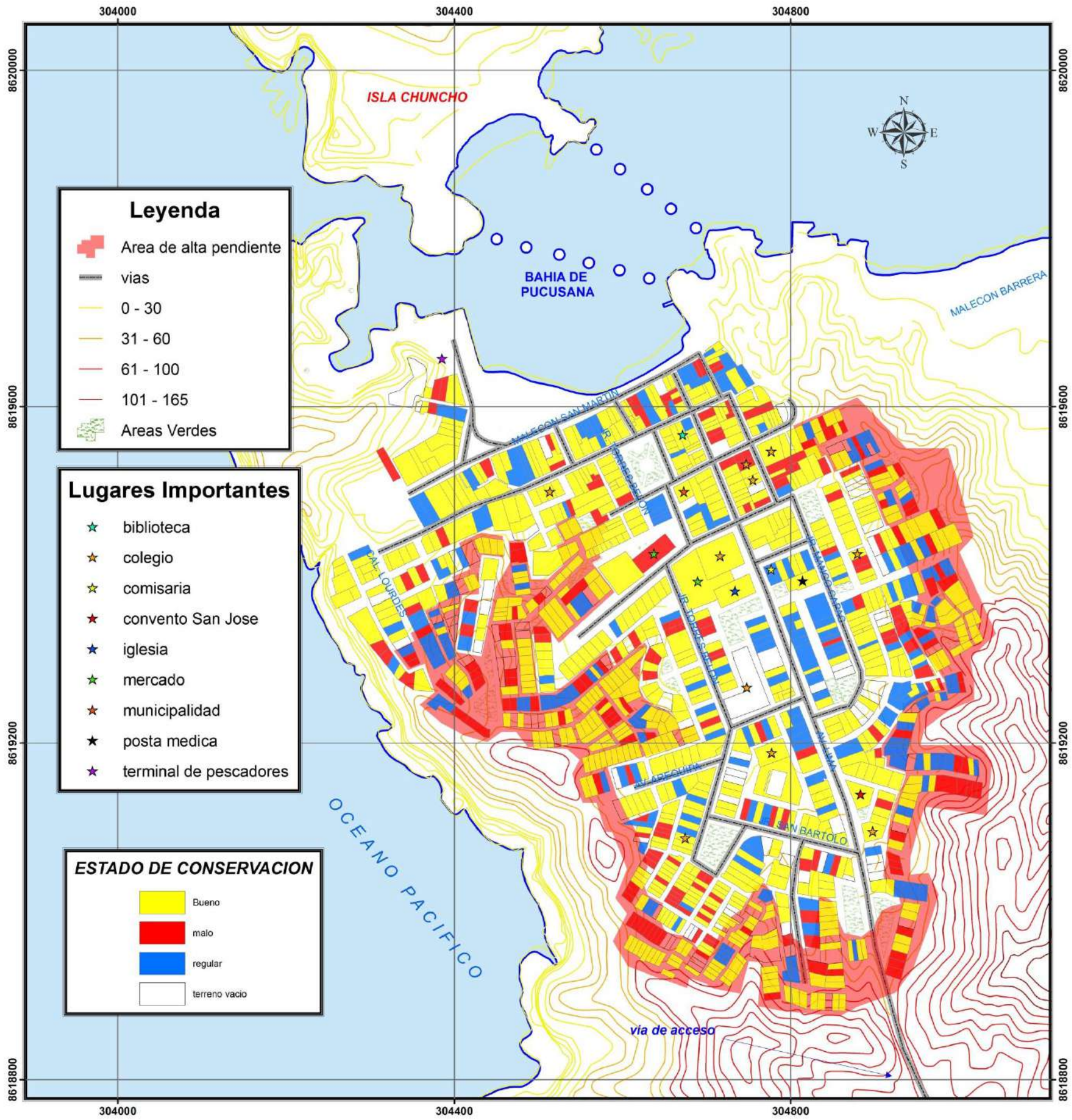
Elaborado por: Bach. Ochoa Zamalloa Angel Jair

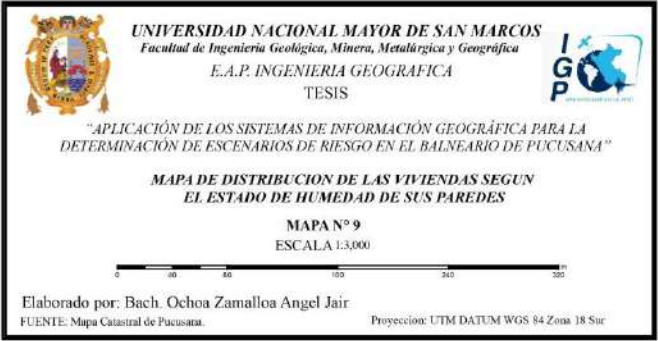
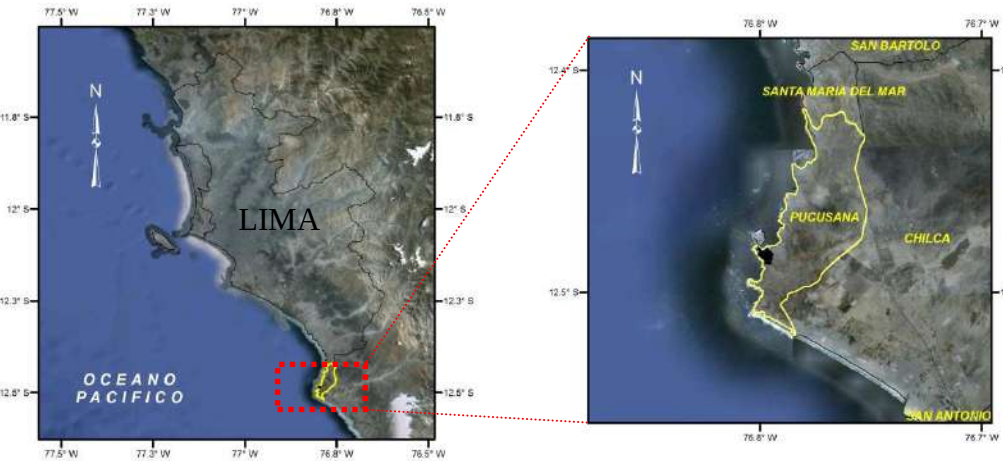
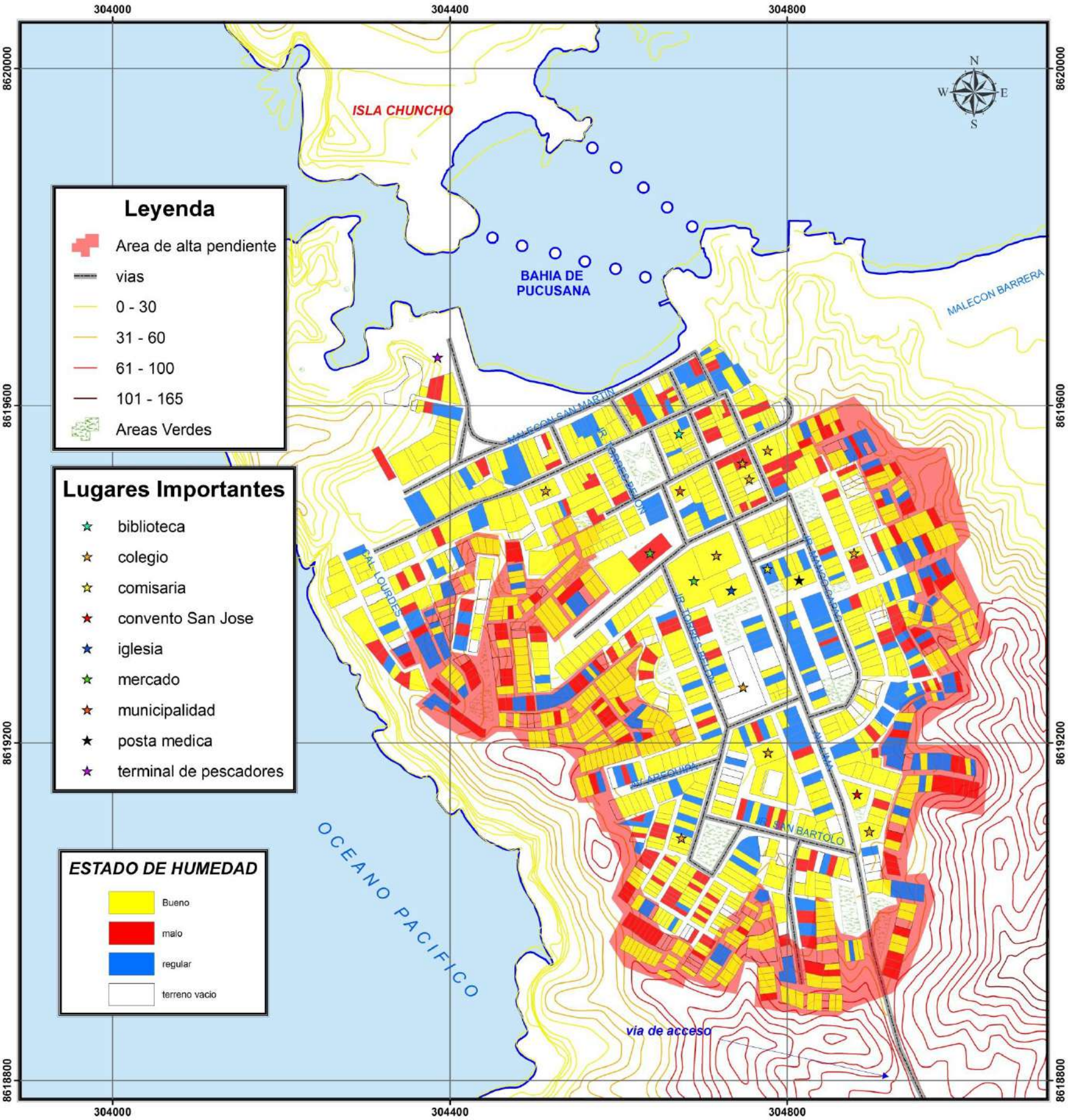
FUENTE: Mapa Catastral de Pucusana, Mapa Geomorfológico proyecto SIRAD Proyección: UTM DATUM WGS 84 Zona 18 Sur

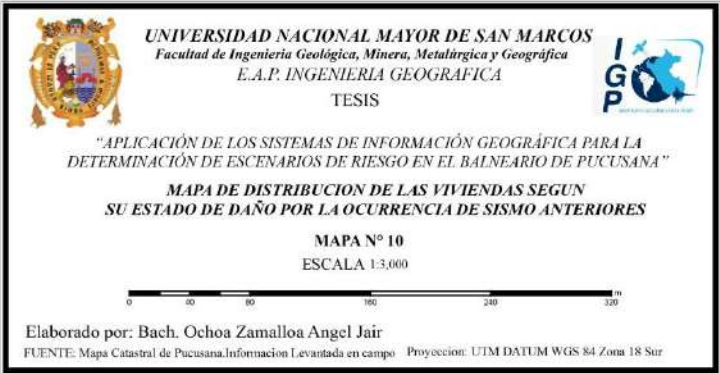
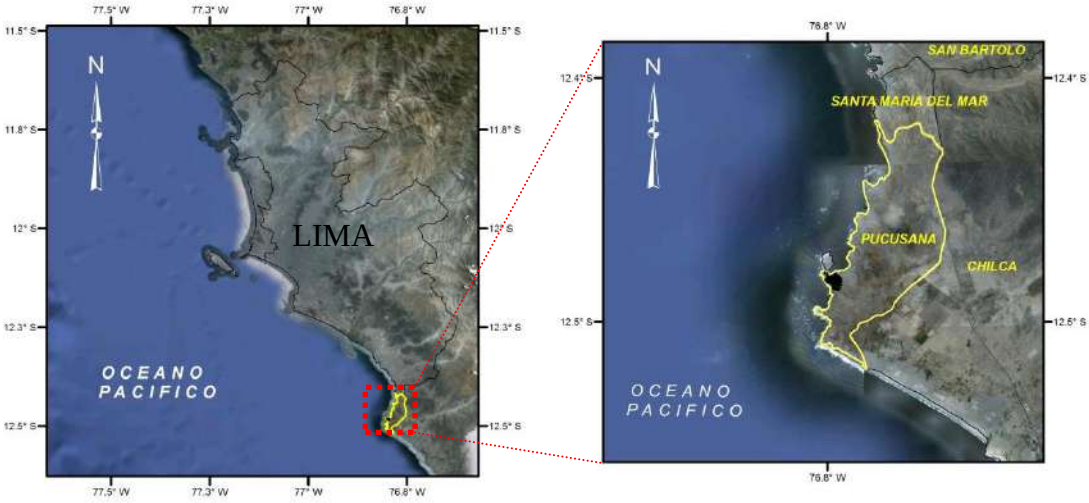
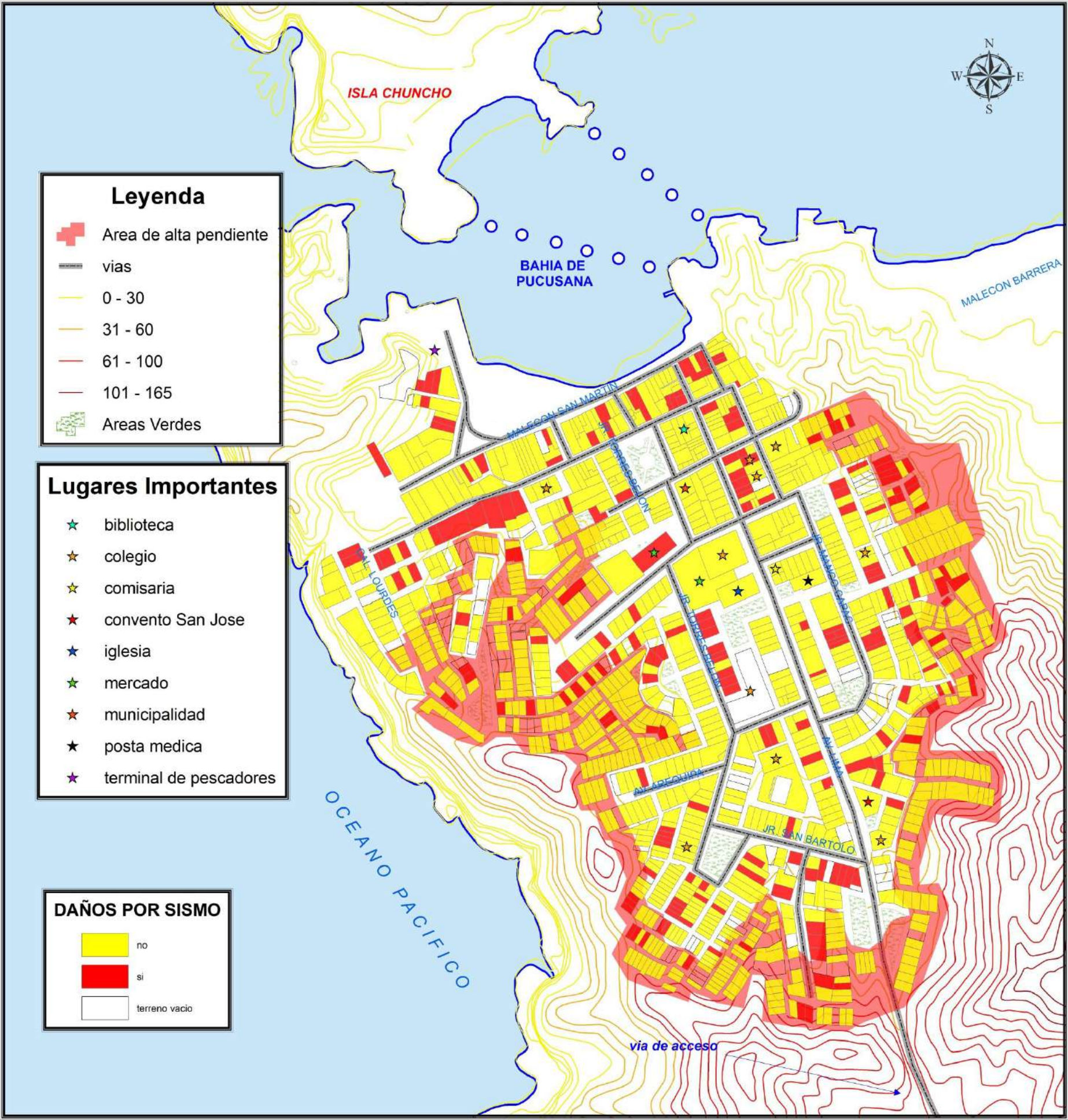


