

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
PROGRAMA DE DOCTORADO
DOCTORADO EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

**CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL PARA UNA ZONIFICACIÓN Y
ORDENAMIENTO TERRITORIAL SOSTENIDO EN LA CIUDAD DE PUNO**

PRESENTADA POR: HECTOR RAUL

MACHACA CONDORI

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
PROGRAMA DE DOCTORADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE
TESIS

**CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL PARA UNA ZONIFICACIÓN Y
ORDENAMIENTO TERRITORIAL SOSTENIDO EN LA CIUDAD DE PUNO**

PRESENTADA POR:

HECTOR RAUL MACHACA CONDORI

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE



.....
Dr. JUAN BAUTISTA ASTORGA NEIRA

PRIMER MIEMBRO



.....
Dr. JAVIER A. APAZA QUISPE

SEGUNDO MIEMBRO



.....
Dr. JULIO A. TUMI QUISPE

ASESOR DE TESIS



.....
Dr. ANGEL M. MUJICA SANCHEZ

Puno, 02 de junio de 2016

ÁREA: Medio ambiente.
TEMA: Geo ambiental.

DEDICATORIA

**A Dios, a quien debo todo lo que soy y
seré en esta vida.
A mis padres Isaac y Bernardina, hermanos,
Ernesto, Luz e Irma, a mi esposa Sonia e hijos
Danitza, Yessica y Luis.**

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas e instituciones que han hecho posible que esta tesis doctoral pueda culminarse.

- Al Dr. Mujica, por su asesoría y consejos en la consolidación de la investigación.
- A mis profesores y amigos del doctorado, gracias por su paciencia, sabios consejos y mi formación académica, profesional y personal. Intentare reflejar lo aprendido en todos los aspectos de mi vida.
- A Dr. Juan Bautista Astorga Neira, Dr. Javier A. Apaza Quispe, Dr. Julio A.Tumi Quispe, por sus comentarios, sugerencias y contribuciones.
- A mis alumnos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica por el apoyo incondicional en las salidas al campo.
- El agradecimiento es para. Mis padres, Isaac y Bernardina, hicieron — simplemente— todo. Mi Esposa Sonia demostró, entre sus muchas cualidades, una enorme paciencia conmigo. Finalmente, Danitza, Yessica y Luis mis hijos.
- **A Dios por darme la posibilidad de soñar este sueño llamado vida.**

Gracias.

-

-

.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
INDICE GENERAL.....	iii
INDICE DE CUADROS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	vii
INDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1

**CAPÍTULO I PROBLEMÁTICA DE LA
INVESTIGACIÓN**

1.1 PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.1.1 PROBLEMA.....	4
1.1.2 JUSTIFICACION.....	7
1.1.3 OBJETIVOS	9
1.1.4 VARIABLES	10

**CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO**

2.1 ANTECEDENTES	11
2.2 MARCO REFERENCIAL.....	13
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	15
2.3.1 GEOLOGÍA AMBIENTAL	15
2.3.2 PELIGROS	16
2.3.3 PELIGROS GENERADOS POR FENÓMENOS DE GEODINÁMICA INTERNA.....	30

2.3.4 PELIGROS GENERADOS POR FENÓMENOS DE GEODINÁMICA EXTERNA	34
2.3.5 PELIGROS HIDROLÓGICOS	42
2.3.6 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS	46
2.3.7 DESASTRE	47
2.3.8 RIESGO	49
2.3.9 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG O GIS)	50
2.3.10 ZONIFICACIÓN GEOAMBIENTAL.....	53
2.3.11 ORDENAMIENTO	54

**CAPÍTULO III
METODOLOGÍA**

3.1 MATERIALES Y METODOS	55
3.1.1 MATERIALES	55
3.1.2 METODO	55
3.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	57

**CAPÍTULO IV RESULTADOS
Y DISCUSIÓN**

4.1 CARACTERISTICAS GEOAMBIENTALES DE LA CIUDAD DE PUNO	61
4.1.1 GEOLOGÍA.....	61
4.1.2 GEOMORFOLOGIA.....	71
4.1.3 HIDROLOGÍA.....	73
4.1.4 COBERTURA Y USOS DEL SUELO	79
4.2 CARACTERIZACION DE PELIGROS GEOAMBIENTALES.....	82
4.2.1 GEODINÁMICA EXTERNA	82
4.2.2 GEODINÁMICA INTERNA.....	95
4.3 ZONIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	111
4.3.1 CRITERIOS DE ZONIFICACIÓN.....	111
4.3.2 USO DEL TERRITORIO	113

4.3.3 VARIABLES GEOAMBIENTALES QUE INTERVIENEN PARA CARACTERIZAR LA AMENAZA.....	114
4.3.4 ACTIVIDAD DE LOS PROCESOS EROSIVOS Y ESTABILIDAD DE LOS TERRENOS.....	117
4.3.5 FACTORES DETONANTES.....	119
4.3.6 ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD.....	121
4.4 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA	130
4.5 PROPUESTA GENERAL.....	131
4.5.1 PROPUESTA DE MEDIDAS DE MITIGACION ANTE DESASTRES.....	133
4.5.2 MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE MITIGACIÓN ANTE DESASTRES	133
4.5.3 ALTERNATIVAS DE EXPANSION URBANA.....	137
4.5.4 SUGERENCIASTÉCNICAS Y DE GESTION.....	141
CONCLUSIONES	144
RECOMENDACIONES.....	147
BIBLIOGRAFÍA	149
ANEXOS.....	158

INDICE CUADROS

CUADRO 1 POBLACIÓN CENSADA Y TASA DE CRECIMIENTO INTERCENSAL	05
CUADRO 2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	10
CUADRO 3 FACTORES CONDICIONANTES Y FACTORES DESENCADENANTE.....	33
CUADRO 4 DESCRIPCIÓN Y VALOR DE LAS ZONAS DE PELIGRO	47
CUADRO 5 COORDENADAS DE AREA DE INVESTIGACIÓN	58
CUADRO 6 MATRICES DE FACTORES DE EVALUACIÓN	60
CUADRO 7 RANGO DE PELIGRO.....	60
CUADRO 8 COLUMNA LITOESTRATIGRAFICA LOCAL	70
CUADRO 9 PRECIPITACIONES PLUVIALES POR MESES DESDE 1964 AL 2013	73
CUADRO 10 NIVEL MÍNIMO Y MÁXIMO DEL LAGO TITICACA	78
CUADRO 11 SISMOS SEGÚN DEPARTAMENTO, PERIODO 2003 - 2010	102
CUADRO 12 SISMOS DE LOS ULTIMOS AÑOS EN LA REGION PUNO	106
CUADRO 13 PARÁMETROS SISMICOS	110
CUADRO 14 MATRIZ DE CORRELACIONES PARA ZONIFICACIÓN	112
CUADRO 15 FACTOR DE ZONA	120
CUADRO 16 ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS PELIGROS GEOLÓGICOS POR MEDIO DEL PESO	124

INDICE FIGURAS

FIGURA 1 CLASIFICACIÓN DE PELIGROS	19
FIGURA 2 PELIGROS GENERADOS POR FENÓMENOS DE ORIGEN NATURAL	25
FIGURA 3 DESPRENDIMIENTO - VUELCO	37
FIGURA 4 MOVIMIENTO DE MASAS	38
FIGURA 5 EROSIÓN DE LOS SUELOS	45
FIGURA 6 EROSIÓN HÍDRICA.	46
FIGURA 7 DIAGRAMA METODOLOGICO DEL PROCESO DE MODELIZACION DE DESLIZAMIENTOS.....	57
FIGURA 8 FORMACIÓN DE HUANCANÉ Y AYABACAS CHULLUNI, HUAJE63	
FIGURA 9 CALIZA DE LA ZONA DE LAS TORRES (LOS ANDES)	64
FIGURA 10 GRUPO PUNO ZONA DE JALLIHUAYA.....	66
FIGURA 11 GRUPO TACAZA CERRO CANCHARANI	69
FIGURA 12 EN LA ZONA GRUPO BARROSO	69
FIGURA 13 COMPORTAMIENTO DE LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES 1964-2013.....	76
FIGURA 14 LA MEDIA DE LAS PRECIPITACIONES.....	76
FIGURA 15 DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS PRECIPITACIONES.....	77
FIGURA 16 NIVEL DEL LAGO TITICACA.....	78
FIGURA 17 VIVIENDAS EN RIESGO POR DESLIZAMIENTO.	84
FIGURA 18 ZONA DE CHEJOÑA ÁREA VULNERABLE	85
FIGURA 19 ZONA DE PELIGRO HUASCAR	85
FIGURA 20 CANCHARANI AZONA DE DESPRENDIMIENTO DE BLOQUES DE ROCA.....	87
FIGURA 21 FLUJOS DE DETRITOS (BLOQUES) EN LA PARTE ALTA DE AZOGUINI.....	88
FIGURA 22 IMAGEN SATELITAL DE EL CERRO AZOGUINI	88
FIGURA 23 PLANICIES O LLANURAS DE INUNDACIÓN CHEJOÑA Y SALCEDO.....	91
FIGURA 24 COMPORTAMIENTO INDICE DEL NIÑO Y LA NIÑA OCEANICO 1970 – 2008	94
FIGURA 25 ZONAS DE RIESGO SISMICO DEL PERU	98
FIGURA 26 SISMOS CON FOCOS SUPERFICIAL (h < 60 km)	98

FIGURA 27 SISMOS CON FOCO INTERMEDIO ($60 < h < 300$ km).....	99
FIGURA 28 SISMOS CON FOCO PROFUNDO ($h < 300$ km).....	100
FIGURA 29 PERFILES DE SISMICIDAD PARALELOS A LA FOSA OCEÁNICA PERÚ-CHILE.	101
FIGURA 30 CORTE VERTICAL EN DIRECCIÓN PARALELA A LA LÍNEA DE LA FOSA OCEÁNICA PERU-CHILE PARA LOCALIZAR LA SECCIÓN.	101
FIGURA 31 FRECUENCIA DE OCURRENCIA	103
FIGURA 32 ESTADÍSTICA DE LA OCURRENCIA DE PELIGROS GEOLÓGICOS.....	122



INDICE ANEXOS

GLOSARIO DE ABREVIATURAS.....	159
FICHAS DE INVENTARIO.....	163

RESUMEN

La investigación fue desarrollada en el ámbito de la ciudad de Puno, donde se producen algunas pérdidas económicas debido a inestabilidades de ladera, inundaciones, por ello, se planteó el estudio de los procesos que generan estas situaciones de peligro para, finalmente, elaborar una cartografía de susceptibilidad. Se ha llevado a cabo una recopilación bibliográfica a nivel regional, nacional e internacional. La recopilación de la bibliografía existente relacionadas con las inestabilidades del terreno de movimientos de ladera e inundaciones constituyen un proceso que pueden darse en el área de estudio. Se ha podido extraer información fiable sobre su ubicación espacial y temporal, su tipología, frecuencia y la relación con factores desencadenantes, especialmente la conexión entre períodos de lluvia y el inicio de inestabilidades. La cartografía geomorfológica de la zona de estudio se ha realizado a escala 1:30.000 y muestra que, junto con una pequeña proporción de procesos kársticos, son fundamentalmente los procesos fluviales y de gravedad los que contribuyen a la evolución del relieve actual en esta área. Correspondientes a la acción de la gravedad se han reconocido evidencias, derrumbes de ladera, caída de roca y flujos. Entre los factores que condicionan la evolución de las laderas en esta zona se encuentran la litología, el clima, la vegetación, la acción antrópica. La información geo ambiental, como la geología, la topografía y la vegetación se ha procesado en un Sistema de Información Geográfica (SIG), que ha permitido además elaborar el Modelo Digital del Terreno del que se han extraído algunas variables topográficas como la curvatura, altitud, pendiente y orientación. A partir de estos datos se ha reclasificado en 4 rangos de peligrosidad: Baja, Media, Alta y muy alta. Se presentan los resultados obtenidos tras el estudio geo ambiental desarrollado en la ciudad de Puno, la interpretación de la geomorfología, del análisis de las variables cartográficas (vegetación y geología), permite establecer parámetros que controlan el desencadenamiento actual de las inestabilidades del terreno que pueden provocar situaciones de riesgo.

Palabras Clave: Zonificación, remoción en masa, inundación, erosión

.ABSTRACT

The research was developed in the area of the city of Puno, where some economic losses occur due to instabilities of slope, flooding, therefore, the study of the processes that generate these dangerous situations finally has been posed, develop a susceptibility mapping. It has conducted a bibliographic compilation at regional, national and international levels. The compilation of existing bibliographic related to the field instabilities landslides and floods are a process that can occur in the study area. It has been possible to extract reliable information about their spatial and temporal location, type, frequency and relationship with triggers, especially the connection between periods of rain and the onset of instabilities. Geomorphological mapping of the study area was performed at 1: 30,000 and shows that, with a small proportion of karstic processes are fundamentally fluvial and gravity processes that contribute to the evolution of the present relief in this area. Corresponding to the action of gravity they have been recognized evidence hillside landslides, rockfall and flows. Among the factors that determine the evolution of the slopes in this area are lithology, climate, vegetation, anthropic action. Geo-environmental information, such as geology, topography and vegetation has been processed in a Geographic Information System (GIS), which has enabled further develop the Digital Terrain Model from which they have been extracted some topographical variables such as curvature, altitude, slope and orientation. From these data it has been reclassified in 4 ranges of danger: low, medium, high and very high. They have been shown the results obtained from the geo-environmental study conducted in the city of Puno, the interpretation of geomorphology, from analysis of the cartographic variables (vegetation and geology), it allows to set parameters that control the current outbreak of instabilities terrain that can cause risk situations

Keywords: Zoning, landslides, flooding, erosion

INTRODUCCIÓN

Los peligros naturales generan daños a las ciudades ubicadas y producen pérdidas económicas o personales de un modo concentrado espacial y temporalmente, estos daños pueden calificarse como catástrofes llegando a constituir, en ocasiones, auténticos desastres. El Perú es un país que sufre de amenazas naturales, unas del tipo geológico, hidrometeorológicas y las tecnológicas, que han causado a lo largo del tiempo efectos adversos especialmente en las poblaciones concentradas a lo largo de la costa del país.

La presente investigación de caracterización geo ambiental para zonificación y ordenamiento territorial sostenido de la ciudad de Puno, representa en la actualidad una necesidad para una mejor calidad de vida de los pobladores que habitan en ella.

La población, asentada en la ciudad, ocupa áreas inestables desde los puntos de vista Geológico, Geomorfológico e hidrológico, ya que afectan el cauce y llanura de inundación de los cursos de agua, el abanico y vertientes de pendiente pronunciada, litología inestable y con probable actividad sísmica importante.

Los movimientos de ladera que ocasionalmente ocurren por la existencia de litologías blandas combinadas con rocas detríticas y calizas, y un relieve compuesto por laderas de pendiente, crean condiciones favorables para el desencadenamiento de estos fenómenos, que suelen tener lugar por las elevadas precipitaciones. Los movimientos de ladera ocurren por las diversas actividades humanas, principalmente por la construcción de infraestructuras.

Las inundaciones originadas por el desbordamiento de los ríos afectan de manera cíclica al departamento de Puno. En ocasiones el Lago Titicaca es afectado, llegando a desbordarse, originados por lluvias torrenciales, que afectan a las viviendas aledañas. Además la erosión hídrica ocasiona pérdida de suelo y colmatación de calles por material suelto.

En este sentido, resulta necesario conocer la distribución espacial de los peligros para gestionar de manera adecuada las posibles emergencias. Los mapas de peligro permiten planificar, a diferentes escalas, las medidas de reducción del riesgo, tanto las estructurales (obras de ingeniería) como las no estructurales (ordenación del territorio, planificación urbanística, etc.).

Cuando se proyecta un asentamiento urbano o cualquier obra, se debe evaluar si un sitio es o no el adecuado, sus ventajas y desventajas, cuales son las características de los materiales presentes, su distribución espacial y que características negativas se pueden modificar.

En la investigación se zonifica la ciudad de Puno usando las Tecnologías de la Información Geográfica, para ello se efectúa la evaluación de la susceptibilidad del terreno, zonificando el territorio en áreas homogéneas en función de la probabilidad de que se produzcan fenómenos naturales, generando mapas de amenaza, los cuales presentan cierta temporalidad, ya que con el paso del tiempo las condiciones consideradas pueden variar, pudiendo experimentar aumento o disminución de la población y/o la construcción de nuevas infraestructuras, por lo que antes de usar estos mapas se debe verificar su vigencia en atención a la fecha de elaboración y las posibles modificaciones a las condiciones del medio físico y urbano.

Para la consecución de los objetivos marcados, la investigación se estructura en cuatro capítulos:

En el primero, se caracteriza la problemática geo ambiental en el momento presente y en nuestro entorno sociopolítico, así como los distintos tipos de estudios del medio físico. En el segundo, se caracteriza las bases y fundamentos (Marco Teórico) de la participación geo ambiental en los diferentes estudios. En el tercero, se desarrolla un procedimiento y/o metodología para estructurar las aportaciones de las características geo ambientales a trabajos de zonificación y planificación territorial. En el cuarto se lleva a cabo un trabajo de validación; es decir, comprobar en campo el resultado de los procesos evolutivos y comportamiento geodinámico de los afloramientos rocosos, dinámica fluvial de los ríos, lagos erosiones, frente a las perturbaciones atmosféricas, gravitacionales y movimientos sísmicos, traducidos en flujos, deslizamientos, inundaciones, aluviones y terremotos.

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1 PROBLEMA

Como consecuencia del crecimiento demográfico, concentración de la población en ciudades y de las condiciones caóticas del proceso de urbanización, se prevé a nivel mundial un incremento cada vez mayor de los niveles de riesgo natural y por lo tanto de la ocurrencia de desastres. Ya en 1994, alrededor del 45% de la población mundial habitaba en zonas urbanas, de este porcentaje el 68% lo hacía en las regiones menos desarrolladas, ciudades en las cuales se manifiesta una drástica desigualdad social, insuficiencia en los niveles de equipamiento e infraestructuras, mala calidad de las viviendas, ocupación de sectores poco aptos para ser habitados, todos factores que contribuyen a aumentar la vulnerabilidad. (Mardones, 2001)

El censo del 2007 muestra una población de 125,663 habitantes homogéneamente distribuidos en un 51% de mujeres y un 49% de hombres. Los cambios históricos que pueden observarse en la población, en una lectura conjunta de los seis censos registrados

radican en un descenso de la tasa de crecimiento que hoy se encuentra en 2,3; aun así la cifra revela un crecimiento sostenido que predice que, de mantenerse este ritmo, la población de la ciudad se duplicaría aproximadamente para el año 2050. (Ascencio, 2010)

CUADRO 01

POBLACIÓN CENSADA Y TASA DE CRECIMIENTO INTERCENSAL

CENSOS	1940	1961	1972	1981	1993	2007
Población Total	13786	24459	40453	67628	91882	125663
Periodo Censal en Años		21	11	9	12	14
Tasa de Crecimiento		2.80	4.70	5.90	2.60	2.30

Fuente: Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Puno. 2008-2012

Los desastres causados por fenómenos geológicos y antrópicos ocurren desde épocas remotas, provocando pérdidas de vidas humanas y materiales. A pesar de los avances en el conocimiento técnico y científico de los procesos geológicos, las diversas poblaciones (en ciudades, comunidades, centros poblados), son sometidas a los efectos de vulnerabilidad y por ende a situaciones de desastres.

Los riesgos pueden originarse desde el interior de la tierra, debido a su estructura (endógenos) o bien proceder desde el exterior, (exógeno). Esta tendencia probablemente refleja algún factor causal común que afecta a estos procesos a diferentes escalas: global, nacional, regional o local.

