



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial-CompartirIgual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN TARAPOTO**

## **ESCUELA DE POSGRADO**

SECCIÓN DE POSGRADO FACULTAD DE ECOLOGÍA



### **PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**“ESTUDIO A NIVEL DE MICROZONIFICACIÓN DE  
PELIGROS NATURALES DE LAS CIUDADES DE  
TARAPOTO, MORALES Y BANDA DE SHILCAYO-SAN  
MARTÍN-PERÚ”**

## **TESIS**

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN  
GESTIÓN AMBIENTAL

Ing. ENRIQUE NAPOLEÓN MARTÍNEZ QUIROZ

TARAPOTO-PERÚ

FEBRERO - 2011

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN TARAPOTO

## ESCUELA DE POSGRADO

SECCIÓN DE POSGRADO FACULTAD DE ECOLOGÍA



## PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

### TESIS

**“ESTUDIO A NIVEL DE MICROZONIFICACIÓN DE  
PELIGROS NATURALES DE LA CIUDAD DE TARAPOTO-  
SAN MARTÍN-PERÚ”**

EL SUSCRITO DECLARA QUE EL PRESENTE TRABAJO DE TESIS  
ES ORIGINAL, EN SU CONTENIDO Y FORMA.

---

ENRIQUE N. MARTINEZ QUIROZ  
EJECUTOR

---

Ing. M.Sc. CESAR CHAPPA SANTA MARÍA  
ASESOR

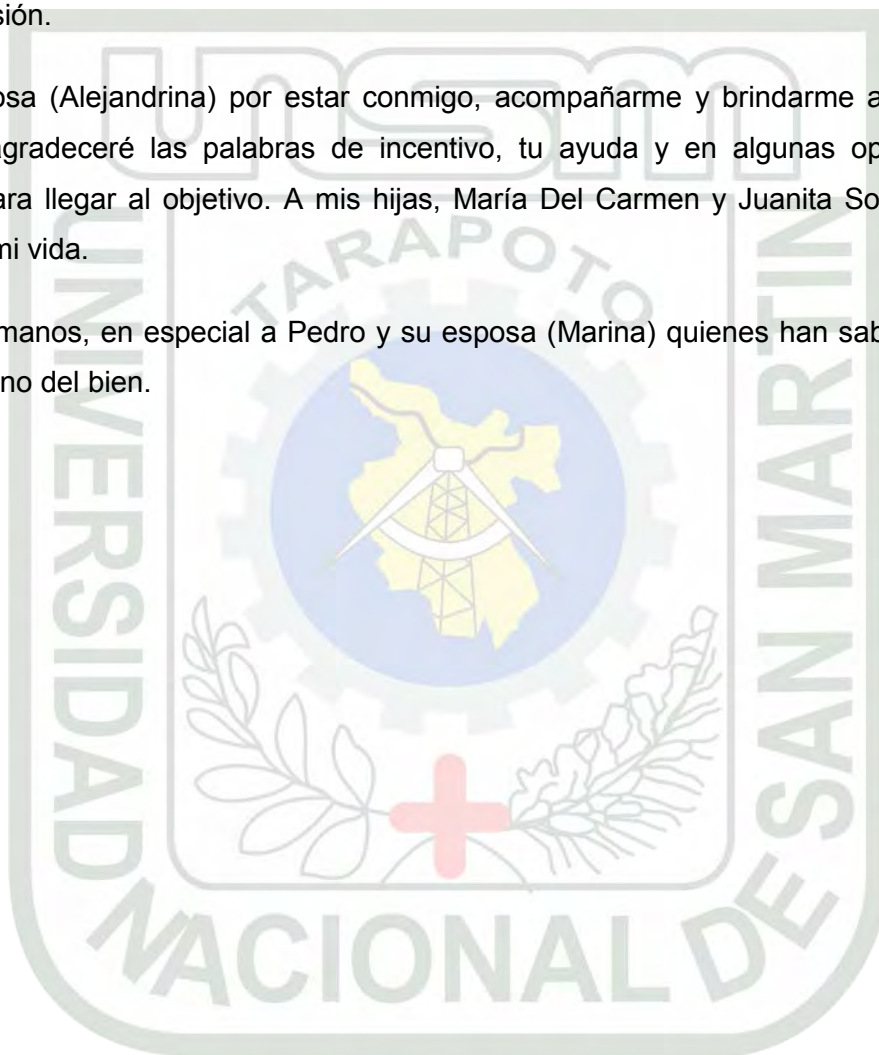
## DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida y las fuerzas necesarias para sobre pasar todas las dificultades, por poner en mi camino las estrategias para crecer como profesional y como persona.

A mis Padres, en especial a la memoria de mi Padre que desde la gloria guía mis pasos y me ilumina para seguir adelante, a Juanita (mi Mamá), que junto a mi padre y con su inmenso cariño lucharon para verme crecer, formarme como persona y llegar ha obtener una profesión.

A mi esposa (Alejandrina) por estar conmigo, acompañarme y brindarme apoyo y cariño, siempre agradeceré las palabras de incentivo, tu ayuda y en algunas oportunidades la presión para llegar al objetivo. A mis hijas, María Del Carmen y Juanita Sofía, que son la razón de mi vida.

A mis hermanos, en especial a Pedro y su esposa (Marina) quienes han sabido orientarme en el camino del bien.





## AGRADECIMIENTOS

A mi asesor Ingeniero M.Sc. Cesar Enrique Chappa Santa María, por su apoyo incondicional, su dedicación y su paciencia a lo largo de todo este tiempo empleado en la elaboración del presente estudio.

A mis alumnos del curso de mecánica de suelos, en especial a Jorge Silva Guerra, Sandro Carrera, Ríos Córdova, quienes han contribuido desinteresadamente en la realización de este proyecto.

Y en general a todos aquellos que en cierta forma contribuyeron con la realización de este proyecto y en mi formación como persona.

Gracias a todos...



## RESUMEN

En la presente investigación, estudio a nivel de microzonificación de peligros naturales de la ciudad de Tarapoto, se identificó, categorizó y zonificó las zonas de peligros: geotécnicos, hidrometeorológicos. Revelar la probabilidad del daño a la población por peligros geotécnicos, hidrometeorológicos y geológico-climáticos.

Para la evaluación del peligro sísmico, se usó un método probabilístico, propuesto por Dowrick (1984), para lo cual se contó con el catálogo sísmico descrito en INDECI (2005) y homogeneizado por el autor, se definió la fuente sismogénica por subducción y se determinó el movimiento fuerte del suelo (PGH). Se ha identificado y dividido en dos zonas al Peligro Geotécnico: Alto con el 80.01% y Muy Alto con el 19.99% del área de estudio.

Para la evaluación del peligro geológico-climático, se usó el método propuesto por Mora (2002), que permite obtener una zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento, mediante la combinación de parámetros fisiográficos, grado de humedad y la pendiente, (elementos pasivos). Bajo estas condiciones, los factores externos y dinámicos, como son la sismicidad y las lluvias intensas (elementos activos) actúan como factores de disparo que perturban el equilibrio. Se ha identificado y dividido en 4 categorías al Peligro Geológico-Climático: Bajo 39.67%, Medio 26.73%, Alto 15.10% y Muy Alto 18.50% del área de estudio.

Para la evaluación del peligro hidrológico e hidráulico, se usó el método Mora (2002), adaptado por el autor, que permite obtener una zonificación de la susceptibilidad a inundación mediante la combinación de parámetros, fisiográficos y la pendiente, (elementos pasivos). Bajo estas condiciones, los factores externos y dinámicos, las lluvias intensas (elementos activos) actúan como factores de disparo. Se ha identificado y dividido en 4 categorías al Peligro Hidrológico e Hidráulico: Bajo 16.77%, Medio 15.39%, Alto 28.44% y Muy Alto 39.40%, del área de estudio.

Estos conceptos pueden y deben ser incluidos para restringir el uso del terreno. Bajo estas condiciones se puede decir que el área de estudio puede destinarse a desarrollo controlado (zona de Peligro Alto), sujeto a la prevención, y a conservación (Zona de Peligro Muy Alto).

## SUMMARY

In the present investigation, study to microzoning level of natural dangers of Tarapoto, Morales and Banda de Shilcayo cities, it was identified, categorized and divided the dangers zones: geotechnical, hydrometeorological. Reveal the likelihood of damage to the population geotechnical hazards, hydrometeorological and geological - climatic.

For the evaluation of the seismic danger, a probabilistic method was used, proposed by Dowrick (1984), for which one counted with the seismic catalogue described in INDECI (2005) and homogenized by the author, the seismogenic source was defined by subduction and i determined the strong movement of the soil (PGH). It was identified and divided in two zones to the Geotechnical Danger: high with the 80.01% and very high with the 19.99% of the study area.

For the evaluation of the geological - climatic danger, i used the method proposed by Default (2002), which allows to obtain a zoning of the susceptibility to the slide, by means of the combination of physiographic parameters, degree of dampness and the slope, (passive elements). Under these conditions, the external and dynamic factors, since they are the seismicity and the intense rains (active elements) act as shot factors that disturb the balance. It was identified and divided in 4 categories to the geological – climatic danger: Low 39.67%, Half 26.73%, High 15.10% and Very High 18.50% of the study area.

For the evaluation of the hydrologic and hydraulic danger, the Mora method (2002) was used, it adapted by the author, what allows to obtain a zoning of the susceptibility to flood by means of the parameters combination, physiographic and the slope, (passive elements). Under these conditions, the external and dynamic factors, the intense rains (active elements) act as shot factors. It was identified and divided in 4 categories to hydrologic and hydraulic danger: Low 16.77%, Half 15.39%, High 28.49% and Very High 39.40% of the study area.

This concepts can and must to be included for restrict the use of the earthly. Under these conditions one can say that the study area can destined to controlled development (area of High danger), subject to the prevention, and to conservation (area of Very high danger).

## CONTENIDO

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	3
	2.1. Base legal .....	3
	2.1.1. Constitución Política del Perú, Ley N° 26470-26472 (1993) .....	3
	2.1.2. Ley general del Ambiente, Ley N° 28611 (2005) .....	3
	2.1.3. Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338 (2009) .....	3
	2.1.4. Ley Orgánica de Gobiernos Regionales, Ley N° 27867 (2002) .....	4
	2.1.5. Ley Orgánica de Municipalidades, Ley N° 27972 (2003) .....	4
	2.1.6. Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), D.S. N° 011- 06-VI .	4
	2.1.7. Acuerdos Internacionales .....	5
	• Cumbre Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo de Río de Janeiro (1992) .....	5
	• Protocolo de Kioto (1997) .....	5
	• Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible de Johannesburgo (2002) .....	5
	2.2. Definiciones de Términos Básicos .....	5
	2.2.1. Fenómenos naturales que provocan situaciones de desastre .....	5
	2.2.1.1. Fenómenos Geológicos (sísmicos) .....	6
	a. Generación de Sismos y/o Corrimiento de Placas .....	6
	b. Clasificación de los sismos .....	8
	b.1 Por su origen .....	8
	b.1.1 Tectónicos .....	8
	b.1.2 Volcánicos .....	8
	b.1.3 De colapso .....	8
	b.2 Según su profundidad .....	8
	b.2.1 Superficiales .....	8
	b.2.2 Intermedios .....	8
	b.2.3 Profundos .....	8
	c. Movimientos sísmicos del terreno .....	8
	c.1 Ondas sísmicas .....	8
	c.2 Ondas de cuerpo .....	8
	c.2.1 Ondas Principales (P) .....	8
	c.2.2 Ondas Secundarias (S).....	9
	c.3 Ondas superficiales .....	9
	c.3.1 Ondas Love .....	9
	c.3.2 Ondas Rayleigh (R) .....	9



d. Medida de los sismos .....	9
d.1 Magnitud (M) .....	10
d.2 Intensidad (I) .....	10
e. Peligro sísmico .....	12
e.1 Evidencia geológica regional .....	13
e.2 Preparación de mapas de eventos sísmicos .....	14
e.3 Estudios de deformación-liberación de energía .....	14
e.4 Estimaciones estadísticas de parámetros de diseño, tales como periodos de retorno para magnitud y aceleración .....	14
e.4.1 Relaciones Magnitud-Frecuencia .....	15
e.4.2 Probabilidad de excedencia .....	15
e.4.3 Movimientos máximos del suelo .....	16
f. Efectos locales .....	18
g. Actividad sísmica de la Región San Martín .....	19
h. Consideraciones geológicas del área de estudio .....	20
i. Consideraciones topográficas .....	20
j. Consideraciones Geotécnicas .....	21
j.1 Velocidad de las ondas Superficiales (v) .....	22
j.2 Periodo natural del suelo (Tp) .....	22
j.3 Factor de Amplificación (Fa) .....	23
j.4 Potencial de licuación .....	24
j.5 Suelos expansivos .....	24
k. Características geotécnicas de la zona de estudio .....	25
l. Clasificación geotécnica según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) .....	25
l. 1 Perfil tipo S <sub>1</sub> : Roca o suelos muy rígidos .....	25
l. 2 Perfil tipo S <sub>2</sub> : Suelos Intermedios .....	26
l. 3 Perfil tipo S <sub>3</sub> : Suelos Flexibles .....	26
l. 3 Perfil tipo S <sub>4</sub> : Condiciones Excepcionales .....	26
2.2.1.2 Fenómenos Hidrológicos e Hidráulicos .....	27
a. Inundaciones .....	27
b. Peligro o amenaza de Inundación .....	27
c. Evaluación del peligro de inundación .....	28
d. Factores que influyen en la severidad de las inundaciones .....	28
2.2.1.3 Fenómeno Geológico – Climáticos .....	28
a. Deslizamientos .....	28
b. Estabilidad de taludes .....	28



4	Matriz de categorización, zonificación y de uso del suelo .....	48
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b> .....	50
4.1	Microzonificación del Peligro Geotécnico .....	50
4.1.1	Características Geológicas y litológicas del área de estudio .....	50
4.1.2	Características geotécnicas del suelo .....	52
4.1.3	Características del parámetro topográfico (T) .....	54
4.1.4	Características del parámetro de disparo por sismicidad ( $a_{m\acute{a}x.}$ o PGA) .....	54
1)	Determinación de las Zonas de Influencia y fuente sismogénica .....	54
2)	Frecuencia de Ocurrencia-Magnitud .....	56
3)	Predicción del Movimiento fuerte del suelo ( $a_{m\acute{a}x.}$ ) .....	57
4)	Probabilidad de excedencia .....	61
5)	Estimación del periodo predominante .....	61
4.1.5	Formulación del Mapa de Microzonificación del Peligro Geotécnico	63
a)	Zonas de Peligro Alto .....	63
b)	Zonas de Peligro Muy Alto .....	63
4.2	Microzonificación del Peligro Geológico–Climáticos .....	66
4.2.1	Características del parámetro suelo (S) .....	66
4.2.2	Características y/o clases de pendientes ( $S_p$ ) .....	66
4.2.3	Características del parámetro de humedad del terreno ( $S_h$ ) .....	66
4.2.4	Características del parámetro de disparo por sismo ( $D_s$ ) .....	67
4.2.5	Características del disparo por lluvia (DII) .....	67
4.2.6	Formulación del mapa de microzonificación de Peligro Geológico-Climáticos .....	67
a)	Zona de Peligro Bajo .....	68
b)	Zona de Peligro Medio .....	68
c)	Zona de Peligro Alto .....	68
d)	Zona de Peligro Muy Alto.....	69
4.3	Microzonificación del Peligro Hidrológico e Hidráulico .....	71
4.3.1	Características del parámetro suelo ( $S_1$ ).....	71
4.3.2	Características del parámetro de la topografía (T).....	71
4.3.3	Características del parámetro de disparo por lluvia máxima ( $P_e$ )....	71
4.3.4	Formulación del mapa de microzonificación de Peligro Hidrológico e Hidráulico.....	71
	Río Cumbaza.....	72
	Río Shilcayo .....	72

a) Zonas de Peligro Bajo .....	74
b) Zonas de Peligro Medio .....	74
c) Zonas de Peligro Alto.....	74
d) Zonas de Peligro Muy Alto.....	75
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	77
5.1. Conclusiones .....	77
5.2. Recomendaciones .....	80
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	82
<b>VIII. ANEXOS</b> .....	84
ANEXO N° 1 Catalogo sísmico e historia sísmica de la región San Martín .....	85
ANEXO N° 2 Estación "CO. Tarapoto: Precipitación y temperatura .....	90
ANEXO N° 3 Estación "CO. Tarapoto: Datos de humedad relativa .....	91
ANEXO N° 4 Imágenes .....	92





## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Pag.</b>
1. Tabla de valores de A y b basados en datos de sismos superficiales registrados en 14 años, para varias regiones normalizadas a una retícula de 2° x 2° .....	16
2. Tabla de correlaciones entre la $a_{m\acute{a}x.}$ (En % g) y la Intensidad (MM).....	18
3. Tabla de Tipos de terreno de acuerdo a la pendiente .....	20
4. Potencial de licuación .....	24
5. Tabla de valores de los suelos ( $S_3$ ) .....	27
6. Tabla de valores del periodo ( $T_p$ ) y el factor de amplificación ( $F_a$ ) .....	27
7. Tabla del sistema de clasificación geotécnica para uso del suelo en pendiente...	29
8. Tabla de clasificación del grado de Peligro o Amenaza Sísmica (A).....	38
9. Tipo de suelo y valoración (S).....	39
10. Aceleraciones Máximas ( $a_{m\acute{a}x.}$ ) .....	39
11. Periodos Naturales del suelo ( $T_p$ ).....	39
12 Clases de pendientes y valoración (T) .....	40
13. Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento ( $G_{sd}$ ).....	42
14. Valoración del parámetro de susceptibilidad litológica caso macizos rocosos....	43
15. Valores asignados a los promedios mensuales de lluvia.....	43
16. Valoración del parámetro de humedad del terreno (Sh).....	43
17. Valoración del parámetro de disparo por sismicidad (Ds) .....	44
18. Valoración del parámetro de disparo por lluvia (DII) .....	44
19. Clasificación de la susceptibilidad a inundación ( $G_{si}$ ) .....	46
20. Clases de pendientes y valoración (T) .....	47
21. Valoración del parámetro por tipo de suelo (S1) .....	47
22. Valoración del parámetro de disparo por (Pe).....	48
23. Categorización de peligros Naturales y restricción del uso del suelo en la ciudad de Tarapoto-San Martín.....	49
24. Tabla de porcentaje de área por pendiente .....	54
25. Tabla para determinar la fuente sismogénica, ley de atenuación para la determinación de la aceleración máxima (PGA), en el área de estudio (Tarapoto) .....	58
26. Grado de Amenaza Sísmica (A).....	63
27. Clasificación y valoración de unidades litológicas (S) .....	66
28. Valoración del parámetro humedad del terreno (Sh) .....	67
29. Valoración del parámetro de disparo por Intensidad de lluvia (DII) .....	67
30. Grado de susceptibilidad al Peligro Geológico-Climático .....	68
31. Grado de susceptibilidad al Peligro Inundación ( $G_{suc.}$ ).....	72

## INDICE DE FIGURAS

<b>Ilustración</b>	<b>Pag.</b>
1. Movimiento de placas y generación de sismos, mecanismo de subducción .....	6
2. Principales placas tectónicas de la tierra .....	7
3. Tipos de sismos según su forma de generación .....	7
4. Tipos de ondas sísmicas: P, S, L y R.....	9
5. Parámetros principales de los que depende el peligro sísmico .....	13
6. Relación Magnitud-Frecuencia para ocurrencia de sismos en la zona de subducción.....	15
7. Relación geométrica entre foco y sitio.....	16
8. Zonas sísmicas del Perú. Norma sismorresistente.....	20
9. Estratigrafía y litología Distrital.....	21
10. Fallas Pucatanbo y Angaisa.....	22
11. Periodos predominantes para aceleraciones máximas en roca.....	23
12. Caracterización geotécnica de las ciudades de Tarapoto, Morales y La Banda de Shilcayo .....	26
13. Ubicación de la región San Martín en el Perú, y de la provincia San Martín en la región San Martín .....	31
14. Ubicación del área del presente estudio .....	31
15. Esquema de la metodología general.....	36
16. Estratigrafía y litología, de las ciudades de Tarapoto, Morales y la Banda de Shilcayo.....	50
17. Mapa de clasificación geotécnica y su valoración (S) .....	53
18. Clasificación de pendientes y valoración del parámetro (Sp) .....	55
19. Mapa de eventos sísmicos para el área de influencia de la región San Martín ..	59
20. Determinación del Periodo Predominante .....	61
21. Mapa de aceleraciones máximas y valoración del parámetro ( $a_{m\acute{a}x.}$ ) .....	62
22. Mapa de Microzonificación Geotécnica .....	65
23. Mapa de Microzonificación de Peligro Geológico-Climático .....	70
24. Mapa de Microzonificación de Peligros Hidrológicos e hidráulicos .....	76

## LISTA DE IMÁGENES

Imagen	Pag.
1. Suelos Aluviales de formación reciente.....	51
2. Suelo coluvial de formación sub reciente.....	51
3. Avenida extraordinaria del río Cumbaza.....	73
4. Avenida extraordinaria del río Cumbaza zona del puente.....	73



## LISTA DE GRAFICOS

Gráficos	Pag.
1. Temperatura máxima promedio mensual en °C (1998-2009) .....	33
2. Temperatura mínima promedio mensual en °C (1998-2009).....	33
3. Precipitación total mensual en mm (1998-2009) .....	34
4. Humedad relativa media (1998-2009).....	34





## INDICE DE ANEXOS

Anexo	Pag.
1. Registros de sismicidad: Región San Martín (catalogo sísmico).....	85
2. Precipitación total mensual (mm.), Estación: CO " Tarapoto ".....	90
3. Humedad relativa promedio mensual %, Estación: CO " Tarapoto ".....	91
4. Imágenes .....	92



## LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AA.HH: Asentamiento humano (s)  
 CAPECO: Cámara Peruana de la Construcción  
 D.S.: Decreto Supremo  
 RNE: Reglamento Nacional de Edificaciones  
 Km<sup>2</sup>: Kilómetros cuadrados  
 m: Metros  
 mm: Milímetro (s)  
 Kg/m<sup>2</sup>: Kilogramos por metro cuadrado  
 Kg/m<sup>3</sup>: Kilogramos por metro cubico  
 m<sup>2</sup>: Metros cuadrados  
 Km: Kilómetros  
 Km<sup>2</sup>: Kilómetros cuadrados  
 m<sup>3</sup>: Metros cúbicos  
 cm<sup>2</sup>: Centímetro cuadrado  
 seg.: Segundos  
 ER: Escala de Richter  
 M: Magnitud  
 ML: Magnitud local  
 Ms: Magnitud de ondas superficiales  
 Mb: Magnitud de ondas de cuerpo  
 log.: Logaritmo en base 10  
 MMA: Escala Mercalli Modificada para los Países Andinos  
 INDECI: Instituto Nacional de Defensa Civil  
 INGEMMET: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico  
 NW-SE: Nor Oeste- Sur Este  
 SW: Sur Oeste  
 IGN: Instituto Geográfico Nacional  
 GPS: Global Position Sistem  
 m.s.n.m.: Metros sobre el nivel del mar  
 INEI-CPV: Instituto Nacional de Estadística e Informática  
 WGS '84: Word Global Sistem 1,984  
 18M:  
 N: Norte  
 E: Este  
 °C: Grados centígrados  
 SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

“CO”: CORPAC:

%: Porcentaje

PGA: Peak Ground Aceleration (Aceleración máxima del suelo)

$a_{\text{máx}}$ : Aceleración máxima

Qh-al: Coluvio Aluvial

HL: Hora local

VI: Vivienda



## I. INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Investigación analiza un problema actual que se ha convertido en uno de los temas globales de mayor discusión, está referido al crecimiento de las ciudades y la ocupación de áreas de peligro. Las ciudades de Tarapoto, Morales y Banda de Shilcayo como la mayoría de las ciudades del país están creciendo aceleradamente sobre áreas agrícolas, y zonas que deben ser consideradas de protección ambiental. Un importante número de viviendas en zonas urbanas y asentamientos humanos se ubican en ambas márgenes del cauce principal de los ríos Cumbaza, Shilcayo y quebradas, Amorarca, Choclino y drenes y/o zanjas de los jirones Martínez de Compagnon, Alfonso Ugarte, entre otros, los que son activados en épocas de lluvia. También encontramos asentamientos humanos ubicados en las terrazas bajas inundables y conos aluviales sujetos a crecidas extraordinarias, aunadas a procesos de deforestación en las zonas altas de las cuencas, podrían estar sujetos a la generación de huaicos.

Si los habitantes de las ciudades de Tarapoto, Morales y la Banda de Shilcayo, tienen conocimiento acerca de su entorno, sus peligros y entendiendo que son vulnerables, tendrán una mejor preparación ante los desastres naturales y seguramente podrán estar prevenidos ante los efectos de los peligrosos fenómenos, **geológicos (Sismos), geológico-climáticos (deslizamiento de suelos), hidrológicos e hidráulicos (Inundaciones)**.

Con este fin se propone una metodología para generar Mapas de Microzonificación de Peligros naturales en el ámbito urbano y peri urbano. En el estudio se desarrolla una caracterización valorativa de la peligrosidad (Muy Alta, Alta, Media y Baja).

En nuestro caso para estimar el Peligro Sísmico, es preciso mencionar que la actividad sísmica del área de estudio está vinculada a los movimientos de origen tectónico, que se deben a desplazamientos bruscos de las placas sudamericana y de Nazca, fallas geológicas superficiales y/o de reciente formación, entre otros. Los efectos locales dependerá de los parámetros de sitio, como la prevención, las características geológicas, topográficas, rigidez del suelo, hipocentro y distancia al epicentro.

Se presenta un análisis del Peligro Geológico-Climático, referido a los efectos relacionados a las fallas del terreno, como son los fenómenos de licuefacción de suelos, deslizamiento de laderas y de aberturas de grietas en el suelo, lo cual puede ocurrir por vibración y saturación por presencia del agua.

En lo relacionado al Peligro Hidrológico e Hidráulico, las avenidas que tienen lugar en los ríos Cumbaza, Shilcayo, quebradas Choclino, Amorarca, y cunetas de drenaje, originadas por precipitaciones considerables y una orografía que favorece las inundaciones en zonas



de terrazas bajas inundables, causan que el suelo se sature y pierda o disminuya su capacidad de resistencia.

En esa dinámica se ha desarrollado una metodología para evaluar espacialmente, a escala local, la susceptibilidad a los Peligros Naturales más frecuentes en el área de estudio. La evaluación se realiza de manera independiente para cada Peligro.

### **Planteamiento del Problema**

¿Será posible identificar, categorizar, zonificar la probabilidad de peligros naturales geológicos, hidrológicos e hidráulicos y geológico-climáticos en la Ciudad de Tarapoto, Morales y la Banda de Shilcayo?

### **Objetivos de la Investigación**

#### **Objetivo general**

Elaboración del estudio, a nivel de Microzonificación, de Peligros Naturales en las ciudades de Tarapoto, Morales y Banda de Shilcayo.

#### **Objetivos específicos**

- Identificar, categorizar y zonificar las zonas de peligros: geotécnicos (amenaza sísmica), hidrológicos e hidráulicos y geológico-climático.
- Revelar la probabilidad del daño a la población por peligros geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos y geológico-climáticos.

#### **Hipótesis**

Los resultados del estudio de microzonificación de peligros naturales permitirán identificar, categorizar y zonificar, la probabilidad de amenazas naturales, geotécnico (amenaza sísmica), hidrológicos e hidráulicos y geológico-climáticos.

## II. REVISIÓN BIBLIGRÁFICA

### 2.1. Base Legal

#### 2.1.1. Constitución Política del Perú, Ley N° 26470-26472 (1993)

**Referente a los Derechos fundamentales de la persona**, manifiesta en su Artículo 2º acápite 22), toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

#### 2.1.2. Ley general del Ambiente, Ley N° 28611 (2005)

**Respecto al ordenamiento urbano y rural:** Manifiesta, en su Artículo I, que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

En su Artículo 23º, manifiesta que es responsabilidad de los gobiernos locales, en el marco de sus funciones y atribuciones, formular y ejecutar planes de **ordenamiento urbano y rural**, considerando el crecimiento planificado de las ciudades.

#### 2.1.3. Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338 (2009)

**Con respecto a los Bienes Asociados:** En su Artículo 6º inciso (a) y (b), manifiesta, La extensión comprendida entre la baja y alta marea, más una franja paralela a la línea de la alta marea en la extensión que determine la autoridad competente y los cauces o álveos, lechos y riberas de los cuerpos de agua, incluyendo las playas, barriales, restingas y bajiales, en el caso de la Amazonía, así como la vegetación de protección.

**En su Artículo 74º**, con respecto a la faja marginal, manifiesta que, en los terrenos aledaños a los cauces naturales o artificiales, se mantiene una faja marginal de terreno necesaria para la protección, el uso primario del agua, el libre tránsito, la pesca, caminos de vigilancia u otros servicios. El Reglamento determina su extensión.

**En su Artículo 115º**, con respecto a la gestión integrada del agua amazónica, manifiesta que, el agua amazónica, por su asociación con la biodiversidad y uso para la alimentación humana, requiere de herramientas que orienten la gestión integrada hacia metas de sostenibilidad de la biodiversidad, protección de ecosistemas de agua dulce, inclusión social y desarrollo local.

#### **2.1.4. Ley Orgánica de Gobiernos Regionales, Ley N° 27867 (2002)**

**Referente a las funciones en materia de población**, manifiesta en su Artículo 50° inciso f), formular, coordinar y supervisar estrategias que permitan controlar el deterioro ambiental y de salud en las ciudades y a evitar el poblamiento en zonas de riesgo para la vida y la salud, en coordinación con los Gobiernos Locales, garantizando el pleno respeto de los derechos constitucionales de las personas.

**Referente a las funciones en materia ambiental y de ordenamiento territorial**, manifiesta en su Artículo 53° inciso a), formular, aprobar, ejecutar, evaluar, dirigir, controlar y administrar los planes y políticas en materia ambiental y de ordenamiento territorial, en concordancia con los planes de los Gobiernos Locales.

#### **2.1.5. Ley Orgánica de Municipalidades, Ley N° 27972 (2003)**

En su artículo I, manifiesta que, Los gobiernos locales son entidades, básicas de la organización territorial del Estado y canales inmediatos de participación vecinal en los asuntos públicos, que institucionalizan y gestionan con autonomía los intereses propios de las correspondientes colectividades; siendo elementos esenciales del gobierno local, el territorio, la población y la organización. Las municipalidades provinciales y distritales son los órganos de gobierno promotores del desarrollo local, con personería jurídica de derecho público y plena capacidad para el cumplimiento de sus fines.

Con respecto a sus atribuciones, en su Artículo 9, el Consejo Municipal deberá aprobar el Plan de Acondicionamiento Territorial de nivel provincial, que identifique las áreas urbanas y de expansión urbana; las áreas de protección o de seguridad por riesgos naturales; las áreas agrícolas y las áreas de conservación ambiental declaradas conforme a ley. Aprobar el Plan de Desarrollo Urbano, el Plan de Desarrollo Rural, el Esquema de Zonificación de áreas urbanas, el Plan de Desarrollo de Asentamientos Humanos y demás planes específicos sobre la base del Plan de Acondicionamiento Territorial.

#### **2.1.6. Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), D.S. N° 11-2006-VI**

En su capítulo II, de las Facultades: En concordancia con la Ley Orgánica de Municipalidades, de la función Municipal en materia de acondicionamiento Territorial, vivienda y seguridad colectiva. Manifiesta que los Consejos Municipales serán los encargados de reglamentar, otorgar licencias y controlar las construcciones, remodelaciones y demoliciones de los inmuebles de las áreas urbanas de conformidad con las normas del Reglamento.

En su capítulo III, de la organización del área habitacional. Para el otorgamiento de licencias de construcción se debe tener en cuenta las siguientes condiciones de habitabilidad: **Localización física del asentamiento. Organización física del asentamiento. Acondicionamiento del área habitacional. Organización del área habitacional básica. Edificación sobre el área habitacional.**

### 2.1.7. Acuerdos Internacionales

- **Cumbre Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo de Río de Janeiro (1992).**

Los dirigentes mundiales de 178 países se reunieron para efectuar una corrección importante en la orientación del futuro del planeta.

- **Protocolo de Kioto (1997).**

El objetivo principal de este pacto colectivo entre los países industrializados es disminuir el cambio climático de origen antrópico cuya base es el efecto invernadero. Según las cifras de la ONU, se prevé que la temperatura media de la superficie del planeta aumente entre 1.4 y 5.8 °C de aquí al año 2100. Esto se conoce como Calentamiento global. "Estos cambios repercutirán gravemente en el ecosistema y en nuestras economías", señala la Comisión Europea sobre Kioto.

- **Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible de Johannesburgo (2002).**

Estableció como uno de los objetivos de su Plan de Acción la promoción de un programa de diez años en apoyo a las iniciativas nacionales y regionales para acelerar el cambio hacia modalidades de producción y consumo sostenibles.

## 2.2. Definiciones de Términos Básicos

### 2.2.1 Fenómenos naturales que pueden provocar situaciones de desastre<sup>1</sup>

Los fenómenos naturales que ocurran en zonas habitadas pueden dar lugar a situaciones de desastre, durante las cuales los pobladores pierden la capacidad de enfrentar el evento, razón por la cual casi siempre necesitarán de ayuda humanitaria para volver de manera paulatina a su vida cotidiana.