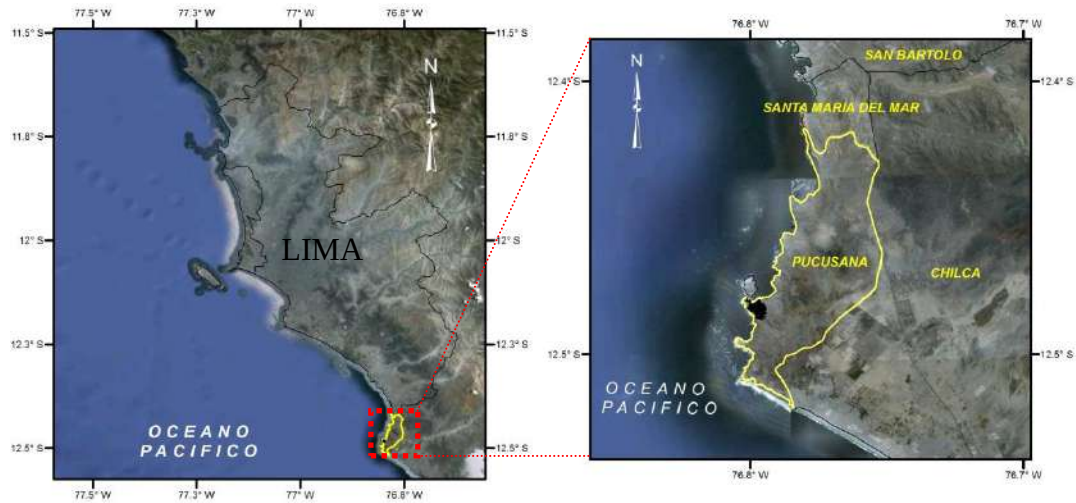
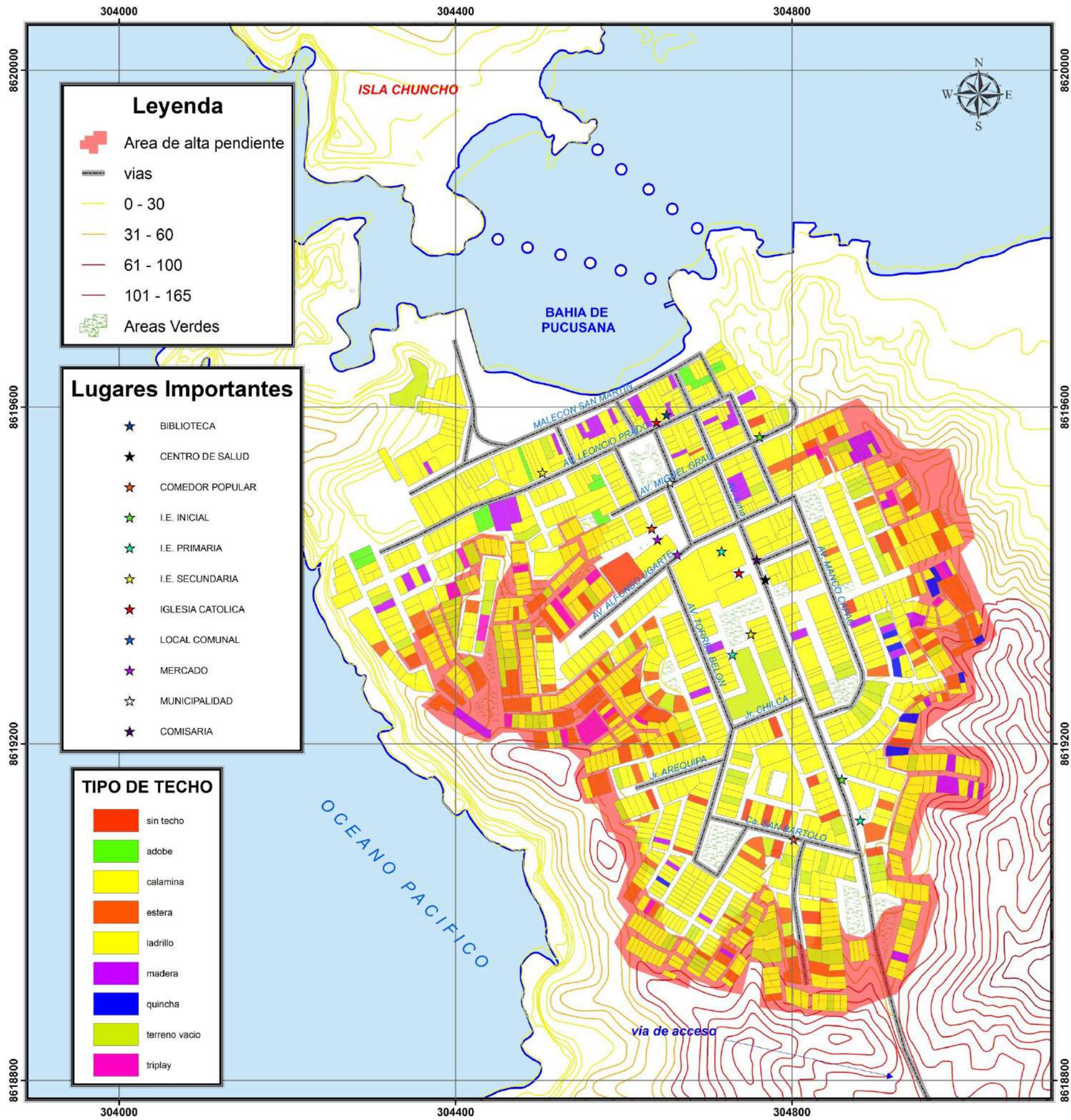












UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
E.A.P. INGENIERIA GEOGRAFICA
TESIS

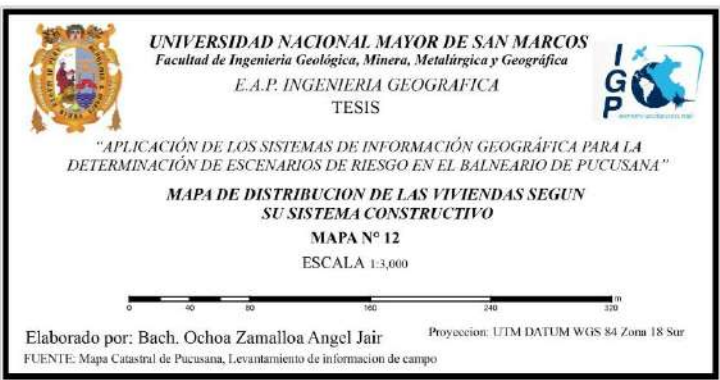
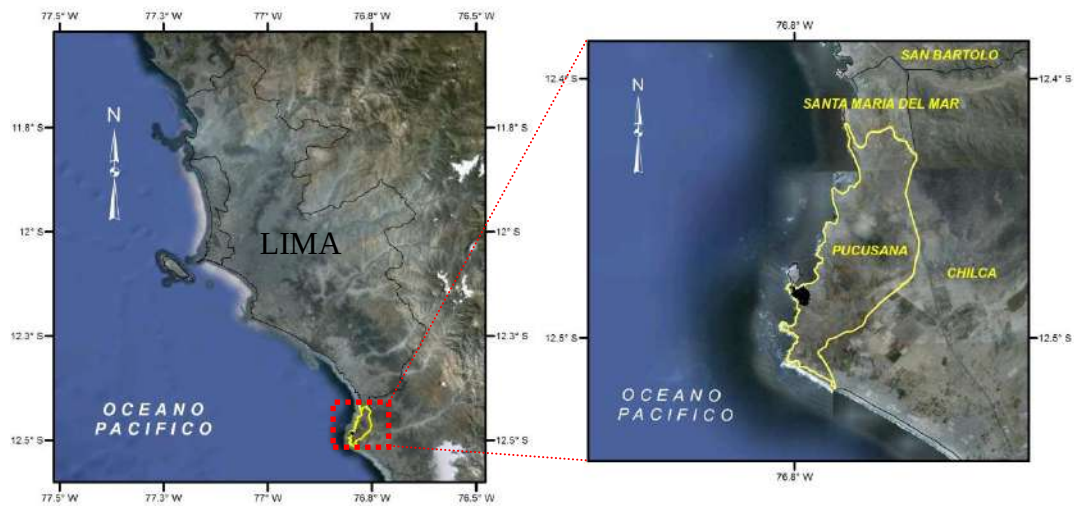
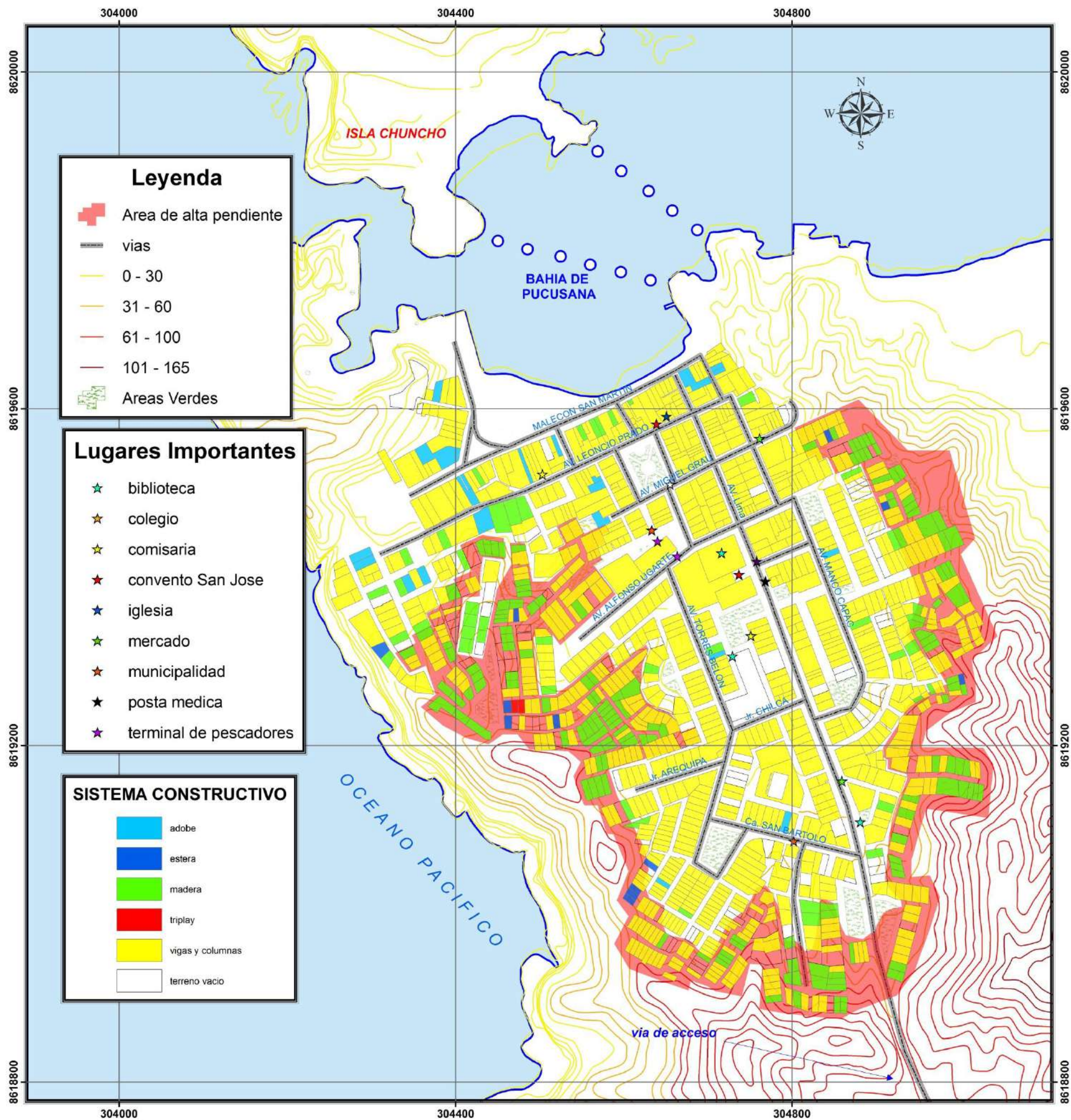
"APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO EN EL BALNEARIO DE PUCUSANA"