En el país, por ejemplo, no existe una normativa para elaborar mapas de peligros por inundaciones, los cuales han de reflejar distintos periodos de retorno de las avenidas; no se ha regulado quién debe realizar ese tipo de mapas. En el caso de los deslizamientos, no existe normativa alguna ni unificación de criterios en las diferentes metodologías empleadas. Posiblemente, esto se deba, en parte, a que las técnicas y metodologías desarrolladas hasta el momento no resultan fáciles de aplicar por parte de planificadores no especialistas en el análisis de riesgos geológicos; los métodos utilizados presentan un cierto grado de incertidumbre, lo cual no facilita su aplicación a situaciones reales; también por el hecho de que en la mayor parte de los casos los documentos correspondientes no tienen una expresión cuantitativa, independientemente contrastada y con significado económico.

La ciudad de Puno, viene creciendo en forma desordenada y sin conocimiento adecuado de las zonas donde se asientan las viviendas, por lo que es necesario conocer la ocupación territorial de los asentamientos geo ambientalmente como es la geología, geomorfología.

Frente a esta realidad se formula la siguiente interrogante general:

¿Cuáles son las características geo ambientales que permiten zonificar para un ordenamiento territorial sostenido de la ciudad de Puno?

Además se formulan las interrogantes específicas:

- 1.- **¿Cuáles son los aspectos geo ambientales presentes en la ciudad de Puno?**
- 2.- **¿Cuáles son los Peligros geo ambientales presentes en la ciudad de Puno?**
- 3.- **¿Cómo zonificar con las características geo ambientales para un ordenamiento territorial de la ciudad de Puno?**

1.1.2 JUSTIFICACION

Es reconocido que el conocimiento y la gestión del territorio urbano requieren del uso de sistemas modernos de computación que ordenen y procesen espacialmente la información, ya que dicha tarea demanda de un importante caudal de información y de distinta naturaleza interrelacionada entre sí. Es decir la información no se limita a un conjunto de datos sino que debe permitir todas las combinaciones posibles entre ellos a objeto de maximizar la solución y minimizar errores permitiendo un análisis que dé respuestas al problema planteado. (Otero, 1993; Cardoch, 2001)

Específicamente, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los mapas temáticos, constituyen herramientas de alto poder analítico y de gran utilidad en el proceso de planificación y zonificación urbana.

La Ciudad de Puno, no cuenta con estudios de peligros geológicos que permitan ordenar su territorio y Puno también puede ser

amenazada por peligros geológicos que puedan ocurrir en la cuenca del Titicaca, por lo que se requieren investigaciones relacionados a la evaluación, inventario e incidencia de los peligros geológicos de la cuenca. La Municipalidad Provincial de Puno cuenta con un Plan de desarrollo urbano 2008 – 2012, donde realizó un diagnóstico de las características generales de la ciudad de Puno.

En la investigación se elabora mapas temáticos de zonificación en términos de peligros geológicos y amenazas, con el fin de fortalecer y mejorar las medidas y/o acciones tendientes a elevar la calidad de vida de la comunidad. Los mapas temáticos a realizar facilitaran la definición de estrategias para la racionalización del uso del territorio y Plan de Ordenamiento Territorial que Puno carece.

El estudio comprende principalmente las laderas que rodean Puno, que son las áreas más sensibles a los movimientos en masa y las áreas cercanas a la rivera del lago, sensibles a la erosión fluvial e inundaciones.

La presente investigación contribuye al fortalecimiento de las capacidades en materia de **Gestión del Riesgo** y dotar con elementos útiles para una planificación estratégica ampliamente participativa y adecuada a sus características territoriales, económicas y sociales, reflejando directamente el objetivo principal del Proyecto, por lo que se realizó la caracterización geombiental en mapas temáticos para reducir los riesgos de desastres.

Se implementó una metodología de trabajo para el estudio de cada amenaza y para la preparación de los mapas, basada en las técnicas usadas en los organismos rectores en el tema en Perú.

Durante el desarrollo de la investigación se analizaron las amenazas o peligros geológicos. Se evaluó en el terreno las amenazas por inundaciones, deslizamientos. Posteriormente en la etapa de gabinete se procedió a la preparación del documento final. Es importante durante este proceso la identificación de amenazas naturales.

Con este reporte y los mapas de amenaza, se cumple con uno de los insumos básicos para llegar a la producción del Plan de Ordenamiento Territorial.

La investigación propone mapas temáticos de zonificación y los sectores expuestos a peligros en la ciudad de Puno, con el fin de que esto contribuya a una planificación preventiva y correctiva de los riesgos naturales y al diseño de políticas e instrumentos a favor de un desarrollo urbano sustentable..

1.1.3 OBJETIVOS

1.1.3.1 Objetivo general

Formular una zonificación a partir de las características geo ambientales para el ordenamiento territorial sostenido de la ciudad de Puno.

1.1.3.2 Objetivos específicos

1. Identificar los aspectos geo ambientales presentes de la ciudad de Puno.
2. Evaluar los Peligros geo ambientales presentes en la ciudad de Puno
3. Formular una zonificación basado en las características geo ambientales, para un ordenamiento territorial sostenido de la ciudad de Puno.

1.1.4 VARIABLES

Variable dependiente, Zonificación

Variables independientes, Características geo ambientales

CUADRO 2
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	VALORACION
Características Geo ambientales	Litológicas	Calidad	Muy bueno (4) Bueno (3) Regular (2) Malo (1)
	Geomorfológicas	Pendientes	Muy alto (4) Alto (3) Medio (2) Bajo (1)
	Climáticas	Precipitaciones	Alto (3) Medio (2) Bajo (1)
	Uso de suelos	Cobertura	Muy bueno (4) Bueno (3) Regular (2) Malo (1)
Zonificación	Peligro	Peligro	Muy alto (4) Alto (3) Medio (2) Bajo (1)

Elaboración: Propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Díez Herrero A. et al, (2008) en el estudio, Los Riesgos Geológicos en Guadalajara: Inundaciones y Terremotos; concluye que “para tener un conocimiento completo del fenómeno sísmico en zonas intraplaca, con bajas tasas de deformación, es necesario aplicar técnicas de geología de terremotos para ampliar el catálogo más allá de la época histórica. Porque, en una zona en la que el hombre no ha registrado terremotos, no quiere decir que no se hayan producido o que no se vayan a producir; para conocer se recurre a ese paleo sismógrafo que es la geología y se tiene una idea mucho más aproximada del futuro sísmico de una zona.

Mardones M. 1998, en el estudio, La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción; concluye que la ciudad de Concepción, localizada en el Centro Sur de Chile, es un centro urbano que en el curso de su historia ha sido afectado recurrentemente por riesgos naturales. En este artículo, se reporta la zonificación y evaluación de las áreas expuestas a riesgos: sísmico, de anegamiento, de inundación fluvial

y de procesos de remoción en masa. Para tal finalidad se adaptó la metodología de agregación cartográfica de los factores de riesgo: peligrosidad, vulnerabilidad y exposición, propuesta por la O.N.U. Como resultado se obtuvo una carta de riesgos naturales y se sugiere su aplicación en la preparación de planes y programas de prevención y corrección de riesgos naturales y en la organización de programas de gestión de las emergencias.

INDECI (2007) La trágica experiencia del terremoto y aluvión ocurridos en el Callejón de Huaylas el 31 de mayo de 1970, con un saldo de más de 60 mil muertos, motivó la decisión en el gobierno de nuestro país de crear un organismo que tuviera por función principal velar por la seguridad de la nación frente a los desastres. Unos años después, el 28 de marzo de 1972 se promulgó el Decreto Ley N° 19338 que crea el Sistema de Defensa Civil, actualmente denominado Sistema Nacional de Defensa Civil - SINADECI, que tiene en el Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI el órgano central, rector y conductor de este sistema, encargado de la organización de la población, coordinación, planeamiento y control de las actividades de Defensa Civil en nuestro país.

De acuerdo a lo descrito en el Compendio estadístico de prevención y atención de Desastres (2007). Como consecuencia de las intensas precipitaciones pluviales registradas en los últimos días del mes de enero 2003 el nivel del caudal de los ríos Ramis - Suches en la Provincia de Carabaya fueron afectados los distritos de Macusani, Ajoyani, Ayapata, Coasa, Corani, Crucero, Ituata, San Gaban, Usicayos y Ollachea, causando daños a personas, viviendas, daños a la agricultura y ganadería,

daños a las vías de comunicación, daños a los servicios básicos, ejecutándose acciones de remediación realizadas por el Gobierno local, regional y nacional. Ante la crítica situación el gobierno declaró en estado de emergencia mediante decreto supremo 010-2003-PCM. (INDECI), Compendio estadístico de SINADECI.

En consecuencia los estudios citados nos dan conocer que existen problemas con los fenómenos naturales, por lo que es necesario realizar zonificación de ellos en las ciudades para un ordenamiento territorial.

2.2 MARCO REFERENCIAL

Durante el último siglo XXI a nivel mundial se muestra un incremento en el número de eventos catastróficos debidos a procesos naturales y en los daños producidos por los mismos, especialmente en los últimos 40 años; los países de Asia, América y África son los que más numerosas y mayores catástrofes naturales han padecido (Alexander, 1993; Alcántara-Ayala, 2002). Tanto por el número de eventos como por el número de víctimas, son los países menos desarrollados los que se ven más gravemente afectados. Esto se debe a dos factores fundamentales: 1) localización: esos países, en conjunto, abarcan una extensión mucho mayor y, además, se encuentran en muchos casos en zonas de intensa actividad geodinámica (límites de placas, zonas sujetas a frecuentes tormentas); 2) desarrollo económico, social, político y cultural: es frecuente que en estos países no existan, o no se apliquen, normas o políticas de ordenación territorial que tengan en cuenta los riesgos naturales; también suele ser

limitado el grado de preparación de la población o la organización de planes de prevención y corrección de riesgos.

En cambio, las mayores pérdidas económicas se producen en los países desarrollados, debido principalmente a que el valor de los bienes expuestos a las amenazas (infraestructuras, edificios, actividad económica, etc.) es mucho mayor (Alexander, 1993; Alcántara-Ayala, 2004). No obstante, aunque el valor absoluto de los daños sea mayor en los países industrializados, su importancia en relación con el PIB, es mucho menor que en los países en vías de desarrollo (Burton et al., 1978). Así, por ejemplo, durante el período 1990-99 los gastos afrontados por la Federal Emergency Management Agency (FEMA), como consecuencia de las catástrofes naturales ocurridas en los Estados Unidos, ascendieron a más de 25,4 (miles de millones) de dólares, cifra absoluta muy considerable pero poco significativa en relación con el PIB del país (FEMA, 2002). En el caso de España y referido únicamente a las inundaciones, los daños medios anuales han estado en torno al 0,1% del PIB durante las últimas décadas (CCS, 2004).

Las catástrofes naturales que mayores daños (pérdidas materiales y/o víctimas) causan a nivel mundial son las inundaciones y los huracanes, seguidos por los terremotos. Si se tiene en cuenta la distribución geográfica de los distintos riesgos naturales, las inundaciones y los deslizamientos son sin duda los más generalizados, pues afectan a todos los países del mundo.

El aumento en el número de eventos reflejado en los datos registrados puede deberse en parte a una mejora en la recopilación de información para los tiempos más recientes. Esto parece especialmente probable en el caso de los terremotos y de las erupciones volcánicas. Sin embargo, en el caso de las inundaciones, huracanes o deslizamientos, el aumento se deba también al efecto del cambio climático global, una de cuyas consecuencias es el aumento en la frecuencia y/o intensidad de los eventos climáticos extremos (Moreno, 2005). Es interesante señalar, sin embargo, que la tendencia al aumento es bastante menor para los desastres de tipo estrictamente climático, que para “floods and related” (inundaciones y afines), esto es, aquéllos en los que intervienen los condicionantes geomorfológicos. Esto se ha interpretado por Cendrero et al. (2006) como consecuencia de la superposición del cambio climático y del “cambio geomorfológico global”. La tendencia de variación que dichos procesos muestran a nivel global durante el último medio siglo.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1 GEOLOGÍA AMBIENTAL

Dentro de las ciencias de la tierra, se refiere al estudio de las amenazas de origen natural, la importancia de esta rama en nuestro país es muy grande, es una herramienta moderna y se le debe dar el respectivo interés ya que las ciudades siguen creciendo en forma caótica; en zonas urbanas como rurales sigue construyéndose viviendas, obras civiles y mineras en áreas expuestas a amenazas que a su vez han sido muchas veces magnificadas por la intervención

humana. (Valenzuela, 2003)

La metodología que se emplea para estudios de Geología Ambiental en lo concerniente a evaluación de peligros geológicos incluye el análisis histórico, como la consulta de archivos y deducción geológica combinado con el monitoreo y modelos apoyados en sensores remotos e interferometría de radar, éste último para trabajos de detalle debido al costo que demanda la utilización de esta tecnología; una vez identificadas las amenazas, se requiere su predicción y su prevención.

Por la posición geográfica del territorio peruano, alineado en el “Cinturón de Fuego del Pacífico”, altamente sísmico, el relieve irregular de la cordillera de los Andes y sus condiciones geológicas, geomorfológicas, climáticas y geodinámicas complejas, hacen propicia la ocurrencia de diferentes peligros naturales que generan muchas veces desastres naturales y constituyen un problema latente en el ámbito nacional por sus consecuencias destructivas, muchas veces catastróficas.

2.3.2 PELIGROS

Denominado también Amenaza, son “procesos o fenómenos naturales que puedan causar daño o pérdida materiales e inmateriales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental. Incluye procesos internos y externos. (ONU-EIRD, 2009).

Algunos relacionan el término Amenaza con Peligro Inminente, “cuando el peligro ha generado un nivel de deterioro acumulativo debido a su desarrollo y evolución, o cuya potencial ocurrencia es altamente probable en el corto plazo, desencadenando un impacto de consecuencias significativas en la población y su entorno socioeconómico.” (INDECI, 2006).

Eventualmente, un peligro natural que causa un número inaceptable de muertes o daños a propiedades constituye un desastre natural. En áreas donde no existen intereses humanos a vulnerar, los fenómenos naturales no constituyen un peligro ni causan desastres. (OEA, 1993).

A. EVALUACIÓN DEL NIVEL DE PELIGROSIDAD

Evaluar el peligro es estimar o valorar la ocurrencia de un fenómeno con base en el estudio de su mecanismo generador, el monitoreo del sistema perturbador y/o el registro de sucesos (se refiere al fenómeno mismo en términos de sus características y su dimensión) en el tiempo y ámbito geográfico determinado. (CENEPRED, 2013)

La información de zonificación de susceptibilidades son un insumo importante para obtener los niveles de peligrosidad del área de estudio, las escalas de trabajo son las establecidas por el Instituto Geográfico Nacional – IGN (Resolución Jefatural N°112-2006-IGN/OAJ/DGC/J).

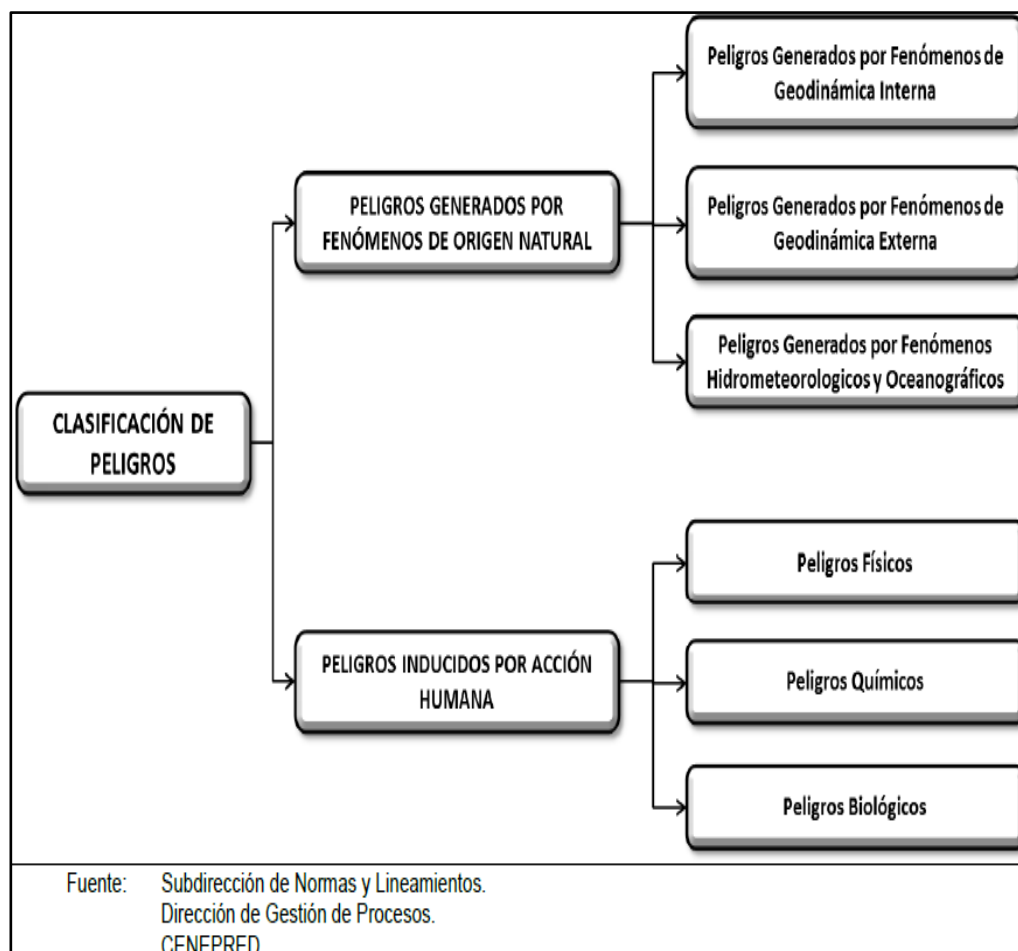
Para evaluar el nivel de peligrosidad según CENEPRED se debe seguir las siguientes fases:

- a) Recopilación de Información disponible.
- b) Análisis de la información recopilada.
- c) Preselección de las zonas (riesgos potenciales).
- d) Identificación y caracterización de peligros generados por fenómenos de origen natural.
- e) Análisis de la susceptibilidad.
- f) Parámetros de evaluación
- g) Análisis de los elementos expuestos
- h) Selección de zonas
- i) Definición de escenarios.
- j) Definición de los niveles de peligrosidad y estratificación de los niveles de peligrosidad.
- k) Elaboración del mapa del nivel de peligrosidad.

B. CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO

El peligro, según su origen, puede ser de dos clases: por un lado, de carácter natural; y por otro de carácter tecnológico o generado por la acción del hombre. (CENEPRED, 2006)

FIGURA 1
CLASIFICACIÓN DE PELIGROS



C. CARACTERIZACIÓN DE AMENAZAS

Un fenómeno natural o antrópico, puede caracterizarse como amenaza, para el cual se consideran tres variables; ubicación, severidad, recurrencia. Cardona O. 1993.

De acuerdo al ámbito de estudio estas variables permiten identificar áreas de peligro. En realidad, ante limitaciones fundamentales (conocimiento científico) y circunstanciales (información accesible o disponible), es más o menos difícil caracterizar estas tres variables

con la exactitud y resolución deseable. La más difícil de caracterizar es la recurrencia.

La ubicación se puede caracterizar mediante información y registro geológico, arqueológico e histórico, en combinación con características del ambiente físico natural tales como terrenos, topografía, drenajes, antecedentes de fenómenos anteriores y cercanía de fuentes de amenaza.

La severidad también puede ser evaluada mediante registros naturales y documentales, por extensión y tipo de efectos observables o por comparación con regiones similares, Pero la recurrencia está sujeta a múltiples limitaciones. Muchos de los fenómenos ocurren en lapsos de tiempo promedio que pueden abarcar desde varias generaciones hasta miles de años, frente a los cuales el conocimiento científico todavía no puede establecer anticipaciones seguras de ocurrencia.