---

<sup>1</sup> Kuroiwa Julio, Reducción de desastres (2002), página 4



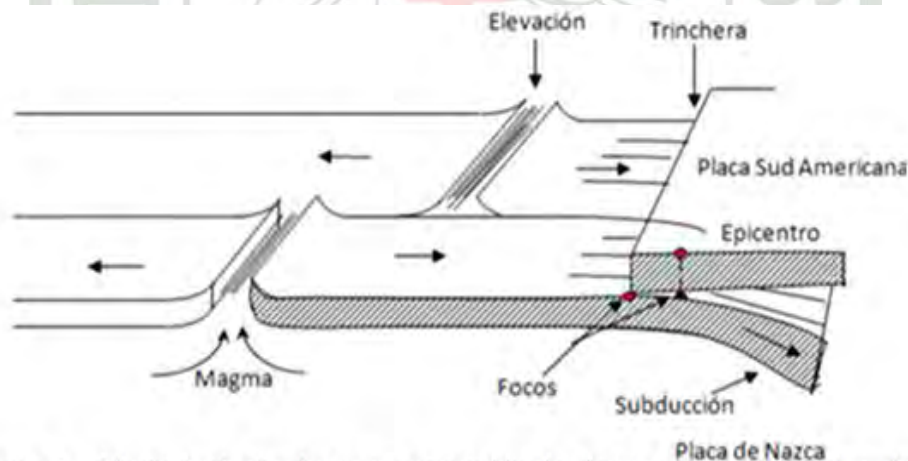
Por su origen, los fenómenos naturales que pueden generar situaciones de desastre, se clasifican en: Geológicos (falla del suelo), Hidrológicos e hidráulicos (Inundación) y Geológicos-Climáticos (deslizamientos).

### 2.2.1.1 Fenómenos Geológicos (Sismos)<sup>2</sup>

Los sismos (terremotos o temblores de tierra), son vibraciones de la corteza terrestre, generadas por distintos fenómenos, como la actividad volcánica, la caída de techos de cavernas subterráneas y hasta por explosiones. Sin embargo, los sismos más severos y los más importantes desde el punto de vista de la ingeniería, son los de origen tectónico, que se deben a desplazamientos bruscos de las grandes placas en que está subdividida dicha corteza. Las presiones que se generan en la corteza por flujos de magma desde el interior de la tierra llegan a vencer la fricción que mantiene en contacto los bordes de las placas y producen caídas de esfuerzos y liberación de enormes cantidades de energía almacenada en la roca. La energía se libera en forma de ondas vibratorias que se propagan a grandes distancias a través de la roca de la corteza.

#### a. Generación de Sismos y/o Corrimiento de Placas<sup>3</sup>

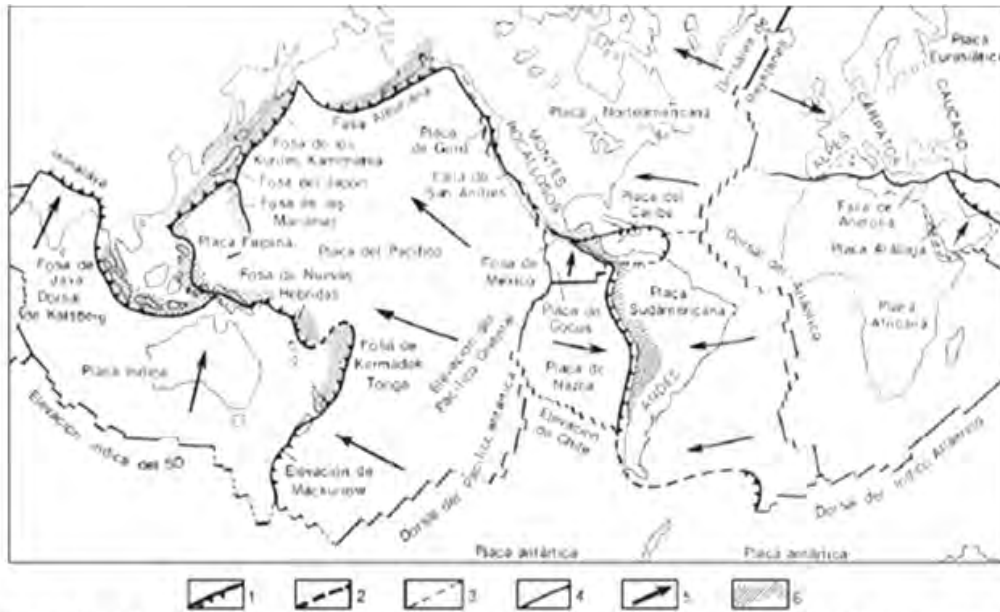
El sismo se genera por el corrimiento de cierta área de contacto entre placas. Se identifica un punto, generalmente subterráneo, que se denomina foco o hipocentro, donde se considera que se inicia el movimiento, a su proyección sobre la tierra se le llama epicentro (Figura 1), la figura 2, muestra las principales placas tectónicas de la tierra.



**Figura 1:** Movimiento de placas y generación de sismos, mecanismo de subducción  
Fuente: Bazán & Meli. Diseño sísmico de edificios (2002)

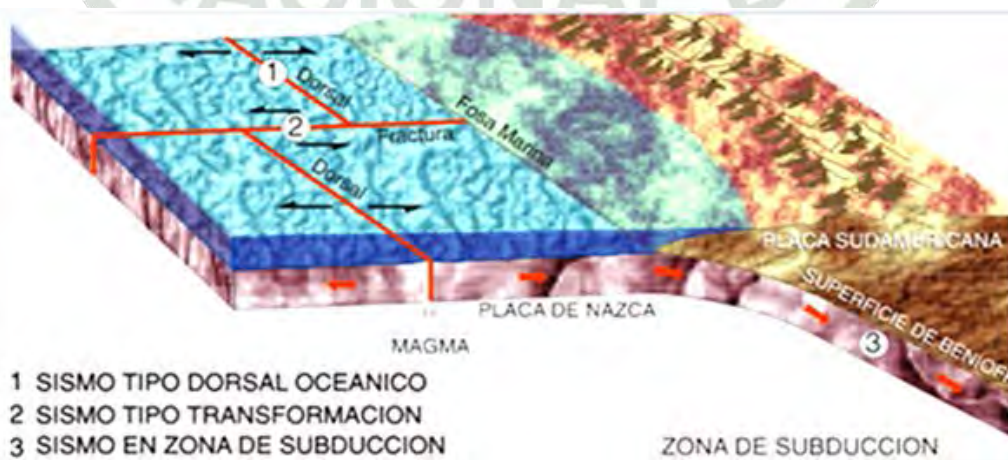
<sup>2</sup> Bazán & Meli, Diseño sísmico de edificios (2002), página 15

<sup>3</sup> Kuroiwa Julio, Reducción de desastres (2002), página 97



**Figura 2:** Principales placas tectónicas de la tierra. 1) Zonas de subducción; 2) límites de las placas trazadas sin seguridad; 3) fallas transformantes; 4) ejes de dorsales; 5) direcciones del movimiento de las placas; 6) zonas de terremotos de focos profundos. Fuente: Bazán & Meli. Diseño sísmico de edificios (2002).

En el extremo donde se consume, en las llamadas **zonas de subducción**, la placa acumula energía al introducirse debajo de otra. Este es el caso de la placa oceánica Nazca, que se introduce bajo la placa continental Sudamericana, frente al Perú, a razón de unos 9 cm/año, velocidad que se ha establecido mediante mediciones satelitales muy precisas. Estas placas al avanzar en sentido contrario, comprimiéndose, acumulan por décadas o siglos, gran cantidad de energía, provocando la ruptura de grandes volúmenes de roca, lo que genera terremotos, de gran magnitud (más de 8 en la escala de Richter). En la zona de subducción se generan sismos en la llamada superficie de Benioff hasta los 700 km de profundidad



**Figura 3:** Tipos de sismos según su forma de generación.

Fuente: Kuroiwa J. Reducción de desastres (2002).

Como podemos apreciar, lamentablemente, las costas occidentales de Sudamérica, Centro y Norteamérica se ubican en el círculo Circumpacífico y tienen, por ende, una alta sismicidad.

## **b. Clasificación de los sismos<sup>4</sup>**

### **b.1 Por su origen:**

**b.1.1 Tectónicos.-** Liberación rápida de energía en movimientos que ocurren en la corteza terrestre. Es el tipo más común

**b.1.2 Volcánicos.-** Asociados a actividad volcánica

**b.1.3 De colapso.-** Colapso de cavernas subterráneas y minas. Deslizamientos masivos. Explosión de armas químicas o nucleares

### **b.2 Según la profundidad de su foco, pueden ser:**

**b.2.1 Superficiales:** Si el foco se ubica entre 0 y 60 Km

**b.2.2 Intermedios:** Entre 60 y 300 Km de profundidad

**b.2.3 Profundos:** De 300 a 700 Km, que es la máxima profundidad focal registrada.

## **c. Movimientos sísmicos del terreno<sup>5</sup>**

### **c.1 Ondas Sísmicas**

La energía liberada por un sismo se propaga desde la zona de ruptura, mediante diversos tipos de ondas que hacen vibrar la corteza terrestre. Se identifican **ondas de cuerpo** que viajan a grandes distancias a través de la roca y **ondas superficiales** que se deben a reflexiones y refracciones de las ondas de cuerpo (figura 4).

### **c.2 Ondas de cuerpo:**

Son las que se generan en el proceso de ruptura y viajan a través del interior del medio sólido, (Bazán & Meli, 2002) y se identifican como:

#### **c.2.1 Ondas Principales (P)**

En las ondas **P** las partículas de la corteza terrestre experimentan un movimiento paralelo a la dirección de la propagación. Estas se propagan a grandes distancias y su amplitud se atenúa poco a poco y son más veloces.

<sup>4</sup> Kuroiwa Julio. Reducción de desastres (2002), página 100

<sup>5</sup> Kuroiwa Julio. Reducción de desastres (2002), página 100



### c.2.2 Ondas Secundarias (S)

En las ondas **S** las partículas se mueven transversalmente a la dirección de la propagación. Estas producen un movimiento del terreno más intenso, por tanto son de características más dañinas para las edificaciones que las ondas **P**.

### c.3 Ondas superficiales

Son las que se producen cuando las ondas sísmicas P y S sacuden las capas superficiales de la corteza terrestre, después de que emergen del foco hasta la superficie, y desde allí se vuelven a irradiar por la superficie terrestre, son de dos tipos:

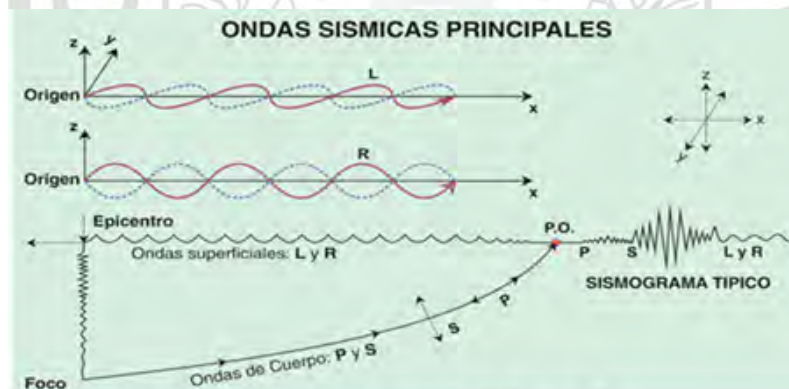
#### c.3.1 Ondas Love (L)

Cuando las partículas vibran con un movimiento horizontal fuerte perpendicular a la dirección de la onda.

#### c.3.2 Ondas Rayleigh (R)

Cuando las partículas vibran con un movimiento arriba y abajo, lado a lado, en dirección de la onda.

Las ondas L y R son más lentas que las P y S, y llegan retrasadas al punto de observación.



**Figura 4:** Tipos de ondas sísmicas: P, S, L y R.

Fuente: Kuroiwa J. Reducción de desastres (2002).

### d. Medida de los sismos<sup>6</sup>

En la actualidad existe dos maneras diferentes de medir los sismos; por su magnitud y por su intensidad.

<sup>6</sup> Bazán & Meli. Diseño sísmico de edificios (2002), páginas 18-20



**d.1 Magnitud (M)**

Bazán y Meli (2002), consideran que es una forma indirecta de pretender cuantificar la energía liberada por el temblor y su potencial destructivo global, de manera semejante a lo que se hace con las bombas. La escala de magnitud más común es la de Richter (más propiamente llamada magnitud local  $M_L$ ), que se basa en la magnitud de un registro en condiciones estándar. Sin embargo, tener presente que esta escala fue propuesta para temblores en California, empleando un sismógrafo particular. Para medir eventos en otras zonas sísmicas, que pueden ser más grandes y lejanos, varios autores han propuesto escalas basadas en registros de diversos tipos de ondas, siendo las más populares la magnitud de ondas superficiales  $M_s$ , y de las ondas de cuerpo  $M_b$ . La escala de magnitudes según **Richter** (M), queda definida mediante la siguiente expresión:

$$M = \log A - \log A_0 \dots \dots \dots (1)$$

En donde A es la amplitud máxima de la traza registrada por un instrumento estándar para un sismo dado a una distancia dada,  $A_0$  es la amplitud máxima para un sismo particular seleccionado como estándar.

$$M_b = 2.5 + 0.63M_s \dots \dots \dots (2)$$

$$M = \frac{2}{3}(\log M_0) - 10.7 \dots \dots \dots (3)$$

En donde, el logaritmo se toma en base 10,  $M_0$  está en dinas-cm

La última ecuación refleja que la magnitud es una función lineal del logaritmo de la energía liberada (medida por  $M_0$ ), de modo que un incremento de un grado en **M** corresponde a un evento que libera  $32(=10^{1.5})$  veces más energía. Por ello, la determinación precisa de la magnitud, digamos con errores de un décimo, es muy importante para determinar la destructividad de un temblor, particularmente en estudios de riesgo sísmico.

**d.2 Intensidad (I)**<sup>7</sup>

Es una medida subjetiva de sus efectos en los sitios donde existen o se van a construir las edificaciones. Se refiere al grado de sacudimiento que se experimenta en un sitio dado. Y es claro que un mismo sismo, aunque tiene una sola magnitud, tendrá diferentes intensidades, según el sitio donde se registre. En general la intensidad decrece a medida que nos alejamos de la zona epicentral, son más intensos los sismos de mayor magnitud. Varias

---

<sup>7</sup> Kuroiwa Julio. Reducción de desastres (2002), páginas 101-102

escalas han sido propuestas destacando la de Mercalli Modificada (MM), que tiene doce grados identificados por los números romanos de I al XII. Es una escala de tipo cualitativo que se basa en la severidad de los daños producidos, en la violencia con que es sentido por las personas y en cambios producidos en la superficie del terreno.

#### Escala Mercalli Modificada para los Países Andinos (MMA)

- I No sentido por personas, pero registrado por sismógrafos
- II Sentido por personas en descanso, en pisos altos de edificaciones
- III Sentido levemente en el exterior, como paso de un pequeño camión, objetos colgantes oscilan.
- IV Ruidoso como el paso de un camión pesado, las vajillas, ventanas y puertas vibran y se mueven.
- V Sentido claramente en el exterior de las edificaciones. Las personas se despiertan. Pequeños objetos encima de los muebles se desplazan y pueden caer. Las puertas y ventanas abiertas oscilan. Se presentan pequeños desplazamientos de tierra en terrenos muy inclinados, y piedras sueltas se desprenden.
- VI Sentido por todos. Personas asustadas huyen hacia el exterior. Los muebles ligeros se mueven. Se producen fisuras en las esquinas de las construcciones de adobe, tapial y piedras unidas con barro (las fisuras tienen menos de 2 mm de espesor, las grietas un espesor mayor). Se pueden producir deslizamientos de cierta magnitud en suelos sueltos de terrenos de gran pendiente.
- VII Difícil mantenerse en pie. Percibido por personas manejando vehículos, los muebles altos pueden volcarse y romperse. Se producen grietas en las esquinas y en la parte central de construcciones de adobe, tapial y piedras unidas con barro. Pequeñas fisuras en las esquinas de las construcciones de albañilería con techos ligeros y flexibles. Desprendimiento de polvo y pequeños trozos de tarrajeo en construcciones de quincha o bahareque. Fisuras en forma de "X" en columnas cortas desfavorablemente ubicadas dentro de las edificaciones de concreto reforzado flexible. Numerosos deslizamientos en terrenos empinados y suelos sueltos, caída de piedras sueltas ubicadas en pendientes.
- VIII Susto y pánico aun en las personas que se encuentren conduciendo vehículos, muebles pesados pueden volcarse. Colapso parcial de construcciones de adobe, tapial y piedras unidas con mortero débil. Daños importantes, incluyendo colapso parcial de edificaciones de albañilería sin columnas y baja densidad de muros. Fisuras en muros de edificaciones de albañilería reforzada y baja densidad de muros. Desprendimiento considerable del tarrajeo en construcciones de albañilería. Fallas en edificios por fuerzas cortantes que se concentran en columnas, vigas cortas y otros puntos críticos. Grietas importantes y generalizadas en muros de relleno de los pisos bajos de edificios

flexibles. Algunos edificios de concreto reforzado con defectos estructurales graves pueden colapsar parcialmente. Se producen importantes y numerosos deslizamientos en zonas montañosas interrumpiendo vías de transporte y canales de riego. Se produce licuación en suelos arenosos sueltos y saturados de agua.

- IX Pánico generalizado; hasta los animales se asustan y/o emiten sonidos. Se presenta daño total en edificios de adobe, tapial y piedras unidas con mortero de barro. Desprendimiento de gran parte del tarrajeo en construcciones de quincha, pudiendo quedar ligeramente inclinadas. Daños graves, incluyendo colapso total de edificaciones de albañilería reforzada con baja y media densidad de muros, con derrumbe de éstos. Graves daños, colapso parcial o falla total de edificios de concreto reforzado con uno o más defectos estructurales, como columna corta, excentricidad, debilidad en una de las direcciones, o sin separación adecuada del edificio vecino, graves deslizamientos de tierra, aun en terrenos con pendiente moderada. Licuación generalizada en suelos arenosos sueltos y saturados.
- X Destrucción generalizada de edificios; solo las edificaciones sismo resistentes concebidas conceptualmente de manera adecuada y diseñadas con normas modernas permanecen con daños menores, sin amenazar a sus ocupantes. Se observan grietas en el terreno. El agua se sale de su cauce en canales, ríos y lagos. La arena y el barro se desplazan horizontalmente aun en terrenos planos.
- XI Verdadera catástrofe, daños severos aun en edificaciones sismo resistentes. Daños notables en el terreno, debido a grandes fisuras y grietas. Derrumbes de considerables volúmenes de suelo. Las líneas férreas sufren graves distorsiones.
- XII La intensidad es tan alta que produce cambios en el paisaje, con grandes desplazamientos horizontales o verticales. Graves daños o destrucción de todas las construcciones situadas sobre o bajo el nivel del suelo.

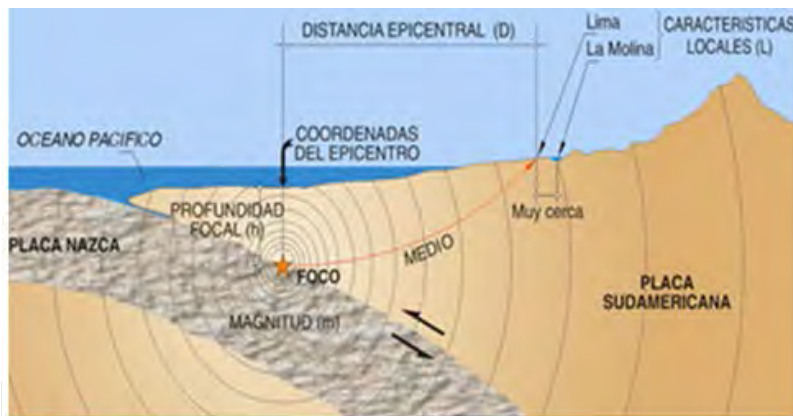
#### e. Peligro sísmico<sup>8</sup>

Es el grado de exposición que un sitio dado tiene frente a los movimientos sísmicos, en lo referente a las máximas intensidades que en el pueden presentarse.

Kuroiwa, manifiesta que depende de los siguientes parámetros (figura 5): La ubicación del epicentro, dada por sus coordenadas y su profundidad focal, con lo que queda señalada la **ubicación del foco**; el tamaño o **magnitud** del sismo; el mecanismo de generación y la direccionalidad de la propagación de la ruptura; las características del medio a través del cual viajan las ondas sísmicas; la distancia epicentral; y las características locales del sitio de observación.

<sup>8</sup> Kuroiwa Julio. Reducción de desastres (2002), página 108





**Figura 5:** Parámetros principales de los que depende el peligro sísmico.

Fuente: Kuroiwa J. Reducción de desastres (2002).

En sismología "Peligro sísmico" es la probabilidad estadística de la ocurrencia (o excedencia) de cierta intensidad sísmica (o aceleración del suelo) en un determinado sitio, durante un período de tiempo (normalmente un año). El conocimiento de esta probabilidad es importante para constructores, ingenieros y planificadores.

El Perú está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la tierra, por lo tanto la región San Martín y por ende Tarapoto se ubican en la zona de sismicidad media o denominada como "zona 2" (Figura 8). Es necesario efectuar estudios que permitan conocer el comportamiento más probable del fenómeno sísmico, para poder planificar y mitigar los grandes efectos que trae consigo. Una forma de conocer el probable comportamiento sísmico de Tarapoto es mediante la evaluación del peligro sísmico en términos probabilísticos, es decir predecir las posibles aceleraciones máximas del suelo (PGA) que podrían ocurrir.

El peligro sísmico de un proyecto depende de la actividad sísmica de la región, debe realizarse una evaluación previa de ésta, para lo cual deben realizarse los siguientes estudios:<sup>9</sup>

#### **e.1 Evidencia geológica regional:**

Los principales aspectos geológicos que se deben estudiar, son las fallas el cual es uno de los aspectos más importantes. No hay datos disponibles acerca de que otros tipos de deformación ocurran en todos los sismos, aunque en algunas regiones como Nueva Zelanda, la mayoría de los sismos presentan inclinación, alabeo y fallas.

**Inclinación.-** Ángulo formado por el plano de los estratos con el plano horizontal, después de un movimiento sísmico.

<sup>9</sup> Dowrick D. Diseño de estructuras resistentes a sismos para Ingenieros y Arquitectos (1984), páginas 17-37



**Alabeo.-** Es la deformación que experimenta el suelo y visible en la superficie, después del movimiento sísmico.

**Falla.-** Es la fractura de la corteza terrestre en dos o más bloques, que origina el desplazamiento horizontal o vertical de estos. Las fallas se originan debido a las presiones que ejercen los materiales incandescentes del interior de la tierra. El plano de falla es la superficie casi llana a lo largo de la cual se produce la fractura y el desplazamiento de los bloques rocosos.

### **e.2 Preparación de mapas de eventos sísmicos**

Preparación de mapas de eventos sísmicos. Este mapa deberá indicar las localizaciones en planta, el orden de profundidades, las magnitudes, los datos que deben considerarse son: Fechas de los eventos. Latitud y Longitud. Distancia al sitio. Profundidad focal. Magnitud (M). Intensidad (I) observada y calculada. Fuente de los datos.

### **e.3 Estudios de deformación-liberación de energía**

La deformación liberada ( $\Delta$ ) durante un sismo se considera proporcional a la raíz cuadrada de la energía liberada. La relación entre la energía (E, en ergios), y la magnitud  $M_s$  para sismos superficiales, ha sido proporcionada por Richter mediante la siguiente expresión:

$$\log E = 11.4 + 1.5M_s \dots\dots\dots (4)$$

El número equivalente de sismos (N) dividido entre el área (A) de la región proporciona el cálculo de la deformación liberada en un periodo dado para esa región.

$$\Delta = \sqrt{E} = \frac{N}{A} \dots\dots\dots (4.1)$$

### **e.4 Estimaciones estadísticas de parámetros de diseño, tales como periodos de retorno para magnitud y aceleración.**

Usando métodos estadísticos estándar. Uno de los más valiosos consiste en estimar el mayor sismo probable que podría ocurrir. Generalmente, un gran número de eventos de pequeña magnitud y la frecuencia de ocurrencia disminuye en forma exponencial con la magnitud. Se suele suponer un modelo propuesto por Gutenberg y Richter (1954), para relacionar el número de años que en promedio transcurre entre uno y otro evento de cierta magnitud. Este lapso se denomina periodo de retorno, N, y aumenta con la magnitud.

**e.4.1 Relaciones Magnitud-Frecuencia**

Según Gutenberg y Richter (1954), tal como se ilustra en la figura 6.

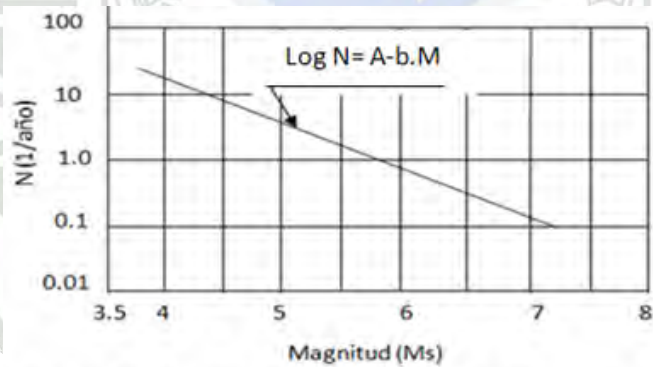
$$\log N = A - bM \dots \dots \dots (5)$$

En donde N es el número de sismos de magnitud M o mayor por año, A y b son constantes sísmicas para cualquier región dada.

Varios investigadores han tratado de relacionar A y b, tal como se muestra en el cuadro 1, Kaila y Narain obtuvieron la ecuación siguiente.

$$A = 6.35b - 1.41 \dots \dots \dots (6)$$

La pendiente b, tiene un gran significado sísmico muy importante. Un descenso de b en un periodo dado indica un incremento en la proporción de sismos grandes. Esto puede ser causado por un incremento relativo en la frecuencia de sismos pequeños. Algunos Investigadores han encontrado que los periodos de máxima liberación de energía en la corteza terrestre han estado precedidos y acompañados por un descenso marcado de b. El valor máximo de M para un periodo de retorno dado, y puede usarse para determinar los movimientos pico del suelo.



**Figura 6:** Relación Magnitud-Frecuencia para ocurrencia de sismos en la zona de subducción.  
Fuente: Bazán & Meli. Diseño sísmico de edificios (2002)

**e.4.2 Probabilidad de excedencia<sup>10</sup>**

La probabilidad de excedencia es la probabilidad de que al menos un sismo de ciertas características tendrá lugar en un periodo de tiempo dado (Muñoz, 1999).

$$P = 1 - e^{-Nt} \dots \dots \dots (5.a)$$

<sup>10</sup> Climent, et al, Evaluación de la amenaza sísmica en Costa Rica (2008), página 36

En donde P es la probabilidad (en %), N es la frecuencia ( $f = 1/T$ ), T es el periodo de retorno y t es el tiempo de vida útil de la estructura.

**e.4.3 Movimientos máximos del suelo**

Dowrick (1984), al determinar los movimientos máximos del suelo en un sitio, para un periodo de retorno dado, es de gran importancia la atenuación del movimiento del suelo con la distancia, desde el punto de origen del sismo (figura 7). El movimiento máximo del suelo, aceleración o velocidad, se expresa en términos de magnitud (M) y la distancia epi-central (D), o la distancia focal (R).

**Cuadro 1:** Tabla de valores de A y b, basados en datos de sismos superficiales registrados en 14 años, para varias regiones normalizadas a una retícula de 2° x 2° , (Kaila & Narain).

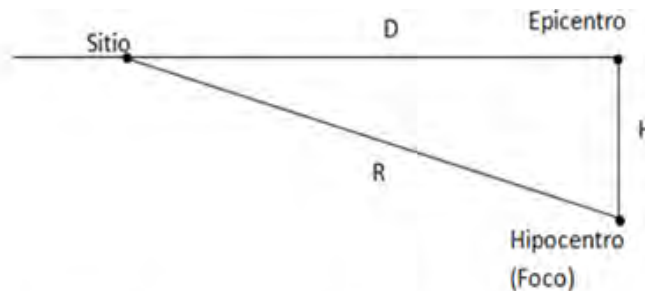
Región	Frontera				A	b
	26N	40N	132E	150E		
Japón					6,86	1,22
Nueva Guinea	13S	1N	132E	148E	7,83	1,35
Nueva Zelanda	48S	37N	164E	180E		1,04
Canadá Oeste	47N	65N	142E	115W	5,05	1,09
E. U. América oeste	25N	47N	135W	105W	5,94	1,14
E. U. América este	25N	47N	105W	51W	5,79	1,38
América central	10N	25N	12W	85W	7,36	1,45
Colombia - Perú	18S	6N	85W	60W	5,60	1,11
Chile norte	37N	18S	78W	60W	4,78	0,88
Chile Sur	63S	37S	78W	60W	4,46	0,92
Mediterráneo	30N	50N	20W	48E	5,45	1,10
Irán - Turkmenia	15N	42N	48E	65W	6,02	1,18
Java	13N	5S	90E	118E	5,37	0,94
África este	40S	30N	20E	48E	3,80	0,87

Fuente: Dowrick D. Diseño de estructuras resistentes a sismos p/ Ingenieros y Arquitectos (1984)

Dowrick (1984), Manifiesta que la ecuación más correcta para determinar la magnitud, distancia y aceleración máxima “a”, es la de Donavan.

$$a = \frac{1080 e^{0.5M}}{(R + 40)^{1.32}} \dots \dots \dots (7)$$

En donde **a** esta en cm/seg<sup>2</sup>, y R es la distancia en Km desde el hipocentro.



**Figura 7:** Relación geométrica entre foco y sitio.

Fuente: Dowrick D. Diseño de Estructuras resistentes a Sismos p/ Ingenieros y Arquitectos (1984)

Otra ecuación de atenuación basada en datos corregidos y evaluados estadísticamente, es la de Esteva, quien propone las ecuaciones siguientes para aceleración  $a$  y velocidad máxima del suelo  $v$ :

$$a = \frac{5600 e^{0.8M}}{(R + 40)^2} \dots\dots\dots (8)$$

$$v = \frac{32e^M}{(R + 25)^{1.7}} \dots\dots\dots (9)$$

Estas dos ecuaciones son válidas para distancias focales mayores de 15 km, debe señalarse que las ecuaciones de atenuación son generalmente inapropiadas para el área epi-central, o sea, dentro de una distancia entre 15-20 km desde el epicentro, (Dowrick, 1984).

Para estimar el desplazamiento ( $d$ ) del suelo se cuenta con la ecuación empírica propuesta por Newmark y Rosenblueth, (Dowrick, 1984).

$$5 \leq \frac{ad}{v^2} \leq 15 \dots\dots\dots (10)$$

En la ecuación el valor de 5 es apropiado para grandes distancias epi-centrales del orden de 100 km, y el valor de 15 es para distancias epi-centrales pequeñas.

Casaverde & Vargas (1980), han propuesto la siguiente expresión para terremotos de subducción en el Perú y actualmente se emplea en los estudios de riesgo sísmico en el País.<sup>11</sup>

$$a = \frac{68.7e^{0.8M_s}}{(R + 25)} \dots\dots\dots (11)$$

En donde  $a$  es la aceleración del suelo en  $\text{cm/seg}^2$ ,  $M_s$  es la magnitud de ondas superficiales,  $R$  es la distancia focal en Km.

Para sismos corticales puede emplearse la ecuación propuesta por McGuire (1974) en función de la magnitud de ondas superficiales y la distancia focal en Km, (Muñoz, 1999).

$$a = \frac{472e^{0.64M_s}}{(R + 25)^{1.3}} \dots\dots\dots (12)$$

---

<sup>11</sup> Muñoz. Alejandro. Ingeniería sismo resistente (1999), página 21



Los sismos corticales, este tipo de sismos son llamados también Superficiales, debido a que tienen una profundidad de 0 - 60 Km.

Kuroiwa, (2002) correlaciona la aceleración máxima del suelo con la intensidad (Cuadro 2). Lo cual se trata de relacionar un parámetro absolutamente cuantificable, como lo es la aceleración, con un parámetro más subjetivo que no se puede medir con instrumentos, como lo es la intensidad (IMM).<sup>12</sup>

**Cuadro 2:** Tabla de correlaciones entre la  $a_{m\acute{a}x}$ . (% g) y la Intensidad (MM)

Percepción de la sacudida	No sentido	Débil	Ligero	Moderado	Fuerte	Muy Fuerte	Severo	Violento	Extremo
potencial de daño	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Muy Ligero	Ligero	Moderado	Moderado / Alto	Alto	Muy Alto
Aceleración Pico(% g)	<0.17	0.17 - 1.4	1.4 - 1.9	3.9 - 9.2	9.2 - 18	18 - 34	34 - 65	65 - 124	>124
Velocidad pico (cm/s)	<0.1	0.1 - 1.1	1.1 - 3.4	3.4 - 8.1	8.1 - 16	16 - 31	31 - 60	60 - 116	>116
Intensidad instrumental	I	II - III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Fuente: Kuroiwa J. Reducción de desastres (2002)

Barrientos (1980) ha propuesto la siguiente relación para determinar la Intensidad (IMM)

$$I(D, M_s) = a_1 M_s + a_2 \lg D + a_3 D + a_4 \dots \dots \dots (13)$$

En donde I es la intensidad medida en la escala de Mercalli Modificada (MM), D es la distancia epicentral, Ms es la magnitud de las ondas superficiales. Se calculó la ecuación por el método de regresión de multivariantes, donde  $a_1 = 1.139593$ ,  $a_2 = -4.6064$ ,  $a_3 = -0.0057011$  y  $a_4 = 6.50461$ .