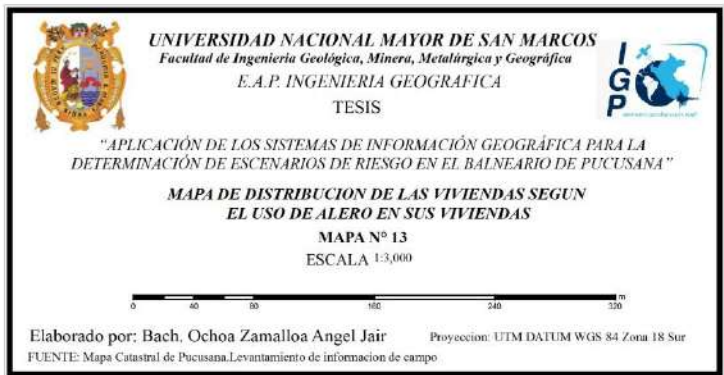
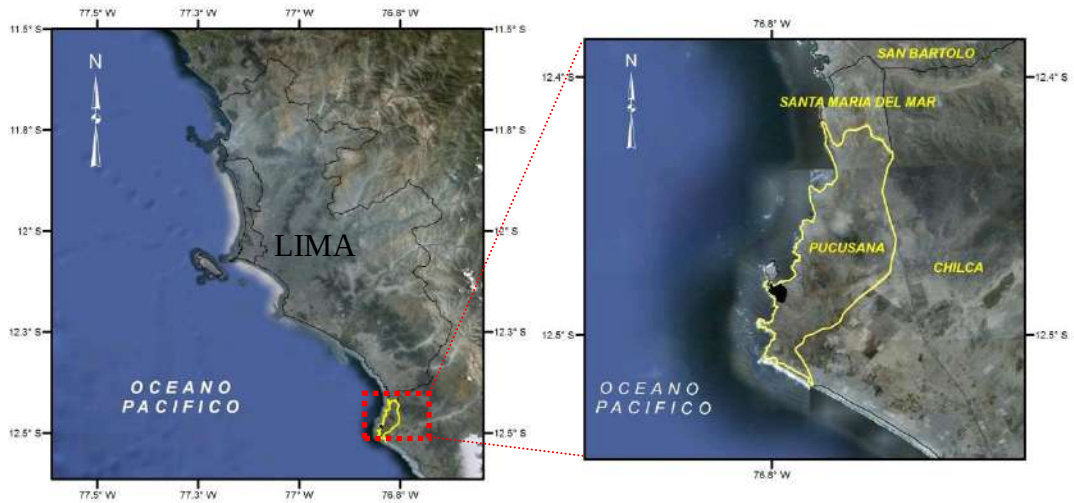
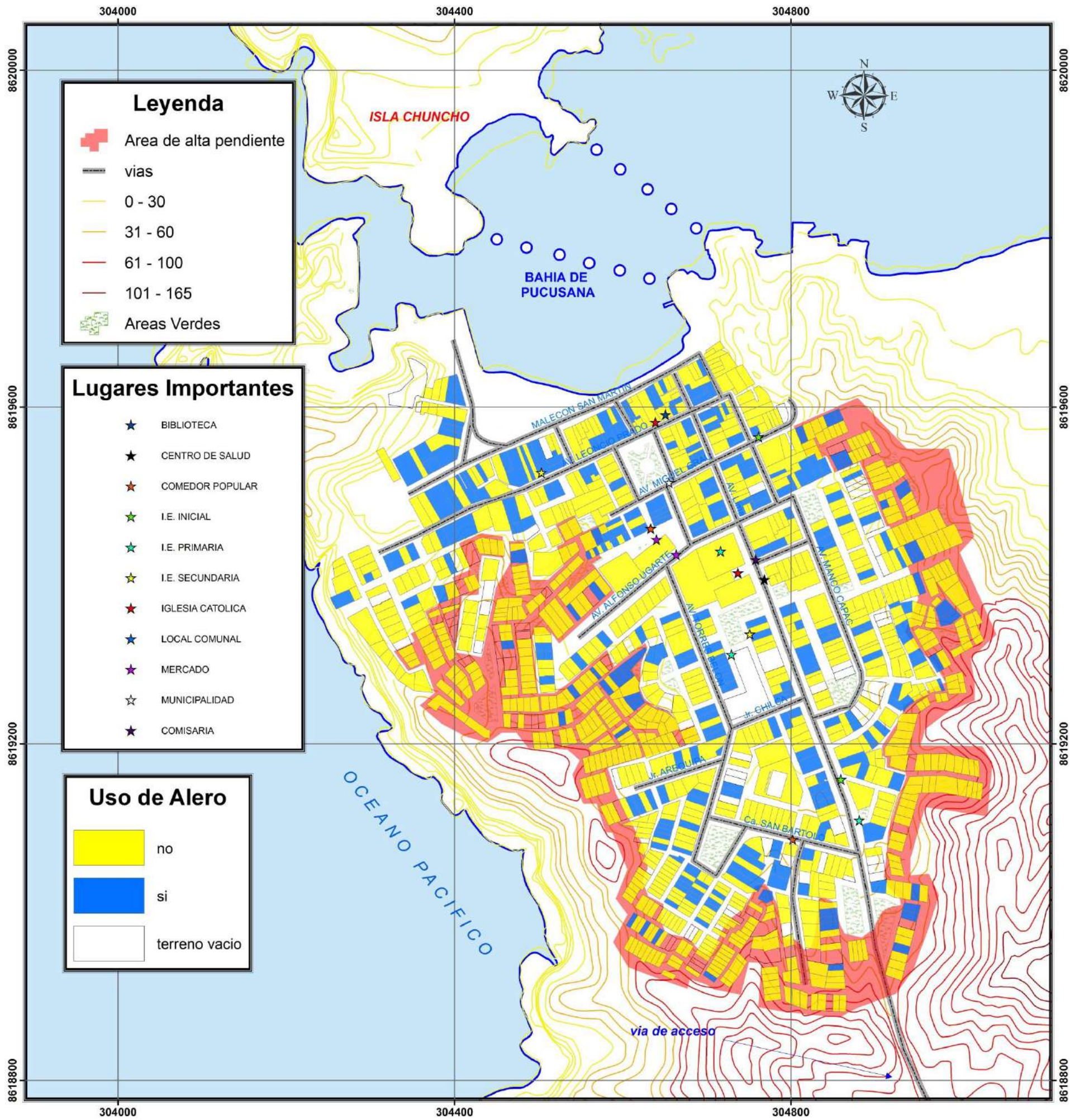
MAPA DE DISTRIBUCION DE LAS VIVIENDAS SEGUN SU TIPO DE TECHO

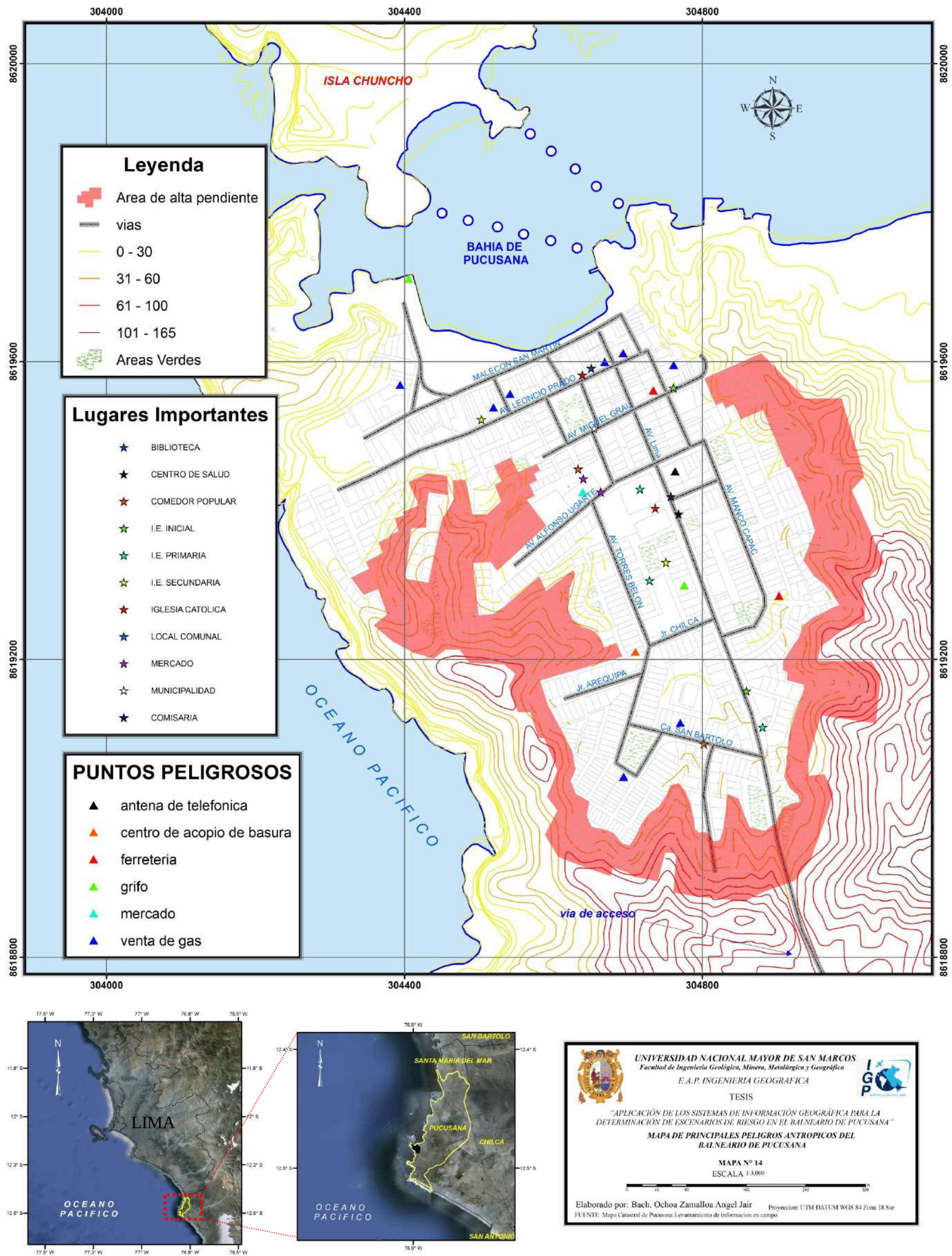
MAPA N° 11
ESCALA 1:3,000

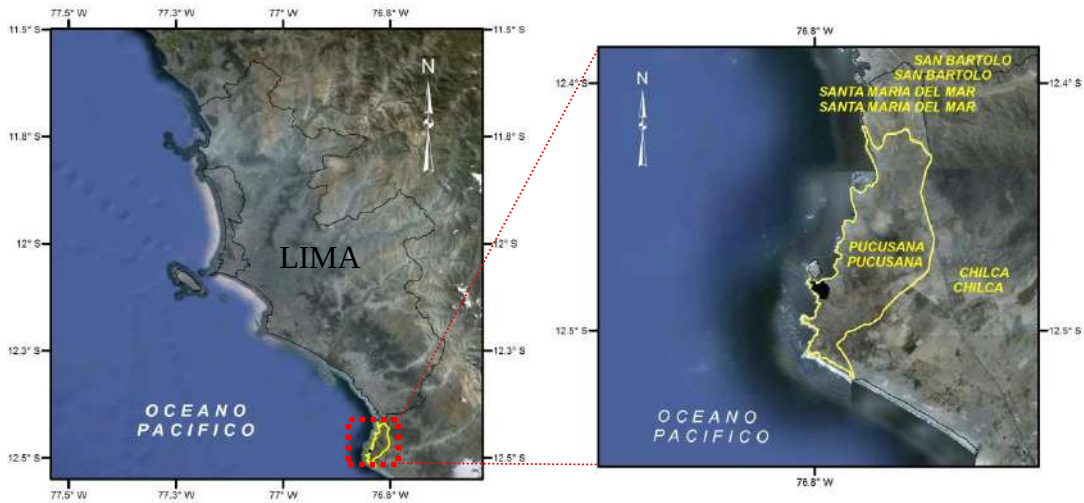
Elaborado por: Bach. Ochoa Zamalloa Angel Jair
FUENTE: Mapa Catastral de Pucusana. Levantamiento de información en campo

Proyección: UTM DATUM WGS 84 Zona 18 Sur









UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
E.A.P. INGENIERIA GEOGRAFICA

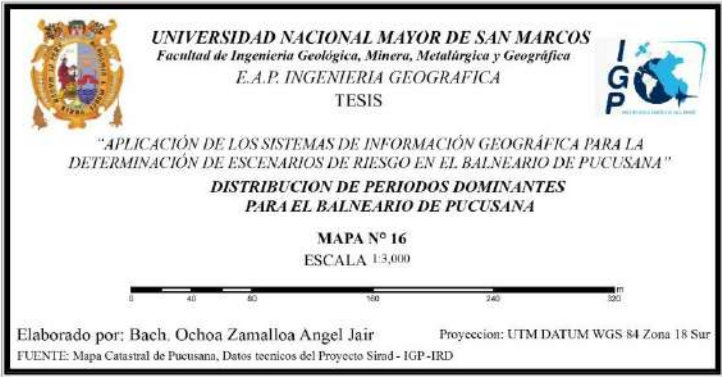
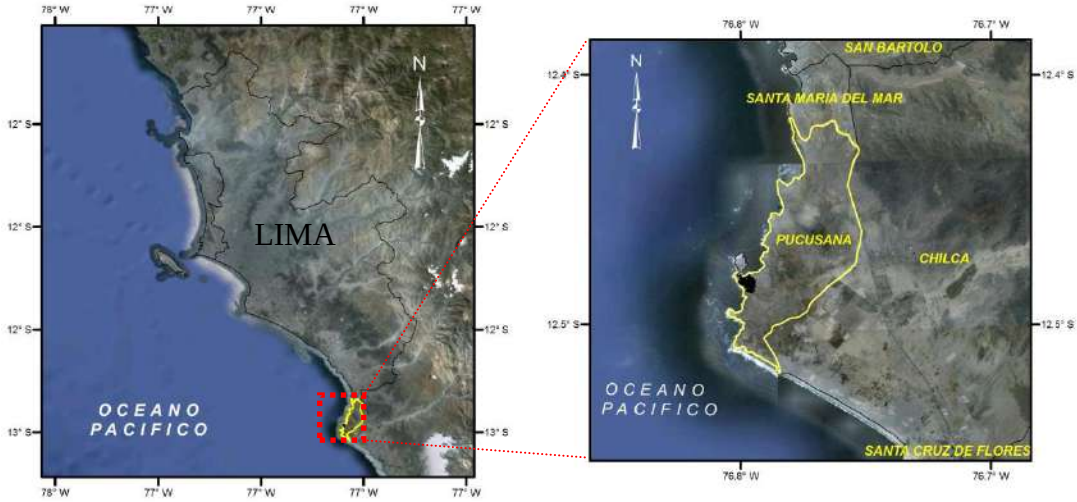
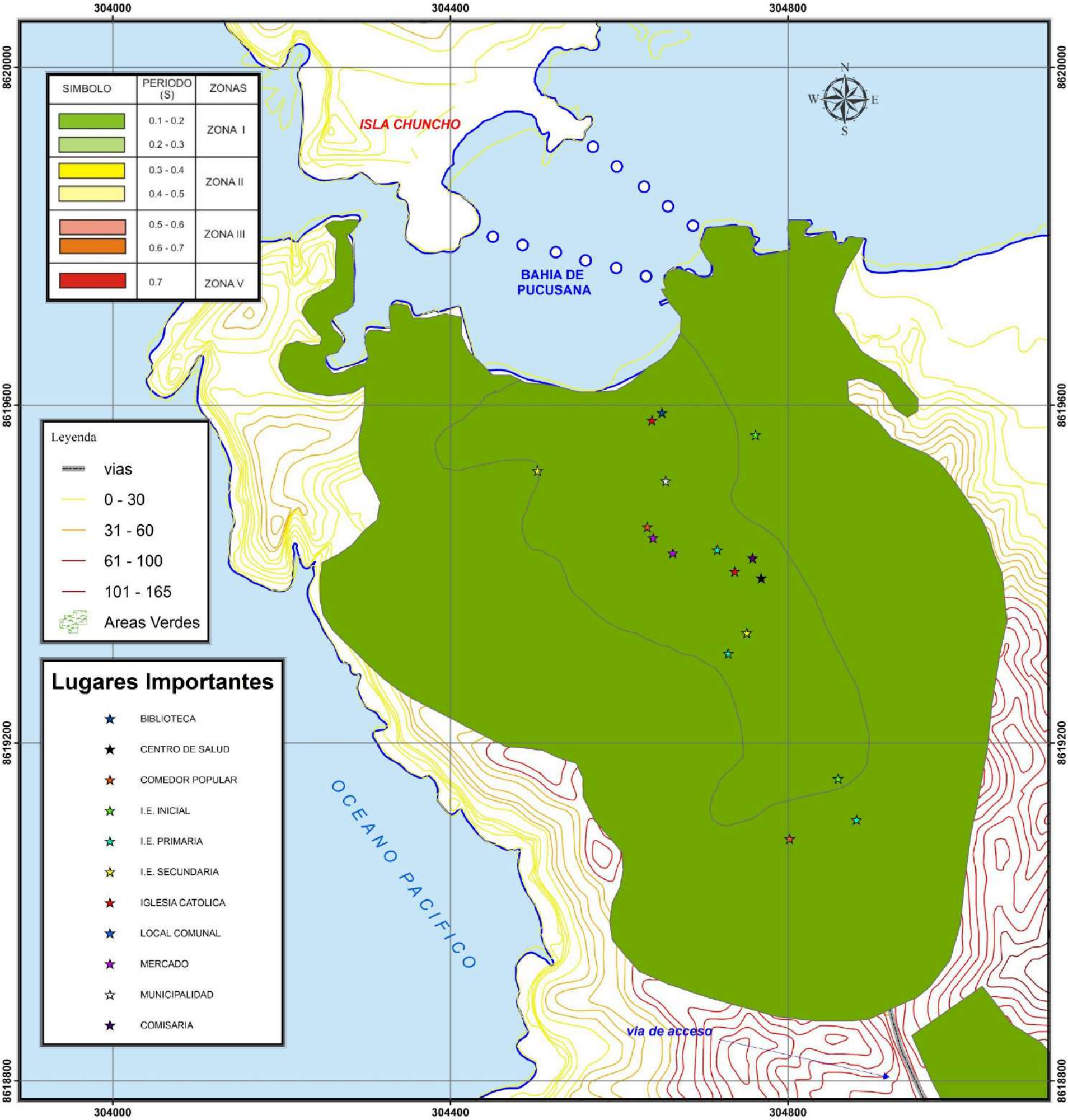
TESIS