Gran parte del riesgo asociado a los fenómenos naturales puede atribuirse a problemas de percepción. Así como el riesgo de los fenómenos de evolución rápida (p. ej. sismos) no se percibe bien por su escasa ocurrencia, el riesgo que causan fenómenos de evolución lenta, no es percibido adecuadamente por esa característica, su lento desarrollo y menos violento.

Ejemplo típico de esto es el fenómeno El Niño, la anomalía climática global más importante conocida hasta hoy. Sólo después

del "Súper Niño" de 1982/1983, cuyos efectos sobre la economía del Perú fueron desastrosos (en donde su impacto es más directo), recibió la atención científica y de los medios que merecía. Gallo C. (2014)

• LA AMENAZA

La amenaza corresponde a un fenómeno de origen natural, socio-natural, tecnológico o antrópico en general, definido por su naturaleza, ubicación, recurrencia, probabilidad de ocurrencia, magnitud e intensidad (capacidad destructora). Campero J. (2014)

Otra Definición: es la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado. Campero J. (2014)

Se definen como "aquellos elementos del ambiente biofísico que son peligrosos al hombre y que están causados por fuerzas extrañas a él".

Diferentes estudios revisados acogen y trabajan el concepto de "amenazas naturales" como a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológico (especialmente sísmicos y volcánicos) y a los incendios que por su ubicación severidad y frecuencia, tienen el potencial e afectar adversamente al ser humano a sus estructuras y a sus actividades. Se hace un énfasis en que la condición de "natural" excluye a todos los fenómenos causados exclusivamente por el hombre como la contaminación y los eventos naturales

inducidos por el hombre a partir de sus condiciones sociales; exclusión que deja a las investigaciones en curso carentes de otras formas de análisis de la amenaza.

Para Cardona, O.D. (1993), Amenaza es un factor de riesgo externo de un sujeto o un sistema representado por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre que puede manifestarse en un sitio específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes, y/o el medio ambiente.

Los Peligros Geológicos, pueden estar asociados a procesos de geodinámica externa (deslizamientos antiguos reactivados, aludes, aluviones, flujos de barro, erosión de ribera, arenamientos, inundaciones, etc.) o estar asociados a procesos de geodinámica interna como sismicidad y vulcanismo (deslizamientos y derrumbes por sismos, flujos volcánicos originados por derretimiento de la capa de hielo en la cima de un volcán, licuación de suelos constituidos por arenas, erupciones volcánicas, etc.).

Los Peligros Geológicos sean externos o internos, se previenen y controlan según su magnitud. En la actualidad la predicción de los fenómenos volcanológicos y sísmicos todavía está en un proceso de investigación. En el caso de los volcanes, sólo se puede predecir su erupción más no el momento en que

ocurrirá o en su defecto la magnitud que tendrá dicho evento; en el caso de los sismos todavía no se ha logrado predecir su ocurrencia.

• AMENAZA NATURAL

Una amenaza es la probabilidad de que ocurra un determinado fenómeno natural destructor en un área y en un tiempo determinado (IUGS, 1997), esto se muestra en mapas que indican la distribución espacial de los diversos tipos de peligros y para su zonificación se debe tener en cuenta:

- 1.- Inventario de peligros geológicos y procesos de inestabilidad.
- 2.- Conocimiento de los procesos y factores que lo originan
- 3.- Análisis de la susceptibilidad a la ocurrencia de esos fenómenos

La amenaza se ha dividido en el presente estudio en:

Muy Alta; Se clasifica así cuando una determinada zona experimenta fenómenos naturales que ocurren periódicamente o tienen reactivaciones periódicas, causando daños a la infraestructura existente de grado muy destructivo.

Alta; Cuando se considera que es inminente su ocurrencia, o se tiene el antecedente que se produce periódicamente con una posible intensidad de grado destructivo.

Moderada; Cuando el fenómeno detectado posee características poco significativas en terrenos donde las condiciones naturales

y factores relacionados a ellas muestran estabilidad.

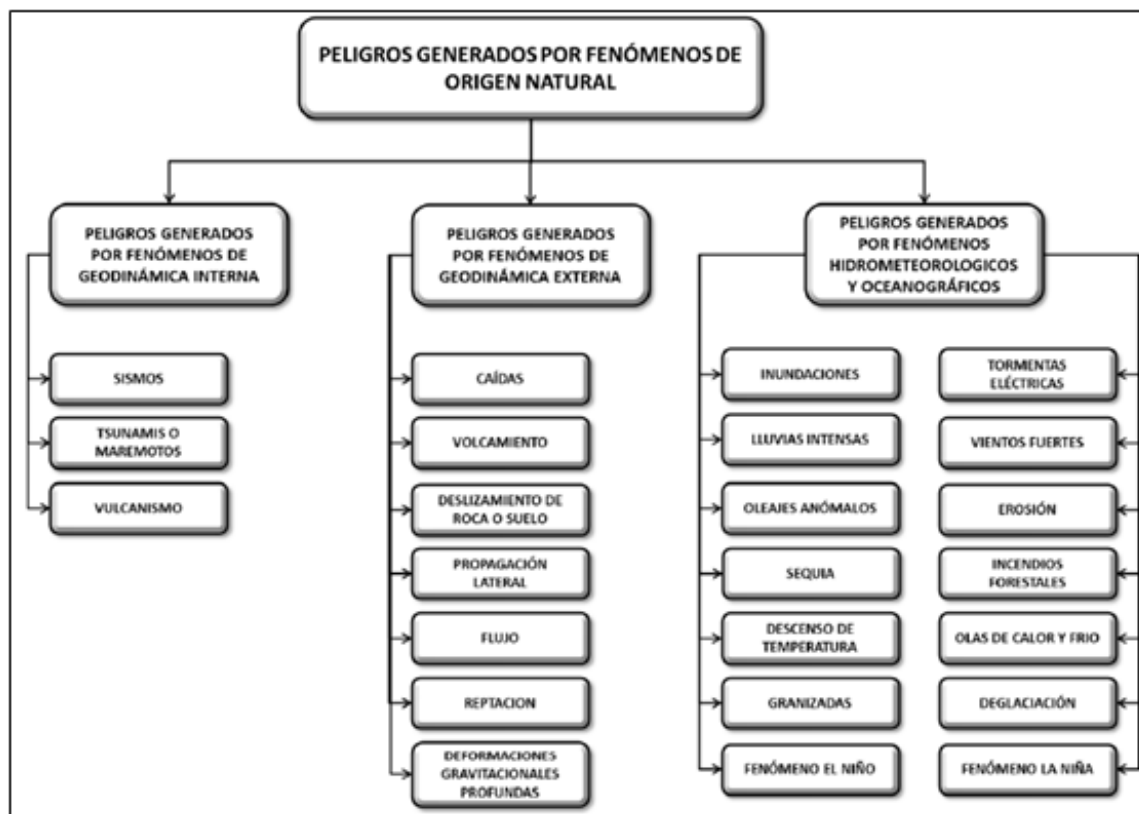
Baja; Cuando el fenómeno detectado muestra los primeros indicios de evolución considerándose que una posible activación se producirá a muy largo plazo o en condiciones extraordinarias.

D. PELIGRO GENERADO POR FENOMENOS DE ORIGEN NATURAL

El peligro, es la probabilidad de que un fenómeno, potencialmente dañino, de origen natural, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un período de tiempo y frecuencia definidos.

En otros países los documentos técnicos referidos al estudio de los fenómenos de origen natural utilizan el término amenaza, para referirse al peligro.

FIGURA 2
PELIGROS GENERADOS POR FENÓMENOS DE ORIGEN NATURAL



Fuente: Subdirección de Normas y Lineamientos. Dirección de gestión de procesos – CENEPRED 2006

E. FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES QUE PROPICIAN LA OCURRENCIA DE PELIGROS GEOLÓGICOS

En el análisis de la evaluación, así como de las medidas necesarias para evitar, corregir o mitigar los peligros geológicos existentes, es necesario analizar los factores que condicionan la estabilidad de los taludes y aquellos que se consideran desencadenantes de los movimientos.

La susceptibilidad a que se produzcan en mayor o menor grado,

estará condicionada por la estructura geológica, las características litológicas, condiciones hidrogeológicas y de la morfología del área estudiada; una variación de alguna de estas condiciones producida ya sea por causas naturales o factores antrópicos, produciría el desencadenamiento inestabilidad de una masa de terreno.

F. FACTORES NATURALES

Se refiere a agentes que integran la meteorización, erosión, así como fenómenos de carácter tectónico que influyen en la corteza terrestre.

Algunos dependen de su ubicación geográfica, con el predominio de unos u otros factores, ya sea de carácter climatológico, sismicidad o vulcanismo.

a) El Agua

Es el agente natural de mayor incidencia como factor condicionante y desencadenante, presentándose en la naturaleza en forma de:

- Ríos

Según la intensidad de la corriente causan socavamiento en el pie de los taludes, disminuyendo o eliminando su soporte e incrementando a la vez el esfuerzo de corte en los materiales, la acción de los ríos se incrementa durante las máximas avenidas.

- Aguas subterráneas

Producen disolución y cambios físico-químicos en las rocas, afectando en la resistencia de las mismas, por ejemplo, en regiones kársticas se producen hundimiento de cavernas.

El agua de infiltración produce expansión y contracción de suelos, en períodos alternantes de lluvia (lluvias estacionales a excepcionales) y períodos largos de sequía, aumento de la presión intersticial o de poros de suelos por cambios bruscos en el nivel freático.

- Lluvias

Aumentan las subpresiones del terreno al infiltrarse por discontinuidades y grietas y la sobrecarga debido a su propio peso; por ejemplo el fenómeno de absorción de agua por minerales arcillosos, en suelos cohesivos, producen hinchamiento de los mismos.

- Hielo y Nieve

Acción hielo-deshielo de terrenos saturados, los glaciares modelan valles con paredes rocosas escarpadas, disgregación mecánica por repetida y rápida fusión del hielo en agua contenida en las discontinuidades.

b) Sismicidad

La sismicidad es un factor desencadenante o detonante de fenómenos de remoción en masa por ejemplo con el sismo del 1 de mayo de 1970 se desprendió y cayó sobre una laguna un gran bloque de hielo del nevado Huascarán originando el aluvión de Yungay que sepultó a 18,000 pobladores. (Castillo J., 1993)

Durante un sismo fuerte se pueden producir grandes deslizamientos, avalanchas, desprendimientos, flujos y movimientos complejos, además de deformaciones y movimientos de los terrenos a lo largo de fallas o plegamientos y licuefacción de suelos (arenas saturadas sin drenaje y arcillas).

c) Actividad Biológica

No constituye factor determinante, pero si condiciona de forma notable la acción de otros factores; por ejemplo la presencia o ausencia de vegetación o cubierta vegetal para mantener la estabilidad de taludes, contribuye al drenaje absorbiendo parte del agua contenida en el suelo.

Una ladera con vegetación va a comportarse de manera diferente que una ladera desprovista de vegetación, en un determinado ambiente y clima; es por ello que en nuestra sierra las laderas con eucaliptos son más estables a procesos de erosión de laderas y movimientos de material como deslizamientos, flujos, etc., que una ladera desprovista de árboles donde se producirán de acuerdo a

las condiciones climáticas del entorno, procesos de erosión y fenómenos de remoción en masa. (Valenzuela O. 2003)

d) Actividad Antrópica

Se mencionan algunas de las intervenciones antrópicas que pueden alterar el medio físico y determinar la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa. La actividad antrópica que es en general, de menor magnitud que la mayoría de los fenómenos naturales, pueden causar grandes daños en términos económicos y sociales debido a su estrecha relación con centros urbanos.

Dentro de las actividades que modifican de manera importante e irreversible el medio, aumentando la probabilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa (FRM) podemos citar, la construcción de caminos, gasoductos, represas para agua, la explotación de canteras y la instalación de sistemas de transferencia como torres de alta tensión y antenas en terrenos no aptos. (Valenzuela O. 2003)

En muchos casos, si se evitara el uso de áreas inestables o propensas a sufrir algún tipo de peligro geológico, la probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos disminuiría. Esto último sólo es posible si se dispone de la información geológica adecuada, a una escala determinada, del área o sectores que serán intervenidos para el desarrollo de obras de ingeniería.

2.3.3 PELIGROS GENERADOS POR FENÓMENOS DE GEODINÁMICA INTERNA

Esta referido a factores y fuerzas originadas en el interior de la Tierra, producto de estos procesos está es la actividad Sísmica, es decir movimientos de la tierra, producto de ello, temblores, terremotos, fallas en la corteza.

2.3.3.1 SISMO

Los sismos se definen como un proceso paulatino, progresivo y constante de liberación súbita de energía mecánica debido a los cambios en el estado de esfuerzos, de las deformaciones y de los desplazamientos resultantes, regidos además por la resistencia de los materiales rocosos de la corteza terrestre, bien sea en zonas de interacción de placas tectónicas, como dentro de ellas. (Murcia C. 2015)

A. PELIGRO SÍSMICO

a) Sismicidad

El territorio peruano está ubicado en una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la tierra; por lo tanto, está expuesto a probables fenómenos sísmicos de gran magnitud, con la consecuencia de pérdidas de vidas humanas y materiales de consideración. Debido a esto es necesario efectuar estudios que nos permitan conocer el probable comportamiento de estos

fenómenos, para así poder planificar y mitigar los grandes efectos que causan. Una de las formas, es mediante la evaluación del peligro sísmico en términos probabilísticos; es decir, predecir las posibles aceleraciones que podrían ocurrir en un lugar determinado.

El Perú, por su ubicación en el borde occidental de Sudamérica, se encuentra en el área de influencia del proceso de convergencia de las placas de Nasca y Sudamericana, caracterizada por su alta sismicidad y la ocurrencia eventual de sismos destructivos.

La sismicidad puede ser dividida en dos grupos: el primero y más importante, está relacionado con la sismicidad, asociada al proceso de subducción de la Placa de Nasca por debajo de la Placa Continental; esta actividad libera aproximadamente el 90% del total de la energía sísmica anual, siendo generalmente el más frecuente y de grandes magnitudes.

El segundo grupo, considera la sismicidad producida por deformaciones y está asociada a los fallamientos tectónicos activos existentes en el Perú; esta actividad sísmica es de menor frecuencia y de magnitudes moderadas. (Castillo J., 1993)

b) Intensidad

La intensidad mide los efectos que los sismos producen en la superficie en donde causan daños al hombre y a las construcciones. La primera escala de intensidad fue elaborada en 1883 por M. de Rossi y F. Forel y reagrupa los efectos del terremoto en 10 grados de intensidad. En 1902, G. Mercalli introduce una nueva escala con 10 grados de intensidad, siendo posteriormente incrementada a 12 por A. Cancani. En 1923 Sieberg publica una escala más detallada, pero basada en el trabajo de Mercalli-Cancani. En 1931, O. Wood y F. Newman proponen una nueva escala, modificando y condensando la escala de Mercalli-Cancani-Sieberg, surgiendo así la escala Mercalli Modificada (MM). Esta escala de 12 grados expresada en números romanos y fue ampliamente utilizada en el mundo, finalmente se crea la escala MSK (1964), elaborada por tres sismólogos europeos: Medvedev, Sponhever y Karnik. Esta escala consta de 12 grados denotados de I a XII, la misma que ha sido adaptada para su aplicación en terremotos de Perú por Ocola (1979).



c)FACTORES CONDICIONANTES Y

DESENCADENANTES

Es importante considerar la actividad sísmica ya que por la ubicación geográfica, esta no es Cero, y se deben considerar valores sobre 3 para hacer los diseños sísmo resistente para cualquier edificación en la zona.

CUADRO 3

FACTORES CONDICIONANTES Y FACTORES DESENCADENANTE

FACTORES CONDICIONANTES	FACTORES DESENCADENANTES
Geología: <ul style="list-style-type: none"> • Rocas intrusivas fragmentadas. • Fracturas muy juntas de las rocas y continuas • Buzamiento y fracturas inclinadas en dirección de la pendiente • Abundancia de granos finos (arcilla y arenas) 	Demografía: <ul style="list-style-type: none"> •Crecimiento demográfico del año 2000 a la actualidad
Geomorfología: <ul style="list-style-type: none"> • Pendiente y depresión natural del terreno • Topografía 	Expansión Urbana: <ul style="list-style-type: none"> • Expansión urbana desordenada del año 2000 a la actualidad
Suelos: <ul style="list-style-type: none"> • Suelos con presencia de areniscas, depósitos de arenas eólicas, rocas intrusivas, depósitos aluviales. • Botadero de basura, rellenos: Suelos poco consolidados y compactados. 	Estabilización precaria de taludes: <ul style="list-style-type: none"> • Taludes inestable • Sobrecarga de taludes
	Sismo: <ul style="list-style-type: none"> • Periodos de actividad sísmica • 15 agosto 2007 – grado 5 Escala Richter
	Actividades Humanas: <ul style="list-style-type: none"> • Excavaciones para la construcción de viviendas • Vías de acceso • Conformación de rellenos sin diseños pre establecidos, que no garantizan la estabilidad de los taludes. • Construcción de muros de contención agrietados, con evidencias de desplazamiento en la dirección de la pendiente
	Rellenos <ul style="list-style-type: none"> • Rellenos con material orgánico y desmonte, para la conformación de terraplenes
	Acumulación de materiales sueltos <ul style="list-style-type: none"> • Extracción de materiales de construcción (piedras fracturadas), pequeñas canteras. • Viviendas ubicadas en pendientes altas y sin obras de protección.

Fuente: INDECI, 2006

2.3.3.2 FALLAS GEOLOGICAS

Procesos de ruptura de la corteza terrestre ocasionada por la liberación de energía de deformación, es decir por la liberación de esfuerzos tensionales y/o compresionales a las que estuvieron sometidas las rocas.

Generalmente los movimientos tectónicos son las que originan la liberación de estos esfuerzos provocando rupturas (fallas) en la corteza terrestre, cabe hacer mención, la importancia de las fallas geológicas, en origen y formación de yacimientos.

2.3.4 PELIGROS GENERADOS POR FENÓMENOS DE GEODINÁMICA EXTERNA

Procesos de origen externo que son causados por fuerzas externas de la tierra, a este fenómeno se asocia los agentes de meteorización como el clima (lluvias, granizada, nevada, bajas temperaturas), deslizamientos, alud, aguas de escorrentía, aguas subterráneas etc., otro factor que aporta a la geodinámica externa, es la intervención antrópica, que en algunos casos aceleran ciertos fenómenos, como incendios, deslizamientos, contaminación al medio ambiente.

A. FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA (FRM)

Los Fenómenos de Remoción en Masa (FRM), comprenden

todo una gama y complejidad de movimientos de material geológico debidos a la fuerza de gravedad pendiente abajo y en el presente trabajo se evaluó in situ la tipología de los fenómenos de remoción en masa de acuerdo a la clasificación adoptada de Varnes (1994), donde clasifica a los movimientos en masa en Caídas, Volcamientos, Deslizamientos, Flujos y Movimientos Complejos.

En la evaluación de campo se tomó en cuenta las causas principales o desencadenantes que dan o dieron lugar al origen de los fenómenos de remoción en masa, el peligro potencial futuro como también el impacto logrado por eventos anteriores catalogados como antiguos y/o actualmente estabilizados o reactivados, su intensidad y los daños causados; se tomaron en cuenta las características litológicas (tipos de rocas) y estructurales (fracturamiento, esquistosidad, buzamiento, etc.) y morfología del área puntual evaluada, así como los efectos antrópogénicos que aceleran un determinado proceso. Se describen las características particulares que posee cada peligro geológico así como algunos factores condicionantes para su ocurrencia:

a.1 DERRUMBES

Los derrumbes son los desprendimientos que ocurren en masas de rocas fuertemente fracturadas, o en detritos o depósitos inconsolidados superficiales que colapsan por gravedad.