**f. Efectos locales<sup>13</sup>**

El movimiento en la superficie del terreno en un sitio dado puede diferir radicalmente del que se tiene en la roca base, por alteraciones de las ondas debidas a efectos geológicos, topográficos y de rigidez del subsuelo. La importancia de estas alteraciones o **efectos locales**, se reconoce cada vez más en años recientes y ha conducido a la necesidad de estudios de **microzonificación** de las áreas urbanas y periurbanas para detectar aquellas zonas que presentan problemas especiales.

Fenómenos locales extremos se tienen en zonas de suelos inestables donde la vibración sísmica puede provocar fallas del suelo, deslizamiento de laderas o problemas de licuación de suelos. Estas zonas deben identificarse con estudios geotécnicos específicos.

<sup>12</sup> Kuroiwa Julio. Reducción de desastres (2002), página 105

<sup>13</sup> Bazán & Meli, Diseño sísmico de edificios (2002), página 25

La presencia de suelo blando por los que transitan las ondas sísmicas para llegar a la superficie, altera en forma significativa las características de las ondas. Se filtra ondas de periodo corto ( $T_p$ ) y se amplifican las ondas de periodo largo. En general, la intensidad sísmica aumenta en los sitios de terreno blando y los daños en los sismos importantes han sido sistemáticamente más graves en estos sitios que en los de terreno firme.

El periodo de vibración correspondiente a la frecuencia fundamental se conoce como periodo característico del depósito del suelo.

$$T_p = \frac{4H}{v_s}$$

Donde  $T_p$  es el periodo de vibración en segundos,  $H$  es el espesor del estrato por donde viajan las ondas y  $v_s$  es la velocidad con que viajan las ondas en el medio, a mayor velocidad mayor densidad del suelo.

En el Perú, el Dr. Enrique Silgado Ha recopilado los datos de diferentes eventos, la que complementa con información obtenida del Servicio de Geología de la EUA (USGS, Sel). El Dr. Jorge Alva y el Ing. Jorge Castillo, profesores del SIMID FIC/UNI, agregando informaciones de otras fuentes y procesándolas, han preparado el mapa de distribución de isoaceleraciones (curvas de igual aceleración) sobre roca, para un 10% de excedencia en 50 años (figura 8). Según la teoría de probabilidades significa que el periodo de retorno de los sismos es de unos 500 años.<sup>14</sup>

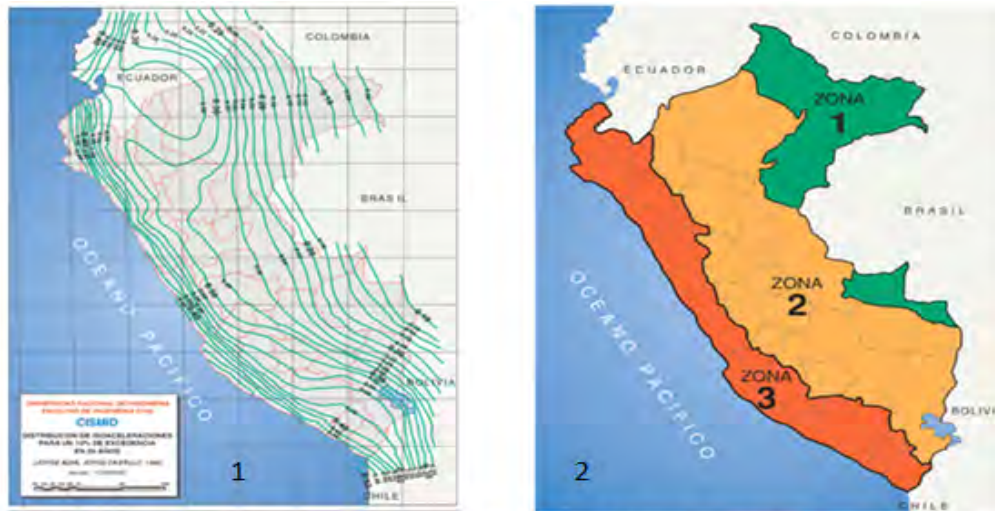
En esta información se basa el mapa de zonificación sísmica (figura 8), de la Norma Sismo resistente NTE-030-97, aprobada por el Gobierno del Perú en 1997.

#### **g. Actividad sísmica de la Región San Martín<sup>15</sup>**

El conocimiento de los efectos causados por la ocurrencia anterior de un evento de interés, bien caracterizado, aporta antecedentes para validar algunos modelos predictivos en uso, disminuyendo así el manejo subjetivo de la información. Todo antecedente conforma una historia sísmica necesaria a disponer ya que con esa información es posible emprender los estudios específicos (Ver Anexo N° 1).

<sup>14</sup> Kuroiwa Julio. Reducción de desastres (2002), página 109

<sup>15</sup> INDECI, Mapa de Peligros de la ciudad de Rioja, página 43



**Figura 8:** 1) Distribución de isoaceleraciones para el 10% de excedencia en 50 años para el Perú (Alva & Castillo, 1993); 2) zonas sísmicas del Perú. Norma sismorresistente (NTE 030-97.MTC/SISMID, 1997).  
Fuente: Kuroiwa J. Reducción de desastres (2002)

#### h. Consideraciones geológicas del área de estudio<sup>16</sup>

El principal agente geomorfológico modelador del relieve lo constituye el río Cumbaza y las condiciones meteorológicas existentes, al actuar sobre terrenos relativamente susceptibles a la erosión han dado las características fisiográficas actuales (INDECI, 2003). En general los depósitos encontrados se visualizan en la Figura 9 y en la figura 10 se muestran las fallas de Angaisa y Pucatambo.

#### i. Consideraciones topográficas<sup>17</sup>

Topografía es el conjunto de particularidades que presenta un terreno en su configuración superficial, definida por la pendiente longitudinal y transversal, que vienen hacer las inclinaciones naturales que la tierra ha reservado. Los terrenos se clasifican en plano, ondulado, montañoso y escarpado, de acuerdo a los parámetros que se indican en la Cuadro 3.

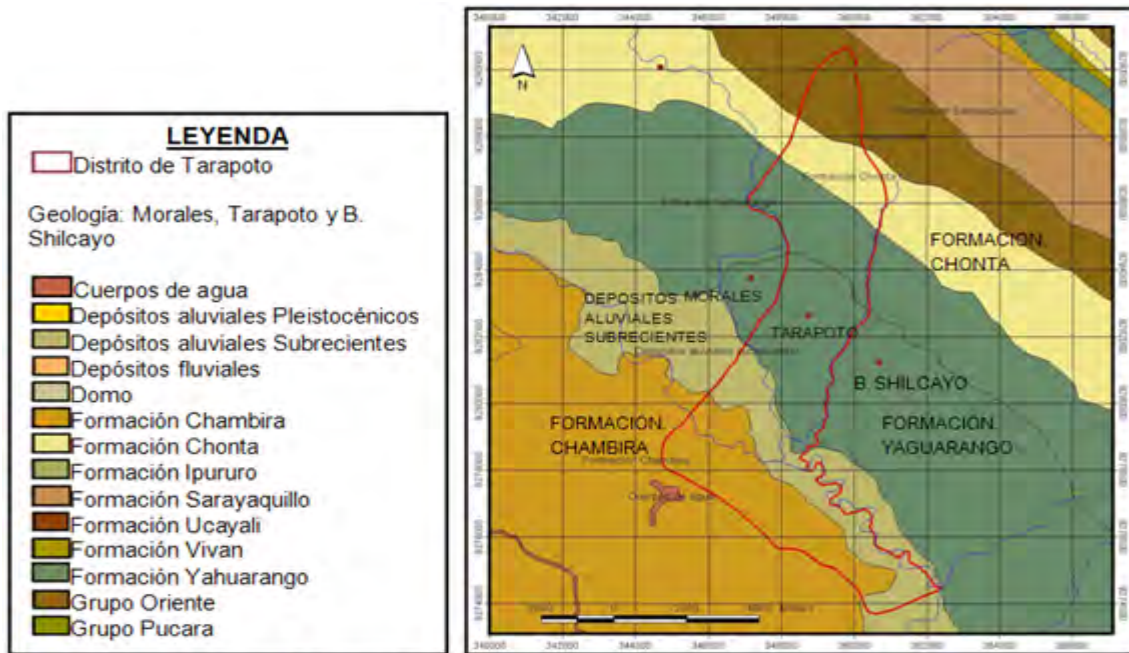
<b>Cuadro 3:</b> Tabla de Tipos de terreno de acuerdo a la pendiente.	
<b>Tipo de terreno</b>	<b>Inclinación máxima media de las líneas de máxima pendiente (%)</b>
Plano (P)	0-5
Ondulado (O)	5-25
Montañoso (M)	25-75
Escarpado (E)	>75

Fuente: Cárdenas J. Diseño geométrico de carreteras (2002)

<sup>16</sup> INDECI, Mapa de Peligros de las ciudades de Tarapoto, Morales y la Banda de Shilcayo (2003), página 18

<sup>17</sup> Cárdenas James. Diseño geométrico de carreteras (2002), página 4





**Figura 9:** Estratigrafía y litología local.

Fuente: INGEMMET, 2007

#### j. Consideraciones Geotécnicas<sup>18</sup>

La Mecánica de Suelos es la rama que trata de la acción de las fuerzas sobre las masas de los suelos. Desde hace mucho tiempo atrás el hombre ha estudiado el suelo sobre el que vive, presentando variadas teorías en la solución de los problemas relativos al uso del mismo. Toda obra de construcción civil, por pequeña o grande que sea la estructura se inicia y apoya teniendo siempre como medio de fundación un suelo. Este por su complejidad requiere ser estudiado en forma minuciosa con pericia y precisión, de lo cual depende la seguridad y vida útil de cualquier obra de construcción civil. Antes los problemas de mecánica de suelos se resolvían en forma empírica o por tanteos, trayendo consecuencias como riesgo de seguridad y economía.

Algunos autores han intentado derivar algunas relaciones entre parámetros geotécnicos sencillos pero relevantes y la amplificación local. El parámetro más importante para este fin es la velocidad de las ondas S, donde han propuesto relaciones entre la velocidad y la amplificación relativa. Los parámetros geotécnicos son datos de gran utilidad para la estimación del potencial de licuación y la amplificación de ondas sísmicas. Entre los parámetros necesarios para la caracterización del sitio tenemos:

<sup>18</sup> INDECI, Mapa de Peligros de las ciudades de Tarapoto, Morales y la Banda de Shilcayo (2003), página 42





**Figura 10:** Fallas Pucatambo y Angaiza.

Fuente: INDECI, Mapa de Peligros de la ciudad de Rioja (2006)

### j.1 Velocidad de las ondas Superficiales ( $v$ )

La velocidad de onda superficial puede ser obtenida mediante la ecuación (9) propuesta por Esteva y descrita en el presente capítulo.

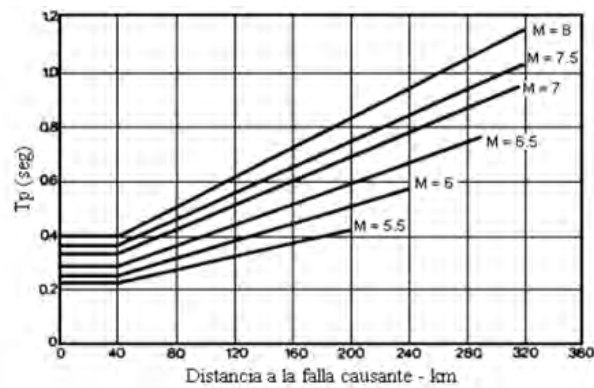
### j.2 Periodo natural del suelo ( $T_p$ )<sup>19</sup>

Además de la aceleración, el contenido de frecuencia del movimiento del suelo es muy importante de estudiar. La estructura del suelo del sitio puede amplificar los movimientos que son transmitidos a la superficie como consecuencia de la resonancia entre el periodo natural del suelo y el periodo predominante del terremoto. Así mismo, los peores daños tendrán lugar si el periodo predominante del sismo corresponde al periodo fundamental (o periodo de resonancia) de las estructuras.

El contenido de la frecuencia, especialmente en el área epicentral, se presume es una función del mecanismo de origen del sismo.

En la figura 11, puede observarse la tendencia del periodo predominante hacia valores mayores a medida que se incrementa la distancia desde el epicentro, por que los movimientos de alta frecuencia son filtrados, apagándose.

<sup>19</sup> Dowrick D. Diseño de estructuras resistentes a sismos para Ingenieros y Arquitectos (1984), página 37



**Figura 11:** Periodos predominantes para aceleraciones máximas en roca.

Fuente: Dowrick D. Diseño de estructuras resistentes a sismos p/ Ingenieros y Arquitectos (1984)

### j.3 Factor de Amplificación ( $F_a$ )<sup>20</sup>

El peligro sísmico de un sitio puede ser evaluado a partir de la información sobre las fuentes sísmicas que lo afectan y las características de atenuación de movimientos sísmicos en la región. Sin embargo, el movimiento sísmico durante un terremoto puede variar de un lugar a otro, separados aún por distancias cortas, si las características geológicas son diferentes. En algunos casos, la influencia geológica puede dominar el peligro sísmico de un lugar.

La Amplificación del movimiento depende principalmente del balance de dos factores: el espesor del capa de suelo y el contraste entre la propagación de las ondas en roca y en suelo. En general, se considera la contribución de los 30 m superficiales a la amplificación del movimiento, las capas de gran espesor (mayor o igual a 100 m) de suelo blando pueden tener un efecto de amortiguación sobre el efecto de absorción, anulando el efecto de amplificación.

Otro mecanismo de amplificación del movimiento que ocurre en casos de alto contraste entre la velocidad de las ondas en roca y suelo es el de resonancia, que se presenta cuando la onda se refleja en la superficie y se propaga hacia abajo hasta que nuevamente rebota en la roca y queda atrapada dentro del suelo. Este efecto, puede aumentar la amplitud de las ondas y también prolongar la duración de sacudida. El efecto de resonancia es máximo cuando el periodo de las ondas sísmicas coincide con el periodo de vibración del suelo. En este caso la amplificación puede ser muy grande y el periodo natural del suelo llega a ser dominante en el movimiento.

<sup>20</sup> Vásquez et al., Aplicación de métodos sísmicos para caracterización de sitio en estudios de Ingeniería Civil (2008), página 23.

Entre los métodos que de empleará para calcular es el de Midorikawa (1987), correlaciona el valor de la velocidad (v) al factor pico de amplificación sísmica y se determina mediante la expresión:

$$F_a = 68.v^{-0.6} \rightarrow \text{Para, } v < 1100 \text{ m/seg} \dots \dots \dots (14)$$

$$F_a = 1 \rightarrow \text{Para, } v \geq 1100 \frac{m}{seg} \dots \dots \dots (15)$$

En donde  $F_a$  es el factor de amplificación y  $v$  es la velocidad superficial

**j.4 Potencial de licuación<sup>21</sup>**

Dowrick, (1984) manifiesta que bajo carga sísmica algunos suelos pueden compactarse, incrementándose la presión de poro en el agua, causando una perdida en la resistencia al cortante. Este fenómeno se conoce generalmente como licuación. Los suelos gravosos o arcillosos no son susceptibles de licuación. Las arenas densas son menos propensas a licuarse que las arenas sueltas, mientras que las arenas depositadas hidráulicamente son particularmente vulnerables, debido a su uniformidad. La licuación puede ocurrir a cierta profundidad, causando un flujo ascendente del agua. Aunque este flujo no pueda causar licuación en los estratos superiores, es posible que la presión hidrodinámica pueda reducir las presiones de contacto admisibles en la superficie, A la fecha no se ha desarrollado un criterio unificado, pero se ha hecho intentos para relacionarlo con la densidad relativa (Dr%) (Cuadro 4).

**Cuadro 4: Potencial de licuación.**

Máxima aceleración en la superficie del terreno	Licuación muy probable	La licuación depende del tipo de suelo y de la magnitud del sismo	Licuación muy improbable
0.10 g	Dr<33%	33%<Dr<54%	Dr>33%
0.15 g	Dr<48%	48%<Dr<73%	Dr>73%
0.20 g	Dr<60%	60%<Dr<85%	Dr>85%
0.25 g	Dr<70%	70%<Dr<92%	Dr>92%

Fuente: Dowrick D. Diseño de estructuras resistentes a sismos p/ Ingenieros y Arquitectos (1984)

**j.5 Suelos expansivos<sup>22</sup>**

Son aquellos que incrementan significativamente su volumen al variar las condiciones ambientales en el lugar donde están depositados, siendo los cambios ambientales más importantes la reducción de la presión sobre el suelo por excavaciones, o el aumento de

<sup>21</sup> Dowrick D. Diseño de estructuras resistentes a sismos para Ingenieros y Arquitectos (1984), página 151.

<sup>22</sup> Braja Das. Principios de ingeniería de cimentaciones (2001), página 739.



volumen del suelo por incremento de la humedad. El último caso es más frecuente y causa problemas críticos a las obras civiles. Los sistemas de clasificación de suelos expansivos se basan en los problemas que estos crean en la construcción de cimentaciones (expansión potencial), uno de los métodos utilizados para identificar es mediante el uso de la carta de plasticidad.

#### **k. Características geotécnicas de la zona de estudio<sup>23</sup>**

De los estudios geológicos y geotécnicos existentes se presenta la caracterización del suelo de la zona de estudio, Los tipos de suelos como resultado de las muestras ensayadas se han clasificado por el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) (figura 12) y su capacidad de resistencia.

#### **I. Clasificación geotécnica según el Reglamento Nacional de Edificaciones<sup>24</sup>**

Para la clasificación de los suelos se considera lo propuesto en la NTE.030 diseño sismorresistente, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta las propiedades mecánicas del suelo, el espesor del estrato, el periodo fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte. Los tipos de perfiles de suelos son cuatro:

##### **I.1 Perfil tipo S<sub>1</sub>: Roca o suelos muy rígidos**

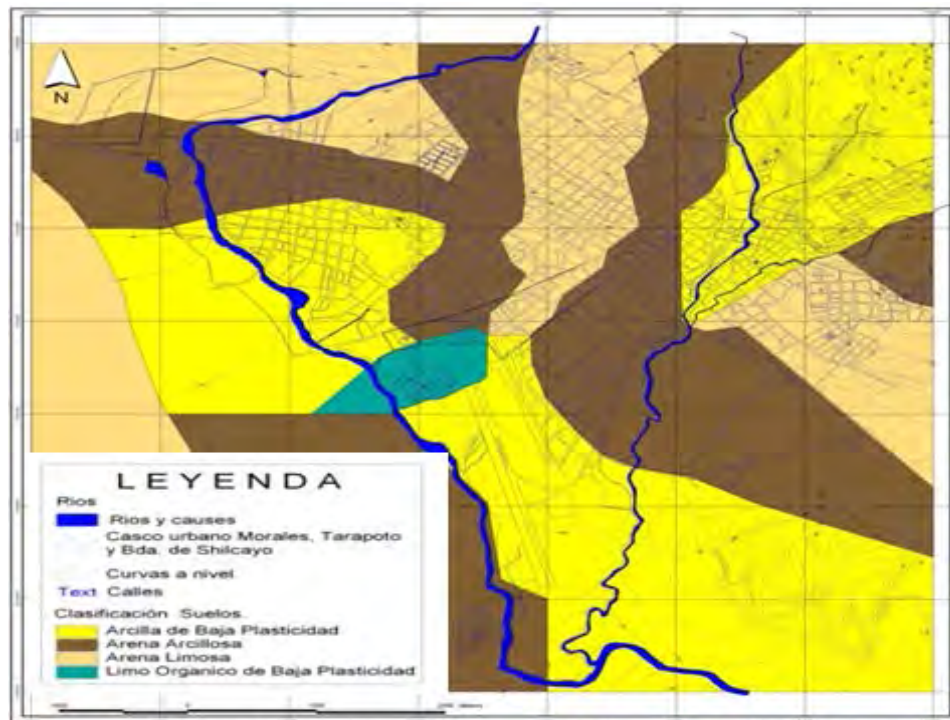
A este tipo le corresponden las rocas y suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte similar al de una roca, en los que el periodo fundamental para vibraciones de baja amplitud no excede a 0.25 s, incluyéndose los casos en los que se cimenta sobre:

- Roca sana o parcialmente alterada, con una resistencia a la compresión no confinada mayor o igual que 500 KPa (5 kg/cm<sup>2</sup>).
- 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/cm<sup>2</sup>), 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.

<sup>23</sup> INDECI, Mapa de Peligros de las ciudades de Tarapoto, Morales y la Banda de Shilcayo (2003), página 42

<sup>24</sup> CAPECO, Norma Técnica de edificación E 030 Diseño sismorresistente (2003), página 16





**Figura 12:** Caracterización geotécnica de las ciudades de Tarapoto, Morales y La Banda de Shilcayo, (INDECI, 2003).  
Fuente: Elaboración propia (2010), adecuado al mapa base de INDECI (2003)

## I.2 Perfil tipo $S_2$ : Suelos intermedios

Se clasifican como de este tipo los sitios con características intermedias entre las indicadas para los perfiles  $S_1$  y  $S_2$ .

## I.3 Perfil tipo $S_3$ : Suelos flexibles o con estratos de gran espesor

Corresponden a este tipo los suelos flexibles o estratos de gran espesor en los que el periodo fundamental, para vibraciones de baja amplitud, es mayor que 0.6 segundos. Incluyéndose los casos en los que el espesor del estrato de suelo excede los valores (Cuadro 5).

## I.4 Perfil tipo $S_4$ : Condiciones excepcionales

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

Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores de ( $T_p$ ) y del factor de amplificación del suelo ( $F_a$ ), (Cuadro 6).

En los sitios donde las propiedades del suelo sean poco conocidas se podrán usar los valores correspondientes al perfil tipo ( $S_3$ ). Sólo será necesario considerar un perfil tipo ( $S_4$ ) cuando los estudios geotécnicos así lo determinen.

**Cuadro 5:** Tabla de valores de los suelos ( $S_3$ )

Suelos Cohesivos	Resistencia al Corte Típica en condición no drenada (KPa)	Espesor del estrato (m) (*)
Blandos	<25	20
Medianamente compactos	25 a 50	25
Compactos	50 a 100	40
Muy compactos	100 a 200	60
Suelos Granulares	Valores N típicos en ensayos de penetración estándar (STP)	Espesor del estrato (m) (*)
Suelto	04 a 10	40
Medianamente densos	10 a 30	45
Densos	>30	100

\* Suelos con velocidad de onda menor que el de una roca

Fuente: RNC, NTE 030

**Cuadro 6:** Tabla de valores del periodo ( $T_p$ ) y el factor de amplificación ( $F_a$ ), (RNE, 2009)

Tipo	Descripción	$T_p$	$F_a$
$S_1$	Roca o suelos muy rígidos	0.40	1.00
$S_2$	Suelos intermedios	0.60	1.20
$S_3$	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0.90	1.40
$S_4$	Condiciones excepcionales	*	*

(\*) Los valores de  $T_p$  y  $F_a$ , serán establecidos por el especialista.

Fuente: RNC, NTE 030

### 2.2.2.2 Fenómenos Hidrológicos e Hidráulicos<sup>25</sup>

#### a. Inundaciones

Invasión lenta o violenta de aguas de río, lagunas o lagos, debido a fuertes precipitaciones fluviales o rupturas de embalses, causando daños considerables. Se pueden presentar en forma lenta o gradual en llanuras y de forma violenta o súbita en regiones montañosas de alta pendiente, fenómeno del cual trataremos en el presente estudio.

#### b. Peligro o amenaza de Inundación

El Peligro Hidromeorológico en intensidad y extensión dependen del sistema climático prevaleciente y de las características geomorfológicas y topográficas del área. Los fenómenos más peligrosos son las inundaciones de los cursos de agua y depende directamente del grado de exposición de un lugar o emplazamiento.

Las inundaciones han ocurrido siempre, desde los albores de la historia de la humanidad. Lo que hace que las inundaciones se conviertan en situaciones de desastre, es que el hombre, debido a la facilidad al acceso del agua hace que, se ubique para vivir, muy cerca a los cursos de agua, ocupando los planos de inundación o conos aluviales.

<sup>25</sup> Kuroiwa Julio. Reducción de desastres (2002), página 248

### c. Evaluación del peligro de inundación

El método más efectivo para determinar valores extremos de las inundaciones es a través de las investigaciones de campo, estudiando las condiciones de las orillas de los ríos y zonas aledañas y a través de la información oral, realizando indagaciones entre personas de mayor edad que hayan sido testigos de tales inundaciones. Igualmente pueden servir de guía para estimar donde y con que frecuencia ocurren inundaciones, la morfología del plano de inundación de antiguos cursos del río, naturaleza y graduación de depósitos de arcilla, arena y grava, así como la edad y tipo de vegetación existente.

### d. Factores que influyen en la severidad de las inundaciones

Su severidad depende de la intensidad, distribución geográfica y duración de las lluvias, en el caso de flujos rápidos es muy importante la llamada duración crítica de la lluvia que influye directamente en el tiempo de concentración del flujo de agua. Este tiempo depende principalmente de la forma y pendiente de la cuenca de captación, incluyendo su longitud.

#### 2.2.1.3 Fenómeno Geológico - Climáticos<sup>26</sup>

Se considera fenómenos geológico-climáticos a las fallas que se presentan en el suelo, que de acuerdo a la pendiente se producen **deslizamientos**, causados por vibraciones sísmicas y por humedecimiento (presencia de lluvias), **licuefacción** de arenas causado por sismos intensos, **asentamientos** o **hinchamientos** del suelo compresible por presencia de agua.

#### a. Deslizamientos

Son desplazamientos de tierra, rocas y sedimentos que se desplazan pendiente abajo a lo largo de una superficie plana, circular o cóncava. Suceden debido a las características del suelo (dureza, filtración y humedad, pendiente, etc.), o por intervención del hombre tales como cortes de terreno, rellenos y deforestación entre otros, por lo que no son propicias para que construyas tu vivienda. La velocidad de estos movimientos varía de lenta a moderada y se ve acelerada generalmente con lluvias excesivas o por movimientos sísmicos.

#### b. Estabilidad de taludes

La clasificación geotécnica del suelo de acuerdo a las pendientes y a las características de los materiales y sus limitaciones geotécnicas, posibilidades de uso, costo estimado para su desarrollo y nivel de exigencia de los estudios (Cuadro 7).

<sup>26</sup> Kuroiwa Julio. Reducción de desastres (2002), página 290



International Centre for Geohazards (2002), explica que los deslizamientos, como amenaza particular, se genera por intervención de las siguientes variables: Precipitaciones, actividad sísmica, condiciones topográficas y ángulos de pendiente, tipo de suelo, condición hidrológica y vegetación. Así tenemos:

### c. Peligro Geológico-Climáticos

El Peligro Geológico-Climático, es el grado de exposición de un lugar que frente a los movimientos sísmicos o por humedecimiento del suelo, debilitan la resistencia al corte del suelo e incrementan la carga que actúa sobre él, causado por lluvias u otros eventos climáticos, provocan deslizamientos, licuación de arenas y expansión o colapso de suelos, que son los desastres que más pérdidas económicas generan a nivel mundial.

**Cuadro 7:** Tabla del sistema de clasificación geotécnica para uso del suelo en pendiente

Características	Clase 1	Clase 2	Clase3	Clase 4
Características importantes	Menos de 15° de pendiente poca erosión	Pendiente 15°-30° No desestabilizado, ni erosión severa.	Pendiente 30°-60° No estabilizado o erosión severa	Pendiente > 60°
	plataforma en corte	Terreno coluvial < 15°, no inestabilidad o erosión severa	Pendiente < 15°, pero con antecedentes de deslizamientos.	Pendiente entre 30° y 60° inestables o erosión severa
	Corte de la pendiente < 15°, y altura del corte < 30m		terreno coluvial < 15°, inestabilidad general	terrenos coluviales 30° -60°
Limitaciones geotécnicas	Baja	Moderada	Alta	Extrema
Posibilidad de uso para el desarrollo	Alta	Moderada	Baja	Probablemente inadecuada
Costo de obras para el desarrollo	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
Nivel de estudios de sitio requeridos	Normal	Normal	Intenso	Muy intenso

Fuente: Kuroiwa J. Reducción de desastres (2002))

### 2.2.2 La microzonificación<sup>27</sup>

Son estudios interdisciplinarios de las ciencias de la tierra, que, debidamente sintetizados y graficados, permiten preparar un mapa de Microzonificación de Peligros o amenaza natural, este es un documento fácil de interpretar y aplicar en planes de uso del suelo para la reducción de desastres naturales, y disminución de costos de construcción, en estos estudios se consideran los fenómenos Geológicos (sismos), Hidrológicos e Hidráulicos y Geológico-Climáticos, que potencialmente pueden afectar un área de interés.

<sup>27</sup> Kuroiwa Julio. Reducción de desastres (2002), página 41



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Materiales

- Hoja Topográfica de Tarapoto, IGN (2005), (Carta Nacional Esc. 1:500,000).
- Hoja Topográfica Analizada de Tarapoto, INDECI (2003), Esc. 1:15,000
- Mapa Geológico, INGEMMET, (2005), Esc. 1:500,0000.
- Image © 2010 GeoEye. Julio, 2004.
- Una Computadora Personal Compatible
- Una Impresora Láser HP 1020
- Memoria USV (Unidad de almacenamiento virtual)
- Instrumento de Global Position Sistem (GPS), Garmin Colorado 300
- Papel Bond A4 de 80 gr y cartuchos de tinta para impresora
- Software **Specialized**: Microsoft Word XP, Excel XP, Power Point XP, AutoCAD 2009.  
Arc View (vista aérea).

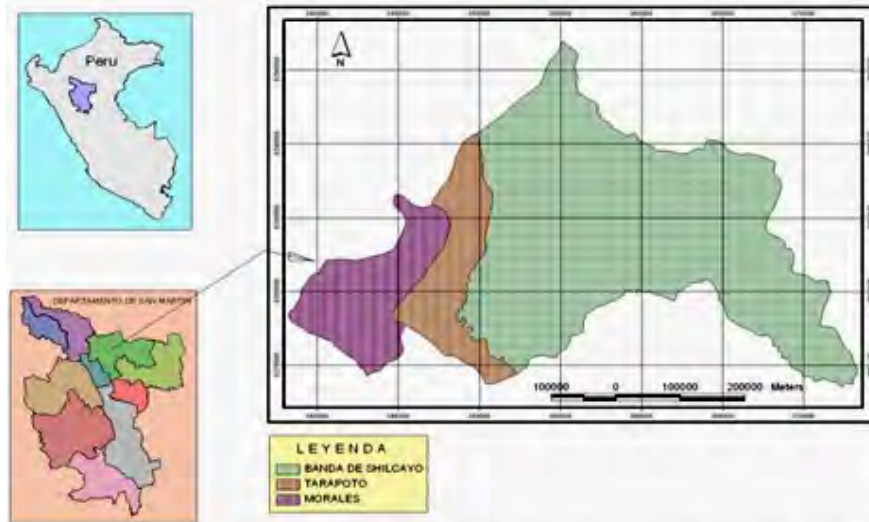
##### 3.1.1. Lugar de Ejecución o Localización Geográfica

El presente trabajo de investigación se desarrolló entre los sectores que están comprendidos dentro del área de influencia de las ciudades de Tarapoto, Morales y banda de Shilcayo, Provincia de San Martín, Región San Martín, Perú, a la altura del Km. 614 de la carretera Fernando Belaunde Terry.