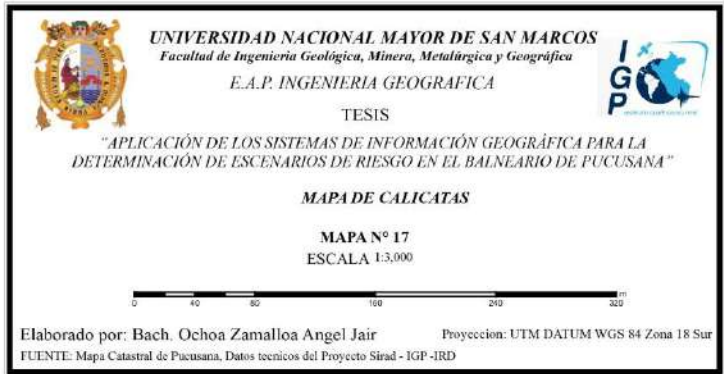
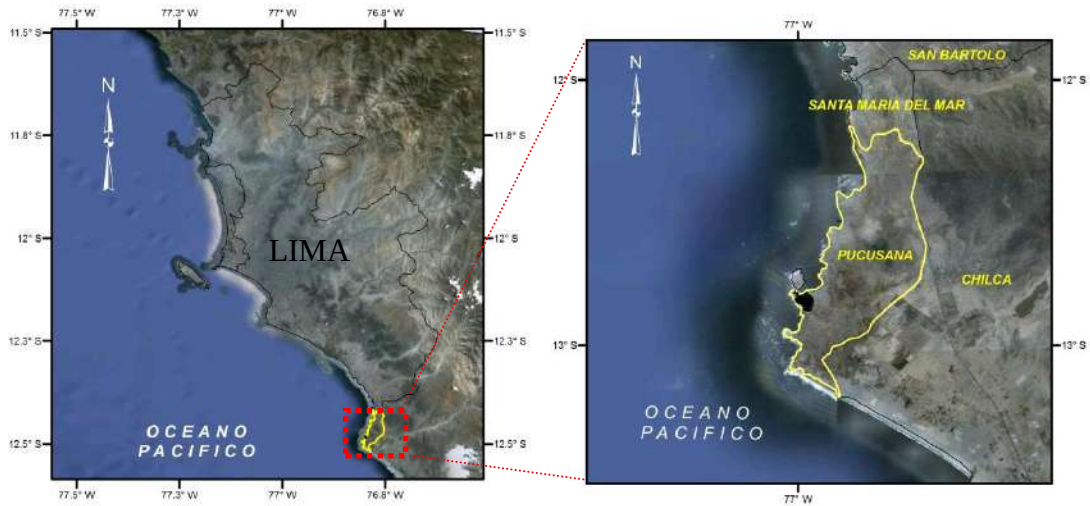
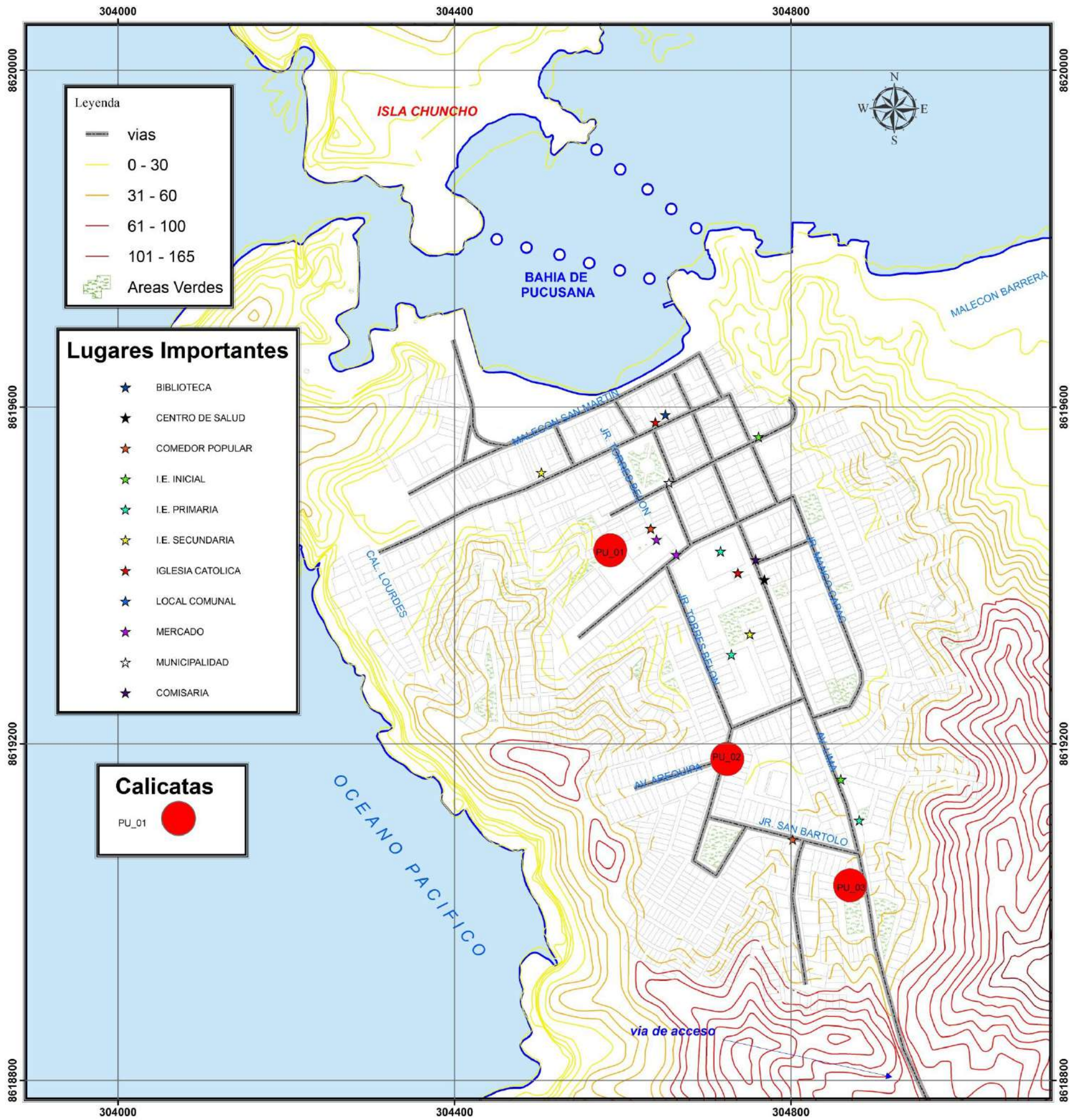
"APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO EN EL BALNEARIO DE PUCUSANA"

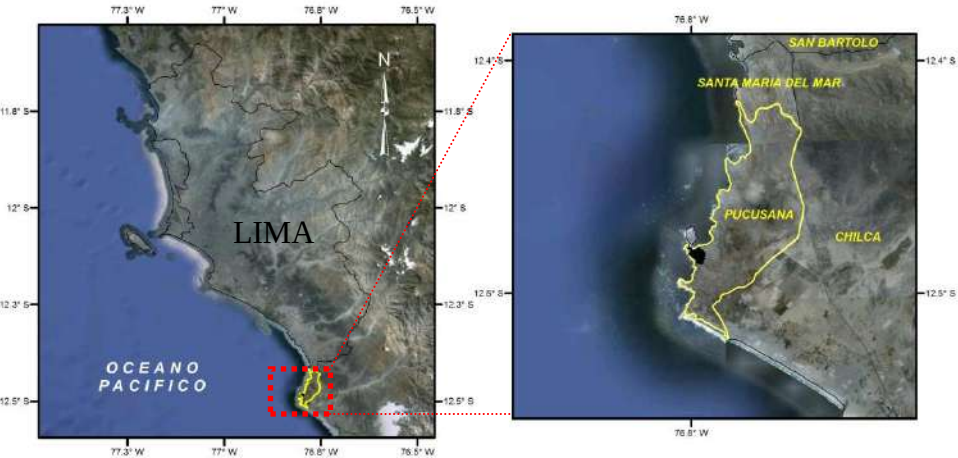
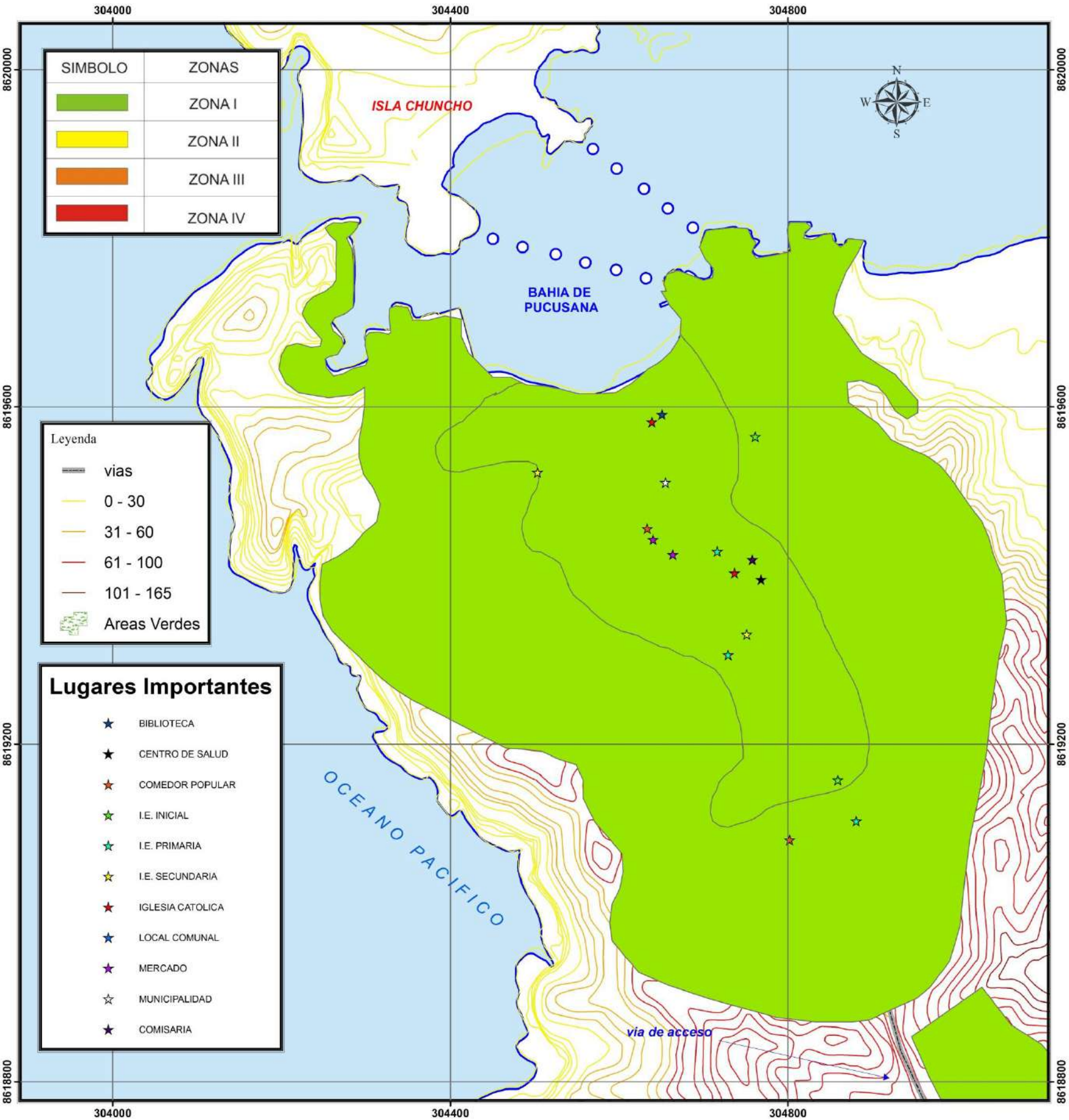
DISTRIBUCION DE PUNTOS DE REGISTRO DE VIBRACION AMBIENTAL PARA EL BALNEARIO DE PUCUSANA.