En la ocurrencia de estos procesos de remoción en masa intervienen factores condicionantes como litología de consistencia, meteorización o alteración de las rocas, fracturamientos, saturación de suelos inconsolidados o medianamente consolidados por filtraciones de aguas de lluvia o por riego indiscriminado en terrenos agrícolas, socavamiento fluvial de la base de laderas o acantilados marinos, ausencia de vegetación o deforestación, etc. (INGEMMET,2006)

Suelen ocurrir en laderas de valles agrícolas con moderada a fuerte pendiente, zonas de terrazas aluviales, acantilados costeros, taludes de corte, canales, y áreas pobladas.

a.2 Alud

Derrame repentino de grandes masas de nieve o hielo a lo largo de una pendiente o acantilado, con velocidades que en ocasiones superan los 160 km/h.

Estos aludes, que pueden destruir vidas y bienes, se producen con más frecuencia en las pendientes que superan los 30°, cuando cae súbitamente una fuerte nevada que no tiene tiempo de cuajar o cuando se inicia el deshielo bajo una capa de nieve ya depositada. Es más fácil que se produzcan aludes de granizo blando que de nieve normal. Pueden ser especialmente peligrosos los aludes de placas de nieve apelmazada por el viento. (Enciclopedia A.)

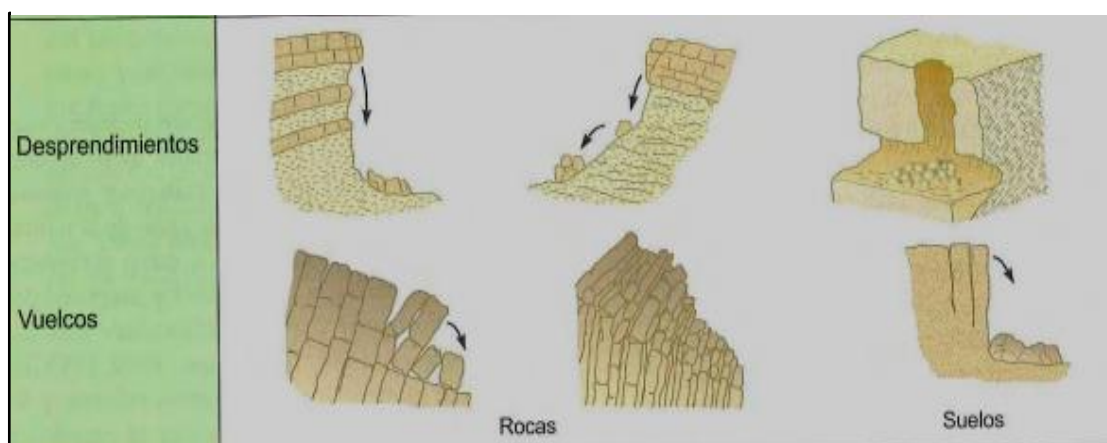
La combinación de varios factores puede desencadenar un alud; entre éstos se encuentran la temperatura, el desprendimiento de masas deslizantes de nieve y las vibraciones producidas por ruidos fuertes o movimientos de la superficie.

a.3 Caída o Desprendimientos:

Consiste de un movimiento en caída libre del material desprendido de una superficie muy inclinada (vertical o semivertical), que al impactarse en el pie del talud desarrolla una serie de rebotes y rodamientos para, posteriormente, ser depositado en el pie del mismo talud. (Gonzales L, 2005)

En general es condicionado por discontinuidades en el macizo rocoso que favorecen la separación y funcionan como planos donde se desarrolla el desprendimiento, lo que impone este fenómeno una amenaza.

FIGURA 3
DESPRENDIMIENTO - VUELCO



Fuente: Luis I. Gonzales de Vallejo-Mercedes Ferrer / Ingeniería geológica 2005

a.4 Deslizamientos:

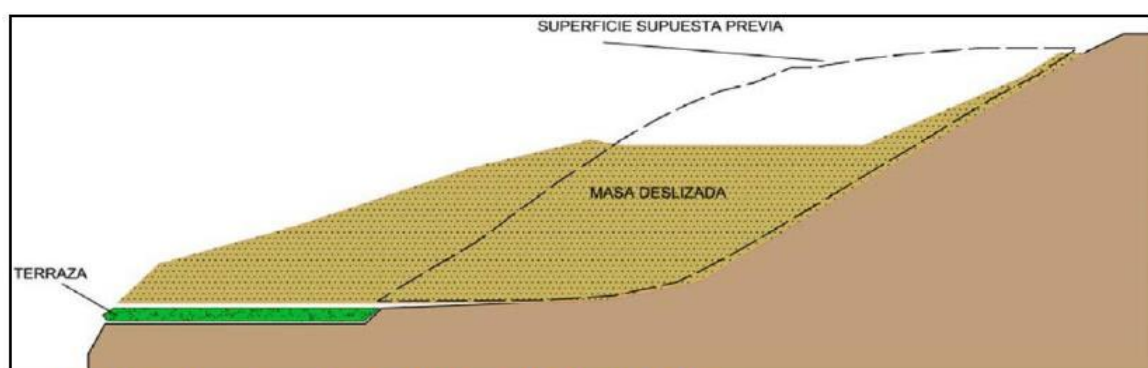
Un deslizamiento se define como un movimiento de una masa de roca, detritos o tierra pendiente abajo bajo la acción de la gravedad, cuando el esfuerzo de corte excede el esfuerzo de resistencia del material. (Jaimes M. 2014)

Los movimientos en masa en laderas, son procesos de movilización lenta o rápida que involucran suelo, roca o ambos, causados por exceso de agua en el terreno y/o por efecto de la fuerza de gravedad.

Los deslizamientos consisten en un descenso masivo o relativamente rápido, a veces de carácter catastrófico, de materiales, a lo largo de una pendiente. El deslizamiento se efectúa a lo largo de una superficie de deslizamiento, o plano de cizalla, que facilita la acción de la gravedad.

La pérdida de cobertura vegetal y forestal favorece a la meteorización y el consecuente desplazamiento mecánico del material por factores desencadenantes.

FIGURA 4
MOVIMIENTO DE MASAS.



Fuente: <http://www.yesano.com/deslizamientos> Yesa.htm

Los deslizamientos constituyen las formas de remoción en masa en las que volúmenes de suelo o rocas, se desprenden y deslizan pendiente abajo, como una sola unidad (o en forma escalonada), en forma progresiva o en forma súbita, a lo largo de una o varias superficies de deslizamiento.(Vallejo, 2004)

Según sea la forma de la superficie por la cual se desliza la masa pueden ser rotacionales si la superficie de ruptura es de forma circular y cóncava, o traslacionales si la superficie de ruptura es una superficie plana o suavemente ondulada controladas por estructuras de debilidad como fallas, diaclasas, planos de estratificación o por contacto entre substrato rocoso firme y depósitos suprayacentes superficiales.

Algunos otros se han originado por inestabilidades de laderas de valles, creadas al modificar los taludes naturales en diferentes tipos de substrato rocoso (volcánicos, sedimentarios) y de depósitos inconsolidados superficiales, al construir cortes de carreteras y/o también por mal uso de aguas de riego, reactivando algunos antiguos deslizamientos o creando nuevas zonas inestables.

Según Vallejo (2004), los deslizamientos se clasifican en:

- **Rotacionales**

Movimiento debido a fuerzas que causan un movimiento de

inversión alrededor de un punto sobre el centro de gravedad de la superficie, siendo la superficie de ruptura de forma circular y cóncava hacia abajo.

La velocidad de estos movimientos varía de lenta a moderada, teniendo gran influencia la inclinación de la superficie de rotura en el pie del deslizamiento.

Pueden ser:

1. En roca (caída de rocas); los que pueden ser extremadamente lentos a moderados y suceden en macizos rocosos muy fracturados.
2. En detritos: movimiento que va de muy lento a rápido
3. En suelo.

- **Traslacionales**

Movimiento predominantemente a lo largo de superficies más o menos planas o suavemente onduladas, recientemente controladas o relacionadas estructuralmente por superficies de debilidad: fallas, diaclasas, planos de estratificación, variaciones de resistencia al esfuerzo cortante o esfuerzos de cizalla entre capas o depósitos estratificados, o por contacto entre substrato rocoso firme y depósitos supra yacientes superficiales.

Pueden ser:

1. En roca (desprendimiento de rocas o roca bloque

deslizante): extremadamente lento ha moderado.

2. En detritos (deslizamiento de escombros): Muy lento a rápido.
3. En suelo (deslizamiento de bloque de tierra)

Causas de los deslizamientos:

La ocurrencia de los deslizamientos es consecuencia de un complejo campo de esfuerzos (stress es una fuerza por unidad de área) que está activo en una masa de roca o de suelo en la pendiente. Básicamente, los dos parámetros más determinantes es el incremento de esfuerzos (stress de corte) y la disminución en la resistencia del material

a.5 Movimientos Complejos

Se denomina así cuando el movimiento es producido por la combinación de uno o más fenómenos de remoción en masa, sean deslizamientos, derrumbes o flujos.

Muchos deslizamientos de tierra son complejos aunque un tipo de movimiento generalmente domina sobre los otros en ciertas áreas del deslizamiento en un instante particular

Algunos ejemplos descritos en los textos incluyen:

1. Caída de rocas - flujos (rock-fall avalanche), extremadamente rápidos.
2. Asentamiento y vuelco

3.Deslizamiento de rocas – caída de rocas

4.Asentamiento – flujo de tierra

2.3.5 PELIGROS HIDROLÓGICOS

A. INUNDACIONES

Las inundaciones son eventos naturales y recurrentes para un río, y son el resultado de lluvias fuertes o continuas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los ríos y riachuelos, las inundaciones también suelen ocurrir en cuerpos de agua como lagunas y lagos que experimentan subitos aumentos del nivel de sus aguas e inundan áreas adyacentes.

Un concepto que debe estar bien definido es el de "llanura de inundación", siendo esta el área o áreas de superficie adyacentes a ríos, lagos, lagunas, sujetas a una inundación recurrente; debido a su naturaleza cambiante o dinámica, las llanuras inundables geomorfológicamente son definidas como de topografía plana inmediata al río, y geológicamente de características variables, compuestas por sedimentos no consolidados en un tiempo, erosionándose rápidamente durante crecidas de agua, o depositándose nuevos estratos de lodo, arena o limos.(OEA, 1991)

Las inundaciones suelen ser descritas en función de su frecuencia estadística en términos de probabilidad e intervalos

de recurrencia; dependen principalmente del clima donde es necesario disponer de datos hidrológicos (aforos) y de precipitación.

Dentro del área en estudio las inundaciones son un peligro hidrológico común producto de las avenidas extraordinarias estacionales, la falta de cultura de prevención y la falta de terrenos para vivienda hace que en algunos lugares los pobladores invadan áreas susceptibles a inundarse.

B. EROSIÓN DE LADERAS

Según Vásquez J, (2009) se trata del desgaste y traslado de los materiales de la superficie sea suelo o roca, producido por las aguas de lluvia y la escorrentía superficial que tienden a degradar la superficie del terreno. Se presenta dentro del área tanto como procesos poco desarrollados (erosión laminar), erosión pronunciada (en surcos y en cárcavas), hasta áreas con casos extremos (tipo “bad lands” o tierras malas).

Su ocurrencia está íntimamente relacionada a la litología de algunas formaciones rocosas, muy susceptibles a la erosión hídrica como suelos residuales y principalmente formaciones geológicas sedimentarias (conglomerados y areniscas), formaciones volcánicas piroclásticas (ignimbritas o tobas poco consolidadas) y depósitos lacustrinos; interviniendo otros

factores como fuertes lluvias y la topografía del territorio donde el grado de inclinación de las laderas va a tener una considerable influencia en la susceptibilidad del terreno.

Los procesos avanzados de erosión en surcos y cárcavas causan problemas de pérdidas de áreas o suelos de cultivo y andenes, afectan localidades ubicadas en su entorno, donde existe problemas de obturamiento de alcantarillas erosión de terraplenes en trochas de carreteras, infraestructura minera, así como también aceleran la ocurrencia de otros fenómenos de remoción en masa como derrumbes, deslizamientos y flujos.

C. EROSIÓN FLUVIAL O DE RIBERAS

La erosión de riberas se considera un peligro geo-hidrológico, pues intervienen en su proceso tanto la morfología del valle fluvial, pendiente y ancho del cauce, naturaleza de los suelos o rocas en sus márgenes, etc., así como factores hidrológicos que afectan los regímenes de descargas o avenidas en un corto período, de los principales ríos del área.

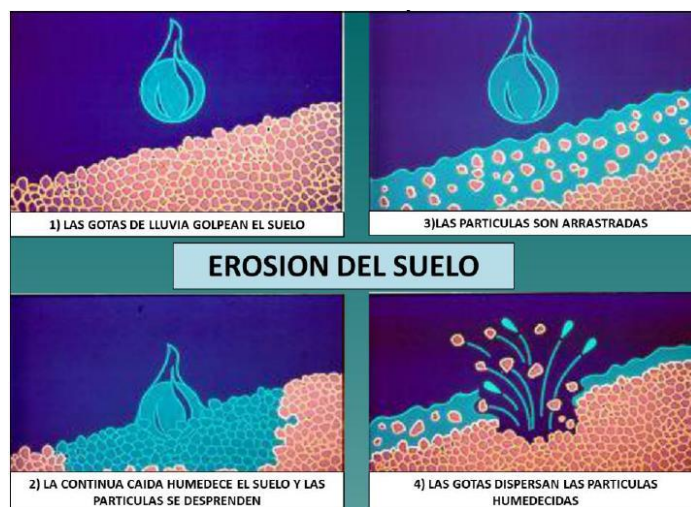
Los daños ligados a la erosión fluvial ocurren generalmente en estructuras como puentes, terraplenes de carreteras y trochas, áreas de cultivo y áreas pobladas ubicadas en las márgenes de los ríos. (MPJB, 2012)

D. EROSIÓN DE SUELOS

Entre los peligros por geodinámica externa, se encuentran los producidos por erosión de capa superficial de suelos o rocas debido a la acción de factores desencadenantes naturales como la lluvia, el viento y heladas los que afectan la vulnerabilidad de los factores condicionantes.

Otra definición: “proceso natural de movimiento de las partículas del suelo de un sitio a otro principalmente por medio de la acción del agua o del viento”. (CENEPRED,2013)

FIGURA 5
EROSIÓN DE LOS SUELOS



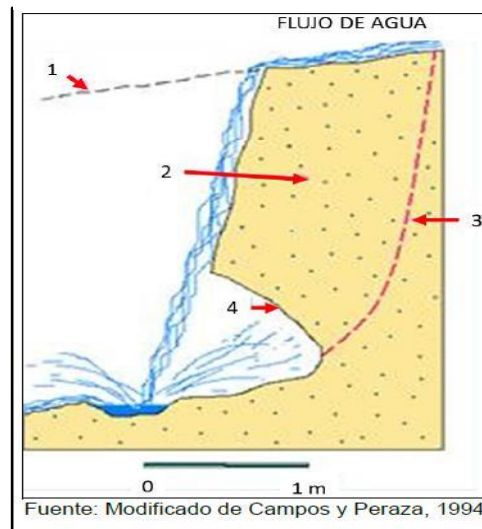
Fuente: <http://www.docstoc.com/docs/107496654/Erosion-y-sus-efectos---PowerPoint-Presentation>

Modificado: Subdirección de Normas y Lineamientos
Dirección de Gestión de Procesos

E. EROSIÓN HÍDRICA

La erosión hídrica es un proceso complejo, comprende la desagregación del suelo por impacto de la gota de lluvia, el desprendimiento por el flujo superficial de agua, y el transporte por salpicado o por escurrimiento (Meyer & Harmon, 1984).

FIGURA 6
EROSIÓN HÍDRICA.



- **Clasificación de erosión hídrica según las formas de manifestación**

Según la forma como el agua actúa en el suelo, existen tres clases de erosión hídrica:

- ✓ Erosión hídrica pluvial,
- ✓ Erosión por escurrimiento o erosión en cauces y
- ✓ Erosión por movimiento en masa.

Por su alta depredación de áreas destinadas al agro se está incidiendo en la metodología de identificación y caracterización del peligro por erosión hídrica pluvial. (CENEPRED, 2013)

2.3.6 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Para fines de Estimación del Riesgo, las zonas de peligro pueden estratificarse en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto, cuyas características y su valor correspondiente se detallan en el cuadro siguiente:

CUADRO 4

DESCRIPCIÓN Y VALOR DE LAS ZONAS DE PELIGRO

ESTRAT O / NIVEL	DESCRIPCION O CARACTERISTICAS	VALOR
PB (Peligro Bajo)	<ul style="list-style-type: none"> • Terrenos planos o con poca pendiente, roca y suelo compacto y seco, con alta capacidad portante. • Terrenos altos no inundables, alejados de barrancos o cerros deleznable. No amenazados por peligros, como actividad volcánica, maremotos, etc. • Distancia mayor a 500 m. desde el lugar del peligro tecnológico. 	1 < de 25%
PM (Peligro Medio)	<ul style="list-style-type: none"> • Suelo de calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas. Inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad. De 300 a 500 m. desde el lugar del peligro tecnológico. 	2 26% a 50%
PA (Peligro Alto)	<ul style="list-style-type: none"> • Sectores donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas. • Sectores que son inundados a baja velocidad y permanecen bajo agua por varios días. • Ocurrencia parcial de la licuación y suelos expansivos. • De 150 a 300 m. desde el lugar del peligro tecnológico 	3 51% a 75%°
PMA (Peligro Muy Alto)	<ul style="list-style-type: none"> • Sectores amenazados por alud- avalanchas y flujos repentinos de piedra y lodo (“lloclla”). • Áreas amenazadas por flujos piroclásticos o lava. • Fondos de quebrada que nacen de la cumbre de volcanes activos y sus zonas de deposición afectables por flujos de lodo. • Sectores amenazados por deslizamientos o inundaciones a gran velocidad, con gran fuerza hidrodinámica y poder erosivo. • Sectores amenazados por otros peligros: maremoto, heladas, etc. • Suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colapsables en grandes proporciones. • Menor de 150 m. desde el lugar del peligro tecnológico 	4 76% a 100%

Fuente: Instituto Nacional de Defensa Civil, 2013

2.3.7 DESASTRE

Eventos o sucesos que ocurre, en la mayoría de los casos, en forma repentina e inesperada, causando sobre los elementos sometidos, alteraciones intensas, representadas en la pérdida de vida y efectos en la salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad (infraestructuras, viviendas) y daños severos sobre el medio ambiente en general. (CARDONA, 1993)

Los desastres pueden ser originados por fenómenos de carácter natural, provocados por el hombre o ser consecuencia de una falla de carácter técnico en sistemas de trabajo.

Algunos desastres de origen natural corresponden a amenazas que no pueden ser neutralizadas debido a que difícilmente su mecanismo de origen puede ser intervenido, aunque en algunos casos puede controlarse parcialmente. (CARDONA, 1993)

A. EFECTOS DE LOS DESASTRES:

Los efectos que puede causar un desastre son variables en el área de interés, como deslizamientos, bajas temperaturas, contaminación dependiendo de las características propias de los elementos expuestos y de la naturaleza el impacto puede causar diferentes tipos de alteraciones.

En general pueden considerarse como elementos en riesgo; la población, el medio ambiente y la estructura física representada por viviendas, la industria, el comercio y los servicios públicos. (OPS, 2000)

Los efectos pueden clasificarse en pérdidas directas e indirectas:

- **Las pérdidas directas**, están relacionadas con el daño físico, expresado en víctimas, en daños en la infraestructura de servicios públicos, en las edificaciones, el espacio urbano, la

industria, el comercio y el deterioro del medio ambiente, es decir, la alteración física del hábitat.

- **Las pérdidas indirectas**, generalmente pueden subdividirse en efectos sociales tales como la interrupción del transporte, de los servicios públicos, de los medios de información y la desfavorable imagen que puede tomar una región con respecto a otras; y en efectos económicos que representan la alteración del comercio y la industria como consecuencia de la baja en la producción, la desmotivación de la inversión y la generación de gastos de rehabilitación y reconstrucción.