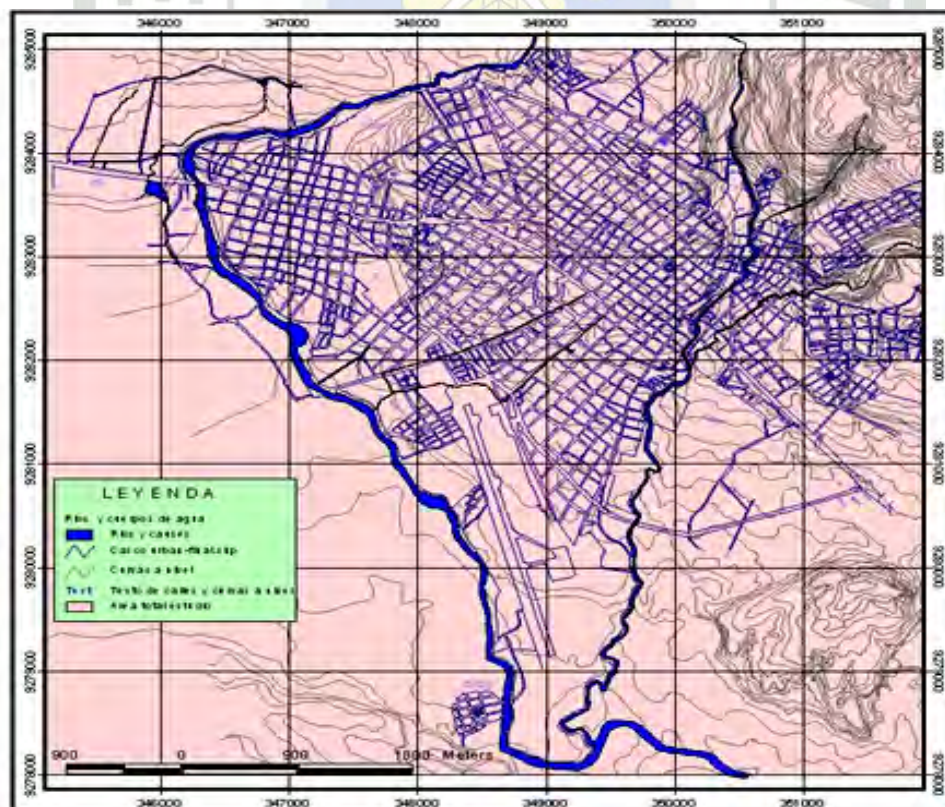
La extensión abarca un área de 48.99 Km<sup>2</sup>. Encerrada en un cuadrángulo cuyo perímetro es de 27,999.2424 m, correspondiendo a los distritos de, Tarapoto que es la ciudad más poblada del departamento de San Martín, cuenta con 67,831 habitantes, Morales con 22,874 habitantes y la Banda de Shilcayo con 26,479 habitantes, a una altitud promedio de 333 m.s.n.m. (INEI-CPV, 2007).

Geográficamente se ubica entre las coordenadas 6°28'40" Latitud Norte (Sectores Tarapotillo y Coperolta en Tarapoto), 76°21'13" Longitud Este (Sectores de San Juan y Colegio Virgen Dolorosa en la Banda de Shilcayo) , 6°29'27" Latitud Sur ( Sectores de Pueblo Joven Atumpampa y Barrio Huayco en Tarapoto) y 76°22'55" Longitud Oeste (Sectores de la Planicie en Morales), (Figura 14), y según las coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator), en Datum: WGS '84 – Zona 18M; entre la Máxima y Mínima de: E

345,000; N 9'285,000 al E 352,000; N 9'285,000 y E 345,000; N 9'278,000 al E 352,000; N 9'278,000.



**Figura 13:** Ubicación de la región San Martín en el Perú, y de la provincia San Martín en la región San Martín.  
Fuente: IGN (2007)



**Figura 14:** Ubicación del área del presente estudio.

Fuente: Elaboración propia (2010), adecuado al mapa base de INDECI (2003)

### **3.1.2. Descripción de la Zona de Estudio**

La zona de estudio está comprendida entre los límites que corresponden a los sectores denominados: Por el norte, con los sectores Tarapotillo y Coperolta; por el sur con la zona del Pueblo Joven 2 de Mayo y el Barrio Huayco; por el este con los sectores de San Juan y Colegio Virgen Dolorosa en el distrito de la Banda de Shilcayo, y por el Oeste con Sectores de la Planicie en el distrito de Morales (figura 14).

Los ríos y quebradas que cruzan las ciudades juegan un importante papel en la caracterización morfológica de la zona. El río Cumbaza separa en dos sectores a la ciudad de Morales, dividiéndola entre la zona de la Planicie, en la margen derecha, y el centro comercial del distrito, en la margen izquierda. El curso del Río Shilcayo es el límite entre las ciudades de Tarapoto, en la margen izquierda y la Banda de Shilcayo, en la margen derecha. La quebrada Amorarca es el límite entre las ciudades de Tarapoto, en la margen izquierda y la ciudad de Morales, en la margen derecha. La quebrada Choclino entra en la ciudad de la Banda de Shilcayo dividiéndola entre el centro comercial, en la margen derecha y los sectores formados más recientemente, en la margen izquierda.

El presente proyecto tiene como propósito la elaboración del estudio de la Microzonificación de Peligros de las ciudades de Tarapoto, Morales y Banda de Shilcayo, ubicando y zonificando los sectores de mayor peligro ante los procesos geológicos (sísmicos), climatológicos hidrológicos e hidráulicos (inundaciones) y geológico-climático (deslizamientos), que ocasionan daños por la acción natural y acelerados por la acción antrópica.

Para la ejecución del Estudio de investigación se cuenta con el estudio de mecánica de suelos (INDECI, 2003), el cual permitirá complementar la información existente en relación al comportamiento físico mecánico de los mismos. Se caracterizan los suelos según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), los mismos que por su origen geológico son de tipo aluvial, coluvial y fluvio-aluvial.

### **3.1.3 Características Edafoclimáticas y/o Fisiográficas de la zona**

#### **3.1.3.1. Clima**

El área de influencia para el presente estudio, comprende un clima influenciado por el flanco de la Cordillera Escalera, ya que intercepta las masas de aire húmedo provenientes de la selva baja. La temperatura es altamente variable, así tenemos la temperatura máxima promedio mensual es de 34.5 °C y mínima promedio mensual de 21.4 °C (Gráfico 1 y 2). Para las precipitaciones se distingue un total promedio mensual de 112.1 mm y un promedio anual de 1233.1 mm, presentándose las mayores precipitaciones entre los meses de enero -



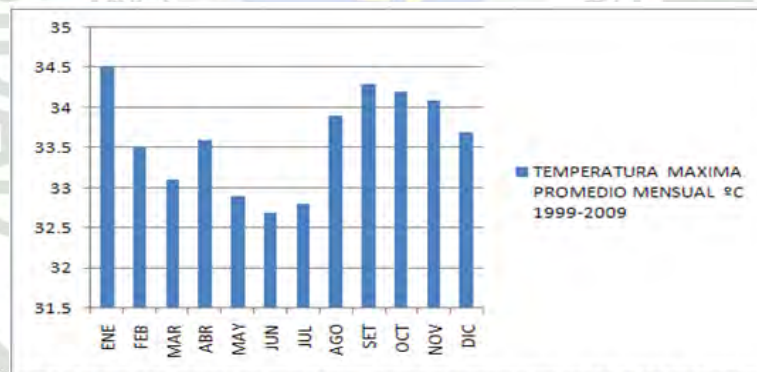
abril, las menores de mayo-setiembre y luego un ascenso entre los meses de octubre – diciembre (Gráfico 3). Los datos que respecto a este punto se tienen, deriva de los datos recogidos en la estación hidrometeorológica del SENAMHI (Tarapoto, 1999-2009), (Ver Anexo N° 2). Siendo el clima uno de los principales factores que condicionan las costumbres de las poblaciones.

### 3.1.3.2. Vientos

Este factor climático presenta una característica especial dentro de la zona en estudio: La estación de Tarapoto, registra un viento persistente de dirección Norte de velocidad media de 3.2 Km. /hora y, en menor porcentaje de dirección Sur con velocidad media de 6.3 Km. /hora, durante todo el año. No se descarta, la ocurrencia esporádica de vientos fuertes y acompañados por fuertes precipitaciones, de consecuencias funestas, deriva de los datos recogidos en la estación hidrometeorológica del SENAMHI (Tarapoto, 1999-2009), (INDECI, 2003).

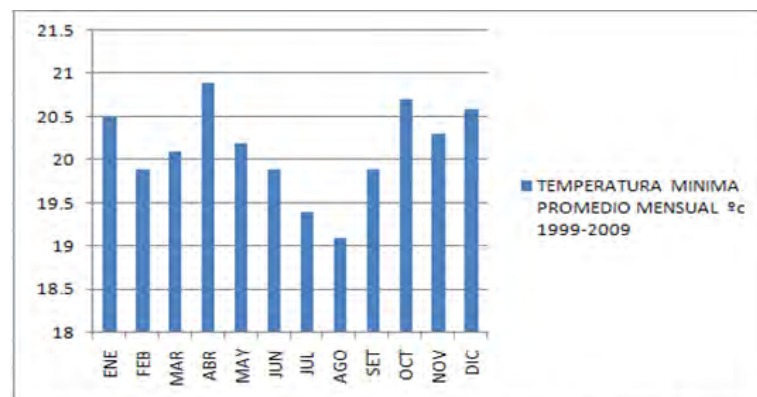
### 3.1.3.3. Humedad Relativa

La estación de “CO” Tarapoto registra los valores más altos el mes abril entre 80% a 81% y el mes de agosto de 74% (Grafico 4), deriva de los datos recogidos en la estación hidrometeorológica del SENAMHI (Tarapoto, 1999-2009), (Ver Anexo N° 3).



**Gráfico 1:** Temperatura máxima promedio mensual en °C (1998-2009)

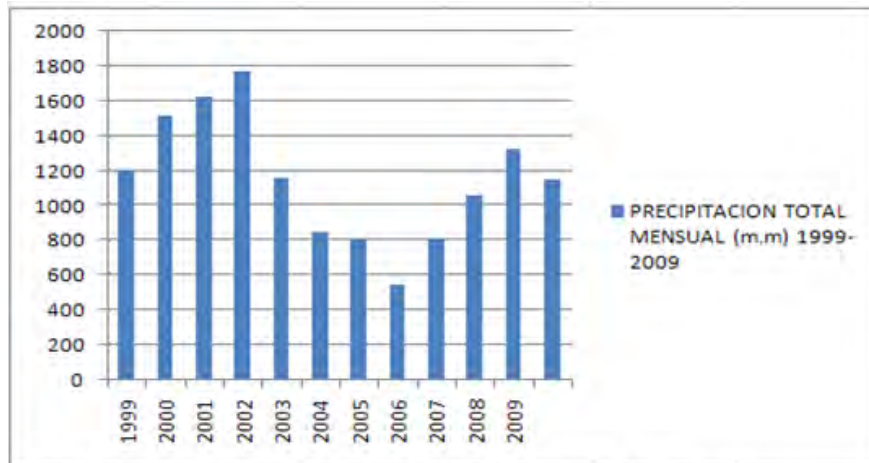
Fuente: Elaboración propia, 2010



**Gráfico 2:** Temperatura mínima promedio mensual en °C (1998-2009)

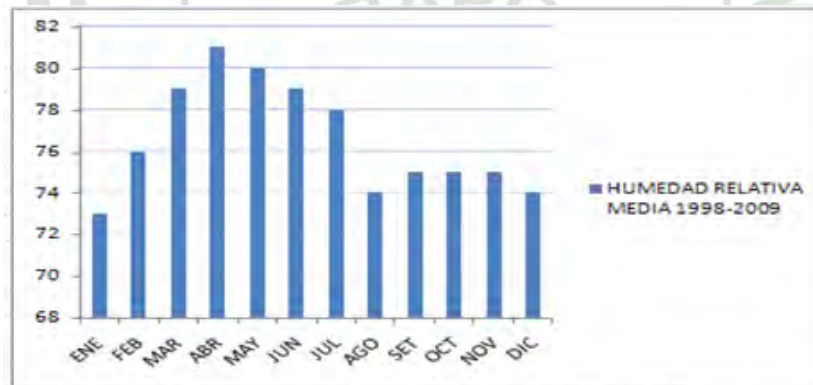
Fuente: Elaboración propia, 2010





**Grafico 3:** Precipitación total mensual en mm (1998-2009)

Fuente: Elaboración propia, 2010



**Grafico 4:** Humedad relativa media (1998-2009)

Fuente: Elaboración propia, 2010

#### 3.1.3.4. Características fisiográficas de la zona de estudio

**Características geológicas.-** La geología local está caracterizada por la presencia de depósitos cuaternarios de los tipos aluviales, fluvio-aluviales y coluvio-aluviales, principalmente. Estos materiales provienen de la cadena montañosa al este de la Ciudad de Tarapoto, denominada Cordillera Azul. Presenta una litología que es esencialmente de naturaleza arenosa, con bloques y cantos rodados (de 60 a 70 cm. de diámetro) que son de areniscas blanquecinas a crema, con matriz arenosa a ligeramente arcillosa, con lentes de arcilla rojiza y de arena limo-arcillosa siendo todo esto producto de lo que denominamos “Aluvión de Tarapoto”, que tuvo sus orígenes en la Cordillera Azul, el cual condiciona las características físicas y mecánicas del área de estudio.

**Características Topográficas.-** La topografía de la zona de estudio presenta sectores de: pendiente plana entre 0-30%, pendiente moderada entre 30-100%, pendiente fuerte entre 100-200% y pendiente muy fuerte >200%.

**Características Geotécnicas.-** Arenas limosas (SM) de baja plasticidad, arenas arcillosas (SC) de baja plasticidad, con ángulos de fricción entre 12.52° a 15.27° y cohesiones del orden de 0.38 a 0.43 kg/cm<sup>2</sup>, arcillas de baja plasticidad (CL) con ángulo de fricción equivalente a 10.90° y cohesión de 0.37 kg/cm<sup>2</sup> y suelos orgánicos de baja plasticidad (OL), con ángulo de fricción interna de 30.46° y cohesión de 0.06 kg/cm<sup>2</sup> (Figura 12), INDECI (2003).

### 2.2.3 Metodología<sup>28</sup>

#### 3.2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación fue descriptivo, sobre la que se buscó especificar y analizar las características geológicas, topográficas y geotécnicas del suelo, los estudios descriptivos se caracterizan por la selección de una serie de variables y se mide cada una de ellas independientemente, para así describir lo que se investiga.

#### 3.2.2. Diseño de investigación

El diseño fue no experimental de tipo seccional y lo que se hace en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural como: geológicos, hidrológicos e hidráulicos y geológicos-climáticos, para después analizarlos. Los diseños seccionales tienen la ventaja de que se basan en la observación de objetos de investigación tal como existe en la realidad, sin intervenir en ellos ni manipularlos (Sierra, 1993). Según el carácter de la medida el enfoque del estudio es mixto, se analizaron variables cuantitativas y cualitativas

#### 3.2.3. Método de análisis de datos<sup>29</sup>

##### 5.2.3.1. Variables e indicadores de estudio

Las variables en estudio, son las características físicas del suelo, la geología y la topografía, las que ejercen un control directo de la extensión del daño causado por la ocurrencia de eventos naturales destructivos y su distribución geográfica, haciéndose evidente en la zona, la actividad tectónica, las inundaciones, deslizamientos, lo cual corresponde a la variable independiente y el Peligro será la variable dependiente, ya que este depende de las características locales de la zona, se identificaron zonas: Altamente Peligrosas o de Muy Alto Peligro, Peligroso o de Alto Peligro, Peligro Medio y Peligro Bajo.

<sup>28</sup> Hernández, et al, (1999), página 41

<sup>29</sup> El autor, (2010)

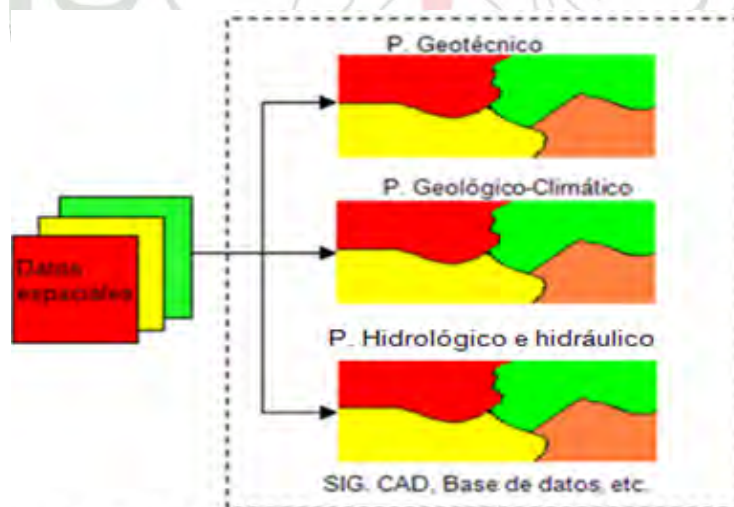
### 5.2.3.2. Procedimiento del método de análisis de Datos<sup>30</sup>

En la metodología propuesta se incluyen aquellos fenómenos naturales extremos que tienen probabilidad de ocurrencia y que pueden producir situaciones de desastre, así tenemos: Geológicos (Sismos), Hidrológicos e hidráulicos (inundaciones producidas por desbordamiento de los cauces fluviales y/o inundaciones de las zonas bajas, por el deficiente drenaje urbano) y Geológico-Climático (deslizamientos).

La metodología se limita a la fase de análisis de la probabilidad o susceptibilidad de los fenómenos naturales catastróficos. Se obtienen, por tanto, mapas de microzonificación de peligros. La escala de los mapas generados es de tipo local en concreto 1:14,000 (Esc. SIG). Esta escala resulta apropiada en estudios de ordenación territorial, y además se adecua a la mayor parte de los datos cartográficos disponibles y trabajados para tal efecto o propósito.

Dada la influencia que tienen los datos cartográficos de tipo lineales y de poli-líneas continuas (fundamentalmente de las diferentes características topográficas) en la definición del peligro natural, se ha optado por una representación de tipo capas (con tonalidades de colores estandarizados). En consecuencia, se ha empleado el análisis geoespacial mediante aplicaciones de SIG, con empleo de plataforma Auto Cad y, Arc View para la representación gráfica o mapas temáticos. Los cálculos y estimaciones para determinar los índices de peligro y otros temas, se realizaron en Hoja de cálculo Excel y los ajustes de áreas, corte y de las figuras geométricas se realizaron con la extensión TNC Furter del Arc View.

La metodología se estructura en tres partes, una por cada mapa de microzonificación de peligro generado, tal como se muestra en la figura 15.



**Figura 15:** Esquema de la metodología general

Fuente: Elaboración propia, 2010

<sup>30</sup> El autor, (2010)



## 1. Microzonificación del Peligro Geotécnico<sup>31</sup>

La metodología Mora (2002) usada para la Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, Provincia de San José, Costa Rica y adaptado por el autor para la amenaza sísmica. En este trabajo se utilizó una base topográfica 1:15,000, y el estudio de suelos (INDECI, 2003).

La combinación de los factores y parámetros se realiza considerando que los sismos ocurren en una fuente sismogénica, y que las características del sitio están compuestas por sus características litológicas y topográficas (pendiente), se alcanza un grado de susceptibilidad (elementos pasivos). Bajo estas condiciones el factor dinámico, como es la sismicidad (elemento activo) actúa como factor de disparo que perturba el equilibrio, o movimiento del suelo, el cual depende de las condiciones de sitio.

Es así como se considera que el grado de amenaza sísmica es el producto de los elementos pasivos y de la acción de los factores de disparo, se expresa mediante las ecuaciones:

$$A = Suc. \times Disp \dots \dots \dots (16)$$

En donde A es el grado de amenaza, Suc. Es el valor de los factores de susceptibilidad, Disp. Es el valor de los factores de disparo

$$Suc = S \times P \times T \dots \dots \dots (17)$$

En donde S es el valor del tipo de suelo, P es el valor del periodo natural del suelo, T es el valor considerando la topografía (pendiente).

$$Disp = a_{m\acute{a}x} \dots \dots \dots (18)$$

Para los resultados de la combinación de todos los factores no se puede establecer una escala de valores única, pues los mismos dependen de las condiciones de cada área estudiada. Por este motivo, se sugiere dividir el rango de valores obtenidos, para el área de estudio, en cuatro clases de amenaza y asignar los calificativos (**Cuadro 8**), el mismo que ha sido adaptado por el autor, para el presente estudio.

### 1.1 Descripción de los parámetros de la metodología

#### 1.1.1 Geología superficial (Estratigrafía)

Las formaciones superficiales son unidades de materiales con naturaleza física diferente, se

<sup>31</sup> Mora Rolando. Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, Provincia de San José, Costa Rica (2002) y adaptado por el autor (2010).



exponen en la superficie y llegan a alcanzar espesores importantes. Constituyendo terrenos de fundación de obras civiles, por lo cual el conocimiento de su naturaleza, características y fenómenos a los que están sometidos, son básicos en la planeación del uso de la tierra.

**Cuadro 8:** Tabla de clasificación del grado de Peligro o Amenaza Sísmica (A).

Clase	(A)	calificativo	Características
1	1 - 10	Baja	Suelos donde se producirá baja amplificación de las ondas sísmicas. Donde es muy remota la posibilidad de ocurrencia de fenómenos naturales intensos o falla gradual del suelo, (INDECI, 2003).
2	11 - 26	Media	Son aquellas áreas donde el terreno es de pendiente menor de (Suave a Moderada), con presencia de erosión, con posibilidad de uso moderado, nivel freático profundo (>4 m) capacidad portante del suelo 1-1.5 Kg/cm <sup>2</sup> . En general amenaza moderada, (INDECI, 2003)
3	27 - 108	Alta	Son aquellas áreas donde el terreno tiene una pendiente >45°; no existe erosión severa, son áreas cercanas a las riberas de ríos, quebradas y torrenteras; nivel freático a poca profundidad (menor de 4 m), la capacidad portante se encuentra entre 0.50 a 1.00 Kg / cm <sup>2</sup> (INDECI, 2003).
4	>255	Muy Alta	Son aquellas áreas donde el terreno es de pendiente mayor de 65°. Nivel freático superficial. Riberas y cauces de quebradas y zonas adyacentes, cuyo ancho de trabajo estará determinado por la topografía, talud del cauce natural (ancho efectivo del río y/o quebrada). En estas zonas no se deberá permitir el uso del suelo con fines de vivienda por el alto peligro de inundación, o erosión y/o socavamiento, los que podrían generar el colapso de las estructuras. Las inversiones que se realicen serán para protección, defensa ribereña y recreación. En estas áreas los suelos disminuyen su capacidad portante por la inestabilidad y el efecto Sísmico (INDECI, 2003).

Fuente: Elaboración propia, 2010

### 1.1.2 Parámetro del tipo de suelo (S)

Los tipos de suelos y rocas juegan un papel preponderante en el comportamiento dinámico. La composición mineralógica, la capacidad de retención de humedad, los espesores y grado de meteorización, el estado de fracturamiento, el ángulo de buzamiento, la posición y variación de los niveles freáticos, etc., influyen claramente en la estabilidad o inestabilidad del suelo.

Según los criterios de la Norma Técnica de Edificación (NTE) E.030 diseño sismorresistente y también utilizados en códigos sísmicos mundiales y de la experiencia de terremotos, los suelos se clasifican tomando en cuenta las propiedades mecánicas, el espesor del estrato, el periodo fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte.

La evaluación de este parámetro puede realizarse según las sugerencias del RNE, (2009), y contando con la evaluación de propiedades geotécnicas del suelo del área de estudio (INDECI, 2003), se recomienda utilizar los valores que se indican en el cuadro 9.

Parámetro	Calificativo	Valor
S <sub>1</sub> (Roca)	Bajo	1
S <sub>2</sub> (Suelo Firme)	Medio	2
S <sub>3</sub> (Suelo Blando)	Alto	3
S <sub>4</sub> (Suelo Muy Blando)	Muy Alto	4

Fuente: Mora R. 2002

### 1.1.3 Parámetro de disparo por sismicidad ( $a_{m\acute{a}x.}$ o PGA)

Para la evaluación de este parámetro seguiremos los métodos probabilísticos del peligro sísmico. Este enfoque expresa el peligro sísmico como probabilidad de que un determinado parámetro sísmico sea igualado o superado durante un intervalo de tiempo. El intervalo que se evalúa el peligro generalmente se asocia al tiempo de vida de una obra o al tiempo de recuperación de una inversión de la misma, (Bozzo & Barbat, 2000).

Para el estudio probabilístico se necesita conocer: a) Caracterización de las zonas fuente y de la ubicación del sitio en la región; b) Leyes de recurrencia para las zonas fuente; c) Leyes de atenuación ( $a_{m\acute{a}x.}$ ); d) Probabilidad correspondiente a distintos valores de la aceleración del movimiento del sismo, la magnitud mínima considerada será de  $M_s > 4.5$ . La aceleración máxima, correlacionaremos con la intensidad macrosísmica (IMM), para establecer los valores correspondientes del parámetro de disparo por sismicidad (Disp.) (Cuadro 10). Las relaciones entre intensidad y aceleración que pueden ser utilizadas, a criterio de las personas que pongan en práctica esta metodología, (Kuroiwa, 2002).

Parámetro (% g)	Calificativo	Valor
4.5– 8.9	Bajo	1
8.9 – 16.5	Medio	2
16.6 – 35.4	Alto	3
>35.4	Muy Alto	4

Fuente: Mora R. 2002

Parámetro en seg.	Calificativo	Valor
0.1 – 0.4	Bajo	1
0.1 - 0.5	Medio	2
0.1– 0.6	Alto	3
>0.6	Muy Alto	4

Fuente: Mora R. 2002

### 1.1.4 Parámetro de las Pendientes (T)

Este parámetro utiliza las clases de pendiente, con las cuales se describen los procesos característicos y esperados, y las condiciones del terreno, así como una leyenda de colores (Cuadro 12). Las clases de pendientes pueden coincidir con los sectores críticos, donde influye en la intensidad del movimiento sísmico y puede mostrar un efecto amplificador o atenuador. Los estudios realizados indican que ciertas formas topográficas, especialmente taludes o laderas de diferente pendiente y valles muestran varios grados de amplificación, (Kuroiwa, 2002).

El contenido de la frecuencia, la dirección y el ángulo de incidencia de las ondas sísmicas aumenta la amplitud del movimiento. En el borde de los valles, las divisorias y en las laderas de los montes se ha determinado un incremento de la vibración, (Kuroiwa, 2002).

**Cuadro 12:** Clases de pendientes y valoración (T)

Pendiente		Condiciones del terreno	Calificativo	Valor
Grados	%			
0° - 3°	0 a 5	Planicie, sin denudación apreciable.	Planicie	0
3° - 8°	5 a 15	Pendiente muy baja, peligro de erosión.	Muy Baja	1
8° - 16°	15 - 30	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro severo de erosión.	Baja	2
16° - 45°	30 - 100	Pendiente fuerte, procesos denudacionales fuertes (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos.	Moderada	3
45° - 65	100 - 200	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos.	Fuerte	4
65°	>200	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible.	Muy Fuerte	5

Fuente: Mora R. 2002

## 2. Microzonificación de Peligro Geológico-Climático<sup>32</sup>

La metodología Mora (2002), se aplica mediante la combinación de varios factores y parámetros, los cuales se obtienen de la observación y medición de indicadores morfodinámicos y su distribución espacio-temporal. En este trabajo se utilizó una base topográfica 1:15,000.

La combinación de los factores y parámetros se realiza considerando que los deslizamientos ocurren cuando en una ladera, compuesta por una litología determinada, con cierto grado de humedad y con cierta pendiente, se alcanza un grado de susceptibilidad (elementos pasivos). Bajo estas condiciones, los factores, dinámicos y externos, como son la sismicidad

<sup>32</sup> Mora Rolando, Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, Provincia de San José, Costa Rica (2002).

y las lluvias intensas (elementos activos) actúan como factores de disparo que perturban el equilibrio, la mayoría de las veces precario, que se mantiene en la ladera, (Mora, 2002).

Es así como se considera que el grado de susceptibilidad al deslizamiento es el producto de los elementos pasivos y de la acción de los factores de disparo (Mora, 2002), se expresa mediante la ecuación:

$$G_{sd} = EP \times Disp. \dots \dots \dots (19)$$

En donde  $G_{sd}$  es el grado de susceptibilidad al deslizamiento, EP es el valor producto de la combinación de los elementos pasivos, Disp. Es el valor del factor de disparo.

Por su parte el valor de los elementos pasivos se compone de los siguientes parámetros (Mora, 2002), y se expresa según la ecuación:

$$EP = S_1 \times S_h \times S_p \dots \dots \dots (20)$$

En donde  $S_1$  es el valor del parámetro de susceptibilidad litológica,  $S_h$  es el valor del parámetro de humedad del terreno,  $S_p$  es el valor del parámetro de la pendiente.

El factor de disparo se compone de los siguientes parámetros (Mora, 2002), y se expresa según la ecuación:

$$Disp. = D_s + D_{ll} \dots \dots \dots (21)$$

En donde  $D_s$  es el valor del parámetro de disparo por sismicidad,  $D_{ll}$  es el valor del parámetro de disparo por lluvia.

Sustituyendo los parámetros apropiados, la ecuación original se puede expresar según la ecuación:

$$G_{sd} = (s_1 \cdot S_h \cdot S_p) (D_s + D_{ll}) \dots \dots \dots (22)$$

De esta ecuación se pueden derivar las relaciones:

$$H_s = (s_1 \cdot S_h \cdot S_p) (D_s) \dots \dots \dots (23)$$

$$H_{ll} = (s_1 \cdot S_h \cdot S_p) (D_{ll}) \dots \dots \dots (24)$$

En donde  $G_{sd}$  es el Grado de susceptibilidad al deslizamiento,  $S_1$  es el parámetro del suelo,  $S_p$  es el parámetro de la pendiente,  $S_h$  es el parámetro de la humedad del terreno,  $H_s$  es la susceptibilidad al deslizamiento por sismo,  $H_{ll}$  es la susceptibilidad al deslizamiento por lluvias.



Para los resultados de la combinación de todos los factores no se puede establecer una escala de valores única, pues los mismos dependen de las condiciones de cada área estudiada. Por este motivo, se sugiere dividir el rango de valores obtenidos, para el área de estudio, en cuatro clases de susceptibilidad y asignar los calificativos que se presentan en el cuadro 13, (Mora, 2002).

<b>Cuadro 13: Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento (<math>G_{sd}</math>)</b>			
<b>Clase</b>	<b>(<math>G_{sd}</math>)</b>	<b>Calificativo</b>	<b>Características</b>
1	0-280	Baja	Sectores estables que requieren medidas correctivas menores, solamente en caso de obras de infraestructura de gran envergadura. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado, (Mora, 2002).
2	281-450	Media	No se debe permitir la construcción de infraestructura si no se realizan estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio. Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, bioestabilización de terrenos, etc. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado. Recomendable para usos urbanos de baja densidad, (Mora, 2002).
3	451-650	Alta	Probabilidad de deslizamiento alta ( $< 65^\circ$ ) en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Para su utilización se deben realizar estudios de estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección, (Mora, 2002).
4	>651	Muy Alta	Probabilidad de deslizamiento muy alta ( $> 65^\circ$ ) en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Prohibido su uso con fines urbanos, se recomienda usarlos como áreas de protección, (Mora, 2002).

Fuente: Elaboración propia, 2010

## 2.1 Descripción de los parámetros de la metodología

### 2.1.1 Parámetro de la pendiente ( $S_p$ )

Este parámetro utiliza las clases de pendiente, con las cuales se describen los procesos característicos y esperados, y las condiciones del terreno, así como una leyenda de colores descritos en el método anterior (cuadro 12). Las clases de pendientes pueden coincidir con los sectores críticos, donde los procesos de deslizamiento son dominantes (Mora, 2002).

### 2.1.2 Parámetro del tipo de suelo (s)

Los tipos de suelos y rocas juegan un papel preponderante en el comportamiento dinámico de las laderas. La composición mineralógica, la capacidad de retención de humedad, los espesores y grado de meteorización, el estado de fracturamiento, el ángulo de buzamiento,

la posición y variación de los niveles freáticos, etc., influyen claramente en la estabilidad o inestabilidad de las laderas (Mora, 2002).

La evaluación de este parámetro puede realizarse según las sugerencias de Mora, (2002), y contando con la evaluación de propiedades geotécnicas de suelos, se recomienda utilizar el cuadro 14.

**Cuadro 14:** Valoración del parámetro de susceptibilidad litológica caso macizos rocosos RMR.

Valoración RMR	Número de Clase RMR	Descripción RMR	Valoración del Parámetro
<20	I	Muy pobre	5
21-40	II	Pobre	4
41-60	III	Medio	3
61-80	IV	Bueno	2
81-100	V	Muy bueno	1

Fuente: Mora R. 2002

### 2.1.3 Parámetro de humedad del terreno ( $S_h$ )

En este caso se recurre a los promedios mensuales de precipitación, efectuando con ellos un balance hídrico simplificado, en donde se asume una evapotranspiración potencial de 125 mm/mes, por lo tanto, precipitaciones mensuales inferiores a 125 mm no conducen a un aumento de la humedad del terreno, mientras que una precipitación entre 125 y 250 mm si la incrementa, y precipitaciones mensuales superiores a 250 mm conducen a una humedad del suelo muy alta (Mora, 2002). Seguidamente, a los promedios mensuales se les asignan los valores del cuadro 14 y se efectúa la suma de estos valores para los doce meses del año, con lo que se obtiene un valor que puede oscilar entre 0 y 24 unidades. El resultado refleja los aspectos relacionados con la saturación y la distribución temporal de humedad en el terreno (Mora, 2002). La valoración del parámetro se presenta en el cuadro 15.

**Cuadro 15:** Valores asignados a los promedios mensuales de lluvia.

Promedio de precipitación Pluvial (mm)	Valor asignado
<125	0
125 – 250	1
>250	2

Fuente: Mora R. 2002

**Cuadro 16:** Valoración del parámetro de humedad del terreno ( $S_h$ ).

Suma de valores asignados a cada mes	Descripción	Valoración
0 – 4	Muy bajo	1
5 a 9	Bajo	2
10 a 14	Medio	3
15 a 19	Alto	4
20 a 24	Muy alto	5

Fuente: Mora R. 2002

### 2.1.4 Parámetro de disparo por sismicidad ( $D_s$ )

La sismicidad es el evento natural que ha causado la mayor destrucción por deslizamientos (Mora, et al., 1992). Se ha observado que el potencial de generación de deslizamientos por actividad sísmica puede correlacionarse con la escala de intensidades Mercalli-Modificada (Mora, 1992). En caso de contar con datos sobre aceleraciones pico (PGA), para establecer los valores correspondientes del parámetro de disparo por sismicidad ( $D_s$ ) (Cuadro 17). Existen otras relaciones entre intensidad y aceleración que pueden ser utilizadas, a criterio de las personas que pongan en práctica esta metodología.