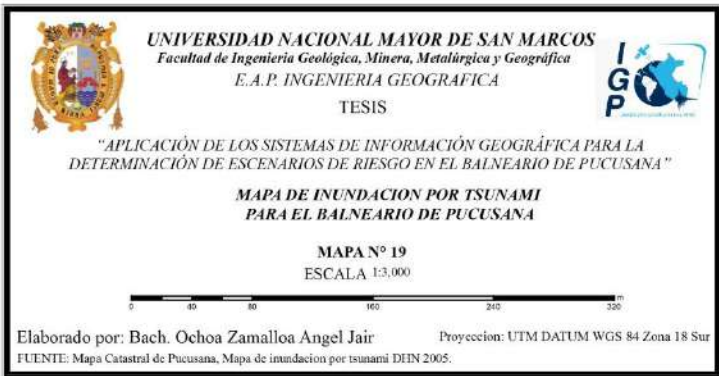
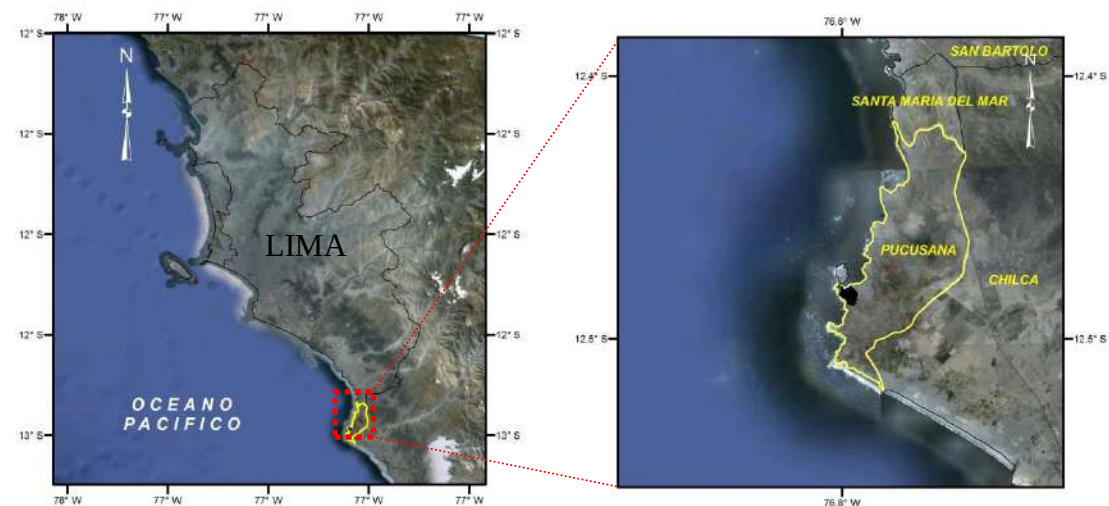
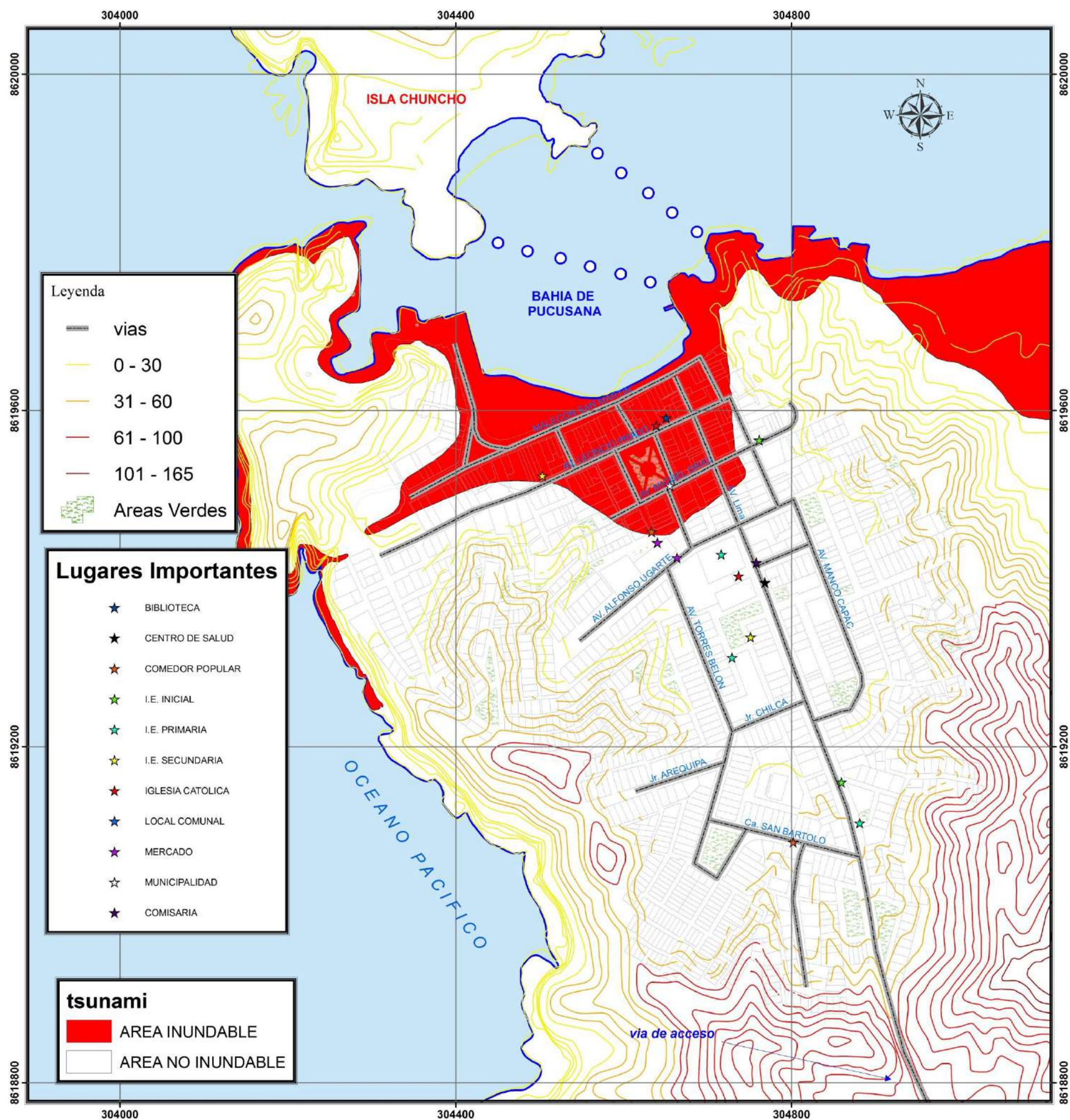
MAPA N° 15
ESCALA 1:3,000

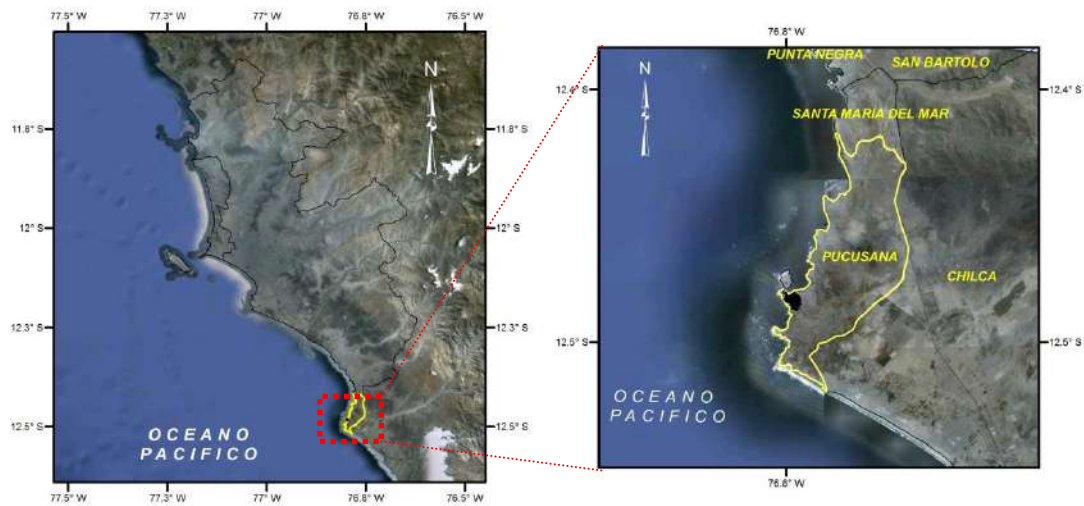
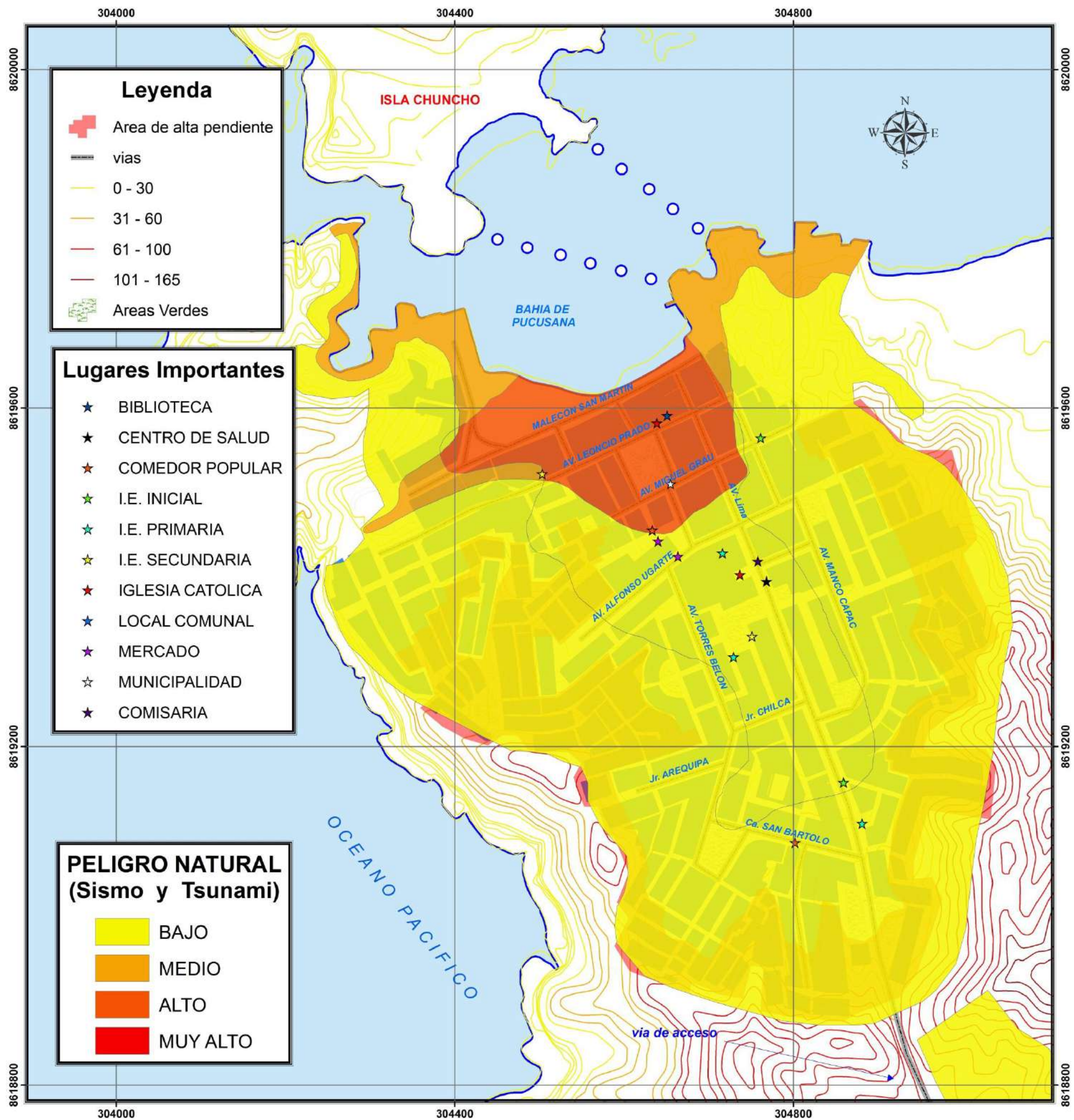
Elaborado por: Bach. Ochoa Zamalloa Angel Jair
Proyeccion: UTM DATUM WGS 84 Zona 18 Sur
FUENTE: Mapa Catastral de Pucusana, Datos técnicos del Proyecto Sirad - IGP-JRD











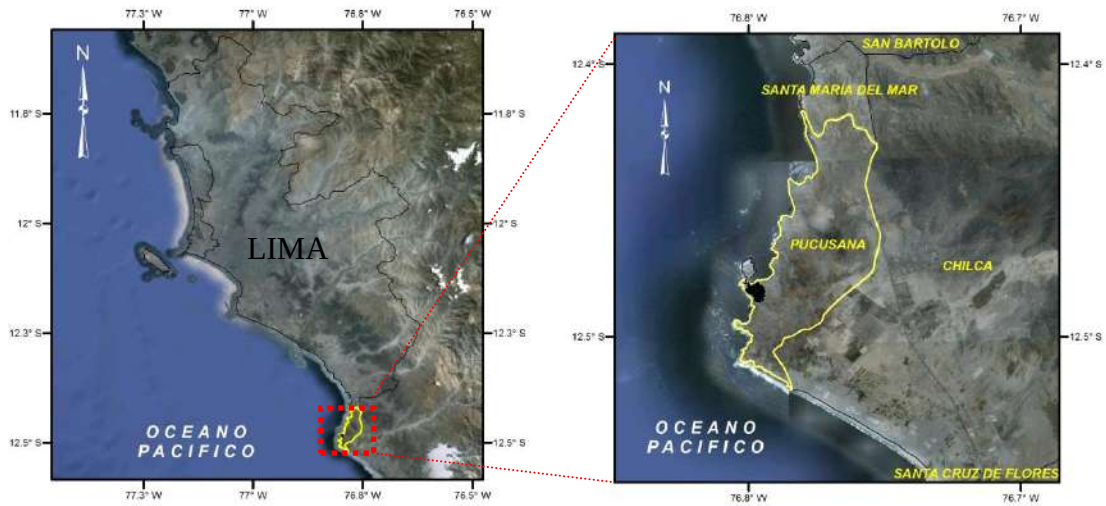
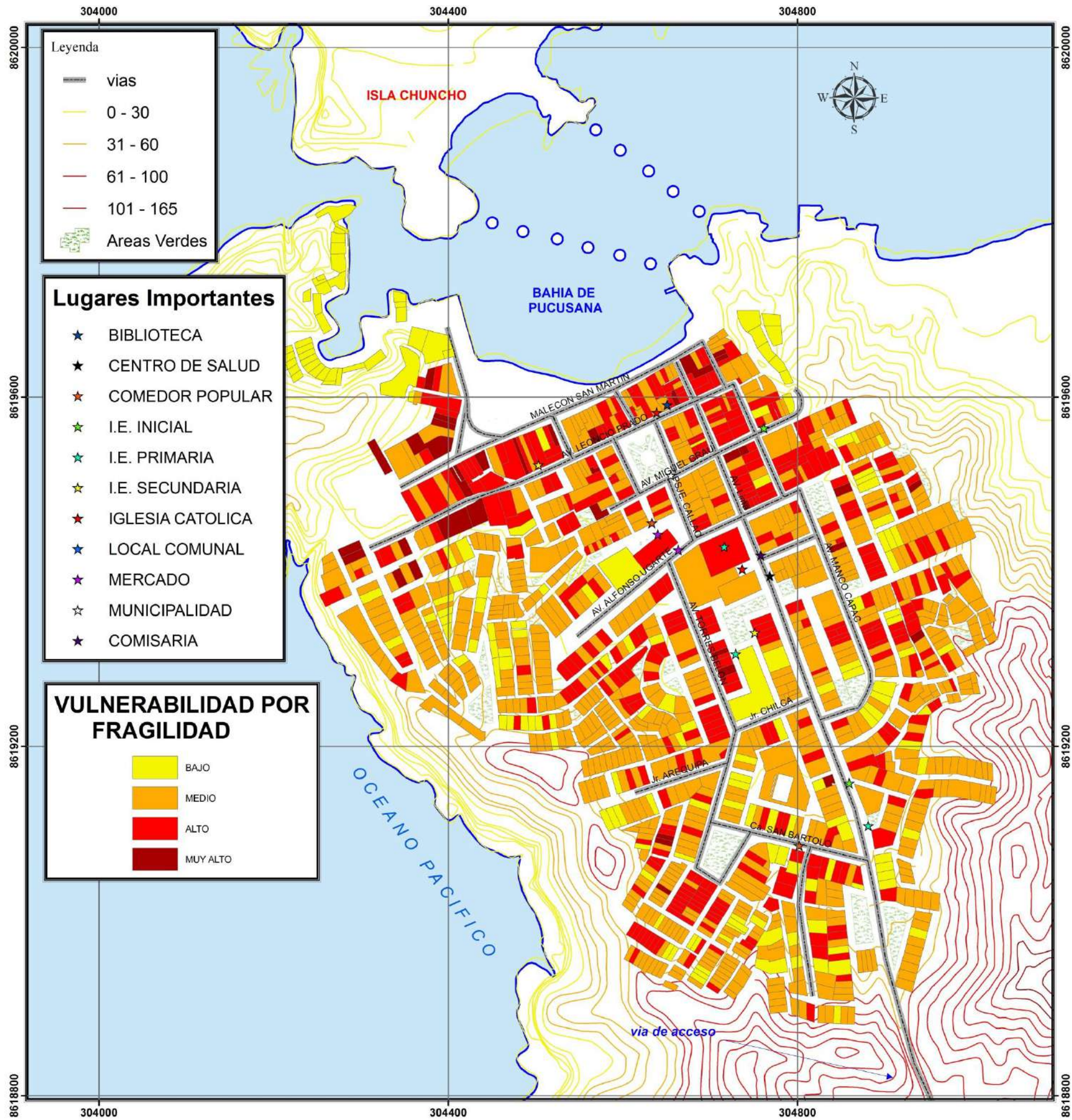
UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
E.A.P. INGENIERIA GEOGRAFICA
TESIS

"APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO EN EL BALNEARIO DE PUCUSANA"

MAPA DE PELIGROS NATURALES (Sismo y Tsunami)
MAPA N° 20

ESCALA 1:3,000

Elaborado por: Bach. Ochoa Zamalloa Angel Jair
Proyección: UTM DATUM WGS 84 Zona 18 Sur
FUENTE: Carta de inundación DHNI 2005 Pucusana, Levantamiento de información de campo



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
E.A.P. INGENIERIA GEOGRAFICA
TESIS

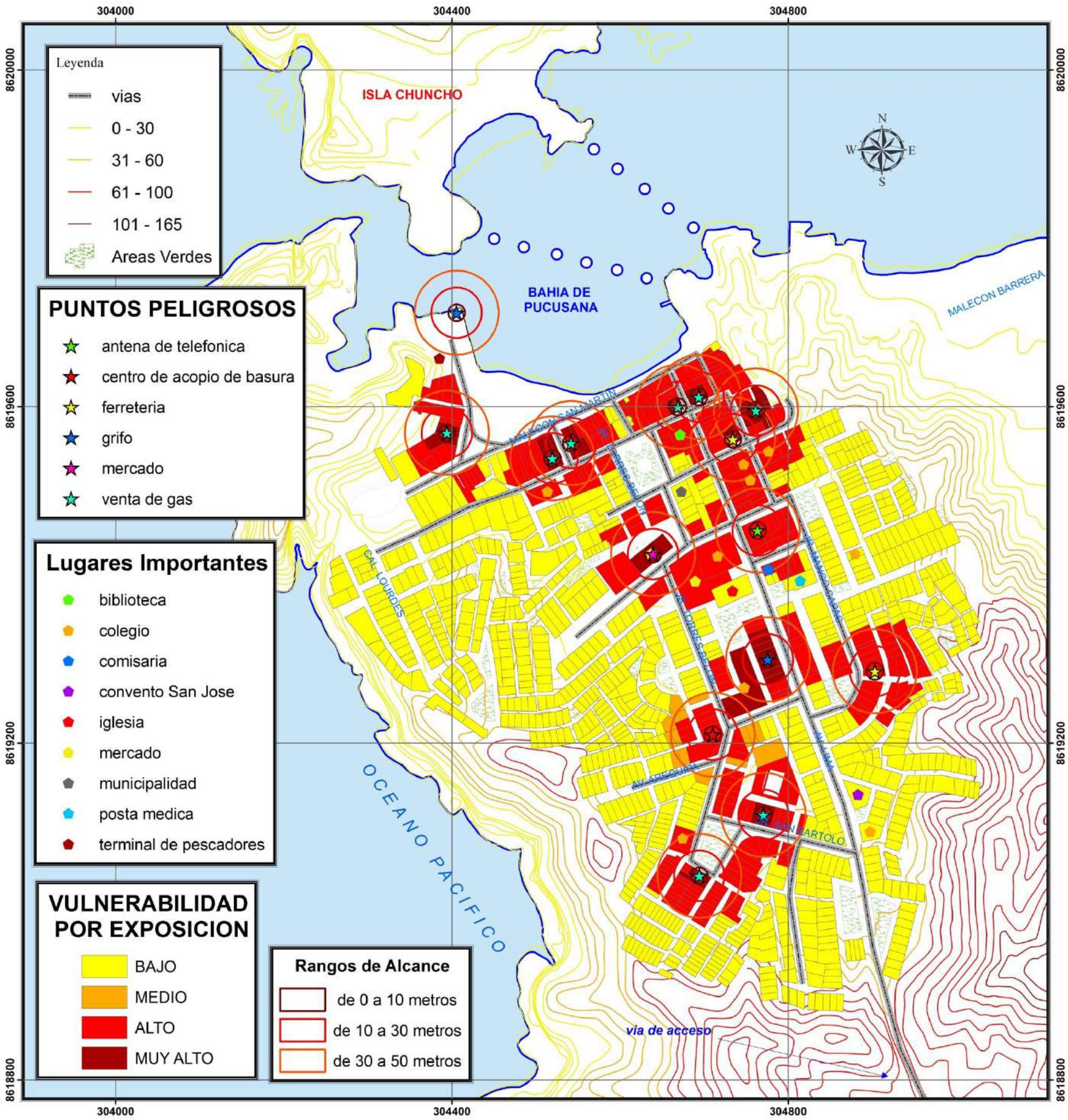
"APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO EN EL BALNEARIO DE PUCUSANA"

MAPA DE VULNERABILIDAD POR FRAGILIDAD PARA EL BALNEARIO DE PUCUSANA

MAPA Nº 21
ESCALA 1:3,000

Elaborado por: Bach. Ochoa Zamalloa Angel Jair
FUENTE: Mapa Catastral de Pucusana, información obtenida en campo

Proyección: UTM DATUM WGS 84 Zona 18 Sur



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
E.A.P. INGENIERIA GEOGRAFICA

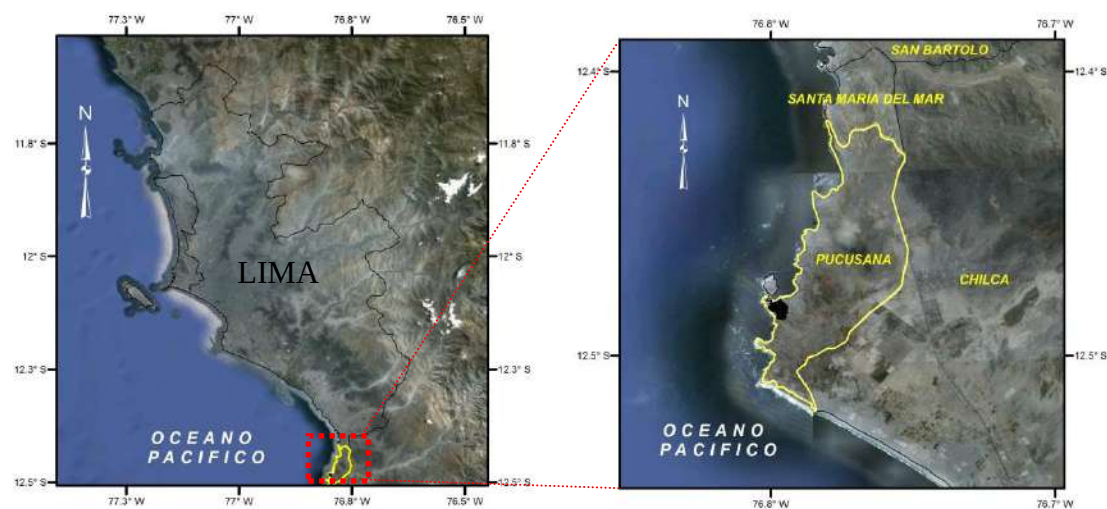
TESIS

"APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO EN EL BALNEARIO DE PUCUSANA"

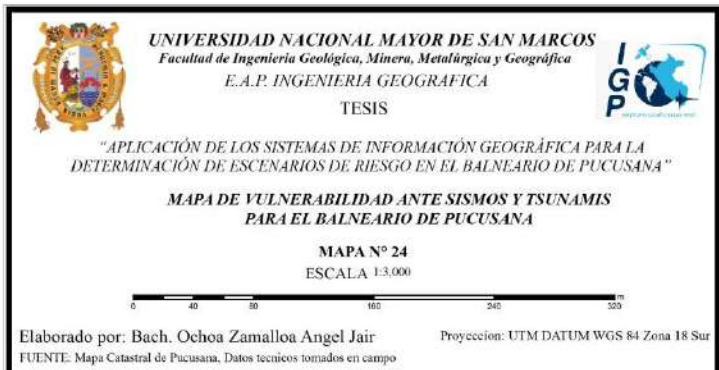
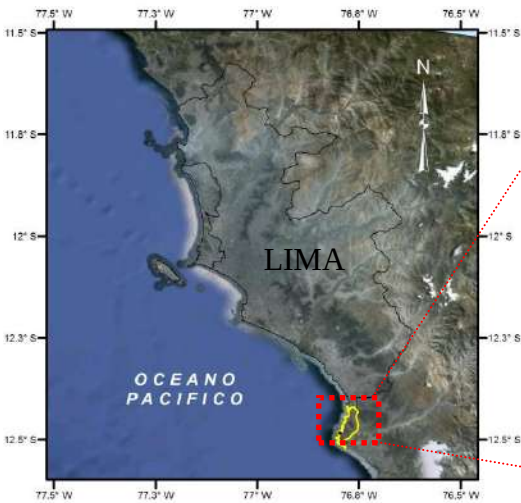
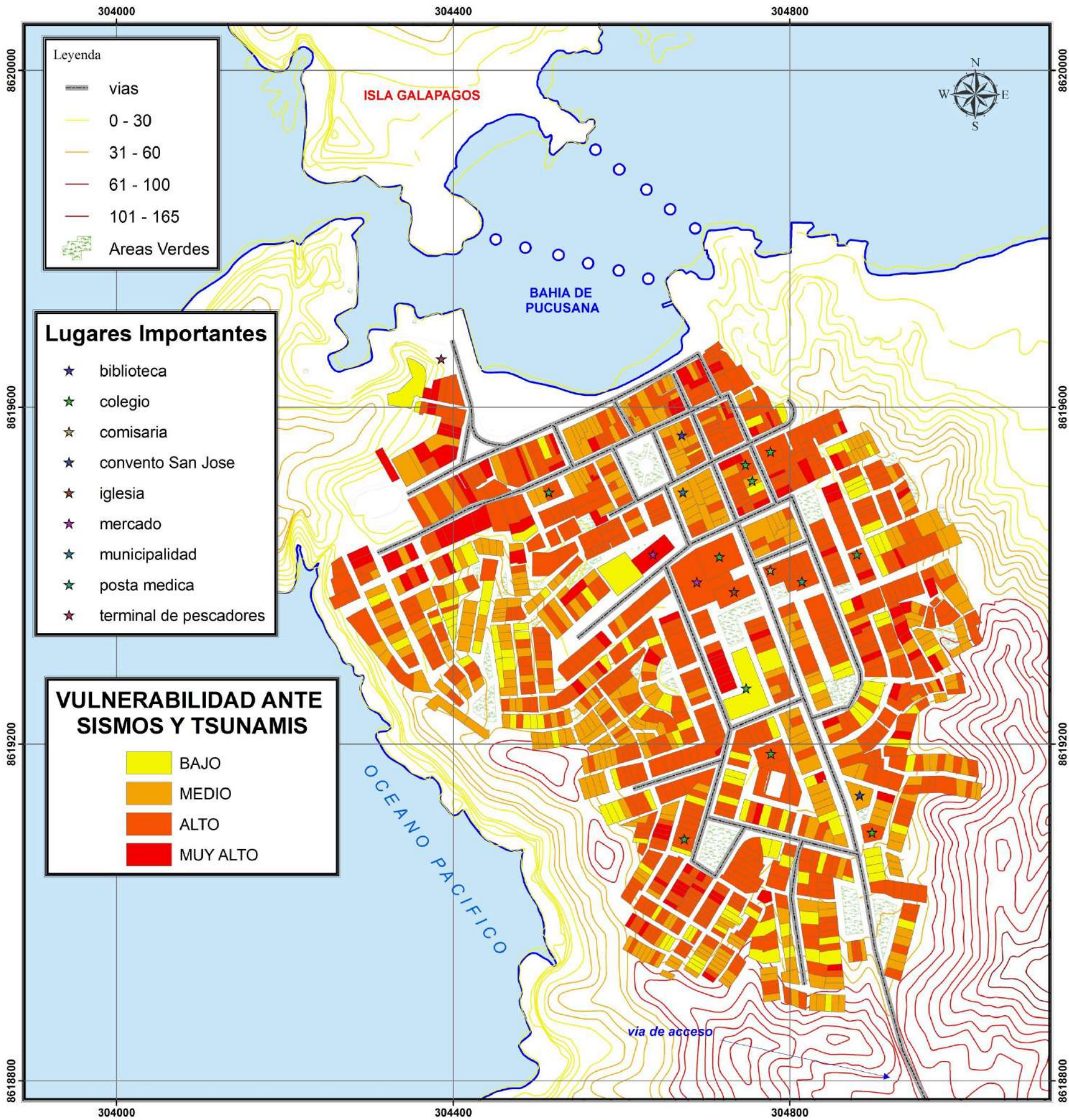
MAPA DE VULNERABILIDAD POR EXPOSICION PARA EL BALNEARIO DE PUCUSANA