2.3.8 RIESGO

Probabilidad de pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedad, actividad económica, o deterioro ambiental) resultado de interacciones entre la amenaza natural y condiciones de vulnerabilidad. (ONU-EIRD, 2009).

Es el Grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento en función del peligro y la vulnerabilidad.

A. RIESGO GEOLÓGICO

Definido como una circunstancia o situación de peligro, pérdida o daño social y económico, debida a una condición geológica o a una posibilidad de ocurrencia de proceso geológico inducido o no. (Augusto Filho, et al. 1990).

B. EVENTO GEOLÓGICO

Se refiere al acontecimiento, fenómeno o proceso geológico.

C. PREVISIÓN

Es la posibilidad de identificación de áreas de riesgo con la indicación de los lugares donde podrán producirse y condiciones para que ocurran eventos geológicos siendo necesario realizar un cartografiado de peligros y una zonificación.

D. PREVENCIÓN

Es la posibilidad de adoptar medidas preventivas, teniendo por finalidad inhibir la ocurrencia de procesos geológicos o reducir sus magnitudes o atenuar sus impactos actuando directamente sobre poblaciones, obras civiles o mineras.

Todo esto nos lleva al análisis de riesgo que nos posibilitará localizar, diagnosticar, jerarquizar y plasmar en planos las situaciones de riesgo.

2.3.9 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG O GIS)

El término S.I.G. (Sistema de Información Geográfica) o en su acepción anglosajona G.I.S. (Geographic Information System), es un método o técnica de tratamiento de la información geográfica que permite capturar, analizar, transformar y presentar información territorial; por ejemplo, cuando se tiene datos sobre

tipos de suelo, vegetación, caminos, datos climáticos, estos pueden ser incorporados a un SIG para luego ser utilizados en la confección de mapas o coberturas temáticas que permitan la visualización y análisis de forma integrada de los datos originales y no como entidades individuales (ver AYALA, F.J., 2003).

Las ventajas de la utilización de los SIG es que los datos son mantenidos en formato digital de forma que éstos están en una forma físicamente más compacta que la de los mapas de papel, tablas y otras formas convencionales. Para el presente trabajo se ha hecho uso del software ARC/INFO v. 3.5 para plataforma de Pc Windows 98 que es un Sistema de Información Geográfica (SIG) usado para digitalizar, manipular, analizar y exhibir datos gráficos en formato digital, está caracterizado para almacenar y manejar datos en forma vectorial con atributos inherentes a la cobertura; por ejemplo si tenemos un mapa con curvas de nivel, en la cobertura de topografía se le agrega el campo cota, y si a este campo le damos el valor 1000, esto nos permitirá visualizar todas las cotas 1000 que existen en el mapa.

A. USOS DE UN SIG A DIFERENTES ESCALAS

Según la OEA (1991) el SIG se puede utilizar de acuerdo al tipo de trabajo que se realiza a diferentes escalas:

- **Usos a Nivel Nacional**

Se utiliza para categorizar el terreno de acuerdo con las

amenazas naturales y determinar hasta qué punto estos fenómenos naturales imponen un peligro significativo.

1. Áreas que no presentan amenazas, aptas para actividades de desarrollo.
2. Áreas propensas a eventos naturales severos, en las cuales deben evitarse las actividades de desarrollo.
3. Áreas peligrosas ya desarrolladas que necesitan medidas para reducir la vulnerabilidad.
4. Áreas que requieren más evaluación sobre amenazas.

- **Usos a Nivel Regional**

Se utiliza cuando el estudio es más detallado de áreas específicas en lo que se refiere a su potencial de desarrollo y sus limitantes relacionadas con amenazas.

1. Evaluaciones sobre amenazas utilizando información obtenida con técnicas de sensoramiento remoto.
2. Mapas indicando los límites de zonas de influencia de peligros.
3. Suelos, topografía, usos de la tierra, recursos hidráulicos, infraestructuras civiles y mineras.

Con este tipo de información es posible hacer un análisis más profundo que relacione las amenazas naturales con las actividades de desarrollo ya existentes o planeadas.

- **Usos a Nivel Local**

Se usa el SIG a nivel local para formular proyectos en las etapas de prefactibilidad y factibilidad, y para ubicar los elementos vulnerables de las infraestructuras vitales que son los elementos más críticos de un área a fin de poner en práctica actividades de preparación y respuesta a emergencias. La presencia de una amenaza debería afectar la selección del lugar, el diseño de ingeniería y la factibilidad económica de los proyectos de inversión.

2.3.10 ZONIFICACIÓN GEOAMBIENTAL

Según Valenzuela, (2003) las zonificaciones territoriales se conciben como una clasificación temporal de un entorno físico finito, que responde a las siguientes preguntas:

¿Por qué zonificar?, debemos zonificar porque los desastres naturales conviven con el hombre y su medio ambiente.

¿Para qué zonificar?, se zonifica para el ordenamiento del uso del territorio, para riesgos naturales y aptitud para uso urbano.

¿Dónde debemos zonificar?, la magnitud y complejidad topográfica de nuestro territorio nos indica que existen áreas prioritarias donde debemos zonificar y deben ser las áreas donde exista población y obras de infraestructura.

¿Cómo zonificar?, esta interrogante es la que se tratará a

continuación, tomando los criterios necesarios para una correcta metodología de trabajo.

2.3.11 ORDENAMIENTO

El concepto de Ordenamiento parte por tener presente las siguientes preguntas:

¿Qué se ha de ordenar?, referido a los múltiples usos que se pueden asignar a ciertos elementos que se han de ordenar, los cuales vienen impuestos por las actividades que se han de desarrollar por el hombre (usos de suelo, uso residencial, industrial, turístico).

¿Para qué se ha de ordenar?, para mejorar el desarrollo económico, la calidad de vida, proteger el medio natural.

¿Cómo se ha de ordenar?, se debe considerar en ello los criterios de ordenación con los que se alcanzarán los objetivos y en ello se debe considerar las preocupaciones de la ordenación territorial, tales como el desarrollo económico, la calidad de vida, la preservación del medio ambiente.(Valenzuela, 2003)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 MATERIALES Y METODOS

3.1.1 MATERIALES

- Mapas base
- G.P.S. (Sistema Global de Posicionamiento)
- Registros de precipitación
- Software y hardware necesarios para el Arc gis 32
- Material de escritorio.

3.1.2 METODO

Para este efecto, se adopta el método propuesto por la ONU (Ayala, 1993). La aplicación de este método consiste en la agregación cartográfica manual de los tres factores de riesgo: peligrosidad, vulnerabilidad y exposición.

La peligrosidad es analizada y evaluada mediante el levantamiento geomorfológico detallado del área, a través de fotointerpretación y levantamiento en terreno de los aspectos morfométricos y morfológicos. La determinación de umbrales de intensidad de lluvia, en la ocurrencia de peligros en que este factor actúa como detonante,

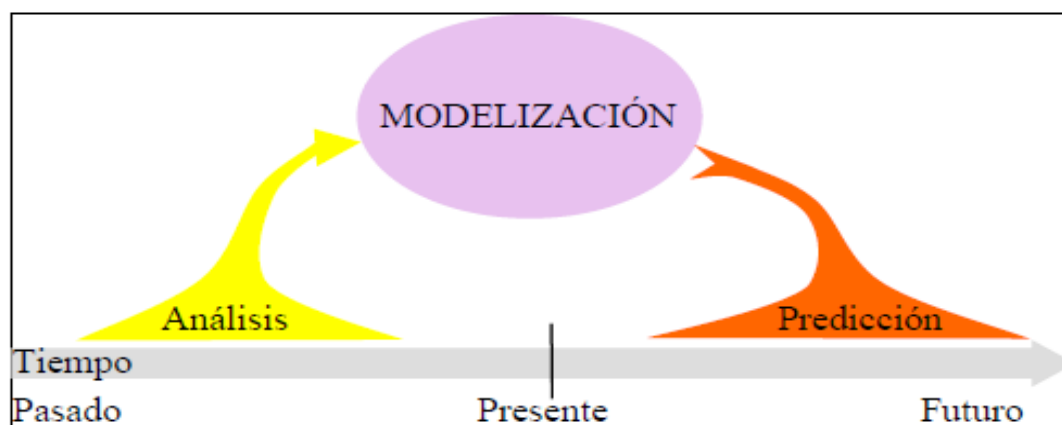
se logra mediante la revisión de información, sobre desastres naturales en el sector y al análisis durante el mismo período, de los datos meteorológicos de la Estación Meteorológica de Puno.

La jerarquización de los diferentes peligros naturales o amenazas, se obtiene aplicando una matriz de evaluación de los factores genéticos asociados a cada tipo; procediéndose finalmente a una agregación cartográfica de éstos mediante el SIG. Los factores de riesgo investigados son: litología, topografía y geomorfología, pendientes, aspectos hídricos, condiciones climáticas (intensidad de la lluvia) y alteraciones antrópicas de los sistemas naturales (obstrucciones). Finalmente, los riesgos se jerarquizan como muy alto, alto, medio y bajo, se zonificaran en un mapa a escala 1:30 000.

La metodología que se describe a continuación se basa en el principio del uniformismo desarrollada por Charles Lyell, que considera el presente como la clave del pasado (aquí el pasado es la clave del presente y del futuro). Esto es, el análisis de los sucesos ocurridos en el pasado para, mediante su modelización, realizar predicciones acerca de su comportamiento futuro. A partir de la identificación de un proceso, en este caso los movimientos de ladera, y en función de un determinado modelo de rotura y su relación con una serie de factores condicionantes, se identifican dónde se puede producir un proceso de similares características. Vera J (1994)

Por otro lado, el análisis de los daños producidos en el pasado por el tipo de movimiento considerado, permite determinar qué elementos han sufrido daños, su valor y cuáles han sido esos daños.

FIGURA 7
DIAGRAMA METODOLÓGICO DEL PROCESO DE MODELIZACIÓN DE DESLIZAMIENTOS.



Fuente: Bonachea P. (2006)

3.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología que se ha seguido en esta investigación para la consecución de los objetivos planteados, presenta el esquema habitual. Se lleva a cabo una primera etapa de recopilación de información y de elección de las herramientas y técnicas de análisis. Posteriormente se generan y analizan los datos. El paso siguiente es la obtención de resultados, los cuales han de ser verificados y validados antes de extraer las conclusiones.

El desarrollo del estudio ha seguido el esquema metodológico, siguiendo las siguientes etapas.

- a. Elección de un área de estudio:** el área de estudio es concreta, siendo la ubicación política la siguiente: Ciudad, Distrito, Provincia, Región: Puno (ver mapa 01)

La ubicación geo referenciada en coordenadas UTM es:

CUADRO 5
COORDENADAS DE AREA DE INVESTIGACION

PUNTO	NORTE	ESTE
1	N 8250600	E 387900
2	N 8250600	E 396100
3	N 8243800	E 387900
4	N 8243 800	E 396100

Fuente: Elaboración Propia

- b. Toma y preparación de datos:** en una primera fase se completa el cartografiado de las condiciones geo ambientales.

La metodología ha consistido en la correlación y comparación de los diversos eventos geológicos en el tiempo, observando a nivel zonal los procesos geodinámicos y realizando un análisis comparativo; luego se cartografía y define los peligros naturales, para proporcionar una base a la prevención de los desastres naturales. En la etapa de gabinete, se formó un banco de datos bibliográficos y materiales cartográficos, donde se señala las posibles zonas afectadas por los fenómenos naturales. Posteriormente, se hizo el trabajo de campo para cartografiar y estudiar los puntos o lugares con características geológicas definidas y afectadas

por la ocurrencia de los fenómenos naturales; la información obtenida en el campo se procesó para preparar los mapas temáticos de peligros naturales.

- c. Elaboración de mapas:** Su aplicación contempla la digitalización e ingreso a un SIG (Arc Gis 9.2) de los mapas de peligrosidad, Posteriormente es ponderados los factores de peligro, de acuerdo a matriz de evaluación. Finalmente, mediante agregación cartográfica de los factores de peligros con Arc Gis 9.2 se obtiene un mapa de síntesis a escala 1:30.000, con la zonificación y evaluación integral de los peligros de inundación, sismo y procesos de remoción en masa.
- d. Análisis de resultados:** finalmente, se discuten los resultados obtenidos y se comentan las principales conclusiones de este trabajo. Utilizando matrices ambientales adaptadas para la identificación y evaluación del peligro.

CUADRO 6
MATRICES DE FACTORES DE EVALUACIÓN

FACTOR	CALIDAD	RANGO	VALORACION
LITOLOGIA	Muy Bueno	4	Roca sana, Coherente
	Bueno	3	Roca sana, Coherente
	Moderado	2	Roca Facturada, semicoherente
	Baja	1	Roca alterada, roca incoherente
PENDIENTE	Bajo	1	Menor a 5°
	Moderado	2	5° - 15°
	Alto	3	15° - 30°
	Muy Alto	4	Mayor a 30°
CLIMA	Alto	3	Mayor a 650mm/ anual
	Medio	2	400 a 650 mm/añual
	Bajo	1	Menor a 400 mm/añual
COBERTURA	Muy Bueno	4	Cobertura >75 %
	Bueno	3	Cobertura 50 - 75 %
	Moderada	2	Cobertura 25 - 50 %
	Baja	1	Cobertura <25 %

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO 7
RANGO DE PELIGRO

NOMENCLATURA	PELIGRO	RANGO
PMA	Muy alto	4
PA	Alto	3
PM	Medio	2
PB	Bajo	1

Fuente: Varnes Davis (1994)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTALES DE LA CIUDAD DE PUNO

Las características geo ambientales comprenden la Geología, geomorfología, Clima y la cobertura de suelos, que se describen a continuación:

4.1.1 GEOLOGÍA

El levantamiento geológico del área se realizó con un recorrido por zonas previamente escogidas de los análisis de las imágenes satelitales, una vez iniciada la campaña de campo se realizaron los respectivos ajustes para cubrir la zona completamente.

Se observaron afloramientos en tramos de cortes de carretera, en particular a lo largo de la carretera Panamericana, entrada de Juliaca, y parte de la salida a Desaguadero y hacia el Este parte de Huerta Huaraya, hacia el oeste del área (zona de Cancharani) se observan afloramientos naturales producto de la remoción de material debido a procesos de geodinámica superficial.

Las formaciones encontradas en el área de estudio y su litología se describen a continuación (ver mapa 02):

4.1.1.1 ROCAS SEDIMENTARIAS

- **Formación Muni (JsKi - Mu)**

Esta unidad litológica está compuesta por lutitas marrón rojizo, en estratos delgados blandos e intercalados con estratos de areniscas arcillosas, limosas amarillentas y margas que gradan a calizas arcillosas marrones.

Forman bloques fallados, con rumbos N-S y O-E y buzamientos de capas de moderado a casi verticales; lo que favorece la erosión diferencial, dando lugar a micro depresiones estructurales y monoclinales alternadas. (INGEMMET, 1993)

La composición litológica blanda, donde el intemperismo es profundo, da lugar a suelos arcillosos plásticos; que condicionan cierta inestabilidad que se incrementa en las áreas de alta pendiente, como en la zona de Huerta Huaraya, en pequeños afloramientos en Alto Huáscar y 2 de Mayo. La expansión urbana sobre estas áreas ha incrementado la inestabilidad superficial, dando lugar a zonas de riesgo, sobre todo durante las épocas de lluvias; donde podría ocurrir remoción de masas.

Infrayace a la Formación Huancané, presentando un contacto bien definido. Se le atribuye la edad de Cretáceo Inferior, subrayase a la Formación Muni.

- **Formación Huancane (Ks-h)**

Está constituida de areniscas cuarzosas de grano medio, de textura sacaroidea, intercaladas con estratos de areniscas feldespáticas y presentando en el techo conglomerados con clastos de roca caliza y marga en matriz de arenisca y lodolita roja. (INGEMMET, 1993)

Aflora formando la cadena de cerros Llallahuaní - Vacuchune - Huacaparque con una estructura transversal a la topografía con rumbo N - S y buzamientos altos a verticales; está disposición estructural y la dureza de los estratos forma farallones estructurales resistentes, casi sin cobertura de suelos; presentan un fracturamiento y diaclasamientos medio a fino por intemperismo.

En las partes bajas de pie de monte, da lugar a acumulación de escombros pedregosos angulosos, materiales arenosos y arcillosos, con suelos profundos e inestables.

FIGURA 8
FORMACIÓN DE HUANCANÉ Y AYABACAS
CHULLUNI, HUAJE



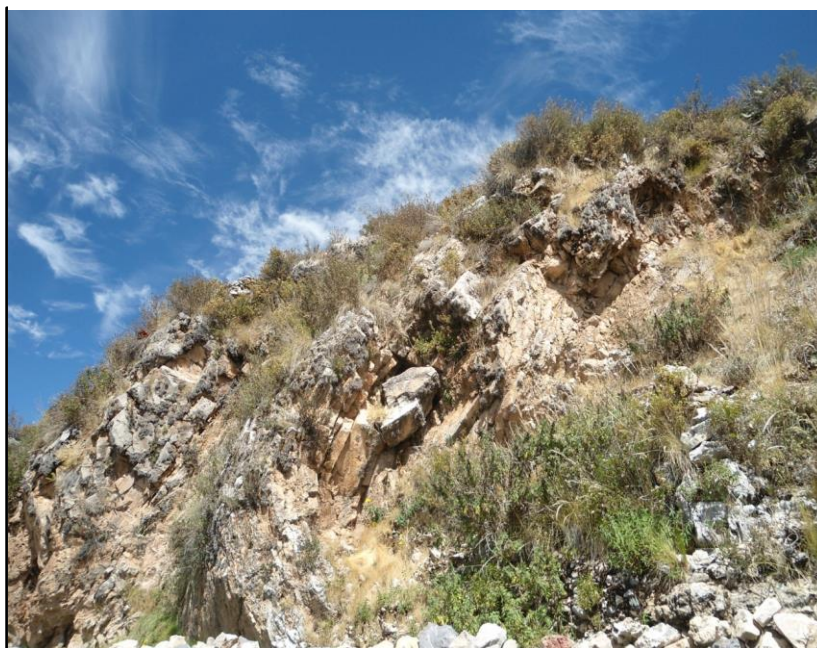
Fuente: Autor

- **Formación Ayabacas (Kis-ay)**

Son rocas sedimentarias de origen marino, formadas por acumulación de sedimentos durante una transgresión marina en el Cretáceo Medio a Superior. Litológicamente esta formación consiste de calizas grises claras, dolomías, margas y lutitas limolíticas, con presencia de fósiles e intercalaciones en niveles con chert. Esta formación fue afectada por el Tectonismo Andino, por lo que estas se presentan distribuidas a manera de holistostromos (Mega brechas), y en algunos casos se pueden observar pliegues, como en el afloramiento de la parte sur del área de estudio (Mina Pomperia). Se le atribuye la edad de Cretáceo Inferior-Superior. (INGEMMET, 1993)

Se encuentra en Cerro Llallahuani, en la zona manto

FIGURA 9
CALIZA DE LA ZONA DE LAS TORRES (LOS ANDES)



Fuente: Autor

- **Formación Vilquechico (Ks-vi)**

La formación fue definida y mapeada por NEWELL (1945, 1949), los afloramientos están confinados en la Cuenca Putina en los cuadrángulos de Huancané y Moho, se les encuentra en el Sinclinal de Vilquechico o más al norte en pequeños periclinales parados que forman anticlinorios y sinclinorios anchos.

Está conformado por limolitas y fangolitas abigarradas con capas subordinadas de areniscas cuarzosas de grano fino a grueso.