**Cuadro 17:** Valoración del parámetro de disparo por sismicidad ( $D_s$ ).

Intensidad de Mercalli Modificada	Aceleración Pico (% g)	Valor
i	0.3 - 0.6	1
II	0.6 - 1.1	2
III	1.1- 2.2	3
IV	2.2 - 4.5	4
V	4.5 - 8.9	5
VI	8.9 - 16.5	6
VII	16.6 - 35.4	7
VIII	35.4 - 70.5	8
IX	70.5 - 140.8	9
X	140.8 - 280.8	10
XI	280.8 - 560.4	11
XII	>560.4	12

Fuente: Mora R. 2002

### 2.1.5 Valoración del parámetro de disparo por lluvia ( $D_{II}$ )

En este parámetro se consideran las intensidades de lluvias potencialmente generadoras de deslizamientos, se utiliza la lluvia máxima en 24 horas con un período de retorno de 100 años, aplicando la distribución de valores extremos Gumbel tipo I a series temporales con más de 20 años de registro (INDECI, 2002). En el cuadro 18 se aprecia la valoración del parámetro  $D_{II}$ .

**Cuadro 18:** Valoración del parámetro de disparo por lluvia ( $D_{II}$ ).

Lluvias máximas en 24 horas, en un periodo de retorno de 100 años (mm)	Descripción	Valor
<100	Muy Bajo	1
100 – 200	Bajo	2
200 – 300	Medio	3
300 – 400	Alto	4
>400	Muy Alto	5

Fuente: Mora R. 2002

### 3. Microzonificación de Peligro Hidrológico e Hidráulico<sup>33</sup>

La metodología Mora (2002), usada para la Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, Provincia de San José, Costa Rica y adaptado por el autor para la amenaza de inundación. En este trabajo se utilizó una base topográfica 1:15000.

La combinación de los factores y parámetros se realiza considerando que la inundación ocurre cuando las formas de la tierra (geomorfología), compuesta por una litología determinada, con cierto grado de humedad y con poca pendiente, se alcanza un grado de susceptibilidad (elementos pasivos). Bajo estas condiciones, los factores externos, como son las lluvias intensas (elementos activos) actúan como factores de disparo que perturban el equilibrio, la mayoría de las veces precario, que se mantiene sin drenaje apropiado, método adaptado de Mora, (2002).

Es así como se considera que el grado de susceptibilidad a la inundación es el producto de los elementos pasivos y de la acción de los factores de disparo (Mora, 2002), se expresa mediante la ecuación:

$$G_{si} = EP \times Disp. \dots \dots \dots (25)$$

En donde  $G_{si}$  es el grado de susceptibilidad a la inundación, EP es el valor producto de la combinación de los elementos pasivos, Disp. Es el valor del factor de disparo.

Por su parte el valor de los elementos pasivos se compone de los siguientes parámetros (Mora, R., 2002), y se expresa según la ecuación:

$$EP = S_1 \times S_p \dots \dots \dots (26)$$

En donde  $S_1$  es el Valor del parámetro de susceptibilidad litológica,  $S_p$  es el valor del parámetro de la pendiente.

El factor de disparo se compone de los siguientes parámetros (Mora, 2002), y se expresa según la ecuación:

$$Disp. = P_e \dots \dots \dots (27)$$

En donde  $P_e$  es el valor del parámetro de disparo por precipitación efectiva.

Sustituyendo los parámetros apropiados, la ecuación original se puede expresar según la ecuación:

<sup>33</sup> Mora Rolando, Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, Provincia de San José, Costa Rica (2002) y adaptado por el autor (2010).



$$G_{sd} = (s_1 \cdot S_p) (P_e) \dots \dots \dots (28)$$

En donde  $G_{sd}$  es el grado de susceptibilidad al deslizamiento,  $S_1$  es el parámetro del suelo y  $S_p$  es el parámetro de la pendiente.

Para los resultados de la combinación de todos los factores no se puede establecer una escala de valores única, pues los mismos dependen de las condiciones de cada área estudiada. Por este motivo, se sugiere dividir el rango de valores obtenidos, para el área de estudio, en cuatro clases de susceptibilidad y asignar los calificativos que se presentan en el cuadro 19, (Mora, 2002).

<b>Cuadro 19: Clasificación de la susceptibilidad a inundación (<math>G_{si}</math>)</b>			
<b>Clase</b>	<b>(<math>G_{si}</math>)</b>	<b>Calificativo</b>	<b>Características</b>
1	0 - 10	Baja	Esta zona comprende los terrenos con pendientes muy fuertes > de 30°. En esta zona las precipitaciones sólo producen inundaciones superficiales repentinas, no ocurren fenómenos climáticos de gran magnitud tampoco se presentan inundaciones generados en las zanjas y/o quebradas, (INDECI, 2003).
2	11- 30	Media	Son aquellas áreas de pendiente fuerte entre 15° a 30°. En esta zona las precipitaciones intensas producen inundaciones de corta duración. Existe transporte moderado de sedimentos y casos excepcionalmente son inundados por las quebradas, (INDECI, 2003).
3	31 - 50	Alta	Son aquellas áreas donde el terreno es de pendiente moderada entre 3° a 15°, el flujo de escorrentía es repentino e intenso y el transporte de sedimentos es moderado a intenso; son áreas inundables temporalmente, en ríos, quebradas o zanjas, (INDECI, 2003).
4	>51	Muy Alta	Son aquellas zonas de cauces de quebradas, torrenteras y rellenos de cauces antiguos, terrenos con pendiente plana de 0° a 5°. En estas zonas las precipitaciones intensas producen fuertes inundaciones al pie de los taludes de los cauces, con colmatación de material de arrastre, en las zonas bajas, (INDECI, 2003).

Fuente: Elaboración propia, 2010

### 3.1 Descripción de los parámetros de la metodología

#### 3.1.1 Parámetro de la pendiente ( $S_p$ )

Este parámetro utiliza las clases de pendiente, con las cuales se describen los procesos característicos y esperados, y las condiciones del terreno, así como una leyenda de colores descritos en el método anterior (cuadro 19). Las clases de pendientes pueden coincidir con los sectores críticos, donde los procesos de inundación son dominantes (Mora, 2002).

### 3.1.2 Parámetro del tipo de suelo (s)

Los tipos de suelos y rocas juegan un papel preponderante en el comportamiento hidráulico de los suelos. La composición mineralógica, la capacidad de infiltración, los espesores y el grado de meteorización, el estado de fracturamiento, el ángulo de buzamiento, la posición y variación de los niveles freáticos, etc., influyen claramente en la probabilidad de inundación de las zonas medianamente planas a planas (Mora, 2002).

**Cuadro 20:** Clases de pendientes y valoración (T).

Clase de pendiente		Condiciones del terreno a ser inundable	Calificativo	Valor
Grados	Porcentaje			
>61°	>180	Esta zona comprende los terrenos con pendientes fuertes > de 60°	Baja	1
39° - 61°	90 - 180	Son aquellas áreas de pendiente media.	Media	2
17° - 39°	30 - 90	Son aquellas áreas donde el terreno es de pendiente moderada a plana, planicies medianamente inundables por torrenteras.	Fuerte	3
0 - 17°	0 - 30	Son aquellas zonas de cauces ríos, quebradas, torrenteras y rellenos de cauces antiguos, Planicies inundables.	Muy fuerte	4

Fuente: Kuroiwa J. 2002

La evaluación de este parámetro puede realizarse según las sugerencias de Mora, (2002), y contando con la evaluación de propiedades geotécnicas de suelos (INDECI, 2003), se recomienda utilizar el cuadro 21.

**Cuadro 21:** Valoración del parámetro por tipo de suelo (S)

Tipo de suelo	Coefficiente de permeabilidad (K en cm/seg)	Calificativo	Valor
Arena limosa de baja plasticidad	$1 \times 10^{-5}$	Bajo	1
Arena arcillosa de baja plasticidad	$1 \times 10^{-6}$	Medio	2
Arcilla de baja plasticidad	$1 \times 10^{-8}$	Alto	3
Suelo orgánico de baja plasticidad	$1 \times 10^{-5}$	Muy Alto	4

Fuente: Elaboración propia, 2010

### 3.1.3 Valoración del parámetro de disparo, precipitación efectiva ( $P_e$ )

La precipitación efectiva corresponde a la intensidad de lluvia remanente, luego que, de la profundidad total de precipitación aportada por la tormenta, se ha gastado una porción en procesos hidrológicos infiltración y evapotranspiración. Ésta escorrentía se calcula en función del valor total de precipitación y el número de escurrimiento en determinado punto, empleando la expresión planteado por Chow (1994). En el cuadro 22 se aprecia la valoración del parámetro  $P_e$ .

$$P_e = \frac{\left(P_m - \frac{508}{N}\right)^2}{P_m + \frac{2032}{N} - 20.32} (P_e) \dots\dots\dots (29)$$

En donde P<sub>e</sub> es la precipitación efectiva en mm, P<sub>m</sub> es la precipitación de la tormenta en mm y N es el número de escurrimiento (87 para caminos en suelos compuestos por arcilla, arena fina y limo).

**Cuadro 22:** Valoración del parámetro de disparo por (P<sub>e</sub>)

Precipitación máximas en 24 horas (mm)	Descripción	Valor
<80	Muy Bajo	1
80 – 100	Bajo	2
101 – 150	Medio	3
151 – 300	Alto	4
>300	Muy Alto	5

Fuente: Elaboración propia, 2010

**4. Matriz de Zonificación, categorización y Uso del suelo<sup>34</sup>**

El uso del suelo debe analizarse en función de las características de sitio y de los factores que perturban el equilibrio, donde las fuerzas naturales no superen las fuerzas de la construcción, tal como se muestra en el cuadro 23.

<sup>34</sup> Kuroiwa Julio. Reducción de desastres (2002), página 41.



Cuadro 23: Categorización de Peligros Naturales y restricción del uso del suelo en las ciudades de Tarapoto, Morales y la Banda de Shilcayo

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	GRADO DE PELIGRO	ZONIFICACIÓN DE PELIGROS	RESTRICCIONES Y RECOMENDACIONES DE USO
<p>Tomando en cuenta la probabilidad de ocurrencia de fenómenos de origen geotécnico (peligro sísmico), hidrológicos e hidráulicos, geológicos-climáticos, en el área de estudio, pueden producir:</p> <p>Falla del suelo (que pueden ser causados por vibraciones sísmicas).</p> <p>Las lluvias ocasionan flujos de torrenteras e inundaciones medias repentinas, flujo de escorrentía y transporte de sedimentos intenso. Los deslizamientos, cambios de volumen por la variación en el contenido de humedad. Asentamiento en suelos con presencia de napa freática superficial.</p>	PELIGRO MUY ALTO	Son aquellas áreas donde el terreno es de pendiente mayor de 65°. Nivel freático superficial. Riberas y cauces de ríos, quebradas y zonas adyacentes, cuyo ancho de trabajo estará determinado por la topografía, talud del cauce natural (ancho efectivo del río y/o quebrada). En estas zonas no se deberá permitir el uso del suelo con fines de vivienda por el alto peligro de inundación, o erosión y/o socavamiento, los que podrían generar el colapso de las estructuras. En estas áreas los suelos disminuyen su capacidad portante por la inestabilidad y el efecto Sísmico (amplificación de ondas sísmicas), (INDECI, 2003).	Prohibido su uso con fines urbanos. Se recomienda utilizarlos como reservas ecológicas, recreación abierta, o para el cultivo de plantas de ciclo corto.
	PELIGRO ALTO	Son aquellas áreas donde el terreno tiene una pendiente de 45° a 65°; son áreas cercanas a las riberas de ríos, quebradas y torrenteras; nivel freático a poca profundidad, con moderado a intenso transporte de sedimentos, colmatación de material de arrastre, intensos problemas de erosión, problemas de derrumbes, agrietamientos, deslizamientos de suelos y desprendimientos de rocas por la acción hídrica y sísmica. Corresponde a sectores donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas, (INDECI, 2003).	Se permite su uso urbano después de estudios detallados por especialistas con experiencia, para calificar el grado de peligro y fijar los límites con el sector anterior. Recomendable para usos urbanos de baja densidad.
	PELIGRO MEDIO	Son aquellas áreas donde el terreno es de pendiente menor de 15° (Suave a Moderada), poca erosión, con posibilidad de uso moderado, nivel freático profundo capacidad portante del suelo 1-1.5 Kg/cm <sup>2</sup> . En general amenaza moderada, (INDECI, 2002)	Adecuado para usos urbanos. Investigaciones geotécnicas normales.
	PELIGRO BAJO	Zonas de suelos donde se producirá baja amplificación de las ondas sísmicas. Donde es muy remota la posibilidad de ocurrencia de fenómenos naturales intensos o falla gradual del suelo, (Kuroiwa, 2002)	Ideal para usos urbanos de alta densidad y la ubicación de edificios indispensables como hospedajes, centros educativos, cuarteles de policía, bomberos, etc.

Fuente: Elaboración propia, 2010





## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Microzonificación del Peligro Geotécnico

Haciendo uso de la metodología propuesta por Mora (2002) y siguiendo el procedimiento para la **identificación** y **categorización** del peligro geotécnico, para el estudio se ha considerado la amenaza sísmica a partir del movimiento del suelo, para lo cual se ha considerado las condiciones locales del área de estudio, integrando la caracterización de los parámetros geológicos, geotécnicos, topográficos (pendiente) y sismológicos del área de influencia del cual depende el movimiento del suelo.

#### 4.1.1 Características Geológicas y litológicas del área de estudio

La litología del área de estudio está condicionada por la formación Yahuarango y se caracteriza por la presencia de depósitos de origen coluvio - fluvio - Aluviales del cuaternario de formación reciente, esta descripción se basa en los trabajos del INDECI, (2003), y de las visitas de campo del autor (Figura 16). Caracterizándose por ser esencialmente de naturaleza arenosa, con bloques y cantos rodados (de 60 a 70 cm. de diámetro) que son de areniscas blanquecinas a crema, con matriz arenosa a ligeramente arcillosa, con lentes de arcilla rojiza y de arena limo-arcillosa (imagen 1 y 2).



**Figura 16:** Estratigrafía y litología, de las ciudades de Tarapoto, Morales y la Banda de Shilcayo (INGEMMET, 2007)  
Fuente: Elaboración propia (2010), adecuado al mapa base del INGGMET (2007)



**Imagen 1:** Suelos Aluviales de formación reciente (zona baja de Tarapoto, zanja Martínez de Compagnon y Bujanda, altura de la Universidad Alas Peruanas).



**Imagen 2:** Suelo coluvial de formación sub reciente (zona ubicada en el área del mercado del distrito de la Banda de Shilcayo)



#### 4.1.2 Características geotécnicas del suelo

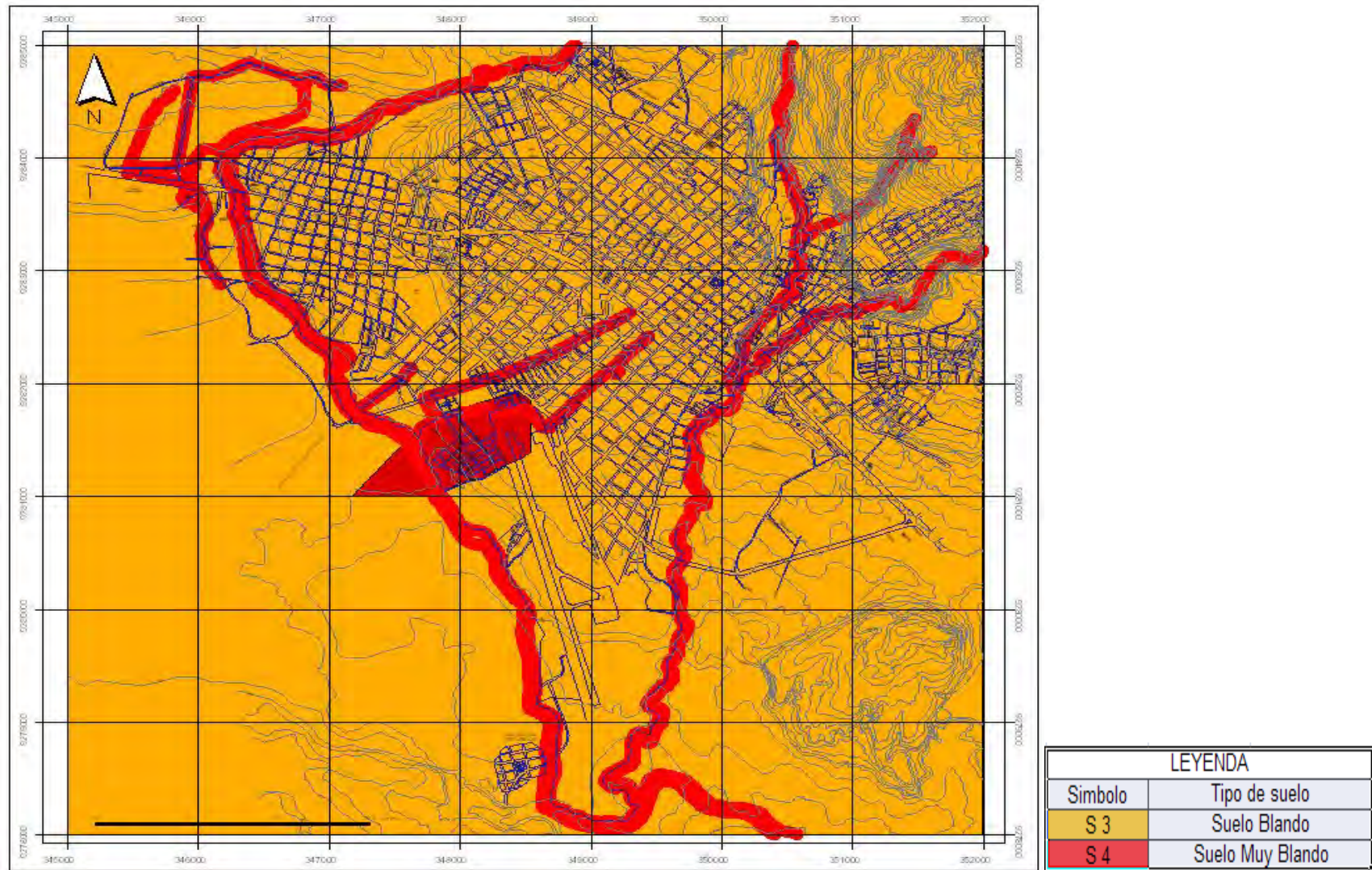
Para la clasificación de suelos se ha considerado las características según los criterios de la Norma Técnica de Edificación (NTE) E.030, de diseño sismorresistente y también utilizados en códigos sísmicos mundiales y de la experiencia de terremotos, cuya descripción se baso en los trabajos del INDECI (2003), dichos suelos se clasifican tomando en cuenta las propiedades mecánicas, el espesor del estrato, el periodo fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte.

Debemos entender que la consistencia del suelo juega un papel importante para la evaluación de la amenaza sísmica. En sus capas, las ondas sísmicas sufren cambios muy significativos; generalmente, las capas de suelo se tornan más peligrosas que las capas rocosas.

Clasificación geotécnica de acuerdo a la NTE y valoración del parámetro (S) (Mora, 2002), e (INDECI, 2003), el área se divide en dos zonas (Figura 17):

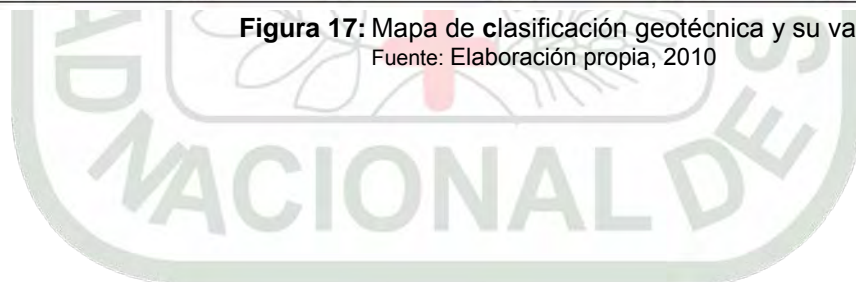
**1. Zona A.-** Conformada por **Suelo Blando ( $S_3$ )**, los cuales corresponden a depósitos de origen Coluvio - Aluvial, de formación reciente, encontrados en la mayor parte del área de estudio, se clasifican como: arenas limosas (SM) de baja plasticidad, arenas arcillosas (SC) de baja plasticidad, con ángulos de fricción entre  $12.52^\circ$  a  $15.27^\circ$  y cohesiones del orden de  $0.38$  a  $0.43 \text{ kg/cm}^2$ , arcillas de baja plasticidad (CL) con ángulo de fricción equivalente a  $10.90^\circ$  y cohesión de  $0.37 \text{ kg/cm}^2$ , los pesos volumétricos de  $1.67$ ,  $1.96$  y  $1.91 \text{ kg/m}^3$ , respectivamente. La valoración del parámetro de susceptibilidad por tipo de suelo (S) es de Tres (3). Del análisis en la zona no se ha encontrado evidencias de la probabilidad de licuefacción de suelos.

**2. Zona B.-** Conformada por **Suelo Muy Blando ( $S_4$ )**: Corresponde a los depósitos Fluvio - Aluvial, encontrados en la zona baja de Tarapoto (sector de villa universitaria, AA-HH Porvenir, AA-HH Paraíso, con buzamiento hacia el río Cumbaza) y son suelos que se clasifican como orgánicos de baja plasticidad (OL), con ángulo de fricción interna de  $30.46^\circ$ , cohesión de  $0.06 \text{ kg/cm}^2$ , el peso volumétrico de  $1.15 \text{ kg/m}^3$ . La valoración del parámetro según lo descrito, corresponde a Cuatro (4). Del análisis en la zona no se ha encontrado evidencias de la probabilidad de licuefacción de suelos. En esta zona se consideran las áreas de los cauces y riberas de los ríos y quebradas.



**Figura 17:** Mapa de clasificación geotécnica y su valoración (S)

Fuente: Elaboración propia, 2010





#### 4.1.3 Características del parámetro topográfico (T)

Siguiendo la metodología Mora (2002), el espacio territorial del área de estudio se caracteriza por presentar un porcentaje apreciable de área de pendientes bajas (Cuadro 24), consideradas como planicies (9.83% del área), muy planas (7.25% del área), bajas (29.76% del área), las cuales se asocian con la forma del terreno características del lugar corresponde a campos de depósitos Coluvio-Aluvial-Fluvial. En un segundo plano aparecen las pendientes moderadas representan un 21.01% del área. En un tercer plano aparecen las pendientes fuertes representan un 19.24% del área y finalmente aparecen en un cuarto plano las pendientes muy fuertes, asociadas al cañón fluvial del río Cumbaza y Shilcayo a la altura del sector del hospital de Tarapoto y el AA.HH Villa Autónoma respectivamente (12.91% del área), (figura 18).

**Cuadro 24:** Tabla de porcentaje de área por pendiente

Clase de pendiente	Área en (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	% de Área
Planicie	4.81	17.35	9.83
Pendiente muy baja	3.55	31.30	7.25
Pendiente baja	11.06	38.94	22.58
Pendiente moderada	13.10	45.46	26.74
Pendiente fuerte	9.84	32.25	20.08
Pendiente muy fuerte	6.62	21.22	13.52
TOTAL	48.99	186.51	100.00

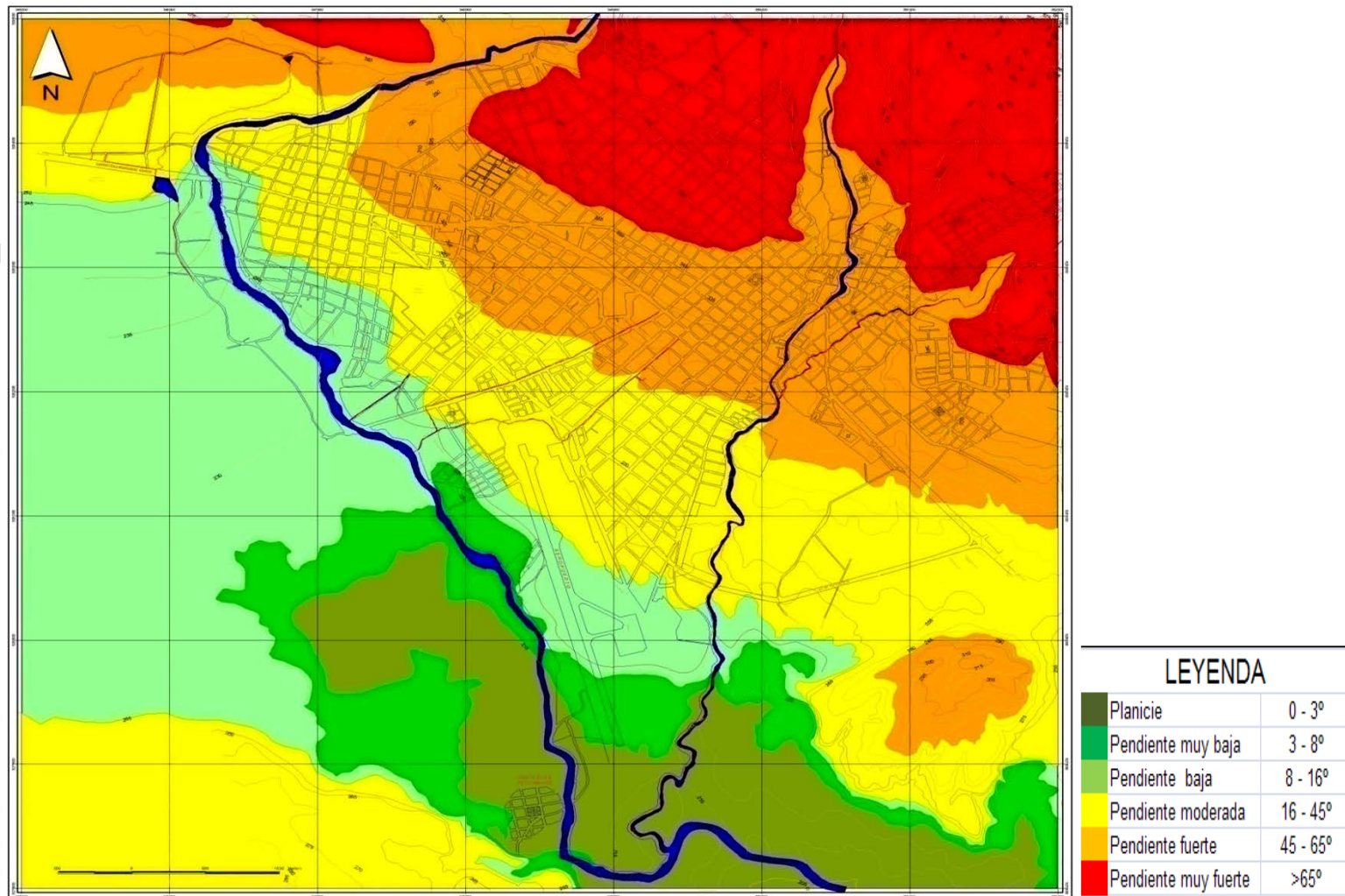
Fuente: Elaboración propia, 2010

#### 4.1.4 Características del parámetro de disparo por sismicidad ( $a_{\text{máx}}$ o PGA)

Para inferir la amenaza sísmica en el área de estudio se utilizó el análisis probabilístico de la amenaza sísmica (PSHA), (Muñoz, 1999). El cual utiliza la definición de escenarios sísmicos basados en el conocimiento actual de las condiciones sismo-tectónicas de la región San Martín, para lo cual contamos con los registros del Catalogo sísmico del Perú (INDECI, 2005) (Ver Anexo N° 3). Así como la información descrita y suministrada por los estudios de Silgado (1990). A continuación se analiza las facetas del análisis probabilista.

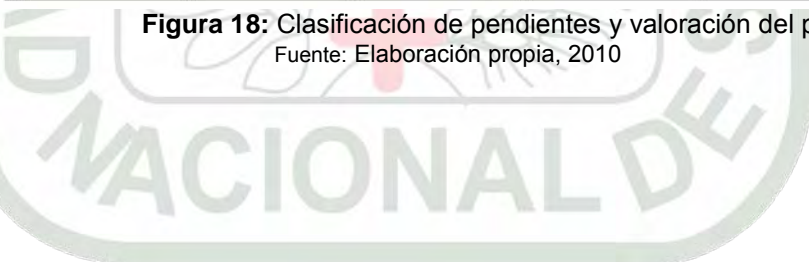
##### 1) Determinación de las Zonas de Influencia y fuente sismogénica

Los terremotos históricos más importantes registrados en la región San Martín han sido descritos y documentados por varios autores, para el presente estudio se considera los registros del Catalogo Sísmico del Perú, por contar con las características requeridas para el PSHA, así tenemos Fecha, coordenadas del foco, magnitud ( $M_s$  y  $M_b$ ) y profundidad.



**Figura 18:** Clasificación de pendientes y valoración del parámetro ( $S_p$ )

Fuente: Elaboración propia, 2010



Uno de los eventos más recordados es el sismo de Lamas, ocurrió a las 20:55 horas (HL) del día domingo 25 de Setiembre de 2005, los laboratorios del IGN registraron datos de un fuerte sismo, los habitantes de Tarapoto, Morales y la Banda de Shilcayo pudieron percibir el movimiento del suelo, generado por las ondas superficiales el cual fue en forma vertical y de lado a lado, tanto que las personas perdían el equilibrio. Los registros indican una intensidad de VI en la escala de Mercalli Modificada (INDECI, 2005).

Desde 1926 hasta el 2005 se han registrado 41 eventos sísmicos importantes ( $M_s$  y  $M_b > 5$ ) en la zona de influencia de la región San Martín localizados en una célula entre  $4^\circ$ - $10^\circ$  de Latitud Sur y  $73.0^\circ$  -  $79.0^\circ$  Longitud Oeste, algunos de ellos tuvieron como fuente el fallamiento local y otros el proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sud Americana. Históricamente, los que han causado mayores daños materiales y humanos, debido a su poca profundidad y cercanía de las ciudades de Rioja y Moyobamba, son los originados por las fallas locales, aún cuando sus magnitudes son menores que los originados por la subducción. En la figura 18, se presenta el mapa de los eventos sísmicos para el área de influencia de la región San Martín.

Dentro de los sismos de mayor magnitud asociados con el fallamiento superficial se pueden citar los eventos de 1990 y 1991 que han sido asociados con las fallas de Pucatanbo y Angaisa. Debido a ellos en la zona donde se localiza el área de estudio se ha reportado Intensidades en la escala de Mercalli Modificada máximas de grado VII, este valor máximo podría variar si se incluyeran terremotos más antiguos a los mencionados que a la falta de mayor investigación para el presente estudio, tomaremos únicamente como fuente tectónica a los sismos originados por interplaca en la zona de subducción.

Definidos los escenarios sísmicos, se determinó la distancia epicentral (D), distancia hipocentral (R), para cada evento tomando como referencia el epicentro y profundidad de los mismos en el cálculo se usó la ecuación (2) descrita en el marco teórico. El catalogo sísmico se tubo que homogeneizar a la escala de magnitudes de ondas superficiales ( $M_s$ ) (Ver Cuadro 25),

$$M_s = \frac{M_b - 2.5}{0.63} \dots \dots \dots (31)$$

## 2) Frecuencia de Ocurrencia-Magnitud

La sismicidad del área de estudio se caracteriza por una ley de recurrencia que relaciona el tamaño de sismos albergados en ella con su frecuencia, expresando así la distribución temporal de magnitudes. En el presente utilizaremos la ley (Gutenberg y Richter, 1944). La cual establece una proporción constante entre el número de sismos grandes y pequeños para la zona, asumiendo que el número acumulativo de sismos que superan cada grado de



magnitud varía linealmente con este parámetro. La expresión matemática de ley de Gutenberg-Richter, donde  $M_s$  es la magnitud de ondas superficiales,  $N$  es el número de sismos que tienen igual o mayor magnitud que  $M_s$ , y  $A$  y  $b$  son constantes. Se considera que la sismicidad se ajusta a una determinada ley de recurrencia, de tipo exponencial, entre dos valores extremos de magnitud que son, respectivamente la mínima,  $M_{\min.}$ , y la máxima de la zona,  $M_{\max.}$ . Los parámetros  $A$  y  $b$ , se toman de acuerdo a la propuesta por Kaila & Narain (Ver Cuadro 1).