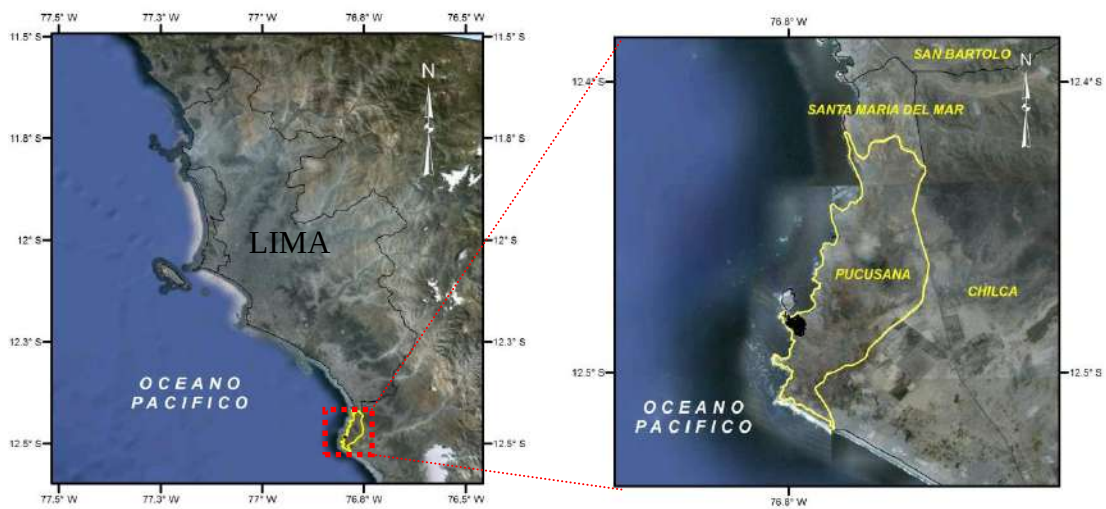
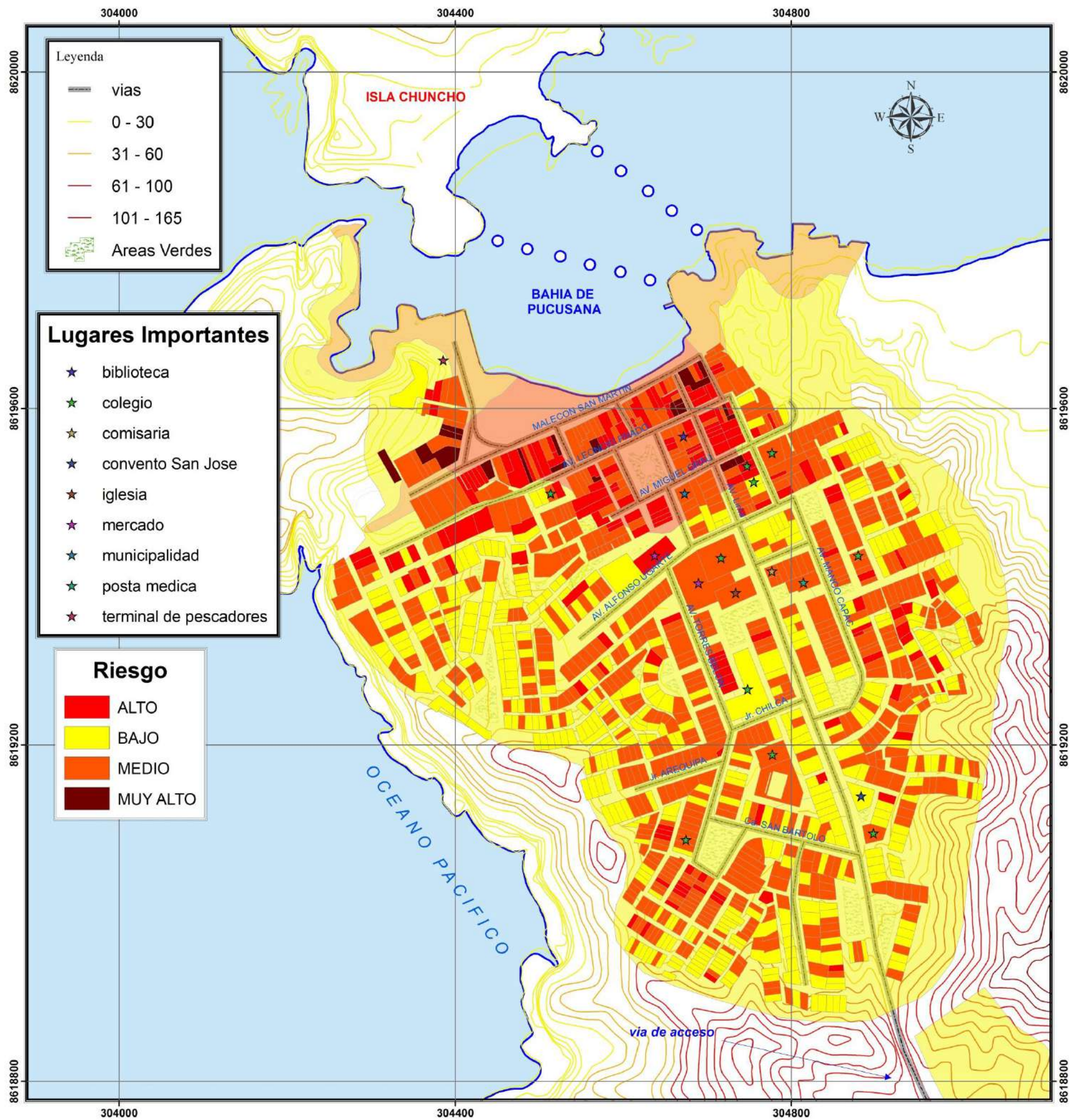
MAPA Nº 22
ESCALA 1:3.000

Elaborado por: Bach. Ochoa Zamalloa Angel Jair
Proyección: UTM DATUM WGS 84 Zona 18 Sur
FUENTE: Mapa Catastral de Pucusana, Datos técnicos tomados en campo



“APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA DETERMINACIÓN DE
ESCENARIOS DE RIESGO EN EL BALNEARIO DE PUCUSANA”





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
E.A.P. INGENIERIA GEOGRAFICA

TESIS

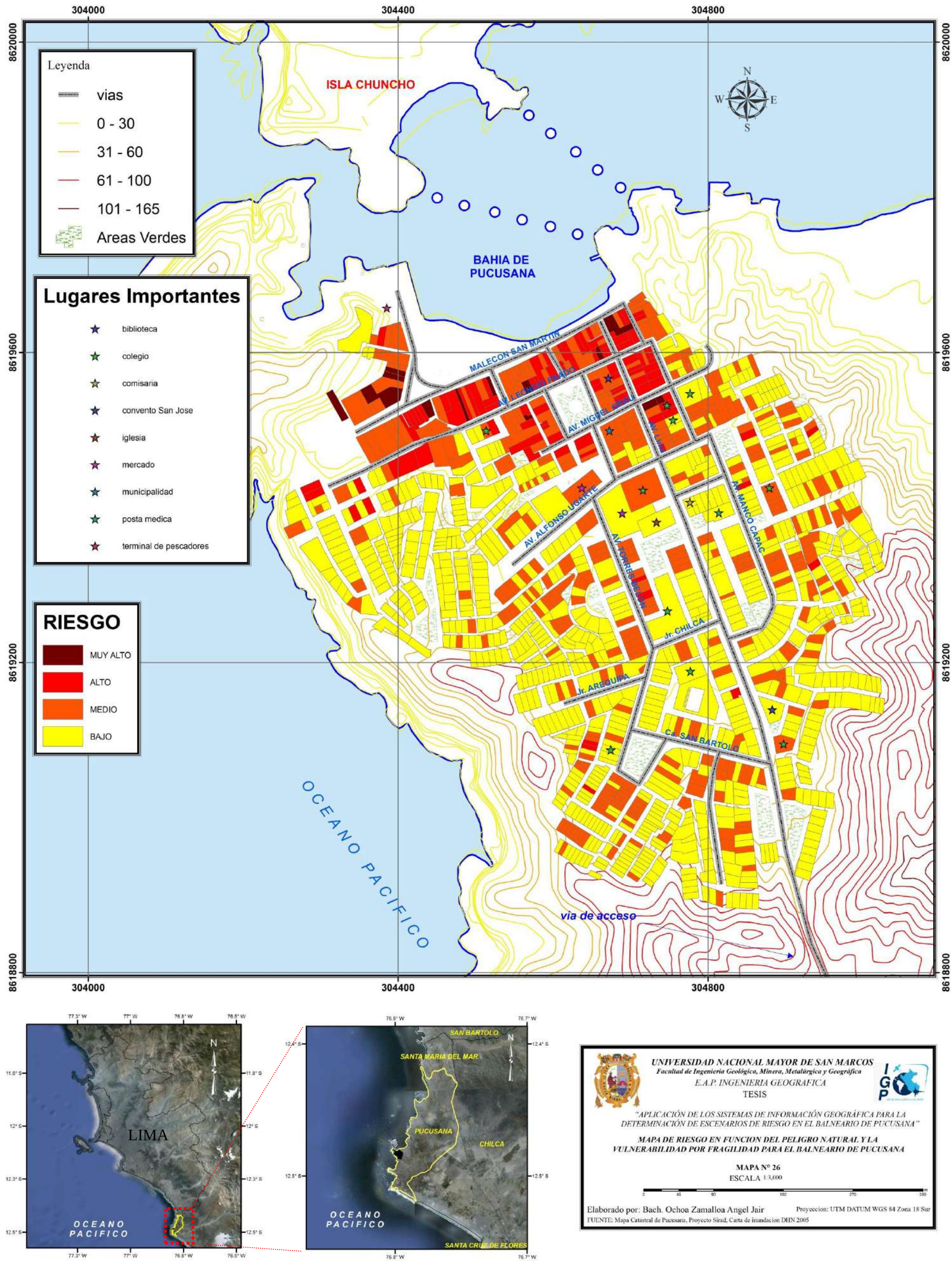
"APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO EN EL BALNEARIO DE PUCUSANA"

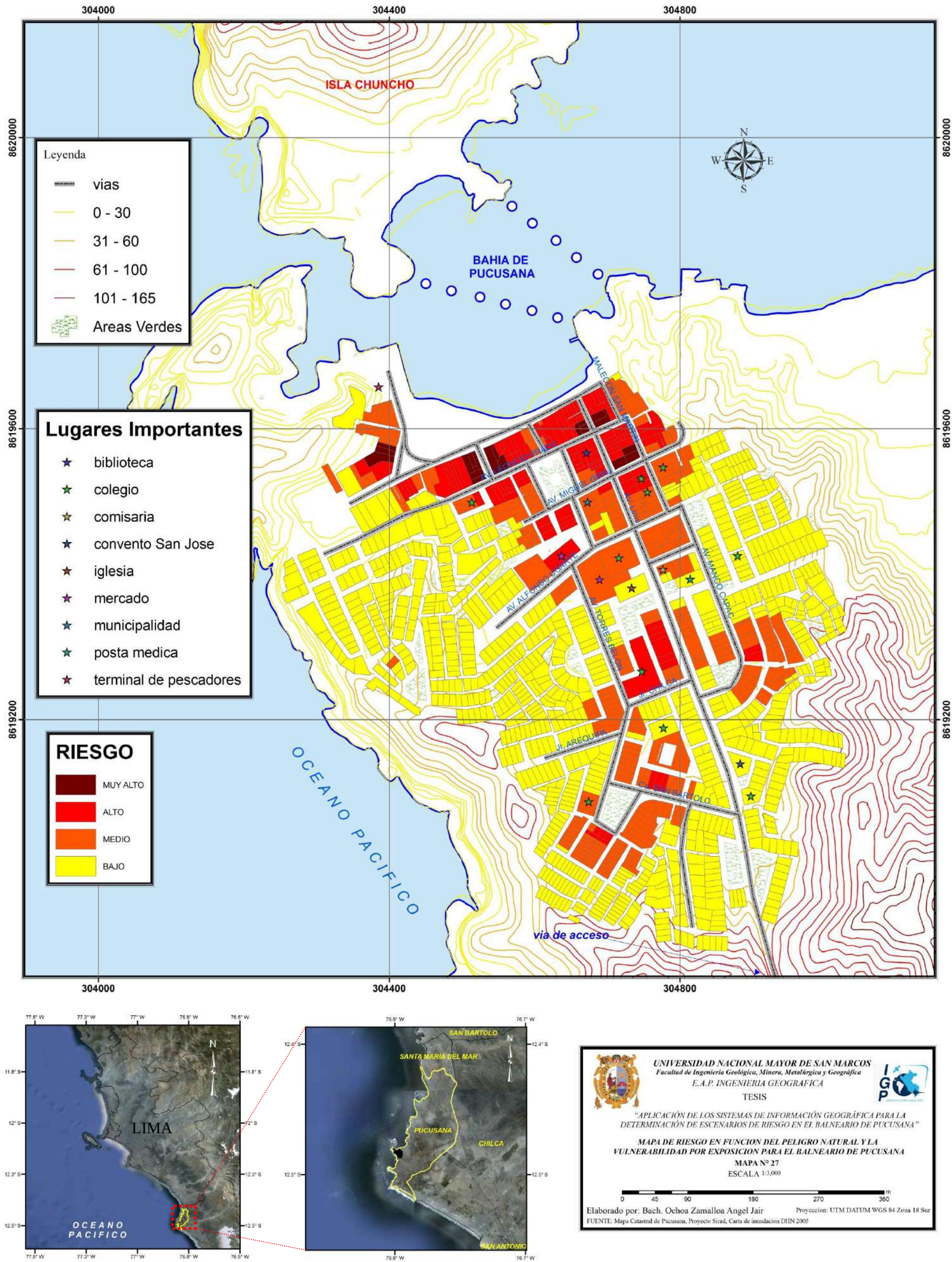
MAPA DE RIESGO DE DESASTRE ANTE LA OCURRENCIA DE SISMO Y TSUNAMI DE GRAN MAGNITUD PARA EL BALNEARIO DE PUCUSANA