- **Formación Muñani (Ks-mñ)**

Esta Unidad litológica está constituida por areniscas cuarzosas de grano medio a muy grueso microconglomeradico de color rosáceo, marrón y violáceo. Se presenta en estratos gruesos duros y muy resistentes a la erosión. Se observa un desarrollo irregular de cuarzo secundario como cementado que da lugar a rasgos escarpados; en algunos lugares se halla completamente recristalizada a una cuarcita azulina. (INGEMMET, 1993)

En los cerros Putina al sur de la ciudad, la formación aflora en la zona intermedia del flanco Norte con estructuras casi verticales entre el volcánico y las areniscas marrones. Esta unidad litológica por su composición cuarzosa, alta dureza, homogeneidad de estratos potentes y su estructura vertical, ofrece mucha resistencia al desgaste erosivo lo que a su vez da origen a quebradas empinadas,

separadas por interfluvios rocosos muy agrestes, sin suelos y de pendientes hasta verticales.

- **Grupo Puno (Pa - pu)**

El Grupo Puno puede incluir dos o más unidades de distinta edad, pero solamente ha sido posible realizar una subdivisión informal durante el presente estudio.

La formación consiste de areniscas y conglomerados comunes, limolitas subordinadas, calizas y horizontes de tufos. (INGEMMET, 1993)

FIGURA 10
GRUPO PUNO ZONA DE JALLIHUAYA



Fuente: Autor

En Jayllihuaya aflora típicamente con estratos de rumbo E-O y buzamientos hasta verticales concordantes con las areniscas Muñani. En la Zona baja de los cerros Huayllani y Negro Peque, sobre el cual se ha extendido el urbanismo de la ciudad de Puno,

aflora con rumbos verticales E-O y buzamientos bajos, que favorecen el modelado de baja pendiente.

4.1.1.2 ROCAS ÍGNEAS

- **Granodiorita (Kt-gd).**

Es una formación ígnea intrusiva del cretáceo y Terciario; constituyen el nivel de base local de la bahía y conforman el islote de la isla del Diablo, el islote Chulluni y parte de la isla Esteves, donde afloran principalmente como promontorios rocosos duros y estables.

Está compuesta de cuarzo, feldspatos y ferro magnesianos, de color rosáceo a gris; con avanzado proceso de caolinización en determinadas partes y en otras es fresca y conservada; el intemperismo típico promontorio y de bloques desprendidos redondeados. (INGEMMET, 1993)

- **Andesitas (N-DM/AN)**

Se encuentra formado por un domo en la parte alta del cerro de Negro Peque, formado principalmente promontorios rocosos duros y estables.

4.1.1.3 ROCAS VOLCANICAS

- **Volcánico Tacaza (PN - ta)**

Son acumulaciones de rocas volcánicas, constituidas litológicamente de lavas andesíticas porfiríticas con cristales de plagioclasas y

brechas volcánicas de matriz de lava verdosa a amarillenta.
(INGEMMET, 1993)

El volcánico tacaza aflora en la mayor parte de la ciudad está en la zona de SW – NW. Su composición es variada, con cuerpos andesíticos, dacíticos, riolíticos y basálticos; de diversos colores (grises, verdes, marrones, negros y rojizos); con estructuras masivas. brechosas y fanglomerádicas, con alteración profunda por su blandura, que ha dado lugar a laderas suaves convexas, en los cuerpos cónicos, con suelos superficiales medios y profundos; así como, afloramientos líticos. (INGEMMET, 1993)

Los cerros constituyen los cuerpos volcánicos de efusión, a partir de las cuales se extendieron los derrames volcánicos tufáceos y brechosos, como se encuentran en la localidad de Pirhuapirhuani y alrededores, sur occidental del área de estudio.

Los cuerpos cónicos (Cancharani), están mineralizados en forma generalizada con vetas de cobre, plata, plomo y oro; los que han sido explotados anteriormente. En este caso la composición mineralógica constituye un núcleo de contaminación natural inducida (minería) de suelos y cuerpos de agua.

FIGURA 11
GRUPO TACAZA CERRO CANCHARANI

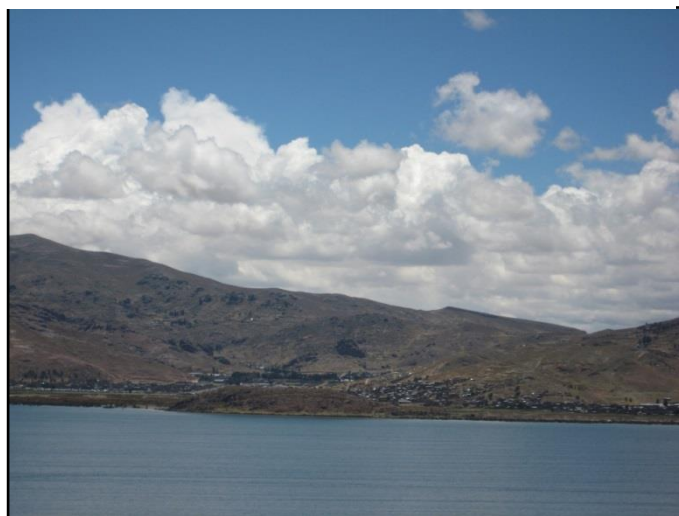


Fuente: Autor

- **Grupo Barroso (PQ-um/ab)**

Conjunto de rocas volcánicas constituido por derrames volcánicos y piroclásticos de naturaleza andesítica, traquítica a traquiandesítica. El Grupo Barroso para el área está representado el Vulcanismo Vilcarani. (INGEMMET, 1993)

FIGURA 12
EN LA ZONA GRUPO BARROSO



Fuente: Autor

4.1.1.4 DEPÓSITOS RECIENTES

• Depósitos Aluviales Antiguos (Qh-a11)

Constituidos por materiales transportados en grandes masas compuesto por clastos redondeados y subredondeados con intercalaciones de arena, limo y arcillas.

• Depósitos Aluviales Recientes (Qh-a12)

Constituidos por materiales compuestos por arenas y limoarcillitas semiconsolidados.

CUADRO 8
COLUMNA LITOESTRATIGRAFICA LOCAL

ERA TEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	LITOLOGIA	DESCRIPCION		
CENOZOICO	Cuaternario	Holoceno	D. Fluvio – Aluvial	Qh – C	Conjunto heterogéneo de fragmentos angulosos y sub angulosos englobados en una matriz arenosa – limosa (Qh-a11 y Qh-a12)		
		Pleistocena	Gpo. Volcanico Barro	NQ-um/ab	Derrames andesíticos, piroclastos y brechas volcánicas		
	Neógeno	Mioceno	Sup.	Volc. Tacaza	PN – ta/in	Está constituido por sedimentos vulcano-clásticos y por derrames andesíticos dacitas	
			Med.				
			Inf.				
	Paleógeno	Oligoceno Eoceno Paleoceno	Gpo. Puno		P - pu	Conglomerados y areniscas de grano grueso, limolitas, lutitas y delgados niveles tobáceos.	
MESOZOICO			Cretáceo	Superior	Fm. Muñani	Ks-mñ	Areniscas cuarzosas
					Fm. Vilquechico	Ks- vi	Limos arcillitas
	Fm. Ayabacas	Kis - ay		Calizas y dolomitas grisáceos			
	Inferior	Fm. Huancané		Ki - hn	Areniscas Cuarzosas feldesnáticas		
		Fm. Muni		JsKi - mu	Lutitas, Limo arcillas rojizas.		

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2 GEOMORFOLOGIA

Las unidades geomorfológicas se describen de acuerdo a la observación en el campo y la interpretación de imagen satelital, en el mapa geomorfológico se observa dichas unidades geomorfológicas.(ver mapa 03).

4.1.2.1 SISTEMA MONTAÑOSO (S-mo)

Son las cadenas de montañas con elevaciones desde 4100 a 4250 msnm, con una morfología de pendientes y elevaciones medianamente abruptas, dentro de este sistema se encuentra los espolones y taludes de montaña.

Se observa en las partes altas de la ciudad de Puno como en las partes de Salcedo, Jayllihuaya y Azoguine.

4.1.2.2 ALTIPLANICIE ONDULADA (Ap-on).

Son superficies más o menos llanas de pendiente mayoritaria 0 a 15 % de pendiente, con algunos accidentes topográficos frecuentes que llegan hasta 25%. Esta fisiografía se halla principalmente en la zona alto andina sobre 3 800 de altitud y deben su conformación a los remanentes topográficos de la superficie de erosión “puna”. Presentan una cobertura de depósitos coluviales y aluviales, que cubren las rocas del substrato.

Esta característica se observa al Nor Oeste de la ciudad de Puno.

4.1.2.3 SUPERFICIE DE COLINAS Y LADERAS (S-co/la).

Esta superficie corresponde zonas de topografía poco accidentada que han sido formadas por control estructural-tectónico en el proceso de desgaste. Modelado suave ha escarpado y formaciones blandas con erosión regresiva.

Estas unidades se observa por debajo de las montañas antes ya descritas desde San José hasta Jayllihuaya de la ciudad de Puno.

4.1.2.4 DEPÓSITO DE PIE DE MONTE (D-pmo).

Son depósitos acumulados al pie de montañas o colinas en forma de masas escalonadas, Se emplazan en los flancos de las montañas, presentan pendientes variadas y cubiertas por material coluvial de relativa estabilidad. Es en ésta zona donde se aprecia con mayor énfasis la erosión laminar, estos han sido aprovechados para la ubicación de la ciudad de Puno. Se observa alrededor de la bahía del lago.

4.1.2.5 DEPÓSITO LACUSTRE (D-la).

Son materiales transportados desde las partes altas y depositadas en el interior de la bahía del lago, están formadas

por material consolidado por clastos, arenas, gravas, y arcillas.

Se observa en todo alrededor de la bahía del lago Titicaca.

4.1.2.6 DEPÓSITO BOFEDAL (D-bo).

Se caracteriza por ser una zona con vegetación intensa, compuesta por material hidromorfo, fango-arcilloso con materia orgánica vegetal en proceso de turberización, en medio acuoso mal conservado. Se observa a los extremos de la bahía de Puno.

4.1.3 HIDROLOGÍA

El Estudio Hidrológico está orientado a determinar el régimen pluvial y las características físicas e hidrológicas de las cuencas que inciden sobre la ciudad de Puno y cuantificar, de acuerdo a criterios técnicos y a las observaciones de campo realizadas. (SENAMHI, 2013).

CUADRO 9
PRECIPITACIONES PLUVIALES POR MESES
DESDE 1964 AL 2013

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)					
ESTACION	: PUNO	LATITUD -S	: 15° 49' 34.5"	DPTO.	: PUNO
N°	: 120708	LONGITUD-W	: 70° 00' 43.5"	PROV.	: PUNO
TIPO	: CP	ALTITUD	: 3820 msnm.	DIST.	: PUNO

Ano	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total Anual
1964	142.50	95.00	112.90	54.10	11.80	0.00	0.00	6.60	22.20	7.80	50.20	47.80	550.9
1965	120.50	174.80	62.00	30.10	0.80	0.00	0.60	7.10	32.20	14.00	47.00	174.20	663.3
1966	32.50	79.90	145.00	13.00	40.30	0.00	0.50	0.00	1.00	42.90	61.00	27.80	443.9
1967	75.40	108.30	223.20	12.80	12.90	0.00	16.90	27.80	63.50	43.70	4.00	121.50	710
1968	120.70	117.40	111.40	62.70	10.40	12.30	3.70	2.80	15.50	59.40	59.10	50.00	625.4
1969	164.50	98.60	68.40	33.70	0.00	0.20	3.20	0.90	4.50	25.70	52.60	51.50	503.8
1970	142.40	55.50	189.50	32.00	7.50	0.00	0.00	0.90	10.40	18.00	14.60	97.20	568
1971	101.00	268.20	28.40	25.20	0.00	2.90	0.00	9.10	1.20	19.50	93.50	103.60	652.6
1972	210.80	130.90	164.00	37.20	6.60	0.00	0.00	0.00	37.30	32.60	46.10	132.60	798.1
1973	238.20	131.70	159.10	97.60	13.30	0.00	1.80	6.10	32.50	16.40	29.80	70.80	797.3
1974	253.00	206.80	54.90	57.60	0.20	2.50	0.20	51.20	36.50	12.50	27.30	48.10	750.8
1975	157.00	177.60	158.60	37.50	43.70	0.70	0.10	14.50	48.70	53.30	24.70	235.20	951.6
1976	200.20	149.50	169.20	25.60	9.90	0.40	1.40	16.90	44.40	9.10	11.60	119.80	758
1977	49.10	206.10	209.80	5.80	8.80	0.00	2.30	0.00	48.10	53.90	49.70	108.80	742.4
1978	224.50	95.30	136.30	28.30	0.40	0.00	3.20	0.40	17.50	24.90	142.20	155.00	828
1979	131.20	35.20	143.10	44.10	1.40	0.00	0.90	1.80	8.50	45.50	31.70	83.90	527.3
1980	60.80	57.30	258.40	18.50	1.30	0.10	4.90	13.50	66.10	72.80	25.80	34.90	614.4
1981	-1.00	207.30	111.30	71.90	4.70	0.00	0.00	37.80	21.10	25.60	49.00	129.00	656.7
1982	232.10	83.50	99.70	75.00	2.60	5.20	1.90	0.00	52.90	114.40	103.00	24.50	794.8
1983	20.70	70.40	57.60	55.50	14.20	2.30	1.50	4.80	46.40	26.70	29.80	104.20	434.1
1984	318.90	330.10	223.00	44.40	18.30	4.20	3.70	25.50	0.00	157.50	68.80	96.20	1290.6
1985	130.00	337.60	123.30	90.70	24.90	27.30	0.00	8.20	40.10	32.70	123.50	134.20	1072.5
1986	145.10	251.10	221.20	105.80	0.10	0.00	5.20	12.00	42.00	4.20	9.20	131.50	927.4
1987	224.30	71.50	73.80	44.20	1.70	3.80	12.50	0.00	4.30	58.40	110.80	25.40	630.7
1988	213.20	73.50	228.90	72.90	23.30	0.00	0.30	0.00	20.50	70.50	45.50	99.10	847.7
1989	203.80	129.90	137.10	100.90	0.00	0.40	1.70	14.70	17.60	14.20	21.40	42.90	684.6
1990	167.20	22.40	59.90	43.00	12.10	54.70	0.00	11.80	10.10	107.90	94.50	63.20	646.8
1991	124.10	67.70	185.80	46.20	6.80	33.60	0.00	3.00	14.70	20.40	44.20	50.30	596.8
1992	66.00	89.70	15.70	38.80	0.00	0.50	2.30	42.20	0.00	34.40	29.40	55.10	374.1
1993	175.60	100.70	107.00	52.50	6.60	1.10	0.00	37.90	18.00	69.10	79.20	111.50	759.2
1994	180.00	183.10	113.30	116.20	29.90	0.40	0.00	0.00	18.30	36.60	52.60	73.20	803.6
1995	122.70	119.70	124.00	2.10	4.10	0.00	0.00	3.00	21.90	15.30	50.30	80.20	543.3
1996	252.70	130.50	60.80	76.30	0.00	0.00	2.90	12.80	0.80	10.40	88.30	118.00	753.5
1997	239.60	213.20	98.60	88.60	0.90	0.00	0.00	21.90	108.20	30.10	62.90	44.90	908.9
1998	196.40	115.50	135.30	25.40	0.00	4.90	0.00	4.30	4.50	26.90	43.90	58.00	615.1
1999	156.50	112.30	116.20	56.40	0.00	1.60	0.00	1.20	0.90	32.20	64.70	68.70	610.7
2000	143.40	124.40	96.70	32.20	0.00	0.00	2.00	1.40	16.30	56.80	78.00	84.50	635.7
2001	248.70	214.60	224.10	69.80	12.20	2.20	0.00	12.50	27.10	68.40	56.20	81.00	1016.8
2002	129.60	180.00	170.60	105.30	15.40	21.10	22.70	30.60	11.60	65.90	43.80	112.20	908.8
2003	174.50	114.40	113.40	46.10	36.70	4.80	0.20	9.60	42.90	25.40	14.30	131.80	714.1
2004	208.90	125.20	115.50	29.20	6.20	0.00	10.20	43.00	34.30	5.60	41.20	59.10	678.4
2005	103.30	157.90	134.60	45.70	0.40	0.00	0.00	0.00	11.80	39.50	80.50	100.80	674.5
2006	291.10	64.30	159.60	44.60	0.90	0.00	0.00	0.60	21.20	37.40	53.80	101.50	775
2007	107.20	89.10	107.90	50.60	7.60	1.10	34.10	0.00	47.50	29.50	67.90	97.80	640.3
2008	168.10	64.30	83.90	5.80	5.90	4.90	3.30	3.40	7.50	26.60	31.40	159.70	564.8
2009	66.40	95.80	85.40	20.60	1.30	0.00	13.80	2.90	20.80	30.80	104.70	137.20	579.7
2010	169.50	190.90	29.00	17.40	17.70	0.00	2.10	14.00	14.60	75.30	3.10	128.70	662.3
2011	59.30	155.80	59.90	1.70	2.30	0.00	7.90	0.10	19.10	25.00	25.70	159.10	515.9
2012	135.40	135.90	126.10	130.40	0.20	0.00	5.60	5.40	5.30	7.50	69.50	157.80	779.1
2013	153.00	175.80	100.00	14.30	22.40	12.50	1.50	4.50	11.60	32.90	61.40	117.40	707.3
MEDIA	148.97	130.95	121.57	46.91	8.93	4.04	3.42	10.48	24.10	37.50	50.57	92.92	680.384
DES - EST	77.07	74.08	62.67	32.76	11.05	10.06	6.51	13.30	21.55	30.89	32.77	48.11	420.823
MAX	318.90	337.60	258.40	130.40	43.70	54.70	34.10	51.20	108.20	157.50	142.20	235.20	1872.1

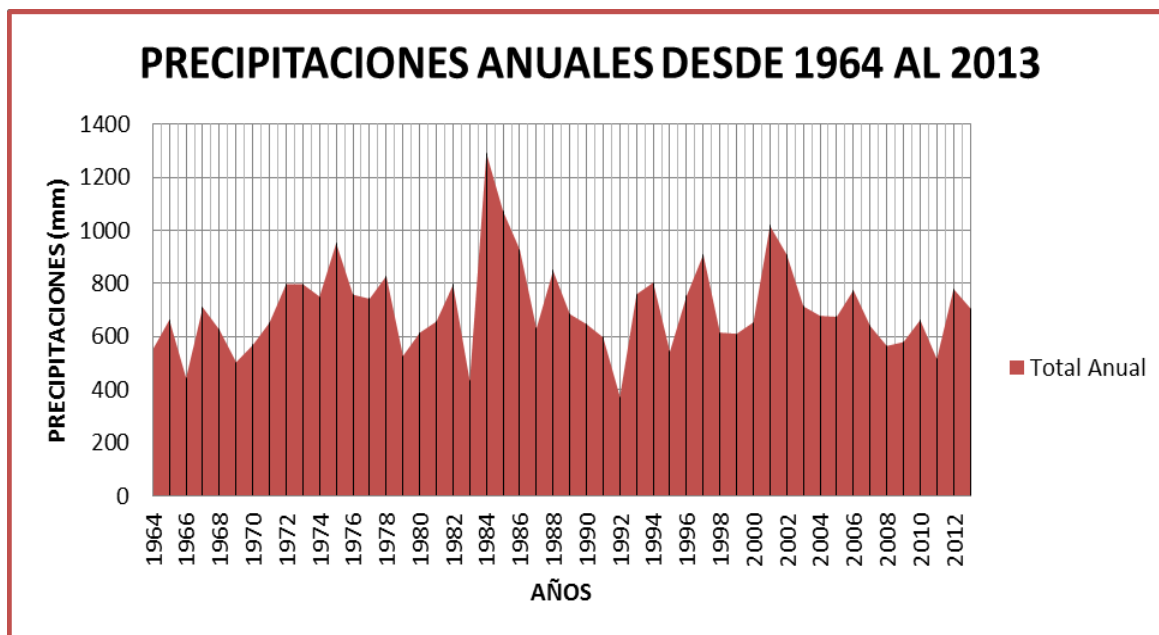
Fuente: SENAMHI, 2013

4.1.3.1 PRECIPITACIONES PLUVIALES

El comportamiento de las precipitaciones pluviales de la estación meteorológica principal de Puno (CP-100110) tiene una asociación inversa con la temperatura mínima absoluta en las cinco décadas durante los meses enero y agosto, es decir, a medida que incrementa la temperatura mínima absoluta disminuye la precipitación pluvial. Mientras que en los otros meses el grado de asociación es directa. Asimismo, las expectativas para el clima futuro durante el ciclo de los cultivos son de menos lluvia, temperaturas más altas, especialmente las mínimas, y oscilaciones térmicas diarias más bajas, con variaciones según el sitio.