La ecuación (5) descrita en el marco teórico, también se puede expresar en forma complementaria y acumulativa y exponencial, (Muñoz, 1999). Mediante la siguiente expresión:

$$N = 10^{A-bM_s} = 10^A e^{-\beta(M_s)} \dots \dots \dots (32)$$

Donde:  $\beta = b \ln 10$

Considerando para el cálculo los eventos de magnitudes  $M_{\max.} = 6.9$  (ocurrido el 13.04.1963) y el de 7.5 (ocurrido el 26.09.2005) respectivamente y asumiendo que las constantes  $A = 5.6$  y  $b = 1.1$  (cuadro 1). Se obtiene:

$$N = 10^{A-bM_s} = 10^{[5.6-(1.11*6.9)]} = 8.73 \times 10^{-3}$$

$$N = 10^{A-bM_s} = 10^{[5.6-(1.11*7.5)]} = 1.88 * 10^{-3}$$

El número de sismos para una magnitud de  $M_s = 6.9$ , es de  $8.73 \times 10^{-3}$  por año y el número de sismos para una magnitud de 7.5 es de  $1.88 * 10^{-3}$  por año. Para el presente estudio se considera el evento de magnitud  $M_s = 6.9$  (sismo de diseño), el cual tendría un periodo de retorno de 114 años, que debe ser equivalente al tiempo de vida útil de una construcción. Las vidas útiles para construcciones comunes de tipo urbano o industrial están entre 50 a 100 años.

### 3) Predicción del Movimiento fuerte del suelo ( $a_{\max.}$ )

Aplicando la ley de atenuación se determino el movimiento fuerte del suelo del emplazamiento en estudio, para lo cual se uso la ecuación (11), propuesta por Casaverde & Vargas, (1980), para terremotos de subducción en el Perú (Muñoz, 1999).

$$a = \frac{68.7 e^{0.8M_s}}{(R + 25)}$$

Donde:  $a$ . es la aceleración del suelo en  $\text{cm}/\text{seg}^2$ .  $M_s$ . Magnitud de ondas de superficie,  $R$ . distancia focal en km.



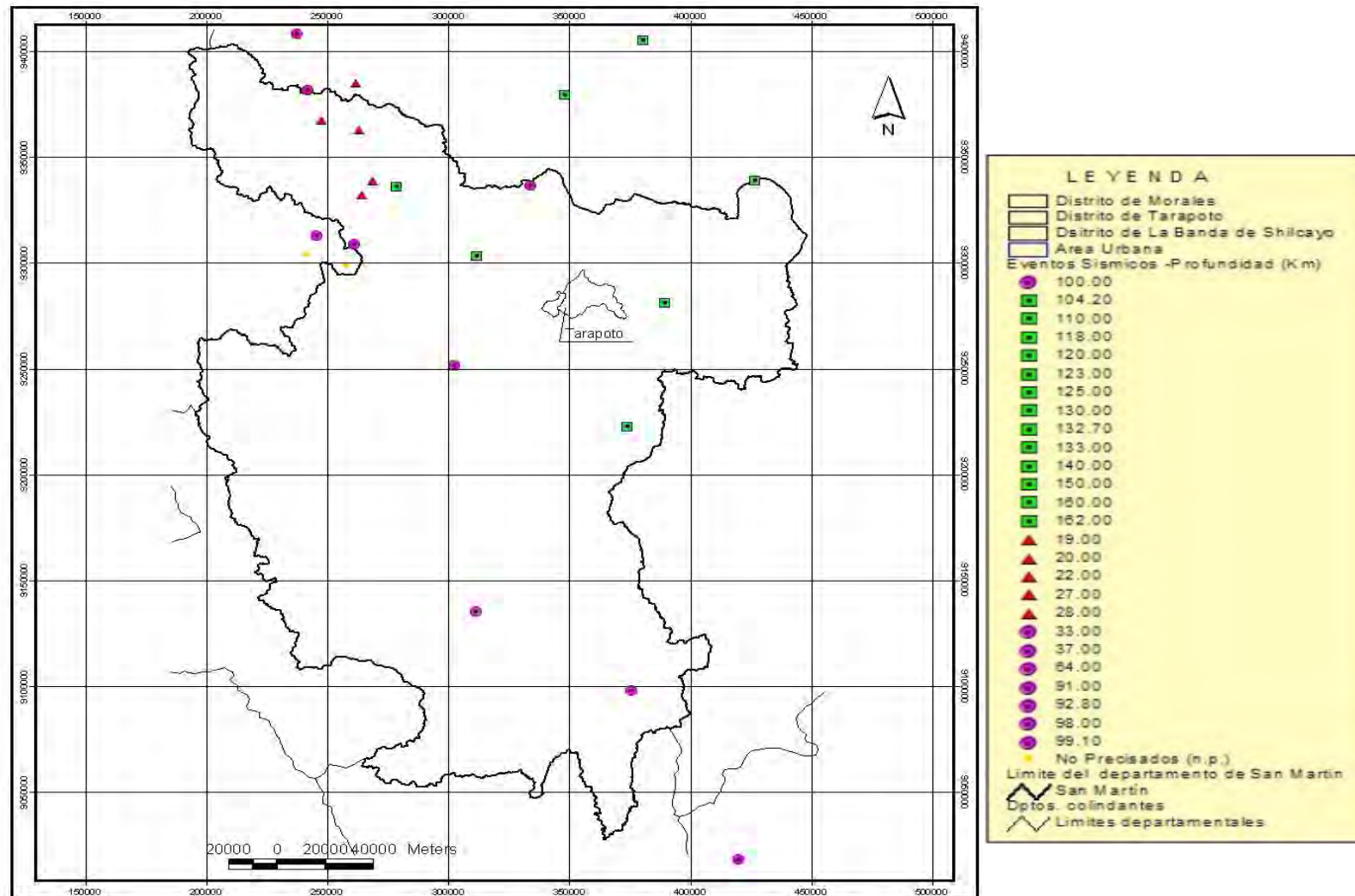
**Cuadro 25** : Tabla para determinar la fuente sismogénica, ley de atenuación para la determinación de la aceleración máxima (PGA), en el área de estudio (Tarapoto)

Fecha	Hora	Coord. Geográficas		Profundidad (Km)	Magnitud		Ubicación del sismo			Ubicación de Tarapoto			D (m)	Azimut (°)	R (m)	a (cm/seg <sup>2</sup> )	%	l (MM)
		Long	Lat		M <sub>b</sub>	M <sub>s</sub>	Este	Norte	Prof.	Este	Norte	Alt						
07/03/1926	20 33 38.0	-76.50	-5.00	150.00		6.50	333700	9447146	150.00	347638	9283464	313	164274.36	175.13	222454.64	50.33	5.13	3
14/05/1928	22 14 46.0	-78.00	-5.00			7.30	167286	9446576		347638	9283464	313	243171.48	132.13	243171.48	88.07	8.98	2
18/07/1928	19 05 00.0	-79.00	-5.50			7.00	721577	9391695		347638	9283464	313	389286.94	253.86	389286.94	44.84	4.57	0
11/07/1931	05 56 13.0	-74.50	-8.50	120.00		6.30	555031	9060390	120.00	347638	9283464	313	304588.03	317.09	327374.20	30.12	3.07	1
29/10/1934	23 25 23.0	-78.00	-5.00	110.00		6.30	167286	9446576	110.00	347638	9283464	313	243171.48	132.13	266893.93	36.36	3.71	1
06/05/1936	03 38 55.0	-75.00	-8.00	160.00		6.00			160.00				0.00					
16/01/1938	21 41 47.0	-75.00	-6.00	100.00		6.00			100.00				0.00					
08/01/1942	15 12 31.0	-78.50	-6.00	110.00		6.00	776760	9336164	110.00	347638	9283464	313	432345.90	263.00	446119.92	17.72	1.81	-1
06/11/1942	13 31 10.0	-77.00	-6.00	130.00		6.80	278617	9336391	130.00	347638	9283464	313	86977.96	127.48	156413.44	87.27	8.90	5
05/04/1943	03 08 58.0	-76.00	-6.50	140.00		6.50	389430	9281415	140.00	347638	9283464	313	41842.20	272.81	146119.03	72.78	7.42	6
06/08/1945	23 02 10.0	-76.50	-6.00	100.00			333977	9336568	100.00	347638	9283464	313	54833.00	165.57	114046.73			
14/03/1950	03 10 2.0	-74.00	-8.00	150.00		6.80	610205	9115568	150.00	347638	9283464	313	311657.66	302.60	345876.42	42.69	4.35	1
17/04/1953	00 02 50.0	-77.20	-5.20			6.00	256137	9424803		347638	9283464	313	168372.05	147.08	168372.05	43.17	4.40	2
15/06/1954	13 29 59.0	-77.00	-5.00	100.00		6.60	278247	9446998	100.00	347638	9283464	313	177647.07	157.01	203858.97	58.95	6.01	3
13/04/1963	02 20 57.9	-76.70	-6.30	125.00	6.10	6.90	311940	9303326	125.00	347638	9283464	313	40851.51	119.09	131506.07	109.58	11.17	7
02/11/1964	06 50 58.2	-76.90	-4.10	91.00	6.00	5.56	289077	9546569	91.00	347638	9283464	313	269543.38	167.45	284490.13	18.90	1.93	0
29/11/1965	17 07 2.0	-78.60	-6.00	37.00	5.50	4.76	765683	9336214	37.00	347638	9283464	313	421359.92	262.81	422981.31	6.92	0.71	-3
19/06/1968	08 13 35.0	-77.15	-5.56	28.00	6.40	6.90	261822	9385000	28.00	347638	9283464	313	132943.39	139.80	135860.02	106.61	10.87	4
20/06/1968	02 38 38.4	-77.33	-5.59	33.00	5.80	5.70	241884	9381606	33.00	347638	9283464	313	144276.68	132.86	148002.57	37.96	3.87	2
21/06/1968	00 26 7.8	-77.28	-5.72	22.00	5.60	4.92	247482	9367246	22.00	347638	9283464	313	130578.13	129.91	132418.46	22.36	2.28	2
07/07/1968	23 48 8.2	-77.14	-5.76	27.00	5.50	5.20	263012	9362881	27.00	347638	9283464	313	116054.38	133.18	119153.77	30.53	3.11	2
09/09/1968	00 37 43.2	-74.52	-8.73	120.00	6.00	5.56	552798	9034964	120.00	347638	9283464	313	322246.61	320.46	343864.62	15.86	1.62	-1
20/03/1972	07 33 49.6	-76.79	-6.77	64.00	6.10	6.90	302166	9251312	64.00	347638	9283464	313	55690.70	54.74	84837.81	156.14	15.92	6
18/09/1973	12 58 25.2	-76.14	-7.03	133.00	5.80	5.24	374086	9222781	133.00	347638	9283464	313	66196.10	336.45	148562.86	26.15	2.67	4
05/12/1974	11 57 31.3	-74.45	-7.69	162.00	6.00	5.56	560655	9149934	162.00	347638	9283464	313	251409.04	302.08	299082.77	18.05	1.84	0
18/03/1975	17 21 23.4	-77.01	-4.23	98.00	6.20	6.50	276897	9532161	98.00	347638	9283464	313	258562.35	164.12	276511.28	41.30	4.21	1
16/08/1975	00 53 53.7	-76.08	-5.38	123.00	5.70	5.08	380342	9405225	123.00	347638	9283464	313	126076.54	195.03	176137.14	19.87	2.03	2
06/01/1979	01 31 47.6	-75.73	-8.88	33.00	5.70	5.70	419734	9018336	33.00	347638	9283464	313	274755.69	344.79	276730.36	21.76	2.22	0
10/08/1982	04 51 48.6	-77.37	-5.35	33.00	5.50	4.50	237345	9408140	33.00	347638	9283464	313	166459.16	138.50	169698.71	12.91	1.32	0
12/04/1983	12 07 54.5	-78.10	-4.84	104.20	6.60	6.51	821691	9464334	104.20	347638	9283464	313	507385.66	249.12	517974.75	23.08	2.35	-1
15/04/1983	10 08 20.5	-75.66	-5.98	118.00	5.60	4.92	426954	9338962	118.00	347638	9283464	313	96804.21	235.02	152627.18	19.82	2.02	2
03/11/1983	07 41 11.5	-79.42	-4.01	92.80	5.90	5.40	675409	9556598	92.80	347638	9283464	313	426656.78	230.20	436632.40	11.16	1.14	-2
05/06/1984	04 15 24.4	-76.71	-7.82	33.00	5.80	5.10	311451	9135218	33.00	347638	9283464	313	152598.74	13.72	156126.15	22.43	2.29	1
23/11/1984	18 40 11.8	-76.13	-8.16	99.10	5.90	5.40	375516	9097840	99.10	347638	9283464	313	187705.76	351.46	212259.89	21.72	2.21	1
30/05/1990	02 34 01	-77.16	-6.25	33.00	6.40	6.19	261010	9308669	33.00	347638	9283464	313	90220.30	106.22	96066.14	80.30	8.19	4
30/05/1990	14 49 00	-77.30	-6.21	33.00	5.40	4.60	245492	9313029	33.00	347638	9283464	313	106338.58	106.14	111341.34	20.03	2.04	2
06/06/1990	02 01 00	-77.19	-6.34		5.10	4.13	257730	9298699		347638	9283464	313	91189.66	99.62	91189.66	16.06	1.64	2
09/06/1990	01 14 00	-77.34	-6.29		5.60	4.92	241103	9304159		347638	9283464	313	108526.44	100.99	108526.44	26.36	2.69	2
04/04/1991	15 23 21 *	-77.13	-6.04	20.00	6.00	5.56	264238	9331912	20.00	347638	9283464	313	96450.86	120.15	98502.63	47.37	4.83	3
05/04/1991	04 19 50 *	-77.09	-5.98	19.00	6.50	6.35	268642	9338567	19.00	347638	9283464	313	96315.67	124.90	98171.83	89.62	9.14	4
26/09/2005	01 55 39	-76.37	-5.61	132.70		7.50	348264	9379729	132.70	347638	9283464	313	96267.04	180.37	163940.94	146.69	14.95	5

Fuente elaboración propia, 2010







**Figura 19:** Mapa de eventos sísmicos para el área de influencia de la región San Martín

Fuente: Elaboración propia, 2010.



Los resultados se presentan en el **cuadro 25**, en donde se observa que el movimiento fuerte del suelo en el emplazamiento de estudio se produce con el sismo de  $M_s = 6.9$ , siendo la aceleración máxima de  $109.58 \text{ cm/seg}^2$  (11.17% de la gravedad de la tierra). La Intensidad será determinada según la ecuación (13) (Barrientos, 1980) obteniéndose un valor de VII (MM).

Sin embargo, el movimiento sísmico durante un terremoto puede variar de un lugar a otro, aún separados por distancias cortas, si las características de sitio son diferentes, generándose la amplificación del movimiento el mismo que depende de dos factores, el espesor de la capa de suelo y la velocidad superficial.

Análisis del factor de amplificación ( $F_a$ ):

- Para la **zona A.-** La NTE. 030 de diseño sismorresistente considera que el factor de amplificación ( $F_a$ ) es igual a 1.4 y según el método propuesto por Midorikawa la ecuación (14) descrita en el marco teórico, es de 1.5.
- Para la **zona B.-** Se consideró según lo indicado en la NTE. 030 de diseño sismorresistente, en esta zona se consideran las áreas de topografía muy fuerte, riberas y cauces de los ríos Cumbaza y Shilcayo, quebradas y zanjas de drenaje, en ellas es probable que ocurra amplificación del movimiento del suelo. El factor de amplificación ( $F_a$ ) será igual a 3.

Por lo tanto la  $a_{\text{máx}}$  pico del suelo considerando el factor de amplificación ( $F_a$ ), para la **Zona A** la aceleración máxima es de  $164.37 \text{ cm/seg}^2$  (16.75% g) y para la **Zona B** la aceleración máxima es de  $328.74.16 \text{ cm/seg}^2$  (33.51% g) (Figura 19).

Evaluación y discusión de los resultados de la aceleración pico del suelo y valoración del parámetro ( $a_{\text{máx}}$ ) se basan en lo descrito en el cuadro 10 de la metodología:

- Para la **zona A.-** Considerando lo descrito por Mora, (2002) la valoración del parámetro esta entre los intervalos de 4.5 a 8.9, 8.9 a 16.5, 16.6 a 35.4 y >35.4 corresponde a 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Mediante la ley de atenuación y el factor de amplificación la aceleración máxima pico determinada es de 16.75% de la gravedad de la tierra (g). En consecuencia la valoración del parámetro ( $a_{\text{máx}}$ ), para la zona será de tres (3).
- Para la **zona B.-** Considerando lo descrito por Mora, (2002) la valoración del parámetro será: entre los intervalos de 4.5 a 8.9, 8.9 a 17.7, 17.7 a 35.4 y >35.4 corresponde a 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Mediante la ley de atenuación y el factor de amplificación la  $a_{\text{máx}}$  pico determinada es de 33.51% de la gravedad de la tierra (g). Por lo tanto la valoración del parámetro ( $a_{\text{máx}}$ ), será de cuatro (4).

#### 4) Probabilidad de excedencia

La probabilidad de excedencia que ocurra el sismo de diseño al menos una vez en la vida útil de la estructura es constante. La formula (5.a), descrita en el marco teórico es la que se usará para su determinación:

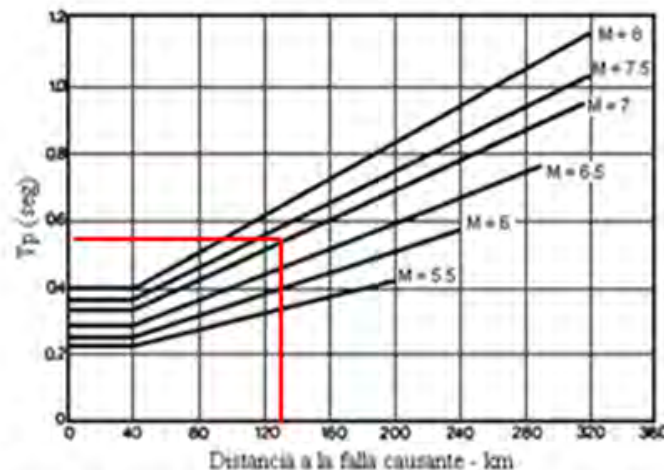
$$P = 1 - e^{-100/114} = 0.584 = 58.4\%$$

La probabilidad calculada es aproximadamente de un 55% al 60%

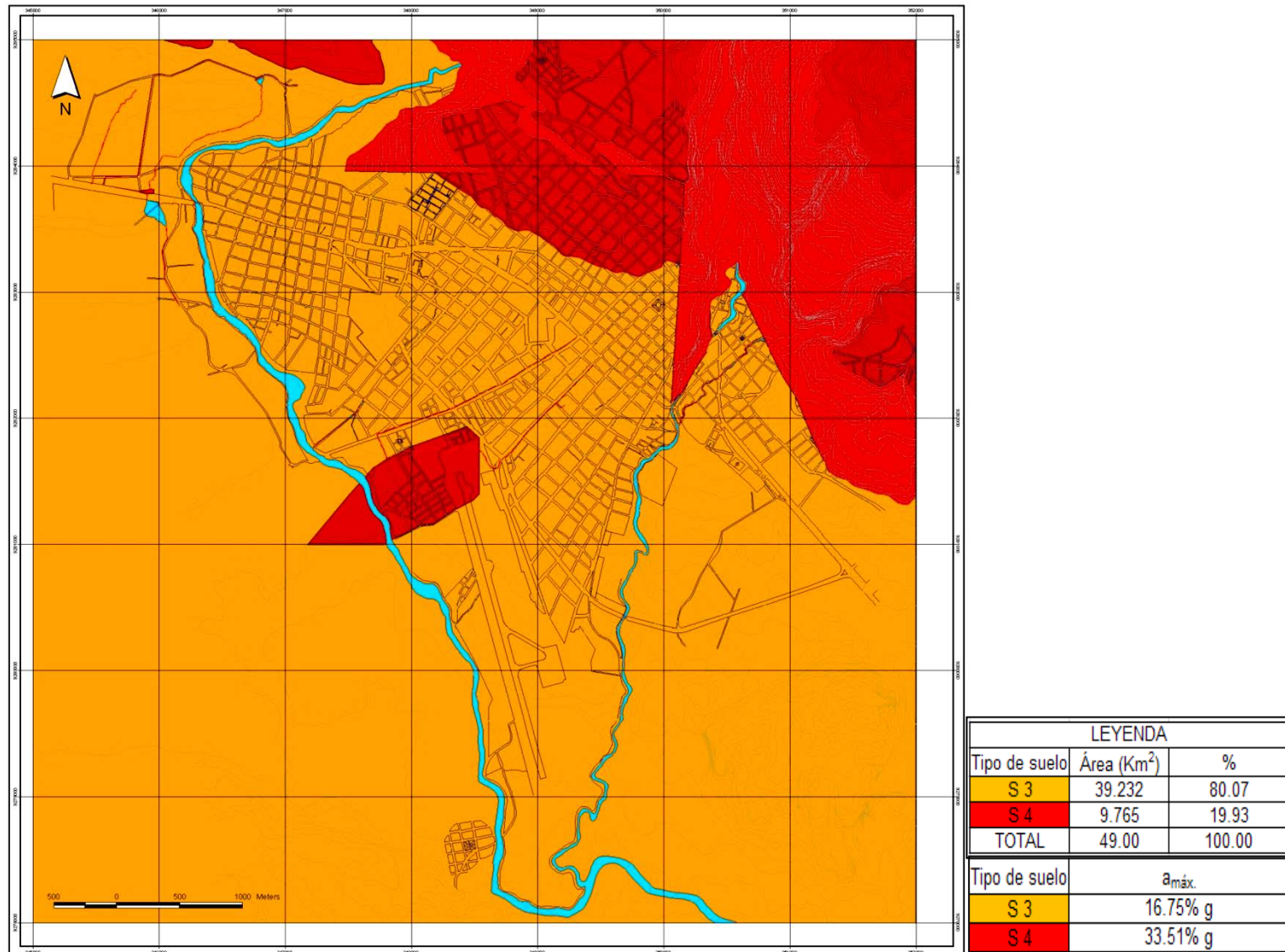
#### 5) Estimación del periodo predominante

Para el estudio la evaluación del periodo predominante es importante comparar los resultados obtenidos a partir del análisis de la Figura 11 y los datos descritos por la NTE. 030 del RNE.

- Para la **zona A.-** Considerando lo descrito en la NTE se tiene un valor del periodo de 0.9 segundos, según la figura 11, se tiene un valor de 0.57 segundos, comparando con lo propuesto por Mora, (2002) que es de 0.6 segundos. Por lo tanto la valoración del parámetro (P) será de tres (3).
- Para la **zona B.-** Considerando lo descrito en la NTE proponemos un valor de 1 segundo, comparando con lo propuesto por Mora, (2002) que es de >0.6 segundos. Entonces la valoración del parámetro (P) será de cuatro (4).



**Figura 20:** Periodos predominantes para aceleraciones máximas en roca  
Fuente: Dowrick D. Diseño de estructuras resistentes a sismos P/  
Ingenieros y Arquitectos (1984)



**Figura 21:** Mapa de aceleraciones máximas y valoración del parámetro ( $a_{máx.}$ )

Fuente: Elaboración propia, 2010



#### 4.1.5 Formulación del Mapa de Microzonificación del Peligro Geotécnico

Luego de analizar cada uno de los parámetros pasivos o condiciones de sitio, los que corresponden a las características del suelo, la topografía y el periodo natural del suelo. El factor activo o dinámico o movimiento fuerte del suelo determinado mediante las leyes de atenuación sísmica, cada uno de los parámetros fueron valorizados según la metodología propuesta por Mora (2002), y apropiadamente ordenados se determinó el Grado de Amenaza, para lo cual se usó la fórmula (16), desarrollada en dicha metodología (cuadro 8) y los cuales se presentan en la matriz (cuadro 26) para categorizar el peligro.

**Cuadro 26:** Grado de Amenaza Sísmica (A)

Parámetro suelo (S)		Parámetro Periodo (P)		Parámetro Pendiente (T)		Parámetro Aceleración ( $a_{m\acute{a}x.}$ )		Grado de Amenaza	Calificativo
Suelo	Valor	Seg.	Valor	Grados	Valor	% g	Valor	(A)	Peligro
S 1	---	---	---	0 - 3	1	---	---	27.00	Alto
S 2	---	---	---	3 - 8	1	---	---	27.00	Alto
S 3	3	0.6	3	8 - 16	2	16.75	3	54.00	Alto
S 4	4	>0.60	4	16 - 45	3	33.50	4	81.00	Alto
---	---	---	---	45 - 65	4	---	---	108.00	Alto
				>65	5	---	---	256.00	Muy Alto

Fuente: Elaboración propia, 2010

Los resultados de la aplicación de la metodología propuesta por Mora, (2002) se presentan en el **Figura 20**, donde se destaca que un 80.01% del área de estudio presenta un grado de susceptibilidad sísmica alta y un 19.99% de susceptibilidad muy alta.

En resumen, la investigación del movimiento fuerte del suelo en Tarapoto obtuvo el resultado de que, desde este punto de vista, se **identifica** dos zonas para toda la ciudad en función de la **categorización** descrita en la metodología.

##### a) Zonas de Peligro Alto

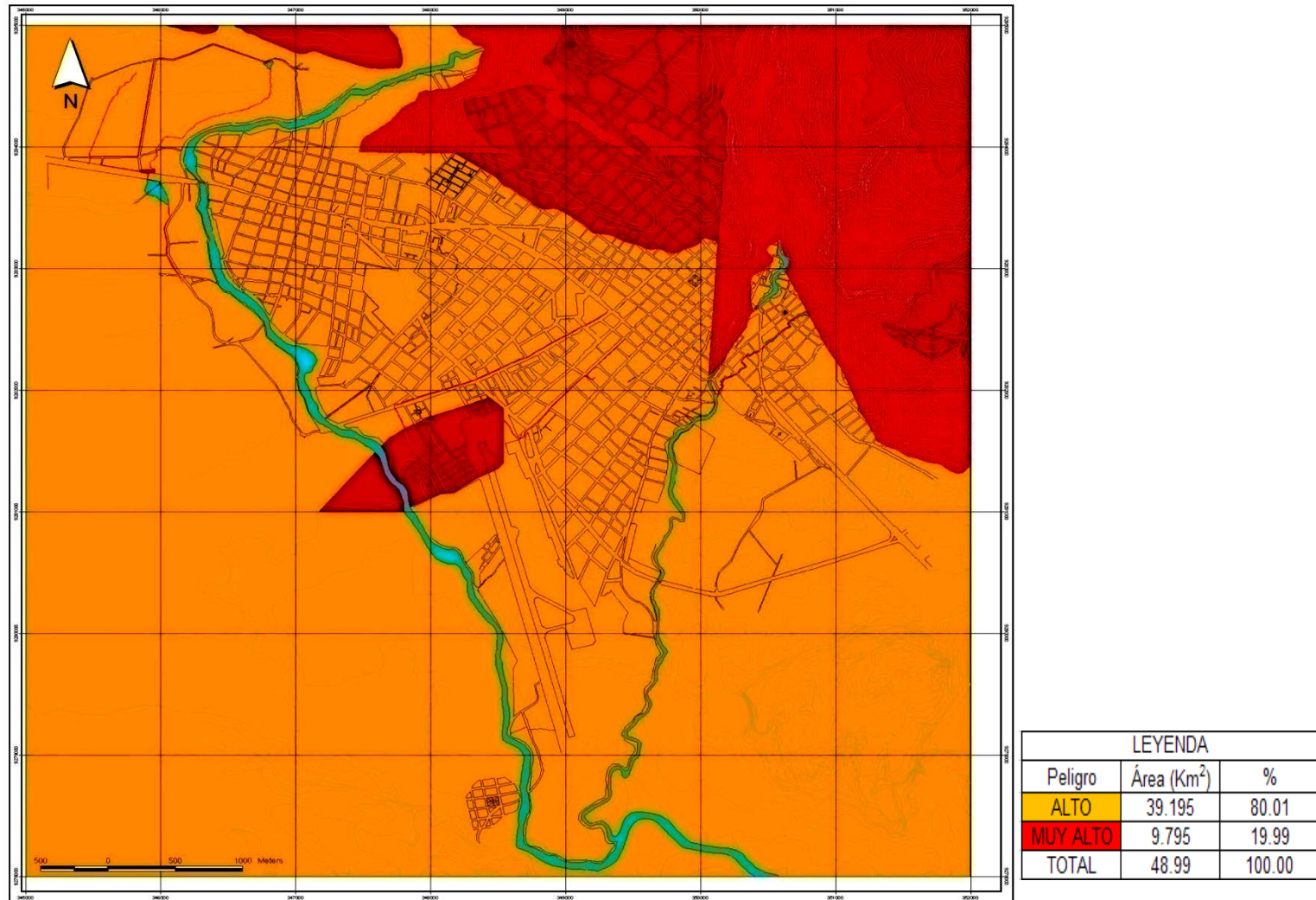
Comprende prácticamente toda el área de estudio en la zona urbana de los distritos de Tarapoto, Morales y la Banda de Shilcayo. Bajo estas condiciones se puede decir que el 80.01% del área de estudio puede destinarse a desarrollo controlado (sujeto a la prevención de fallas del suelo).

##### b) Peligro Muy Alto

Las áreas contigua al cauce del río Cumbaza, de los A.A.H.H. 10 de Agosto, Porvenir, Villa Universitaria, Paraíso, en el Distrito de Tarapoto, zona alta del canal Cumbaza, sector de la carretera a San Antonio de Cumbaza, en el Distrito de Morales. En el Sector Cementerio y cuenca Alta de la quebrada Choclino en el Distrito de la Banda de Shilcayo.

Así mismo toda la ribera del río Cumbaza, desde el sector Metovado hasta el centro poblado menor de San Juan, riberas del río Shilcayo desde el sector Achnal hasta su desembocadura en el río Cumbaza, ribera de la quebrada Amorarca en todo su recorrido, quebrada Choclino y riberas de las torrenteras activadas durante las precipitaciones pluviales, se consideran como zonas de peligro muy alto. Bajo estas condiciones se puede decir que el 19.99% del área de estudio puede destinarse a conservación.





**Figura 22:** Mapa de Microzonificación Geotécnica

Fuente: Elaboración propia, 2010



## 4.2 Microzonificación del Peligro Geológico–Climático

Haciendo uso de la metodología, Mora (2002) y siguiendo un procedimiento para la **identificación** y **categorización** del Peligro Geológico-Climático a partir del grado de susceptibilidad al deslizamiento que viene hacer el producto de los elementos pasivos (Suelo, Topografía y la humedad de terreno), multiplicado por la acción de los factores de disparo o perturbadores del equilibrio ( $D_s$  y  $D_{II}$ ), expresada con la ecuación (21). La evaluación de los resultados se realiza a partir de la caracterización de los parámetros.

### 4.2.1 Características del parámetro suelo (S)

La Geología del área de estudio se caracteriza por la presencia de depósitos de origen coluvio - fluvio - Aluviales del Cuaternario reciente (INDECI, 2003). Cada unidad geológica se ha clasificado de acuerdo con lo propuesto por Mora (2002), empleando la clasificación de macizos rocosos (RMR) en caso de rocas fracturadas (Qv4 y Qv3) y el parámetro de susceptibilidad litológica en caso de suelos para los depósitos aluviones (Qal). Su valoración de acuerdo con el parámetro de susceptibilidad litológica (Cuadro 27).

**Cuadro 27:** Clasificación y valoración de unidades litológicas (S).

Unidad litológica	Litología	RMR	S
Qal	Depósitos aluviales y Coluviales	---	5
Qv1	Lahares y cenizas	---	3
Qv3	Ignibritas	61-80	2
Qv4	lavas andesíticas	61-80	2

Fuente: Mora 2002

### 4.2.2 Características y/o clases de pendientes (Sp)

Siguiendo la metodología Mora (2002), el espacio territorial del área de estudio se caracteriza por presentar un porcentaje apreciable de área de pendientes bajas (Cuadro 24), consideradas como planicies, muy planas, bajas, En un segundo plano aparecen las pendientes moderadas. En un tercer plano aparecen las pendientes fuertes y finalmente aparecen en un cuarto plano las pendientes muy fuertes, (figura 21).

### 4.2.3 Características del parámetro de humedad del terreno (Sh)

El parámetro de humedad del terreno se ha evaluado con los datos de la estación de Tarapoto (Anexo 1), las cuales pertenecen al SENAMHI y cuentan con longitudes de registro apropiadas para su evaluación con el ajuste de funciones de valores extremos. En el cuadro 28 se presenta la información correspondiente a los promedios mensuales de la estación y los valores asignados para el parámetro Sh. La Valorización final del parámetro de humedad es de 2, lo cual indica una influencia de baja a media del mismo en lo que respecta a la susceptibilidad al deslizamiento.

**Cuadro 28:** Valoración del parámetro humedad del terreno (Sh).

Estación	Valor asignado	Valoración del parámetro
CO "Tarapoto"	8	2

Fuente: Mora 2002

#### 4.2.4 Características del parámetro de disparo por sismo (Ds)

El parámetro de disparo por sismo se ha evaluado considerando la intensidad (MM) máxima analizada presentada en el cuadro 25, la cual es de VII y considerando constante para el área de estudio. Por lo descrito en la metodología, el factor de disparo por sismo conduce a una valoración del parámetro de disparo por sismo (Ds) de 7, constante para el área de estudio.

#### 4.2.5 Características del disparo por lluvia (D<sub>II</sub>)

Para evaluar el parámetro de disparo por lluvia (D<sub>II</sub>) se utilizaron los datos de las estación CO. Tarapoto (INDECI, 2003), tomando los valores extremos anuales de lluvia en 24 horas y aproximando las distribuciones de valores extremos Gumbel tipo I. Los resultados se presentan en el cuadro 29. En este caso el factor de disparo por lluvia tiene una influencia baja, en el cálculo de la susceptibilidad y es constante para toda el área de estudio.