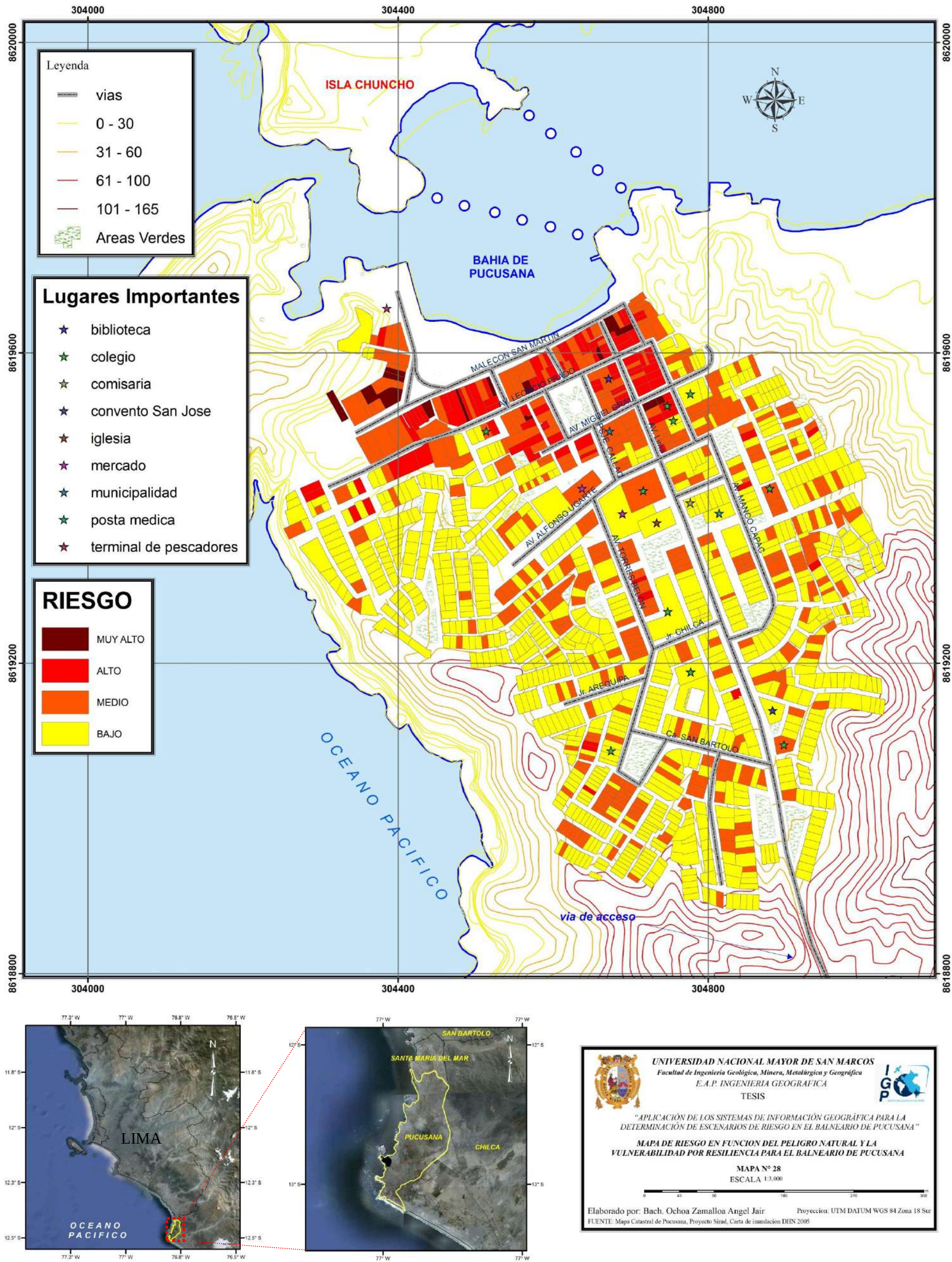
MAPA N° 25
ESCALA 1:3,000

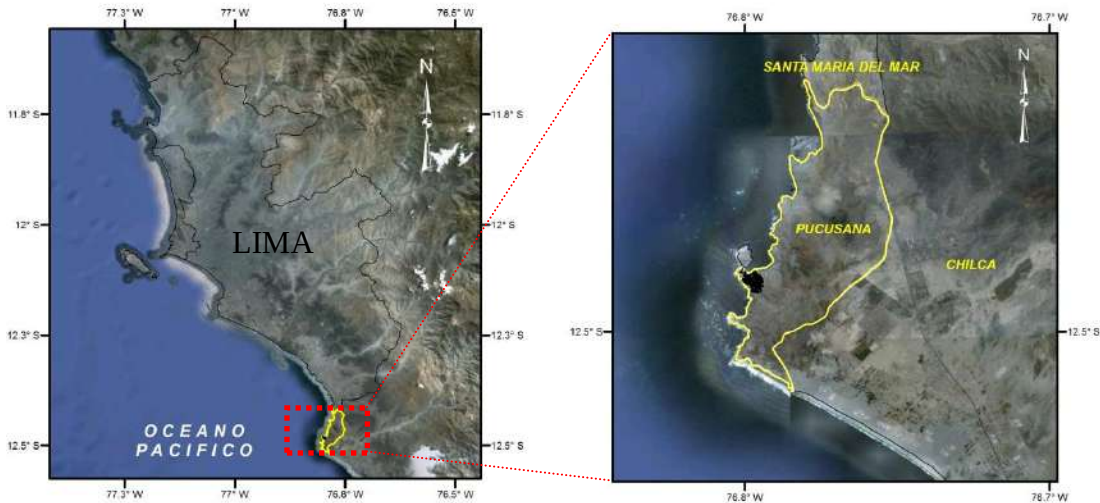
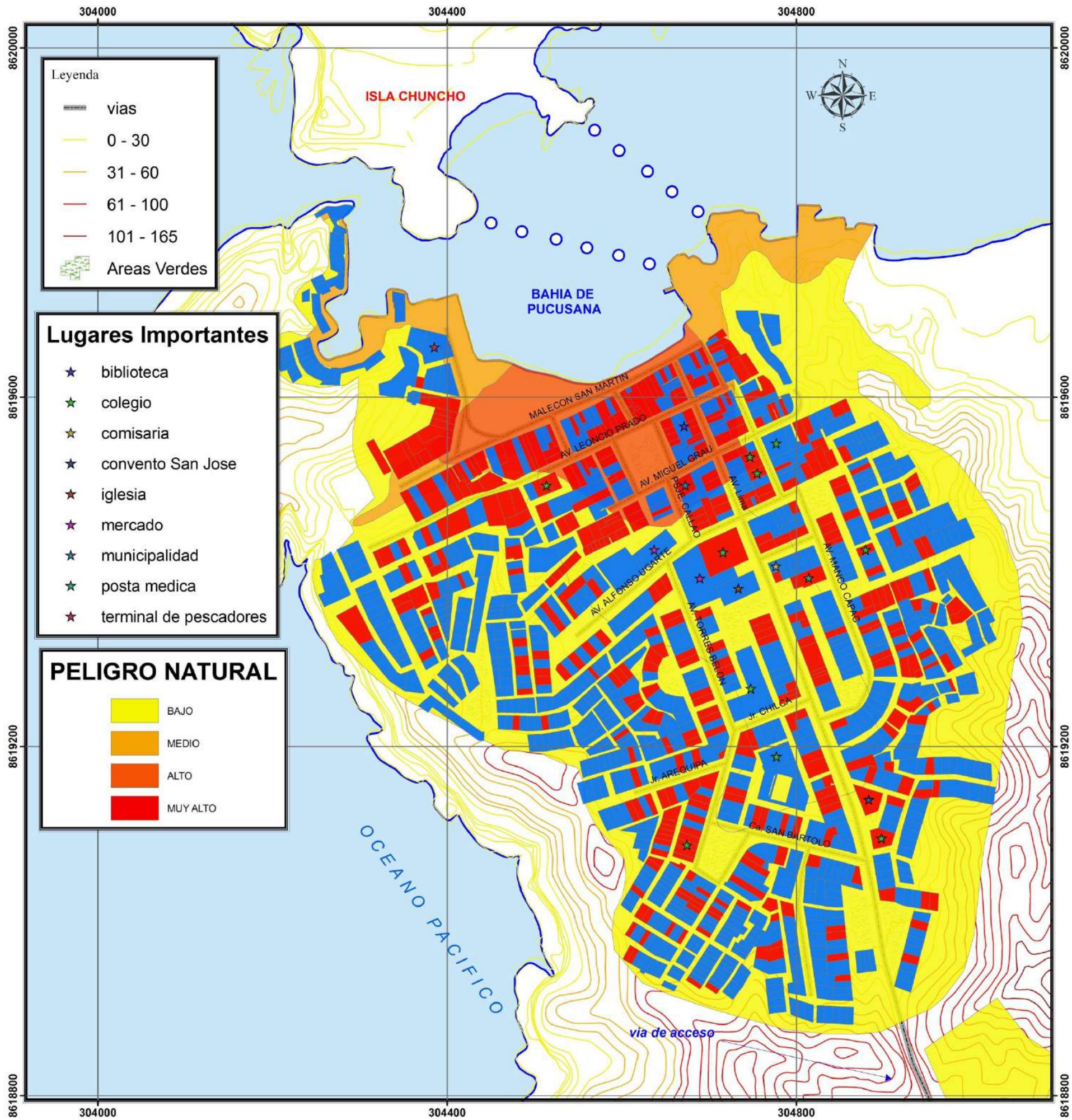
Elaborado por: Bach. Ochoa Zamalloa Angel Jair
FUENTE: Mapa Catastral de Pucusana, Datos técnicos tomados en campo

Proyeccion: UTM DATUM WGS 84 Zona 18 Sur









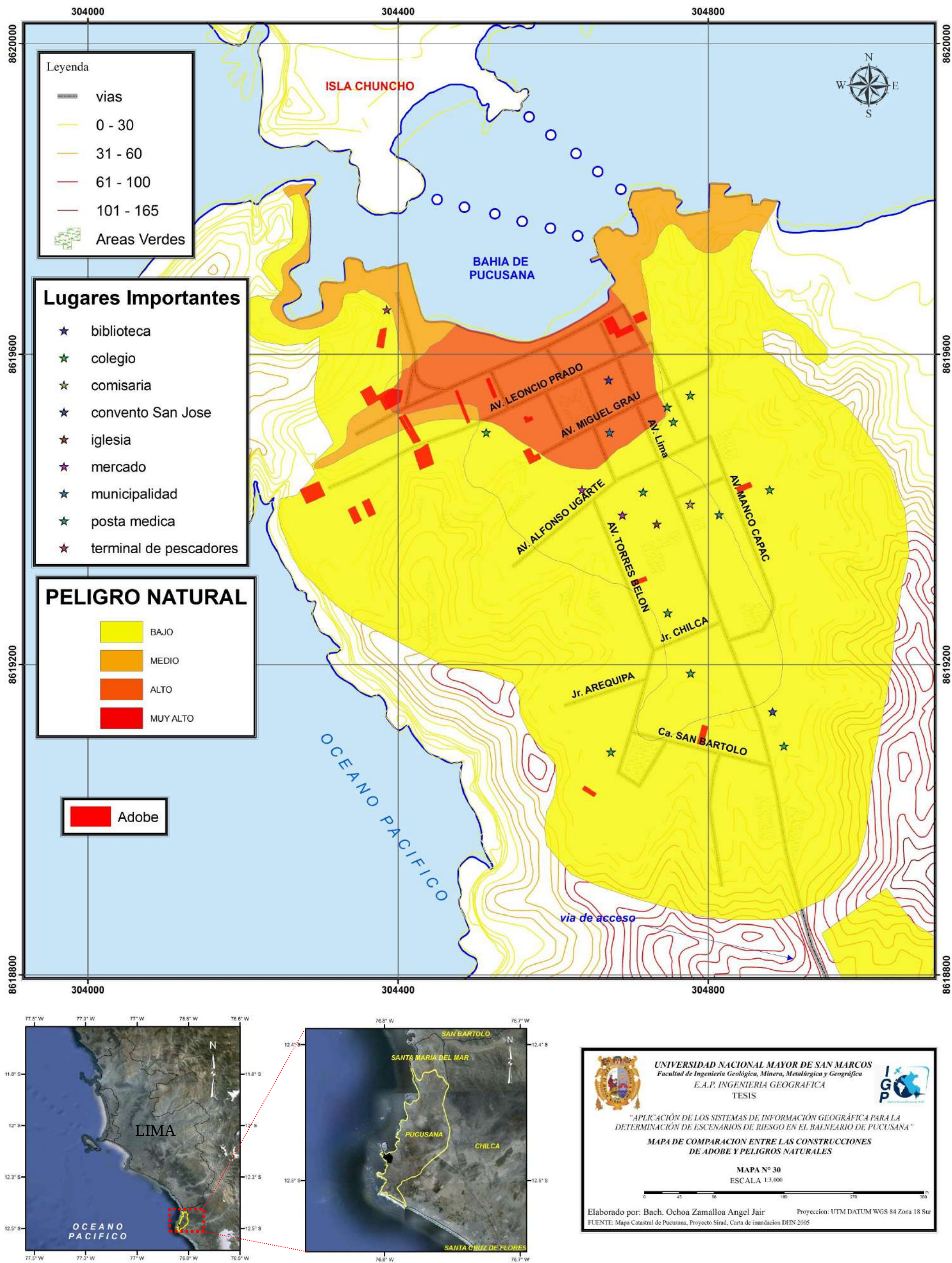
UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
E.A.P. INGENIERIA GEOGRAFICA
TESIS

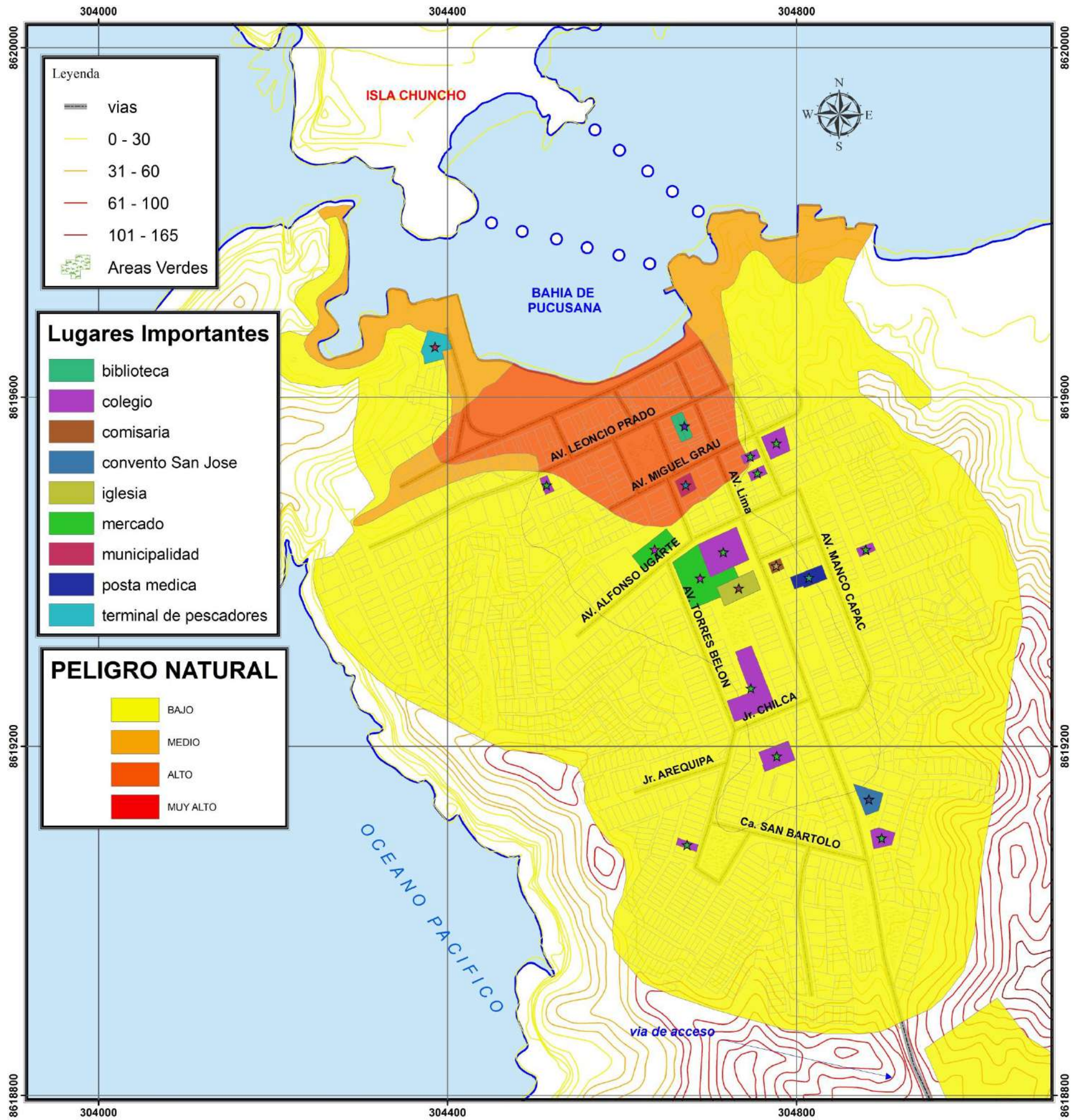
"APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO EN EL BALNEARIO DE PUCUSANA"

MAPA DE COMPARACION ENTRE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE Y PELIGROS NATURALES

MAPA Nº 29
ESCALA 1:3,000

Elaborado por: Bach. Ochoa Zamalloa Angel Jair
Proyeccion: UTM DATUM WGS 84 Zona 18 Sur
FUENTE: Mapa Catastral de Pucusana, Proyecto Sivad, Carta de inundacion DIGN 2005





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
E.A.P. INGENIERÍA GEOGRÁFICA
TESIS

"APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO EN EL BALNEARIO DE PUCUSANA"

MAPA DE COMPARACIÓN ENTRE PELIGROS ANTROPICOS Y PELIGROS NATURALES

MAPA N° 31
ESCALA 1:3,000

Elaborado por: Bach. Ochoa Zamalloa Angel Jair
Proyección: UTM DATUM WGS 84 Zona 18 Sur
FUENTE: Mapa Catastral de Pucusana, Proyecto Sirad, Carta de inundación DMIN 2005