Sabiendo que el año de 1984 hubo mayor cantidad de precipitación dentro de estas cinco décadas la cual causo inundaciones y la de menor fue en el año de 1992 ocasionando sequias, los demás años de precipitación están en el promedio medio

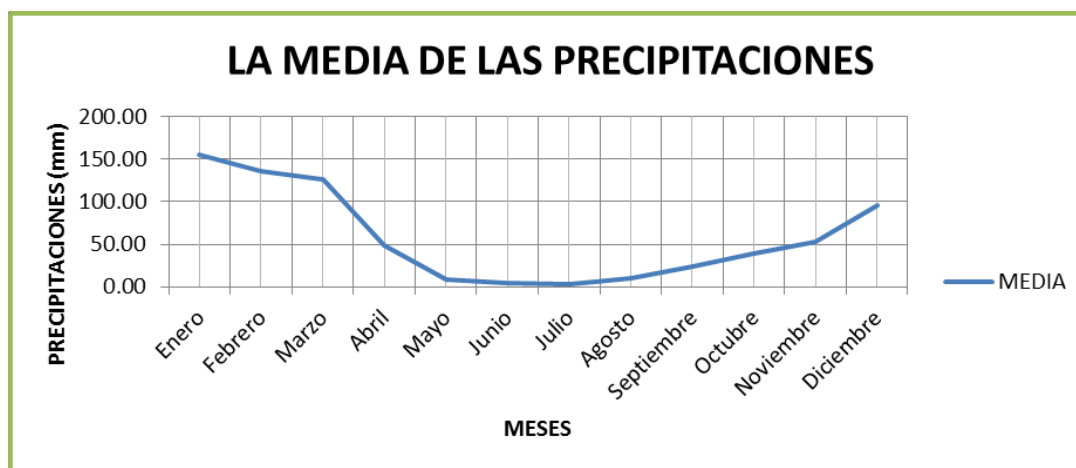
FIGURA 13
COMPORTAMIENTO DE LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES 1964-2013



Fuente: Elaboracion propia

La media de las precipitaciones indican que los meses de mayor cantidad de precipitaciones son ya los conocidos enero, febrero y marzo y un descenso de ahí hasta los meses de setiembre y en aumento hasta diciembre y la media de estas cinco décadas de estudio es de 705.792 mm de agua. Según la estación meteorología de Puno

FIGURA 14
LA MEDIA DE LAS PRECIPITACIONES



Fuente: Elaboracion propia

En el grafico observamos la variación que tiene a sufrir las precipitaciones y las anomalías producto de los 600 datos obtenidos, viendo que tiene una tendencia a precipitar en los meses de junio julio y agosto como anomalías gracias a la baja de las temperaturas.

FIGURA 15
DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS PRECIPITACIONES



Fuente: Elaboracion propia

4.1.3.2 DESCENSO DE LOS NIVELES DEL LAGO TITICACA

Se ha analizado la serie histórica de los niveles del Lago Titicaca del 2914 al 2010 y comparado con sus respectivas normales mensual y anual, habiendo encontrado que la normal mensual para el mes de diciembre del 2010 es de 3809.100 metros sobre el nivel del mar (msnm) y el nivel promedio reportado para este mes fue de 3808.471 con una anomalía negativa de -0.63 metros; por otro lado la normal anual es de 3809.423 msnm y

respecto a lo reportado para este mes de 3808.471 tiene una anomalía negativa de -0.950 metros.

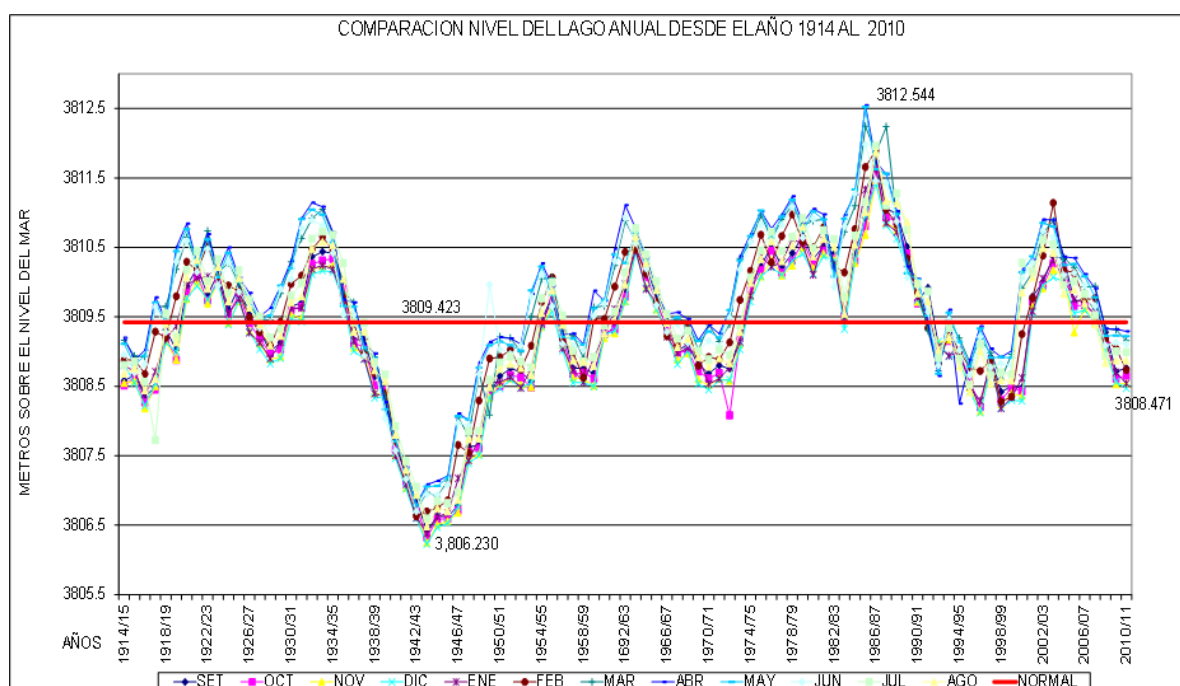
Nuestra área de estudio se encuentra cercana al Lago Titicaca, por esta razón se hace necesario un estudio de los niveles históricos del Lago Titicaca.

CUADRO 10

NIVEL MINIMO Y MAXIMO DEL LAGO TITICACA

AÑO	NIVEL MINIMO	NIVEL MAXIMO
1943	3806.23	3806.71
1986	3811.28	3812.54

FIGURA 16



Fuente: SENAMHI,2013

En la tabla se muestra el descenso y la crecida del lago Titicaca debido a las precipitaciones que tuvieron cada año con respecto

a la anualidad de cada año y los desastres y el tipo de peligro que tuvo. El promedio es de 3809.423 msnm.

4.1.4 COBERTURA Y USOS DEL SUELO

Comprende la vegetación que ocupa un espacio determinado dentro de un ecosistema, cumple funciones de gran importancia como la captación y almacenamiento de energía, refugio de la fauna, agente anti erosivo del suelo, medio regulador del clima local, atenuador y reductor de la contaminación atmosférica y del ruido, fuente de materia prima y bienestar para el hombre.

Se han identificado uso del suelo, (ver Mapa 04), que son:

A. Cultivos de secano:

Los cultivos que se dan en esta época de secano incluyen terrenos donde los pobladores de las zonas marginales del área en estudio utilizan para sus faenas agrícolas, no existe sistemas de riego y todo se hace por las precipitaciones pluviales que ocurren en el área; sin embargo, no todo es suelo, también existen áreas con afloramientos rocosos alterados por el clima. Esto se ha podido ver mediante comprobaciones de campo.

Se refiere a diferentes tipos de cultivos de pan llevar y otras coberturas en donde predomina la papa, con una producción que escasamente permiten para la subsistencia. Ocupa en las partes

medias de los cerros Cancharani, Cuesta blanca, zona de Salcedo y Jallihuaya.

B. Suelo Desnudo Permanente

Son aquellos terrenos donde el suelo se encuentra desprovisto de vegetación o existe escasos arbustos, mayormente se observa colinas donde la actividad de los procesos erosivos es mínima debido a que se presentan rocas volcánicas y sedimentarias. Se tienen en las partes altas de los cerros Canchraani, Azoguine, Jallihuaya, Salcedo entre otros

Corresponde a afloramientos rocosos, que se encuentran en la parte alta de la ciudad, en las Cancharani, Salcedo Jallihuaya, Azoguini, Huaje entre otros. Estas rocas son compuestas principalmente por sedimentarias y volcánicas, pertenecientes a las formaciones geológicas del Grupo Puno, Formación Ayabacas, formación Huancané, volcánicos Tacaza. Los afloramientos rocosos se observan en laderas con formas quebradas irregulares, pendientes complejas.

C. Zona urbana

En la zona urbana, la búsqueda de terrenos es cada vez mayor, hoy en día éste problema ha alcanzado su importancia en la ciudad de Puno, debido a que existen zonas marginales donde se ubican viviendas en terrenos coluviales, constituidos por limo arcillitas con intercalaciones de materiales volcánicos y sedimentarios de calizas.

Corresponde al sector urbanizado de la ciudad de Puno, como de los barrios marginales y centros poblados, como Yanamayo, Salcedo y Jallihuaya.

La zona marginal se está poblando, debido a que no existen zonas de expansión urbana donde construir y ocupan terrenos donde existen evidencias pasadas de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa.

D. Suelo degradado

En la zona sur se encuentra la Cantera de Chejoña donde se explota materiales no metálicos, consistiendo en depósitos de material de agregados para rellenos y otros usos.

Este tipo de cobertura se relaciona con aquellos suelos que han experimentado procesos de degradación y/o deterioro, bien sea de origen natural o antrópico que en conjunto conforman las denominadas tierras eriales. Las tierras eriales se encuentran asociadas a los afloramientos rocosos con fines de extracción minera, al suelo erosionado y desnudo con fines de recuperación y protección.

En Puno, la influencia de las actividades humanas, han ocasionado incremento de los procesos naturales de erosión y modelado del terreno, en especial en la zona media y baja del sector montañoso; por lo que se presentan taludes inestables, procesos de remoción en masa y suelo con alto desgaste por la erosión; aspectos que afectan

la seguridad de los habitantes de estas áreas. Los problemas de deslizamientos se identifican en la mayor parte del sector montañoso, y son muy representativos en la zona de Cuesta Blanca, Cancharni, Azogúine.

E. Cobertura hídrica.

En éste tipo de cobertura se encuentra todos los cuerpos de agua existentes como el lago Titicaca en nuestra ciudad, siendo sus fines principales como termorregulador del clima de la ciudad.

4.2 CARACTERIZACION DE PELIGROS GEOAMBIENTALES

Involucran a los fenómenos de remoción en masa, procesos de erosión, peligros volcánicos, sísmicos y a fenómenos hidrológicos (inundaciones). El término "Remoción en Masa" se refiere al movimiento descendente de un volumen de material constituido por roca, suelo o por ambos (Cruden,1991); el criterio más ampliamente utilizado para clasificar a los movimientos de masa es aquel propuesto por Varnes (1978), el cual se basa en el tipo de movimiento y en la naturaleza de material involucrado.

4.2.1 GEODINÁMICA EXTERNA

A. MOVIMIENTOS EN MASA

La micro cuenca de Puno y sus alrededores, presentan condiciones naturales particulares, con laderas susceptibles a movimientos de masa. Se encuentra en zonas donde los suelos son poco consolidados, que pueden dar a lugar a un grado de erosión. Así mismo, la ocupación con viviendas de la ladera ha requerido la

modificación de su perfil, generando condiciones de estabilidad muy precarias, que pueden conducir a deslizamientos.

En la ciudad se distinguen laderas como la de Machallata, Azoguine, Chejoña, zona de Las Torres, Laycacota y Cancharani. El desarrollo urbano a su vez a seguido por las riberas de estos cerros, sobre materiales coluviales y eluviales. Laderas que se han venido ocupando paulatinamente debido al crecimiento de la población, pero sin control adecuado de la erosión, lo que ha llevado a un incremento continuo de altura.

Las laderas están conformadas por depósitos cuaternarios de materiales coluviales en la parte baja por fluvio-lacustres y son inestables. Esta inestabilidad puede ser provocada por las pendientes que se puede tener en cada zona.

La acción erosiva de aguas subterráneas también puede constituir un problema en las laderas y que ellas tienen relación directa con los movimientos de masa. Así mismo se puede decir de la saturación de los suelos durante la época de lluvias, que casi siempre desencadenen deslizamientos rotacionales, como el deslizamiento de Pucaorco-Azoguine (1988), kilómetro 5 de la carretera Puno Moquegua

Al mismo tiempo también se observó pendientes muy verticales que tiene una altura de 5 a 7m aprox. esto en la Av. La Torre y viviendas construidas.

FIGURA 17
VIVIENDAS EN RIESGO POR DESLIZAMIENTO
ZONA HUASCAR



Fuente: Autor

Los lugares afectados se han identificado en Barrio Azoguine, Barrio alto Huáscar, Barrio Huáscar, Barrio Machallata y con menos frecuencia en el Barrio Vallecito todo esto al norte de Puno, por lado del sur tenemos riesgo pero con muy baja vulnerabilidad Barrio Laykacota, Barrio Santa Rosa, Barrio Chanuchanu, Torres San Carlos y Barrio manto, estos dos últimos serían afectados por movimientos de flujos de lodos que se originarían en la parte más alta de los barrios en épocas de fuertes precipitaciones pluviales, y en la cantera Chejoña el que también es altamente riesgoso para los habitantes por que la zona puede sufrir desprendimiento por proceso erosivo de las lluvias y/o por movimientos sísmicos generándose movimientos masa (ver mapa 05).

FIGURA 18
ZONA DE CHEJOÑA ÁREA VULNERABLE



Fuente: Autor

FIGURA 19
ZONA DE PELIGRO HUÁSCAR



Fuente: Autor

Podemos interpretar que está zona tiene una vulnerabilidad alta por ser de alta pendiente lo cual da origen a una mala construcción de viviendas urbanizadas por estar constituido por material arcilloso de origen sedimentario de caliza margosa.

B. CAIDA DE ROCAS

Este evento se desarrolla en un ambiente de alta montaña en el lado oeste de la ciudad, el que está rodeado por montañas hasta de los 4500 .m.s.n.m. La zona estudiada tiene pendientes altas con diferencias de alturas de 300 a 500 mts de distancia.

Las caídas de rocas constituyen probablemente uno de los principales mecanismos de erosión y transporte de laderas. Se produce a partir de las cornisas ubicadas en las laderas, los bloques producto de estas caídas forman acumulaciones al pie de las laderas que constituyen conos de talud, sin embargo, un pequeño porcentaje de bloques que se desprenden de los afloramientos rocosos pasan el límite inferior del talud y caen sobre el piso de las quebradas.

ZONA SUR OESTE DE LA CIUDAD

LAS TORRES, LAYKAKOTA, CANCHARANI

Las unidades geomorfológicas del sistema Montañoso y Antrópico, pueden ocasionar el riesgo de movimiento de bloques de roca por presentar un sistema geomorfológico de alta pendiente, lo cual es evidente en la imagen.

FIGURA 20
CANCHARANI ZONA DE DESPRENDIMIENTO DE BLOQUES DE
ROCA.



Fuente-. Autor

ZONA NORTE DE LA CIUDAD

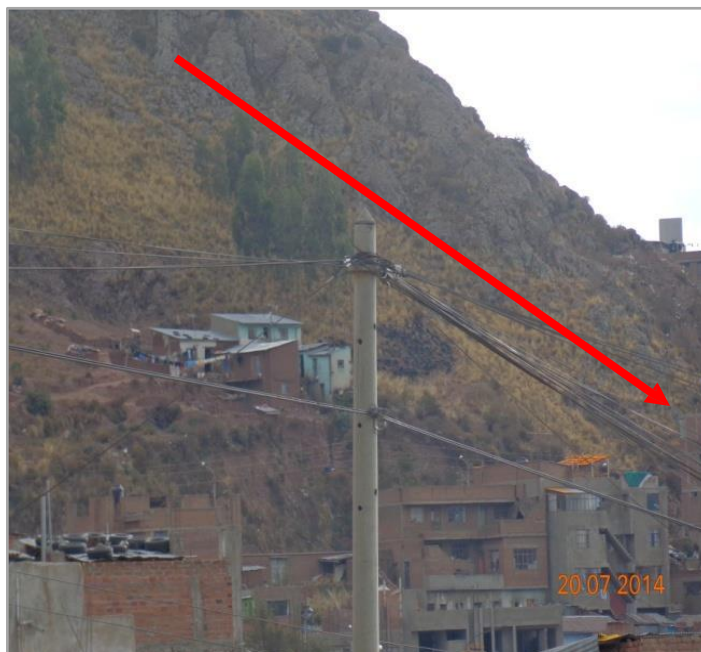
BARRIOS AZOQUINE, HUASCAR

En la ciudad de Puno se han identificado zonas que son vulnerables donde puedan ocurrir movimientos en masa, en este caso se trata de caída de bloques de rocas en el cerro Azoguine, los cuales presentan alta pendiente y en cualquier momento que se genere un movimiento sísmico, puedan estos causar consecuencias fatales, porque los bloques de roca son de 1.20m x 2m y aún existen de gran tamaño, que afectaría al barrio Azoguine y toda la Av. Circunvalación norte de Puno (ver mapa 05).

Los desprendimientos de rocas corresponden a material volcánico y se encuentran en las partes altas del cerro Azoguine que es un peligro latente de la zona por presentar un sistema vertical de

pendiente lo cual podemos interpretar como desprendimientos de bloques que afectaría al Barrio Azoguine y Huáscar.

FIGURA 21
FLUJOS DE DETRITOS (BLOQUES) EN LA PARTE ALTA DE AZOQUINE.



Fuente: Autor

FIGURA 22
IMAGEN SATELITAL DE EL CERRO AZOQUINE



Fuente: Autor

C. EROSIÓN DE LADERAS

Los cambios de geometría de las laderas, también actúan como desencadenantes en numerosas ocasiones, como el caso de las inundaciones que erosionan la parte baja de las mismas (socavación del pie) u obras de ingeniería realizadas por el hombre.

La obtención del Modelo Digital de elevaciones del terreno y otros modelos derivados, ha resultado básica en este trabajo, tanto para elaborar el modelo de susceptibilidad final como para caracterizar las distintas formas de erosión y de depósito del mapa geomorfológico.

Las cuencas aluviales se recogen como formas erosivas y se asocian a las cabeceras de algunos valles. Ocasionalmente en la salida de dichos valles se conservan los depósitos del material erosionado y transportado a lo largo de todo el valle. Por su morfología se denominan abanicos aluviales. (ver mapa 6)

ZONA NORTE

BARRIOS HUAJE, SAN JOSE, LLAVINI, HUASCAR

La erosión de ladera se puede ver en el mapa en las quebradas de la zona noreste en los barrios Huaje, San José, Ciudad universitaria (UNA-Puno), barrio Llavín, Huáscar.