**Cuadro 29:** Valoración del parámetro de disparo por Intensidad de Lluvia (D<sub>II</sub>).

Estación	Años de registro	Lluvia en 24 horas con período de retorno de 100 años	S <sub>II</sub>	Calificativo
		Gumbel tipo I (mm)		
CO. "Tarapoto"	20	135.71	2	Bajo

Fuente: INDECI 2003

#### 4.2.6 Formulación del mapa de microzonificación de Peligro Geológico-Climático

Luego de analizar cada uno de los parámetros pasivos o condiciones de sitio, los que corresponden a las características litológicas, topográficas y la humedad del suelo. Los factores activos como dinámico o movimiento fuerte del suelo determinado mediante las leyes de atenuación sísmica (cuadro 25) y el disparo por lluvia, cada uno de los parámetros fueron valorizados según la metodología propuesta por Mora (2002), y apropiadamente ordenados se determinó el Grado de susceptibilidad al deslizamiento, para lo cual se usó la fórmula (19), desarrollada en dicha metodología, cuyos resultados se presentan en la matriz del cuadro 30.

**Cuadro 30:** Grado de susceptibilidad al Peligro Geológico-Climático, según Mora (2002)

Parámetro litológico (S1)		Parámetro de pendiente (Sp)		Parámetro de humedad (Sh)	Parámetro de disparo por sismo (Ds)	Parámetro de disparo por lluvia (DII)	Grado de Susceptibilidad (G <sub>suc.</sub> )	Calificativo
Suelo	Valor	Sp	Valor	Valor	Valor	Valor		
Qal	5	0-5	0	2	7	2	0	Bajo
		5-15	1				140	Bajo
		15-30	2				280	Bajo
		30-100	3				420	Medio
		100-200	4				560	Alto
		>200	5				700	Muy Alto

Fuente: Elaboración propia, 2010

Los resultados de la aplicación de la metodología, se presentan en el **Figura 22**, donde se destaca que un 39.67% del área de estudio presenta susceptibilidad al deslizamiento de muy baja a baja, un 26.73% es de susceptibilidad media, un 15.10% de susceptibilidad alta y un 18.50% de susceptibilidad muy alta.

En resumen, la investigación del grado de susceptibilidad al deslizamiento generado por la acción del movimiento fuerte del suelo y la acción de la intensidad de lluvia en Tarapoto obtuvo el resultado de que, desde este punto de vista, se **identifica** cuatro zonas para toda la ciudad en función de la **categorización** descrita en la metodología (cuadro 13), las cuales se indican a continuación.

**a) Zona de Peligro Bajo**

La parte correspondiente a los sectores bajos de Tarapoto que incluye las zonas de expansión urbana. Bajo estas condiciones se puede decir que el 39.67% del área de estudio puede destinarse a desarrollo urbano.

**b) Zona de Peligro Medio**

La mayor parte del distrito de Tarapoto correspondiente al sector partido alto, nueve de Abril, parte del barrio Huayco; en el distrito de Morales, en el barrio San Martín y parte alta del distrito y en la zona de expansión urbana; en el distrito de banda de Shilcayo en la zona de expansión urbana. Bajo estas condiciones se puede decir que el 26.73% a desarrollo de densidad baja.

**c) Zona de Peligro Alto**

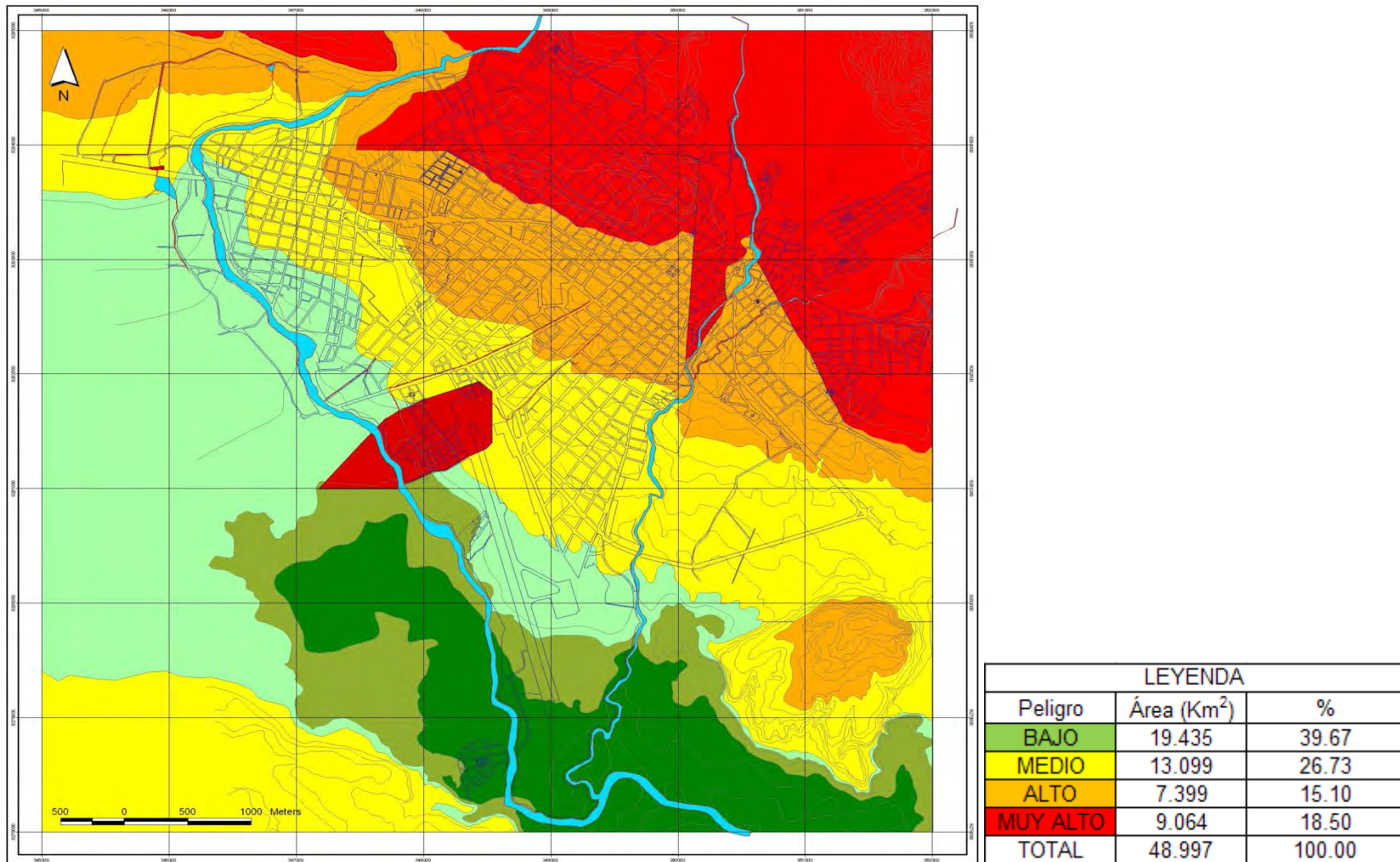
La que corresponde a la zona de Sachapuquio, zona de la Hoyada, punta del este, sector Achual parte alta, parte baja del barrio los Jardines en el distrito de Tarapoto, en el distrito de Morales la zona ubicada entre los jirones Oscar Benavides, Leticia, los Avelinos, libertad y en la parte baja del distrito; en el distrito de la banda de Shilcayo en la cuenca de inicio de la quebrada Choclino. Bajo estas condiciones se puede decir que, el 15.10% a desarrollo controlado (sujeto a la prevención de deslizamientos).



**d) Zona de Peligro Muy Alto**

Esta localizado el sector Atumpampa, los asentamientos humanos el Porvenir, 10 de Agosto, Paraíso, 2 de Mayo, villa Universitaria, en el sector Achual, parte alta del sector Bernabé Guride, el sector Tarapotillo, avenida Circunvalación (parte posterior del Hospital). En el distrito de Morales en la zona del canal Cumbaza y carretera a San Antonio de Cumbaza. En la Banda de Shilcayo en el sector del cementerio y el sector alto del AA.HH Villa Autónoma. Bajo estas condiciones se puede decir que el 18.50% debe destinarse a conservación.





**Figura 23:** Mapa de Microzonificación de Peligro Geológico-Climático  
Fuente: Elaboración propia, 2010

### 4.3 Microzonificación del Peligro Hidrológico e Hidráulico

Haciendo uso de la metodología, Mora (2002) y siguiendo un procedimiento para la **identificación** y **categorización** del Peligro Hidrológico e Hidráulico, a partir del grado de susceptibilidad a inundación que viene hacer el producto de los elementos pasivos (Suelo y topografía del terreno), multiplicado por la acción del factor de disparo ( $P_e$ ) (Mora, 2002), expresada con la ecuación (27). Los factores de inundación califican el potencial de un punto particular de ser inundado. La evaluación y discusión de los resultados se realiza a partir de la caracterización de los parámetros:

#### 4.3.1 Características del parámetro suelo (S)

El parámetro se evalúa partiendo del concepto de las propiedades hidráulicas de los suelos. Su valoración de acuerdo con el parámetro de susceptibilidad al grado de escurrimiento y definido por su coeficiente de permeabilidad (Cuadro 21).

#### 4.3.2 Características del parámetro de la topografía (T)

Las características, evaluación y valoración del parámetro, se evalúa contando con el modelo de elevación, mediante las curvas de nivel, se tiene los siguientes rangos de pendiente y descritas en la metodología (cuadro 20).

#### 4.3.3 Características del parámetro de disparo por lluvia máxima ( $P_e$ )

Al principio de una lluvia es probable que el suelo no se encuentre saturado parte de la lluvia penetra en el suelo produciéndose la infiltración, A medida que los intersticios son ocupados por el agua, la velocidad de infiltración disminuye, aumentando el potencial de escorrentía superficial. En consecuencia se determina la precipitación efectiva o lluvia remanente y se calcula en función de la precipitación de la tormenta, cuya evaluación tenemos que la presión efectiva es de 161.29 mm. Y su valoración del parámetro es de 3.

#### 4.3.4 Formulación del mapa de microzonificación de Peligro Hidrológico e Hidráulico.

Luego de analizar cada uno de los parámetros pasivos o condiciones de sitio, los que corresponden a las características litológicas y topográficas. El factor activo o disparo por lluvia, cada uno de los parámetros fueron valorizados según la metodología propuesta por Mora, (2002) y apropiadamente ordenados se determinó el Grado de susceptibilidad a inundación, para lo cual se uso la fórmula (25), desarrollada en dicha metodología, cuyos resultados se presentan en el cuadro 31.



**Cuadro 31:** Grado de susceptibilidad al Peligro Inundación ( $G_{suc.}$ )

Parámetro litológico ( $S_1$ )		Parámetro de pendiente ( $S_p$ )		Parámetro de disparo por lluvia ( $P_e$ )	Grado de Susceptibilidad ( $G_{suc.}$ )	Calificativo
Suelo	Valor	Sp	Valor	Valor		
SM	1	>61°	2	3	6	Bajo
SC	2	39 - 61°	3		18	Medio
CL	3	17 - 39°	4		36	Alto
OL	4	0 - 17°	5		60	Muy Alto

Fuente: Elaboración propia, 2010

Además el comportamiento hidráulico (INDECI, 2003) y de las visitas de campo del autor y análisis en las zonas contiguas a los cauces de los ríos y quebradas se identifico sectores que en el tiempo han sufrido los embates de la naturaleza, así tenemos:

### Río Cumbaza

La capacidad hidráulica del río se hace insuficiente en la caja del puente del mismo nombre, por cuanto se tiene en promedio un área de 404.45 m<sup>2</sup>, si el caudal estimado a un periodo de retorno de 10 a 20 años es de 1029 m<sup>3</sup>/s y una velocidad promedio de 2.5 m/s, de lo anterior podemos inferir que el río Cumbaza en su recorrido inunda a los asentamientos Humanos, Cumbaza, Villa Universitaria, 10 de Agosto, el Porvenir, por lo cual en intensidades máximas de lluvia se corre el riesgo de que el agua ingrese a estos sectores, así como, podría producir el socavamiento de sus márgenes. A lo anterior se puede añadir que se ha registrado el 01 de Mayo del 2001, una descarga de 1029 m<sup>3</sup>/seg., como consecuencia de las precipitaciones pluviales caídas en la cuenca alta del río Cumbaza lo cual originó, erosión y pérdida de la plataforma de rodadura del tramo de la carretera Tarapoto - San Antonio de Cumbaza e inundación de las áreas urbanas ribereñas en el distrito de Morales (Imagen 3 y 4) y Tarapoto instaladas en ambas márgenes del río.

### Río Shilcayo.

El río Shilcayo es el que históricamente ha ocasionado inundaciones en los sectores ubicados en ambas márgenes. Si observamos la capacidad de drenaje del canal con respecto a las descargas, podemos deducir que estos sectores de la ciudad cada 5 a 10 años pueden tener avenidas drásticas, provocando inundaciones en sus áreas aledañas.

Este problema del río Shilcayo ha sido provocado por la misma gente al habersele reducido su capacidad de drenaje por las construcciones que se tienen; y por no tenerse un control estricto del ordenamiento urbano.



**Imagen 3:** Avenida extraordinaria del río Cumbaza, Aguas arriba del puente, erosionó y colapso la plataforma de la carretera Tarapoto-San Antonio de Cumbaza ubicada a la margen derecha del río, a la altura del AA.HH Cumbaza, del distrito de Morales, el primero de mayo del 2001 (Foto cortesía Ing. Ing. Rommel Ríos Córdova)



**Imagen 4:** Avenida extraordinaria del río Cumbaza zona del puente, el primero de mayo del 2001 (Foto cortesía Ing. Rommel Ríos Córdova)

En el recorrido se ha observado que los ríos antiguamente tenían caudales significativos el cual se puede apreciar por las formas de conos aluviales y los depósitos sedimentados (Piedras Grandes), las zonas más amenazadas serían el. En ambos casos se puede catalogar como una Amenaza Alta ya que los AA.HH, están ubicados en los cauces antiguos.

Los resultados de la aplicación de la metodología propuesta por Mora, (2002) se presentan en el **Figura 23**, donde se destaca que un 16.77% del área de estudio presenta susceptibilidad a inundación de baja, un 15.39% es de susceptibilidad media, un 28.44% de susceptibilidad alta y un 39.40% de susceptibilidad muy alta.

En resumen, la investigación del grado de susceptibilidad a inundación generado por lluvias de intensidad en Tarapoto, obtuvo el resultado de que, desde este punto de vista, se **identifica** cuatro zonas, para toda la ciudad en función de la **categorización** descrita en la metodología (cuadro 8).

**a) Zonas de Peligro Bajo**

Las áreas ubicadas en los sectores de Coperolta, Tarapotillo, Punta del Este, Partido Alto, Sachapuquio, Comercio y Cercado en el distrito de Tarapoto. La Planicie, Loma Linda, Santa Lucia, Sector de la carretera Oasis, Fuerte Militar, Fonavi, Barrio San Martín y Parte Alta del distrito de Morales. Asentamiento Humano Progreso, Barrio San Juan, El Porvenir, Urbanización Las Praderas, y zona centro en el distrito de la Banda de Shilcayo, son considerados. Bajo estas condiciones se puede decir que el 16.77% del área de estudio puede destinarse a desarrollo de densidad alta.

**b) Zonas de Peligro Medio**

Las áreas comprendidas entre los sectores 9 de Abril, Los Jardines parte alta, Huayco parte alta en el distrito de Tarapoto. La zona entre la calles Francisco Pizarro, vía de evitamiento, campus universitario, en el distrito de Morales. Instituto Superior tecnológico y zonas aledañas a la naciente del cauce de la quebrada Choclino, Sector del Colegio Virgen Dolorosa, Selva Industria, Grifo Murhuay, en el distrito de la Banda de Shilcayo. Bajo estas condiciones se puede decir que el 15.39% a desarrollo de densidad baja.

**c) Zonas de Peligro Alto**

Las áreas ubicadas en los sectores Atumpampa, parte baja de los Jardines, Suchiche, la Hoyada, parte baja del Huayco, Asentamientos humanos Los Olivos, Miguel Grau, Villa Universitaria, 10 de Agosto, el Porvenir, 2 de Mayo, Paraíso y el Sector Aeropuerto, en el distrito de Tarapoto. Los jirones Benavides y Leticia en el distrito de Morales. Bajo estas condiciones se puede decir que, el 28.44% a desarrollo controlado (sujeto a la prevención de inundación).

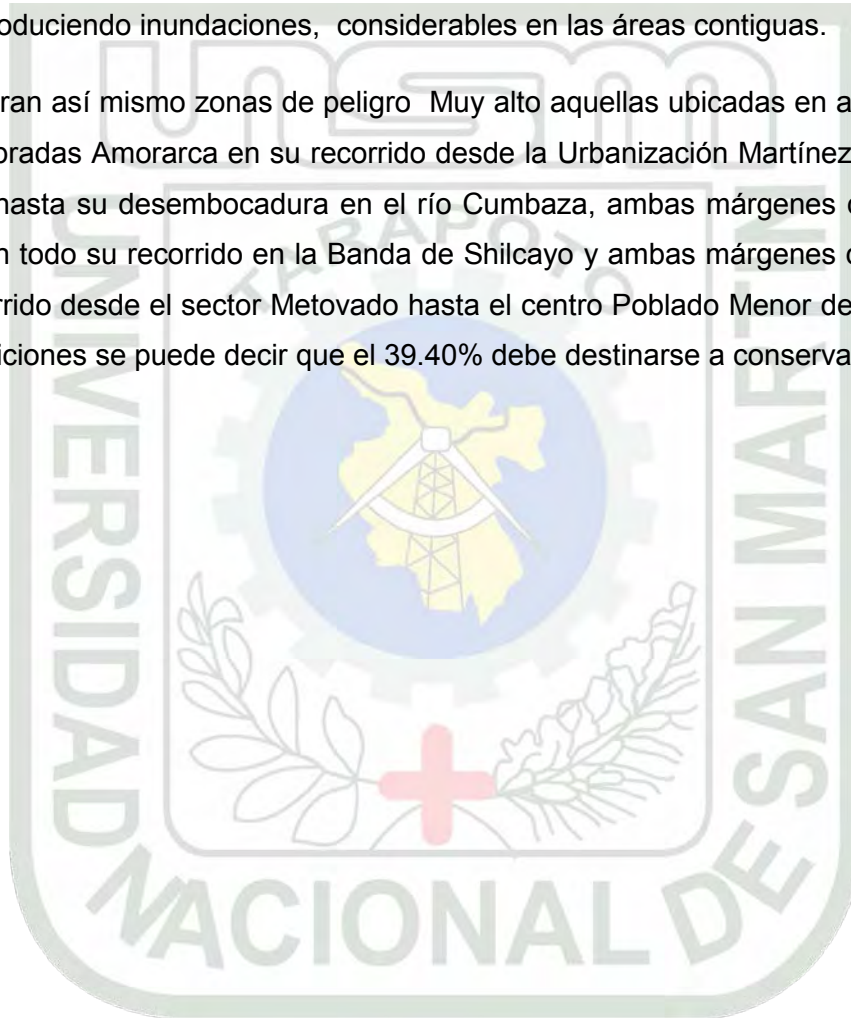


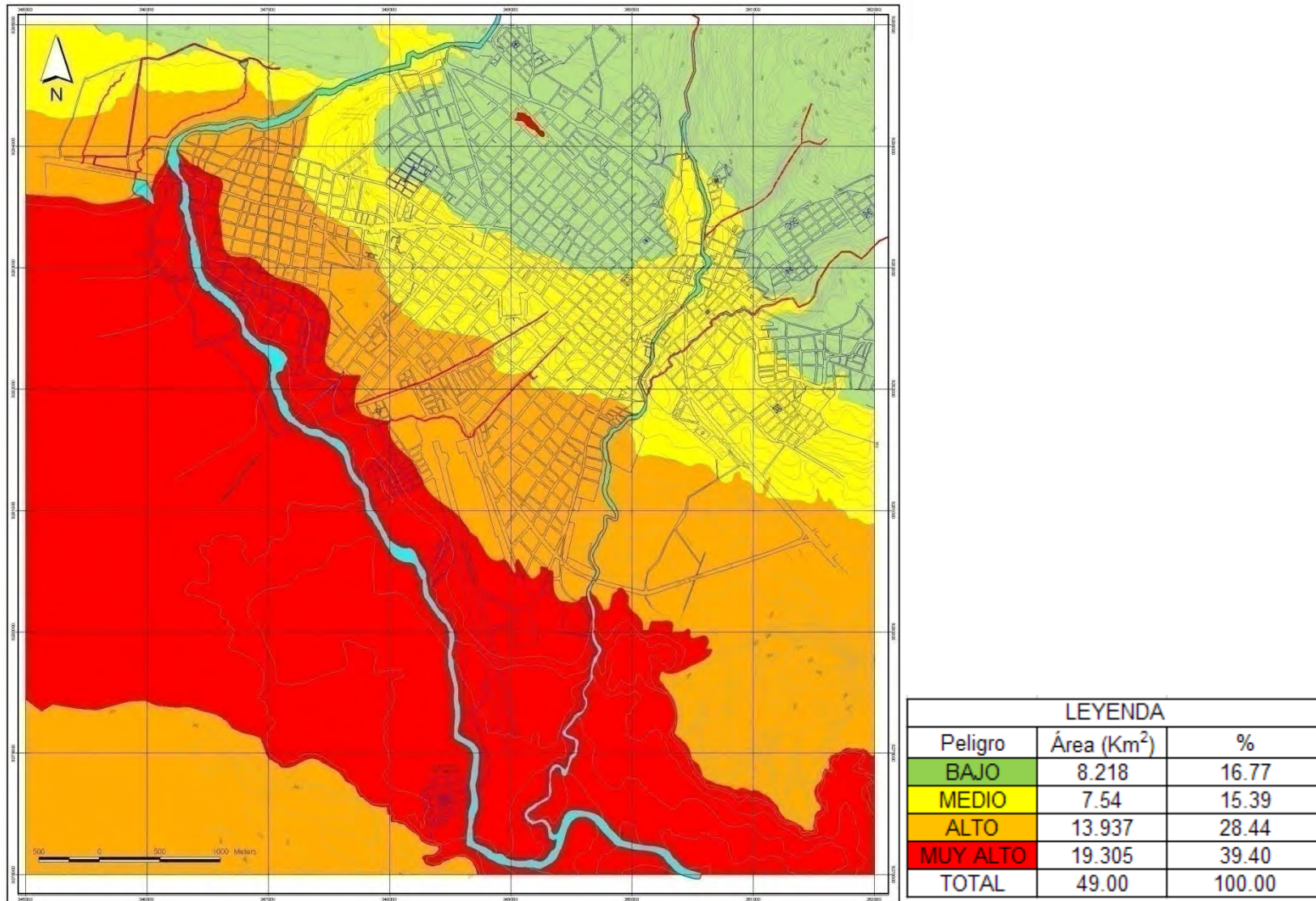
**d) Zonas de Peligro Muy Alto**

El A.A.H.H Cumbaza y Santa Rosa de Cumbaza, puesto que estos asentamientos están ubicados cerca al cauce del río Cumbaza en la margen izquierda aguas abajo. En el tramo circunvalación Cumbaza se puede observar que a la altura del AAHH Los Andes, la ribera del río Cumbaza viene siendo erosionada, acercándose peligrosamente al colector de desagüe, en el distrito de Morales.

También consideramos Peligro Muy alto las zonas bajas de los Jirones Shapaja y Santa Inés puesto que en este sector desemboca la quebrada Choclino en el río Shilcayo y se represa, produciendo inundaciones, considerables en las áreas contiguas.

Se consideran así mismo zonas de peligro Muy alto aquellas ubicadas en ambas márgenes de las quebradas Amorarca en su recorrido desde la Urbanización Martínez de Compagnon (FONAVI) hasta su desembocadura en el río Cumbaza, ambas márgenes de la quebradas Choclino en todo su recorrido en la Banda de Shilcayo y ambas márgenes del río Cumbaza en su recorrido desde el sector Metovado hasta el centro Poblado Menor de San Juan. Bajo estas condiciones se puede decir que el 39.40% debe destinarse a conservación.





**Figura 24:** Mapa de Microzonificación de Peligros Hidrológicos e hidráulicos  
Fuente: Elaboración propia, 2010



## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

1. Se ha identificado, zonificado y dividido en dos categorías al Peligro Geotécnico (Alto y Muy Alto) de acuerdo a las características de sitio (Suelo, Periodo de vibración y Topografía), frente al fenómeno que perturba el equilibrio (Aceleración Máxima), con las siguientes características:

#### a) Zonas de Peligro Alto

Comprende prácticamente toda el área de estudio en la zona urbana de los distritos de Tarapoto, Morales y la Banda de Shilcayo. Bajo estas condiciones se puede decir que el 80.01% del área de estudio puede destinarse a desarrollo controlado, sujeto a la prevención de fallas del suelo (Mapa de Peligro Geotécnico, figura 22).

#### b) Peligro Muy Alto

Las áreas contiguas al cauce del río Cumbaza, de los A.A.H.H. 10 de Agosto, Porvenir, Villa Universitaria, Paraíso, en el Distrito de Tarapoto, zona alta del canal Cumbaza, sector de la carretera a San Antonio de Cumbaza, en el Distrito de Morales. En el Sector Cementerio y cuenca Alta de la quebrada Choclino en el Distrito de la Banda de Shilcayo. Riberas del río Shilcayo desde el sector Achual hasta su desembocadura en el río Cumbaza, ribera de la quebrada Amorarca en todo su recorrido, quebrada Choclino y riberas de las torrenceras activadas durante las precipitaciones pluviales, se consideran como zonas de peligro muy alto. Bajo estas condiciones se puede decir que el 19.99% del área de estudio puede destinarse a conservación (Mapa de Peligro Geotécnico, figura 22).

2. Se ha identificado y dividido en 4 categorías al Peligro Geológico-Climático (Bajo, Medio, Alto y Muy Alto), de acuerdo a las características locales, frente a los fenómenos que perturban el equilibrio y estas son:

#### a) Zona de Peligro Bajo

La parte correspondiente a los sectores bajos de Tarapoto que incluye las zonas de expansión urbana. Bajo estas condiciones se puede decir que el 39.67% (Mapa de Peligro Geológico-Climático (figura 23) del área de estudio puede destinarse a desarrollo urbano.

#### b) Zona de Peligro Medio

La mayor parte del distrito de Tarapoto correspondiente al sector partido alto, nueve de Abril, parte del barrio Huayco; en el distrito de Morales, en el barrio San Martín y



parte alta del distrito y en la zona de expansión urbana; en el distrito de banda de Shilcayo en la zona de expansión urbana. Bajo estas condiciones se puede decir que el 26.73% a desarrollo de densidad baja (indicado en Mapa de Peligro Geológico-Climático, figura 23).

**c) Zona de Peligro Alto**

La que corresponde a la zona de Sachapuquio, zona de la Hoyada, punta del este, sector Achnal parte alta, parte baja del barrio los Jardines en el distrito de Tarapoto, en el distrito de Morales la zona ubicada entre los jirones Oscar Benavides, Leticia, los Avelinos, libertad y en la parte baja del distrito; en el distrito de la banda de Shilcayo en la cuenca de inicio de la quebrada Choclino. Bajo estas condiciones se puede decir que, el 15.10% a desarrollo controlado, sujeto a la prevención de deslizamientos (indicado en Mapa de Peligro Geológico-Climático, figura 23).

**d) Zona de Peligro Muy Alto**

Esta localizado el sector Atumpampa, los asentamientos humanos el Porvenir, 10 de Agosto, Paraíso, 2 de Mayo, villa Universitaria, en el sector Achnal, parte alta del sector Bernabé Guride, el sector Tarapotillo, avenida Circunvalación (parte posterior del Hospital). En el distrito de Morales en la zona del canal Cumbaza y carretera a San Antonio de Cumbaza. En la Banda de Shilcayo en el sector del cementerio y el sector alto del AA.HH Villa Autónoma. Bajo estas condiciones se puede decir que el 18.50% debe destinarse a conservación (indicado en Mapa de Peligro Geológico-Climático, figura 23).

3. Se ha identificado, zonificado y dividido en 4 categorías al Peligro Hidrológico e Hidráulico (Bajo, Medio, Alto y Muy Alto), de acuerdo a las características locales, frente a los fenómenos que perturban el equilibrio.

**a) Zonas de Peligro Bajo**

Las áreas ubicadas en los sectores de Coperolta, Tarapotillo, Punta del Este, Partido Alto, Sachapuquio, Comercio y Cercado en el distrito de Tarapoto. La Planicie, Loma Linda, Santa Lucia, Sector de la carretera Oasis, Fuerte Militar, Fonavi, Barrio San Martín y Parte Alta del distrito de Morales. Asentamiento Humano Progreso, Barrio San Juan, El Porvenir, Urbanización Las Praderas, y zona centro en el distrito de la Banda de Shilcayo, son considerados. Bajo estas condiciones se puede decir que el 16.77% del área de estudio puede destinarse a desarrollo de densidad alta (indicado en Mapa de Peligro Hidrológico e Hidráulico, figura 24).

**b) Zonas de Peligro Medio**

Las áreas comprendidas entre los sectores 9 de Abril, Los Jardines parte alta, Huayco parte alta en el distrito de Tarapoto. La zona entre la calles Francisco Pizarro, vía de evitamiento, campus universitario, en el distrito de Morales. Instituto Superior tecnológico y zonas aledañas a la naciente del cauce de la quebrada Choclino, Sector del Colegio Virgen Dolorosa, Selva Industria, Grifo Murhuay, en el distrito de la Banda de Shilcayo. Bajo estas condiciones se puede decir que el 15.39% a desarrollo de densidad baja (indicado en Mapa de Peligro Hidrológico e Hidráulico, figura 24).

**c) Zonas de Peligro Alto**

Las áreas ubicadas en los sectores Atumpampa, parte baja de los Jardines, Suchiche, la Hoyada, parte baja del Huayco, Asentamientos humanos Los Olivos, Miguel Grau, Villa Universitaria, 10 de Agosto, el Porvenir, 2 de Mayo, Paraíso y el Sector Aeropuerto, en el distrito de Tarapoto. Los jirones Benavides y Leticia en el distrito de Morales. Bajo estas condiciones se puede decir que, el 28.44% a desarrollo controlado, sujeto a la prevención de inundación (indicado en Mapa de Peligro Hidrológico e Hidráulico, figura 24).

**d) Zonas de Peligro Muy Alto**

El A.A.H.H Cumbaza y Santa Rosa de Cumbaza, puesto que estos asentamientos están ubicados cerca al cauce del río Cumbaza en la margen izquierda aguas abajo. En el tramo circunvalación Cumbaza se puede observar que a la altura del AAHH Los Andes, la ribera del río Cumbaza viene siendo erosionada, acercándose peligrosamente al colector de desagüe, en el distrito de Morales.

Se consideran así mismo zonas de peligro Muy alto aquellas ubicadas en ambas márgenes de las quebradas Amorarca en su recorrido desde la Urbanización Martínez de Compagnon (FONAVI) hasta su desembocadura en el río Cumbaza, ambas márgenes de la quebradas Choclino en todo su recorrido en la Banda de Shilcayo y ambas márgenes del río Cumbaza en su recorrido desde el sector Metovado hasta el centro Poblado Menor de San Juan. Bajo estas condiciones se puede decir que el 39.40% debe destinarse a conservación (indicado en Mapa de Peligro Hidrológico e Hidráulico, figura 24).

4. El daño a la población por la presencia de Peligros Geotécnicos, Hidrológicos e Hidráulicos y Geológico-Climáticos, en las zonas de **Peligro Muy Alto**, las fuerzas de la naturaleza o sus efectos podrían ser tan grandes que las construcciones efectuadas por el hombre no las pueden resistir, de ocurrir un fenómeno las pérdidas podrían llegar al 100%, el costo de reducir los daños son tan altos que la relación costo beneficio hace impracticable su uso para fines urbanos.

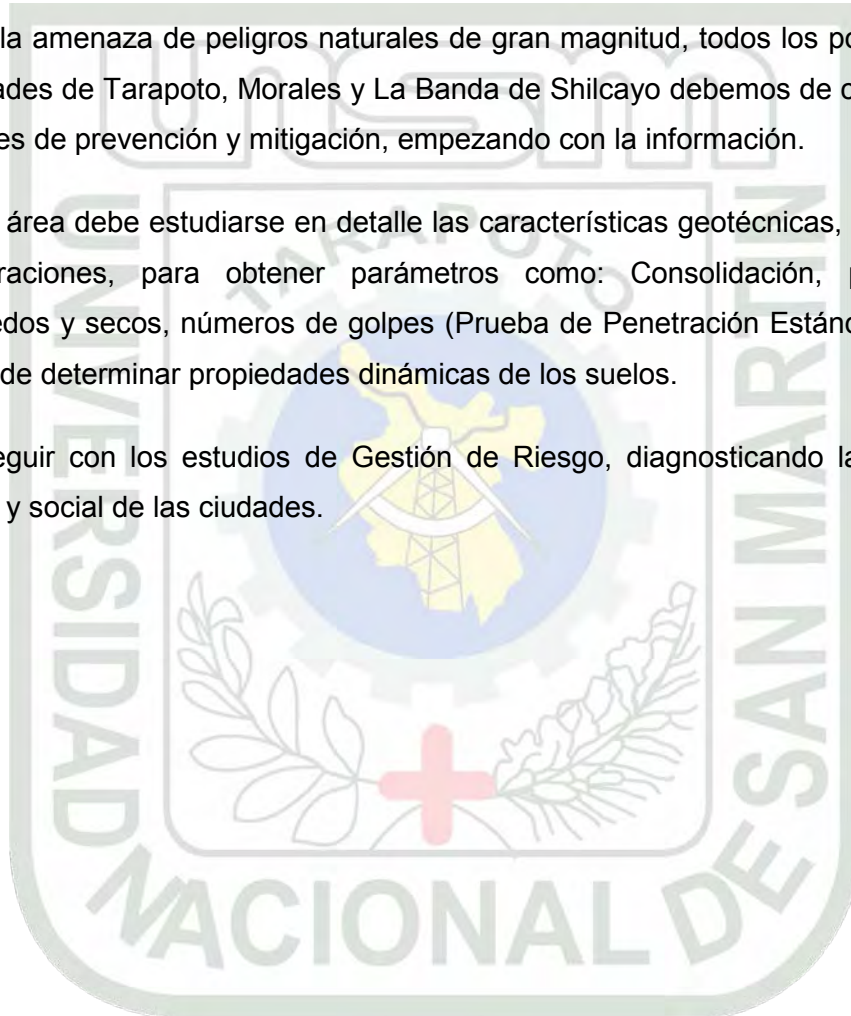
5. En el caso de ocurrencias de emergencia con grado de amenaza sísmica con valores mayores a 256 A (grafico 26), existiría la posibilidad de presentarse fallas en el suelo y disminuir inmediatamente la capacidad de carga y producir el colapso de las construcciones. En el caso de presentarse deslizamientos en las zonas con grados de susceptibilidad mayores a 420  $G_{suc}$  (grafico 30), las infraestructuras construidas corren el riesgo de deslizarse pendiente abajo por el grado de susceptibilidad al peligro geológico-climático. Así mismo, de ocurrir el desborde de los ríos Cumbaza, Shilcayo por la presencia de precipitaciones en las zonas altas, las construcciones ubicadas en las riberas, conos aluviales y tarrazas bajas podría ocurrir el colapso y por la forma y topografía la zona estaría expuesta a inundaciones con grados de susceptibilidades mayores a 36  $G_{suc}$ . (grafico 31), las construcciones podrían llegar a fallar.
6. En el caso de ocurrencias de emergencia los gobiernos locales no han establecido vías evacuación, y zonas seguras que permita mitigar el daño.

## 5.2. Recomendaciones

1. Los gobiernos locales y regionales en coordinación con La Autoridad de aguas deben delimitar las franjas marginales de los ríos Cumbaza, Shilcayo y quebradas que cruzan la zona urbana.
2. En Tarapoto y sus alrededores - evitar construcciones muy vulnerables o peligrosas o ejecutarlas con medidas de seguridad, especialmente cerca de zonas de ribera, por el alto peligro que representa la perdida de resistencia al corte en los suelos. Promover las construcciones antisísmicas y el control de la calidad de las construcciones en general.
3. El resultado de esta investigación debe ser utilizado como una herramienta para la toma de decisiones en lo que respecta a la **Planificación Urbana**, otorgamiento de licencias para la construcción de obras de infraestructura y en la regulación de uso del suelo, sin sustituir estudios geotécnicos de detalle, principalmente en las áreas de susceptibilidad de media a muy alta.
4. Efectuar un análisis de amplificación del suelo para todos los proyectos de construcción importantes en la zona de estudio.
5. Considerar en el área de estudio donde se presentan precipitaciones pluviales de gran intensidad, y existiendo zonas inundables es necesario diseñar sistemas de drenaje adecuados, para evacuar las aguas pluviales.



6. Reforestar en la zona de pendientes pronunciadas o taludes para reducir la erosión hídrica y deslizamientos de suelos.
7. En caso de ocurrir casos de emergencia, los gobiernos locales, a través de los comités de defensa civil, deben elaborar un plan de evacuación familiar e informar con la ayuda de un mapa donde se aprecie el señalamiento de rutas, para llegar a zonas seguras, con un plan vial eficiente, para facilitar la evacuación, que conlleven a disminuir el daño.
8. Ante la amenaza de peligros naturales de gran magnitud, todos los pobladores de las Ciudades de Tarapoto, Morales y La Banda de Shilcayo debemos de contribuir con las labores de prevención y mitigación, empezando con la información.
9. En el área debe estudiarse en detalle las características geotécnicas, acompañada de perforaciones, para obtener parámetros como: Consolidación, pesos unitarios húmedos y secos, números de golpes (Prueba de Penetración Estándar) y otros, con el fin de determinar propiedades dinámicas de los suelos.
10. Proseguir con los estudios de Gestión de Riesgo, diagnosticando la vulnerabilidad, física y social de las ciudades.



## VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Climent A., Rojas W., Alvarado G. y Benito B (2008). Evaluación de la amenaza sísmica en Costa Rica, Red Sismológica Nacional (RSN: ICE-UCR) Escuela Centroamericana de Geología (UCR) Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) Universidad Politécnica de Madrid.
2. Alva & Castillo (1993), Peligro sísmico en el Perú, VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima- Perú. Consultado noviembre 4, 2010 en [http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/redacis/redacis15\\_a.pdf](http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/redacis/redacis15_a.pdf)
3. Braja, M. (2001). Principios de ingeniería de cimentaciones,- cuarta edición. International Thomson Editores, S.A.de C.V. 862 p.
4. Bazán, E. & Meli, R. 2002, Diseño Sísmico de Edificios, Editorial Limusa. S.A. de C.V. grupo Noriega Editores, Balderas 95, México, D.F. 15, 27 p.
5. Bozzo, L y Barbat, A. 2000 Diseño sismorresistente de edificios, Editorial Reverté, S.A. Loreto, 13-15, Local B 08029, Barcelona. 3 al 161 p.
6. Cárdenas, J. (1995) Diseño Geométrico de carreteras, ECOE Ediciones. 3 a 30 p.
7. CAPECO (2009), Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), Decreto Supremo N° 063-70-VI
8. Constitución Política del Perú 1993, Congreso Constituyente Democrático, Lima Perú.
9. Dowrick, D. J., 1984, Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos, Editorial Limusa. S.A. de C.V., Balderas 95, Primer piso, 06040 México 1, D.F. 9, 161 p.
10. Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. 1999. Metodología de la Investigación – segunda edición. Mc GRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V. 06450 México D.F. 501 p.
11. INDECI, 2003, “Mapa de Peligros de las ciudades de Tarapoto, Morales y la Banda de Shilcayo”, Proyecto PUND PER /02/051-Ciudades Sostenibles.
12. INDECI, 2005, “Mapa de Peligros de la ciudad de Lamas”, Proyecto PUND PER /02/051-Ciudades Sostenibles.
13. Kuroiwa, J. 2002, Reducción de desastres – primera edición. QUEBECOR WORLD Perú S.A. 429 p.

14. Ley de Recurso Hídricos y sus normas reglamentarias, Ley N° 29338, 2009. Consultado noviembre 5 2010 en [http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/asuntos/docs/Ley\\_29338.html](http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/asuntos/docs/Ley_29338.html).
15. Ley general del Ambiente, Ley N° 2861 2005, 45 p.
16. Ley Orgánica de Gobiernos Regionales Ley N° 27867, 2010 Editorial MV Fenix E.I.R.L. Lima- Perú.
17. Ley Orgánica de Gobiernos Municipales Ley N° 27972, 2003
18. Muñoz, A. (1999), Ingeniería sismorresistente. Pontificia Universidad Católica del Perú- Facultad de Ciencias de la Ingeniería. 1 a 37 p.
19. Mora, Ch. (2002), "Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, Provincia de San José, Costa Rica". Consultado Julio 21, 2010 en [http://www.femica.org/areas/modambiental/archivos/foro/deslizamiento\\_canton\\_san\\_jose.pdf](http://www.femica.org/areas/modambiental/archivos/foro/deslizamiento_canton_san_jose.pdf).
20. Reitherman, A. 1995, Configuración y diseño sísmico de edificios, Editorial Limusa, S.A. de CV. Grupo Noriega Editores. Barcelona. 5 a 36 p.
21. Sierra, R. 1993, Tesis doctorales y trabajos de investigación científica. Editorial Paraninfo S.A. – Madrid – España. 127 p.
22. Tschebotarioff, G. 1963, Mecánica del suelo cimentaciones y estructuras de tierra, © Aguilar, S. A. de Ediciones-Madrid-España. 599 p.
23. Vásquez T. 2008, Aplicación de métodos sísmicos: Vibraciones naturales y refracción de Micro tremores para caracterización de sitio en estudios de Ingeniería Civil, informe final de cursos en cooperación. Universidad Simón Bolívar, Sartenejas.





## ANEXO N° 1

N°CS	Fecha	Hora [tiempo Universal]	Lat. S (deg.)	Long. O (deg.)	Profundidad		Magnitud	
					(km)		mb	Ms
45	07/03/1926	20 33 38.0	5	76.5	150			6.5
62	14/05/1928	22 14 46.0	5	78				7.3
69	18/07/1928	19 05 00.0	5.5	79				7
84	11/07/1931	05 56 13.0	8.5	74.5	120			6.3
119	29/10/1934	23 25 23.0	5	78	110			6.3
131	06/05/1936	03 38 55.0	8	75	160			6
155	16/01/1938	21 41 47.0	6	75	100			6
213	08/01/1942	15 12 31.0	6	78.5	110			6
240	06/11/1942	13 31 10.0	6	77	130			6.8
265	05/04/1943	03 08 58.0	6.5	76	140			6.5
297	06/08/1945	23 02 10.0	6	76.5	100			
347	14/03/1950	03 10 2.0	8	74	150			6.8
433	17/04/1953	00 02 50.0	5.2	77.2				6
465	15/06/1954	13 29 59.0	5	77	100			6.6
922	13/04/1963	02 20 57.9	6.3	76.7	125		6.1	6.9
1183	02/11/1964	06 50 58.2	4.1	76.9	91		6	
1381	29/11/1965	17 07 2.0	6	78.6	37		5.5	
1934	19/06/1968	08 13 35.0	5.56	77.15	28		6.4	6.9
1963	20/06/1968	02 38 38.4	5.59	77.33	33		5.8	5.7
1968	21/06/1968	00 26 7.8	5.72	77.28	22		5.6	
2008	07/07/1968	23 48 8.2	5.76	77.14	27		5.5	5.2
2048	09/09/1968	00 37 43.2	8.73	74.52	120		6	
2724	20/03/1972	07 33 49.6	6.77	76.79	64		6.1	6.9
3105	18/09/1973	12 58 25.2	7.03	76.14	133		5.8	
3434	05/12/1974	11 57 31.3	7.69	74.45	162		6	
3484	18/03/1975	17 21 23.4	4.23	77.01	98		6.2	6.5
3559	16/08/1975	00 53 53.7	5.38	76.08	123		5.7	
4093	06/01/1979	01 31 47.6	8.88	75.73	33		5.7	5.7
4910	10/08/1982	04 51 48.6	5.35	77.37	33		5.5	4.5
5076	12/04/1983	12 07 54.5	4.84	78.1	104.2		6.6	
5081	15/04/1983	10 08 20.5	5.98	75.66	118		5.6	
5153	03/11/1983	07 41 11.5	4.01	79.42	92.8		5.9	
5226	05/06/1984	04 15 24.4	7.82	76.71	33		5.8	5.1
5268	23/11/1984	18 40 11.8	8.16	76.13	99.1		5.9	
	30/05/1990	02 34 01	6.25	77.16	33	NEIC	6.4	NEIC
	30/05/1990	14 49 00	6.21	77.3	33	NEIC	5.4	IGP
	06/06/1990	02 01 00	6.34	77.19			5.1	IGP
	09/06/1990	01 14 00	6.29	77.34			5.6	IGP
	04/04/1991	15 23 21 *	6.04 *	77.13 *	20	IGP *	6	IGP
	05/04/1991	04 19 50 *	5.98 *	77.09 *	19	IGP *	6.5	IGP
	26/09/2005	01 55 39	5.61	76.37	132.7	IRIS		7.5

**Fuente:** Catálogo Sísmico del Perú: Cuadrángulos 6, 7, 10, 11, Registros de sismicidad Región San Martín ordenado por fechas (4°- 10°, latitud Sur 72.0° - 79.0° Longitud Oeste) INDICE 2005.

## Historia sísmica

La historia sísmica de la región San Martín, basándose en la fuente de datos de intensidades sísmicas que proviene del trabajo de Silgado (1978), quien describe los principales eventos sísmicos ocurridos en el Perú, los cuales probablemente no sean todos, puesto que durante los siglos XVI a XIX sólo se reportan los sismos sentidos por las ciudades de entonces, de manera que de haber ocurrido sismos importantes en regiones remotas, éstos no fueron reportados y no se conocen. Entre los sismos más importantes ocurridos en el área, tenemos, (INDECI, 2005):

**26 de Noviembre de 1877.** Chachapoyas sufrió los efectos de una recia sacudida de tierra. Intensidad de V (MM) en Chachapoyas.

**28 de Setiembre de 1906.** A las 10:25 horas. Notable conmoción sísmica en un área de 310,000 km<sup>2</sup>, desde Guayaquil hasta Tarma y entre Trujillo y Moyobamba. En Chachapoyas intensidad de VII (MM). En Huancabamba, Piura, Ayabaca, Morropón, Sullana, Tumbes y Santa de V (MM).

**14 de Mayo de 1928.** A las 17:12 horas. Sufrió casi total destrucción la ciudad de Chachapoyas. Graves daños en Huancabamba, Sicaras, Cutervo, Chota y Jaén. En Moyobamba cayeron 150 casas. Grandes derrumbes en el área epi-central. Un deslizamiento sepultó el pueblo de Pinpingos, muriendo 25 personas. Intensidades registradas: en Chachapoyas y en el valle del río Chinchipe IX (MM); en Moyobamba, Bagua, Chota, Cutervo, Huancabamba y Jaén VII (MM); en Lambayeque, Piura y Trujillo VI (MM).

**6 de Agosto de 1945.** A las 18:03 horas. Fuerte movimiento sísmico en los departamentos de San Martín y Amazonas. Destructor en Moyobamba. Percibido en un área de 42,000 km<sup>2</sup>. En Moyobamba se dañaron 97 casas. En el valle del Mayo y quebradas adyacentes se formaron grietas, por las que emanaron aguas. Intensidades: en Moyobamba VII (MM); en Soritor, Calzada, Habana y Jepelacio V (MM).

**El 10 de noviembre de 1946.** Se produjo un sismo con epicentro en Sihuas, departamento de Ancash, a 300 Km. de Moyobamba. No obstante la gran distancia, causo daños en las construcciones de la ciudad, (Kuroiwa y Deza, 1968).

**15 de Junio de 1954.** A las 08:30 horas. La región Nor-Oriental fue conmovida por un fuerte sismo que causó daños en Moyobamba, Celendín y Chachapoyas. Intensidades: en Moyobamba, Celendín y Chachapoyas VI (MMI); en Trujillo y Chimbote IV (MMI).



**19 de Junio de 1968.** A las 03:14 horas. Terremoto en la zona norte del departamento de San Martín. Murieron 15 personas. El sismo tuvo  $M_s = 6.9$  y  $M_b = 6.4$ , Mayores daños en Moyobamba y Yantalo, en casas de adobón o tapial. Intensidades: en Angaisa X (MMI); en Yantalo VII (MMI) y en Moyobamba VII (MMI).

**6 de Agosto de 1945.** A las 18:03 horas. Fuerte movimiento sísmico en los departamentos de San Martín y Amazonas, siendo destructor en Moyobamba. Percibido en un área de 42,000 km<sup>2</sup>. En Moyobamba se dañaron 97 casas. En el valle del Mayo y quebradas adyacentes se formaron grietas, por las que emanaron aguas. Intensidades: en Moyobamba VII (MMI); en Soritor, Calzada, Habana y Jepelacio V (MMI).

**15 de Junio de 1954.** A las 08:30 horas. La región Nor-Oriental fue conmovida por un fuerte sismo que causó daños en Moyobamba, Celendín y Chachapoyas. Intensidades: en Moyobamba, Celendín y Chachapoyas VI (MM); en Trujillo y Chimbote IV (MM).

**19 de Junio de 1968.** A las 03:14 horas. Terremoto en la zona norte del departamento de San Martín. Murieron 15 personas. Mayores daños en Moyobamba y Yantalo, en casas de adobón o tapial. Intensidades: en Angaisa X (MM); en Yantalo VII (MMI) y en Moyobamba VII (MM).

**20 de Marzo de 1972.** A las 02:34 horas. Sismo en Juanjuí y Saposoa. El sismo dejó 22 heridos y 500 viviendas derrumbadas o semidestruidas. Licuación de arenas en Juanjuí y asentamientos en la carretera marginal. Derrumbes de cerros en Saposoa. Sentido en Tarapoto, Lamas, Moyobamba y Rioja en San Martín y varias provincias de los departamentos de La Libertad, Lambayeque y Huánuco. Intensidad de VII (MMI) en Moyobamba y Rioja.

**El 29 de Mayo de 1990,** a las 9:34 p.m. (hora local), ocurrió un sismo de magnitud ( $M_b$ ) 6.4 en la escala de Richter, con la ubicación de 6.25° latitud sur y 77.16° de longitud oeste, al sur de Rioja, en las cercanías de Pucatanbo, siendo las ciudades de Moyobamba (V-VI MM), Rioja (VI MM), Nueva Cajamarca (V MM), Soritor y El Porvenir (VII MM), Yorongos y La Habana (VI-MM) las más afectadas. Este sismo ocasionó aproximadamente 70 muertos, más de 1,600 heridos y las viviendas dañadas pasaron de 6,000 de un total de las 20,000 existentes en la zona epicentral, la mayoría de las cuales eran de tapial y adobe.

**4 de Abril de 1991.** A las 23:30 horas, con magnitud  $M_b=6.2$  y epicentro a 30 km al NW de Moyobamba, cerca al cerro Angaisa. Ocasiónó 40 muertos y graves daños en viviendas de las provincias de Moyobamba y Rioja. Intensidades VI-VII (MMI) en Moyobamba, Yantalo y Nueva Cajamarca; VI (MMI) en Calzada y V-VI (MMI) en Rioja.

**El sismo del 25 de Setiembre del 2005**, el IGP registro el epicentro a 14 km al NW de Yurimaguas, de  $M_s=7.1$ , y con hipocentro a 115 km de profundidad, afecta ciudades de la región San Martín, principalmente Lamas, Rumisapa, Cacatachi, Tabalosos, Moyobamba, Tarapoto, entre otros.

#### **b) Sismo-Tectónica Regional**

El área en estudio se ubica en la zona del valle del Bajo Mayo, lo constituye principalmente las estructuras que tienen un alineamiento estructural NW-SE las que revelan el tectonismo andino y los eventos mas recientes, que son los que han dado la geomorfología actual, en donde afloran rocas sedimentarias mesozoicas y cenozoicas de origen continental, tectonizadas por pliegues y fallas a fines del Terciario y durante el Cuaternario. Geodinámicamente, en esta zona subandina se concentró la deformación que libera los esfuerzos producidos por el acercamiento entre el bloque andino y el escudo brasileño, (Alva y Lara, 1992).

La depresión tectónica del Mayo, donde se desarrolla el amplio valle del río Mayo, está flanqueada por las cadenas de cerros pertenecientes a levantamientos tectónicos: cordillera Cahuapana y cordillera Oriental, (Alva y Lara, 1992).

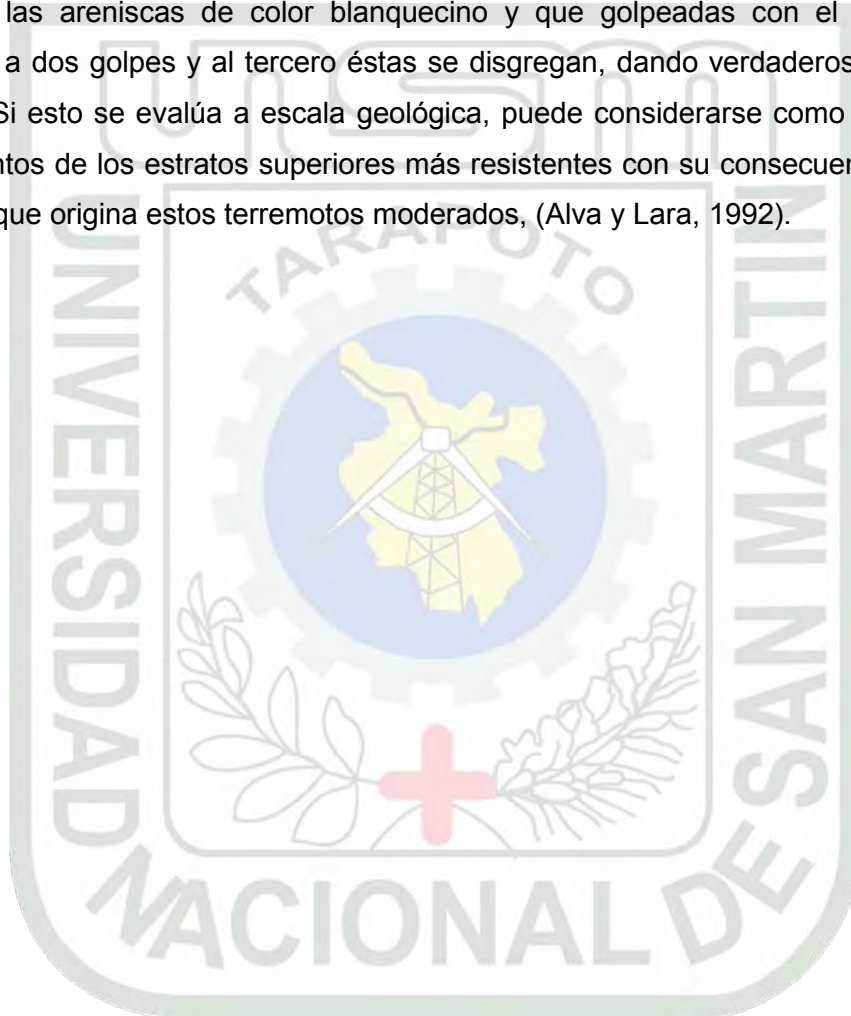
La cordillera Cahuapana, que corresponde a un levantamiento tectónico conformado por una cadena de cerros que separa el valle del río Mayo del llano amazónico, se extiende longitudinalmente como prolongación de la cordillera Compañiz en el norte y continúa hacia el sur con la cordillera Escalera Azul (sector Tarapoto). Asociada a esta unidad morfoestructural está la cadena de cerros Angaisa y la falla del mismo nombre, al NW de la ciudad de Moyobamba, a la que se asocia el origen del sismo de Moyobamba de 1968 y el de 1991, (Alva y Lara, 1992).

La cordillera Oriental constituye un gran levantamiento tectónico que en su borde nor-oriental limita con la depresión del Mayo por una gran falla inversa tipo sobreescurrecimiento, que pone en contacto las rocas calcáreas jurásicas (Grupo Pucará) con areniscas más jóvenes (formación Aguas Calientes y Cuchabatay). Asociadas a esta unidad morfoestructural existen fallas geológicas con orientación NW-SE que corren paralelas a la cadena de cerros Pucambo, en cuyas bases existen importantes afloramientos de aguas subterráneas a través de cavernas labradas en las rocas calcáreas, las cuales se asocian al sismo de 1990, (Alva y Lara, 1992).

En esta zona los sismos son superficiales (25-60 km) e intermedios (hasta 300 km). La existencia de fallas antiguas y de sistemas de fallas que no muestran evidencias de activación reciente hace pensar que el origen tectónico de los últimos sismos sea discutible,

de manera que los sismos superficiales continentales a la fecha no pueden ser asociados a fallas activas. Castro Bastos, quién ha hecho estudios geológicos de la zona, piensa que se trata de fallas de superficie de plegamientos hasta los planos profundos de los escurrimientos que son solamente causa de terremotos pequeños y locales, (Alva y Lara, 1992).

Martínez V. (1968) ha observado que estos sedimentos tienen incompatibilidad por sus propiedades mecánicas, al presentar alternancia de rocas sedimentarias compactadas, como son las areniscas de color blanquecino y que golpeadas con el martillo ofrecen resistencia a dos golpes y al tercero éstas se disgregan, dando verdaderos sedimentos sin cohesión. Si esto se evalúa a escala geológica, puede considerarse como el origen de los escurrimientos de los estratos superiores más resistentes con su consecuente liberación de energía lo que origina estos terremotos moderados, (Alva y Lara, 1992).





## ANEXO Nº 2

ESTACION: CO " TARAPOTO "														
Latitud	: 06° 28'											Departamento : SAN MARTIN		
Longitud	: 76° 22'											Provincia : SAN MARTIN		
Altura	: 356 m.s.n.m											Distrito : TARAPOTO		
DATOS DE: PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm.)														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
1999	213.4	163.4	194.9	69.8	220.1	70.5	49.0	49.3	43.9	52.7	168.5	119.4	1414.9	117.9
2000	118.3	130.9	93.2	181.7	58.0	55.1	57.7	92.4	177.0	50.2	42.5	139.1	1196.1	99.7
2001	81.6	112.9	131.6	357.0	142.7	47.3	140.6	66.0	96.8	121.8	71.3	221.2	1590.8	132.6
2002	19.5	100.5	89.5	167.9	52.4	61.3	146.5	24.0	18.9	93.6	102.6	94.6	971.3	80.9
2003	169.0	167.1	177.7	131.2	106.2	99.7	36.7	41.0	70.2	155.4	97.7	200.6	1452.5	121.0
2004	24.8	154.3	82.9	64.8	137.6	89.3	84.5	104.4	76.4	99.8	119.6	169.4	1207.8	100.7
2005	56.2	153.1	145.7	185.5	44.8	118.9	35.2	15.9	77.0	150.5	228.4	21.9	1233.1	102.8
2006	151.6	145.7	107.9	151.3	59.7	53.3	144.1	14.8	41.4	144.5	193.0	84.6	1291.9	107.7
2007	121.5	34.4	278.9	119.3	138.7	21.8	91.5	104.2	106.0	104.0	211.8	50.1	1383.1	115.3
2008	96.8	192.8	155.6	100.7	81.6	103.2	19.0	40.5	103.4	83.5	85.5	49.7	1112.3	92.7
2009	154.5	158.8	168.5	244.4	117.1	128.5	53.6						971.8	162.0
TOTAL	1207.2	1513.9	1626.4	1773.6	1158.9	848.9	804.8	552.5	811.0	1056.9	1320.9	1150.6	13825.6	1233.1
MEDIA	109.7	137.6	147.9	161.2	105.4	77.2	80.5	55.3	81.1	105.7	132.1	115.1	1256.9	112.1
DS	61.2	42.8	57.7	83.9	53.1	33.2	48.8	34.8	44.2	37.7	63.9	67.2	195.5	21.8
DATOS DE: TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO MENSUAL °C														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MAXIMA	MEDIA
1999	30.6	30.5	31.7	30.2	29.8	30.8	30.8	31.4	33.5	33.2	32.4	32.7	33.5	31.5
2000	32.1	31.4	31.4	29.9	31.1	31.8	30.4	31.8	31.8	32.8	34.1	32.5	34.1	31.8
2001	32.2	32.0	31.4	31.1	31.2	29.5	30.6	21.5	32.1	33.7	34.0	32.7	34.0	31.8
2002	33.9	33.1	32.5	31.5	31.3	31.6	30.1	32.4	34.3	33.6	33.0	32.9	34.3	32.5
2003	33.1	33.2	31.9	31.7	30.7	30.9	31.6	32.0	32.9	33.8	33.8	32.5	33.8	32.3
2004	34.4	33.5	33.1	33.6	31.9	30.4	30.7	31.9	32.1	34.2	33.9	33.7	34.4	32.8
2005	34.5	32.6	32.7	32.0	32.9	32.5	31.9	33.9	33.8	33.4	32.7	32.9	34.5	33.0
2006	32.8	32.3	32.8	32.4	32.7	32.7	32.8	33.6	34.2	32.9	31.9	31.9	34.2	32.8
2007	31.8	33.0	30.8	30.3	31.0	29.6	31.6	32.8	31.5	32.0	31.4	32.5	33.0	31.5
2008	31.3	31.0	30.1	31.2	31.2	31.0	31.4	33.6	31.9	32.2	32.4	33.7	33.7	31.8
2009	31.1	31.5	31.2	30.4	30.9	30.3	30.8						31.5	30.9
MAXIMA	34.5	33.5	33.1	33.6	32.9	32.7	32.8	33.9	34.3	34.2	34.1	33.7	34.5	33.0
MEDIA	32.5	32.2	31.8	31.3	31.3	31.0	31.2	32.5	32.8	33.2	33.0	32.8	33.7	32.1
DS	1.3	1.0	0.9	1.1	0.9	1.1	0.8	0.9	1.1	0.7	1.0	0.6	0.9	0.7

DATOS DE: TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO MENSUAL °C														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MINIMA	MEDIA
1999	22.2	20.8	21.8	21.0	21.1	20.7	19.4	19.1	21.1	20.8	20.3	20.6	19.1	20.7
2000	20.5	19.9	20.1	21.7	21.8	21.4	19.9	20.6	21.3	21.6	22.8	22.4	19.9	21.2
2001	21.7	21.9	21.5	21.5	21.5	20.1	20.6	20.4	21.0	22.3	22.5	22.6	20.1	21.5
2002	22.7	22.8	22.4	22.3	21.7	20.4	21.0	20.6	21.3	22.1	22.2	22.8	20.4	21.9
2003	22.9	23.1	22.1	22.3	21.5	21.3	20.2	20.5	20.8	22.3	22.2	22.8	20.2	21.8
2004	23.2	22.7	22.9	22.6	21.9	20.8	20.9	20.7	20.9	22.5	23.2	23.0	20.7	22.1
2005	23.5	22.8	22.6	21.9	22.0	21.0	19.8	20.9	21.5	22.0	21.9	22.7	19.8	21.9
2006	22.4	22.1	21.9	21.7	20.8	20.7	20.2	20.3	20.9	22.0	21.8	22.6	20.2	21.5
2007	22.2	22.6	21.3	21.0	20.2	22.5	19.5	19.9	19.9	20.7	21.2	22.0	19.5	21.1
2008	21.7	21.0	20.9	20.9	20.4	19.9	19.5	19.8	20.1	20.8	21.4	22.3	19.5	20.7
2009	21.0	21.7	21.2	21.0	20.7	20.0	20.6						20.0	20.9
MINIMA	20.5	19.9	20.1	20.9	20.2	19.9	19.4	19.1	19.9	20.7	20.3	20.6	19.1	20.7
MEDIA	22.2	21.9	21.7	21.6	21.2	20.8	20.1	20.3	20.9	21.7	22.0	22.4	19.9	21.4
DS	0.9	1	0.8	0.6	0.6	0.8	0.6	0.5	0.5	0.7	0.8	0.7	0.5	0.5

## ANEXO N° 3

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA  
DIRECCION REGIONAL DE SAN MARTIN

ESTACION: CO "TARAPOTO"

Latitud : 06° 28'

Departamento: SAN MARTIN

Longitud : 76°22'

Provincia: SAN MARTIN

Altura : 356 m.s.n.m.

Distrito: TARAPOTO

## DATOS DE : HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO MENSUAL %

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
1998											74	72	146	73
1999	78	81	78	84	85	836	81	75	75	74	77	76	947	79
2000	74	77	79	83	81	78	79	76	75	76	68	74	920	77
2001	74	75	80	52	82	81	80	76	78	76	73	78	935	78
2002	69	75	77	82	81	77	82	76	71	73	7	72	909	76
2003	72	76	79	80	82	83	79	74	74	75	74	77	925	77
2004	70	72	77	75	77	80	78	75	76	73	73	72	898	75
2005	66	75	75	79	78	78	74	69	70	74	73	71	884	74
2006	73	73	77	78	72	78	75	74	71	75	78	76	900	75
2007	75	71	81	84	82	79	77	75	79	79	79	75	936	78
2008	75	78	1	79	78	77	77	73	76	78	79	70	921	77
2009	78	78	82	83	82	80	76	76	77	75	72	71	930	78
TOTAL	806	831	866	889	880	874	858	819	822	828	894	884	10251	915
MEDIA	73	76	79	81	80	79	78	74	75	75	75	74	854	76
DS	3	3	2	3	4	4	2	2	3	2	3	3	224	2



## ANEXO N° 4



Obsérvese la construcción de viviendas del AA HH Las Brisa del Cumbaza en las riberas del río Cumbaza



Obsérvese la construcción de viviendas en la zona de taludes en la última cuadra del jirón Santa Inés





Obsérvese la construcción de viviendas en el pie de taludes en la última cuadra del jirón Progreso



Obsérvese la construcción de viviendas en zona de taludes en la última cuadra del jirón Shapaja





Obsérvese la construcción de viviendas en zona de taludes en el Bule Bar de Tarapoto



Obsérvese la construcción de viviendas en zona de lagunamiento en el sector la hoyada-Tarapoto