ZONA ESTE

BARRIOS AZOQUINE, CHACARRILLA, LAYCACOTA

En las laderas de los cerros Azoguine, Chacarilla, Negro Peque, se tiene material de depósitos coluviales, los cuales han formado quebradas por los que discurren riachuelos y en época de avenida se convierten en ríos que ocasionan problemas en todo su recorrido, canales colmatados, calles obstruidas y otros.

ZONA SUR

BARRIOS MANTO, CHANUCHANU SALCEDO, JALLIHUAYA

Las quebradas de las laderas de los cerros son propicias para que exista erosión en épocas de venidas que en su recorrido ocasionan problemas a las viviendas que se encuentran en la parte baja.

D. INUNDACIONES

ZONAS ESTE Y SUR ESTE

En el área de estudio tanto en la parte E como SE, encontramos áreas en forma de planicies cubiertas con material cuaternario en mayor proporción destacando las llanuras de inundación con hondonadas en algunos puntos, las cuales son un riesgo para pobladores que habitan la partes bajas y donde se debería realizar trabajos de prevención (mapa 07).

Por las precipitaciones en épocas de avenida, las zonas susceptibles a inundaciones son la zona baja de San José (Estación meteorológica de Puno) donde en 1986 fue inundada. Frontis de la Ciudad universitaria de la UNA-PUNO, Costanera, Terminal terrestre, Plantas de tratamiento son zonas que han sufrido inundaciones, que pueden volver a ser inundadas en un tiempo de avenidas, como puede ser por el fenómeno de la niña.

En la zona sur también se tiene áreas inundables salcedo y Jallihuaya, que no solo son inundados por la zona del lago Titicaca, sino que se depositan en épocas de avenida en zonas con hondonadas antes de llegar al lago Titicaca. (Ver figura 23)

Estos procesos se desarrollan por la geografía que muestra la zona ya que es una llanura aluvial con hondonadas y planicies el cual hace que se depositen agua de las precipitaciones pluviales.

FIGURA 23
PLANICIES O LLANURAS DE INUNDACIÓN CHEJOÑA Y
SALCEDO.



Fuente: Autor

• FENÓMENO DEL NIÑO Y LA NIÑA

Los fenómenos involucrados se transforman en amenazas por incremento de las lluvias y en consecuencia generan inundaciones y movimientos en masa; déficit de lluvias que conducen a sequías e incendios forestales, cielos despejados y heladas.

Durante El Niño se ha observado mayor pérdida de los glaciares que en parte es compensada durante los eventos de La Niña. El aumento del nivel del mar en conjunción con vientos perpendiculares a la costa genera series de olas altas (marejadas), que causan inundaciones, erosión costera y hundimiento de pequeñas embarcaciones. Los cambios en las condiciones climáticas regionales se traducen en amenazas, según el tipo de fenómeno, para la agricultura y ganadería, industrializadas y de supervivencia (seguridad alimentaria), la infraestructura vial, la disposición de agua potable y la capacidad de generación de energía hidroeléctrica, además que proliferan vectores de enfermedades asociadas con cambios ambientales temporales.

Dado que los fenómenos El Niño y La Niña están asociados con el aumento o disminución anómala de la temperatura superficial del mar, uno de los indicadores más utilizados para hacer seguimiento a estos fenómenos es el Índice del Niño Oceánico (ONI, por sus siglas en inglés), desarrollado por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Este índice es calculado a partir de mediciones de la temperatura superficial del mar en el

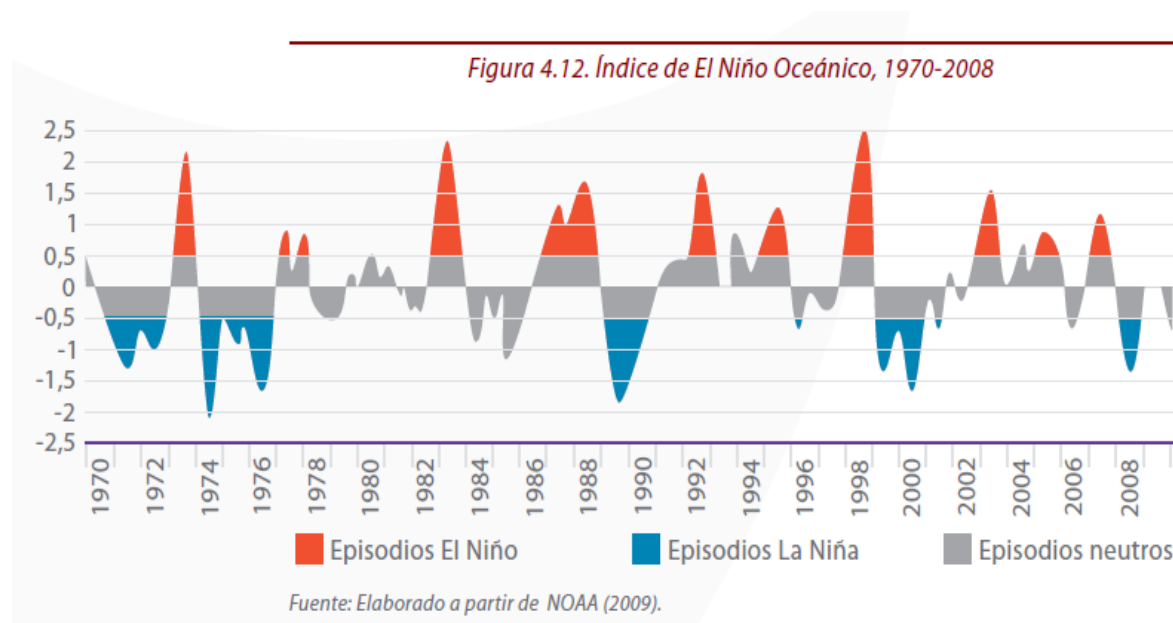
sector central del Pacífico tropical frente a las costas de Suramérica.

En condiciones de producirse El Niño, el ONI debe ser igual o superior a +0,5 grados Celsius de anomalía, mientras que en condiciones de producirse La Niña, el ONI debe ser igual o inferior a -0,5 grados Celsius. En la Figura 24 presenta el comportamiento del índice durante el periodo 1970 – 2008 y se ilustran en rojo los episodios cálidos y en azul los episodios fríos. Los episodios con temperaturas superficiales del mar más cálidas se presentaron durante los años 1972-1973, 1982-1983 y 1998. En el caso de las temperaturas frías se pueden observar mayores incrementos en 1974, 1976 y 1989 y periodos prolongados de temperaturas anormalmente frías entre 1973-1976 y 1998-2000.

El fenómeno El Niño ocurre cuando los vientos alisios se debilitan y desde Indonesia y Australia llegan a Sud América las aguas cálidas del Pacífico y desplazan las aguas frías de la corriente de Humboldt.

El fenómeno La Niña ocurre cuando los vientos alisios se intensifican y quedan en la superficie las aguas profundas más frías del Pacífico ecuatorial y disminuye la temperatura superficial del mar.

FIGURA 24
COMPORTAMIENTO INDICE DEL NIÑO Y LA NIÑA OCEANICO



• IMPACTOS DE EL NIÑO Y LA NIÑA

Los impactos del fenómeno de El Niño en el territorio andino se traducen en el aumento de pérdidas por el incremento de lluvias, movimientos en masa e inundaciones, principalmente en las zonas bajas de Ecuador, Perú y Bolivia (costa y Amazonia, respectivamente), y déficit de precipitaciones y sequías en Colombia y el altiplano de Perú y Bolivia. Los efectos se traducen, por lo tanto, en daños en sectores productivos como la agricultura y la pesca, en la infraestructura vial, en las viviendas y en miles de damnificados por pérdida de sus bienes y medios de vida, así como por afectaciones en la salud por el aumento de enfermedades por vectores que proliferan con cambios temporales en los regímenes climáticos.

•COMPARACION PRECIPITACION DE CIUDAD PUNO CON FENOMENO DEL NIÑO

En los años de 1985 hubo mayor cantidad de precipitación con 1205.4 mm de agua precipitada teniendo en cuenta que ese mismo año se tuvo una presentación del fenómeno del Niño con una exposición de 1.3 en la zona del altiplano.

Las precipitaciones pluviales tienden a disminuir en 15.80 mm/año durante el año 1972 a 2011, y 94.70mm/año para el 2050 en la ciudad de Puno, según proyecciones.

4.2.2 GEODINÁMICA INTERNA

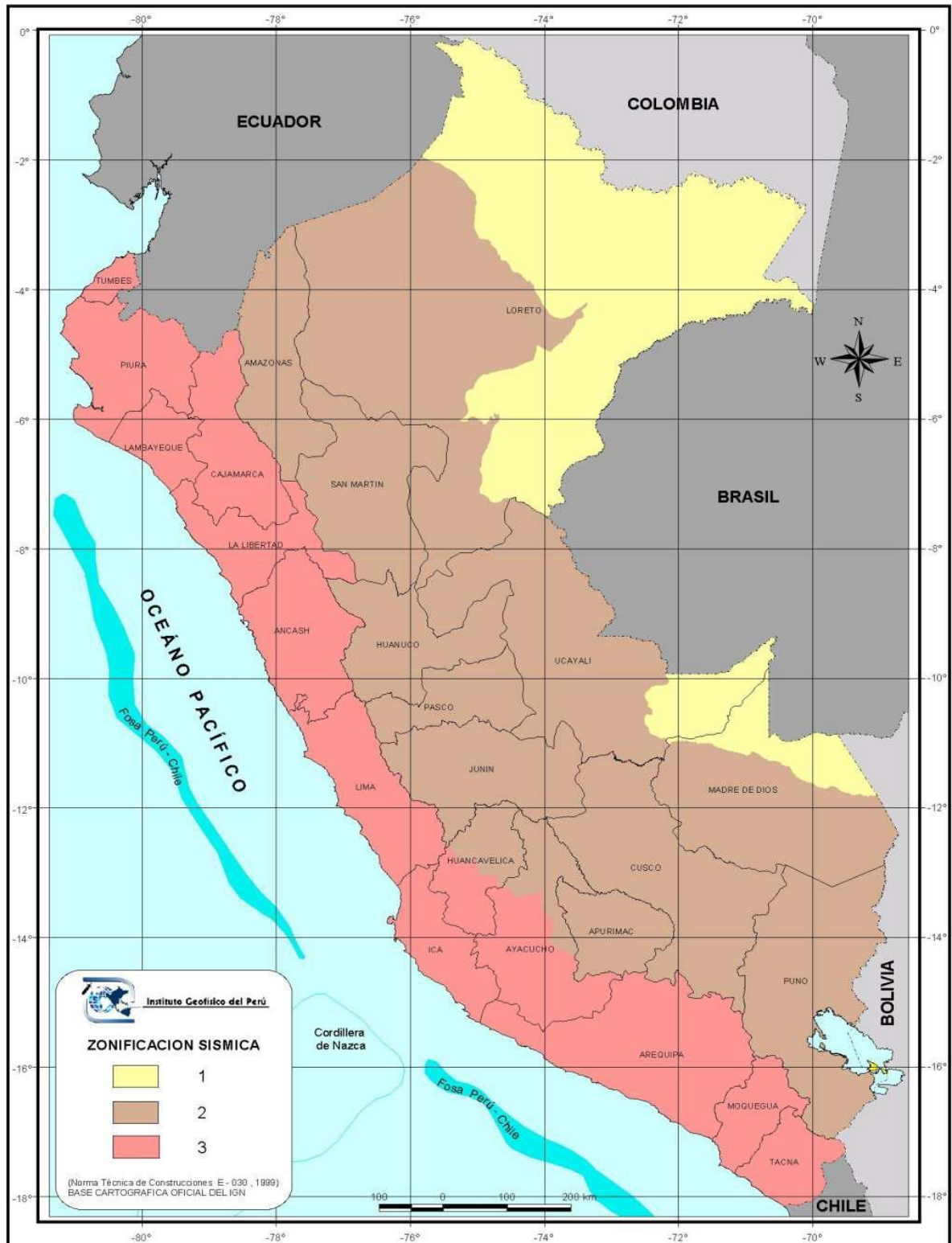
A. ZONIFICACION SISMICA EN EL PERU

El mapa de zonificación sísmica, base primaria para que el Gobierno del Perú en el año 1997 elabore la Norma Sismo resistente NTE-030-97, se presenta en la Figura 25. En la elaboración de este mapa se ha considerado las condiciones regionales de sismicidad que engloban a todos los parámetros sísmicos significativos como son la ubicación de los focos sísmicos, trayectoria de recorrido de las ondas, distancia a epicentro y energía liberada, todos contenidos y definidos en términos de la aceleración del suelo producido por los sismos y que son medidos sobre roca o terreno firme; a lo que se agregan las amplificaciones que sufren las ondas sísmicas por las condiciones locales.

Según el mapa de zonificación sísmica, la ZONA1 representa aquellas áreas en donde el potencial sísmico es bajo y no se espera la ocurrencia de sismos capaces de producir altos valores de aceleración. La ZONA 2, considera aquellas áreas en donde el potencial sísmico es intermedio y en general se producen sismos de magnitud moderada ($M < 6.0$) que generan aceleraciones del orden de 200 cm/seg². Finalmente, la ZONA 3 representa aquellas áreas en donde el potencial sísmico es alto debido a que es afectada por la ocurrencia de sismos de magnitud elevada ($M > 7.0$, que producen aceleraciones mayores a 300 cm/seg².

En función de las características sismo tectónicas y curvas de isoenergía descritas en los ítems anteriores, el área de estudio, Puno, se encuentra en la ZONA 2. Estos parámetros deben ser considerados como indicadores importantes al momento de proyectar el desarrollo de obras de ingeniería (figura 25).

FIGURA 25
ZONAS DE RIESGO SISMICO DEL PERU



Fuente: IGP, 2003

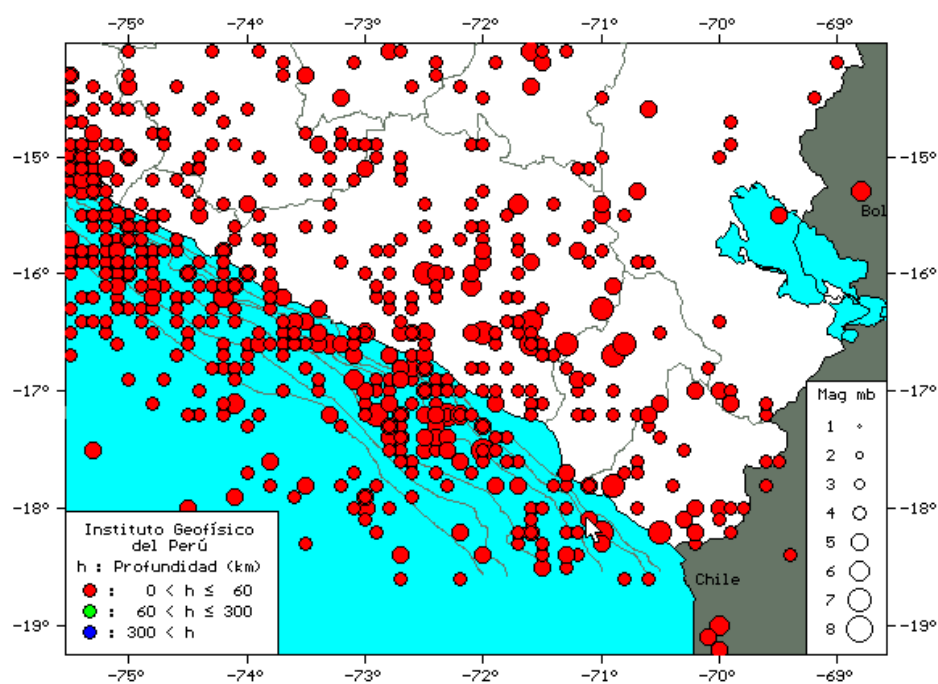
B. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA

Para poder realizar un análisis detallado de la distribución espacial de los sismos del Perú, se procedió a clasificarlos en función de la profundidad de sus focos:

- **Sismos con foco superficial ($h < 60$ km)**

Estos sismos con foco superficial se distribuyen principalmente entre la fosa y la línea de costa, asociados probablemente al proceso de subducción a profundidades menores a 60 km. La sismicidad superficial se localiza en el interior del continente y ellos pueden ser relacionados con la deformación tectónica superficial (ver figura 26).

FIGURA 26
SISMOS CON FOCOS SUPERFICIAL ($h < 60$ km)



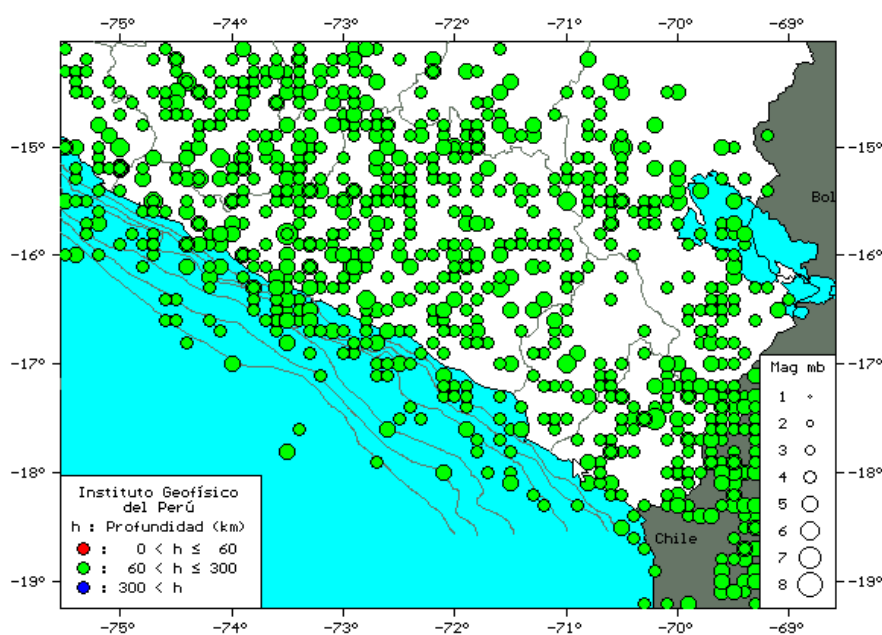
Fuente: IGP, 2003

- **Sismos con foco intermedio ($60 < h < 300$ km)**

Estos sismos se distribuyen en la parte continental, de la siguiente manera:

Existe una mayor concentración de sismos, en el departamento de Tacna, en la parte SE del departamento de Puno, en la parte sur del departamento de Ayacucho, en la parte NW de Puno y en su totalidad en los departamentos de Arequipa y Apurímac. Una menor concentración de la actividad sísmica, en el departamento de Moquegua, en la parte central de Puno, en los departamentos de Ica, Huancavelica y en parte del norte de Ayacucho (ver Figura 27).

FIGURA 27
SISMOS CON FOCO INTERMEDIO ($60 < h < 300$ km)



Fuente: IGP, 2003

- **Sismos con foco profundo ($h < 300$ km)**

Para sismos con foco profundo, se pudo observar que la sismicidad se distribuye mayormente en la parte oriental del Perú, concentrada en la frontera Perú–Brasil siguiendo un alineamiento N–S y en la frontera Perú–Bolivia (entre 13° y 15° S) de manera dispersa (ver Figura 28).



Fuente: IGP, 2003

C. PERFILES DE SISMICIDAD

Esta distribución puede ser analizada mediante la elaboración de perfiles sísmicos paralelos y perpendiculares a la línea de la fosa Perú–Chile. Mediante este análisis, permitió definir la zona de contacto entre las placas y configurar la geometría de subducción para la región sur del Perú.

Según este estudio, se muestra que un grupo importante de sismos se localizan en el interior del continente, los mismos que probablemente estarían asociados a los sistemas de fallas del cuaternario, distribuidas en la zona subandina y en los altos de la cordillera andina (ver figura 29).

FIGURA 29

PERFILES DE SISMICIDAD PARALELOS A LA FOSA OCEÁNICA PERÚ-CHILE.

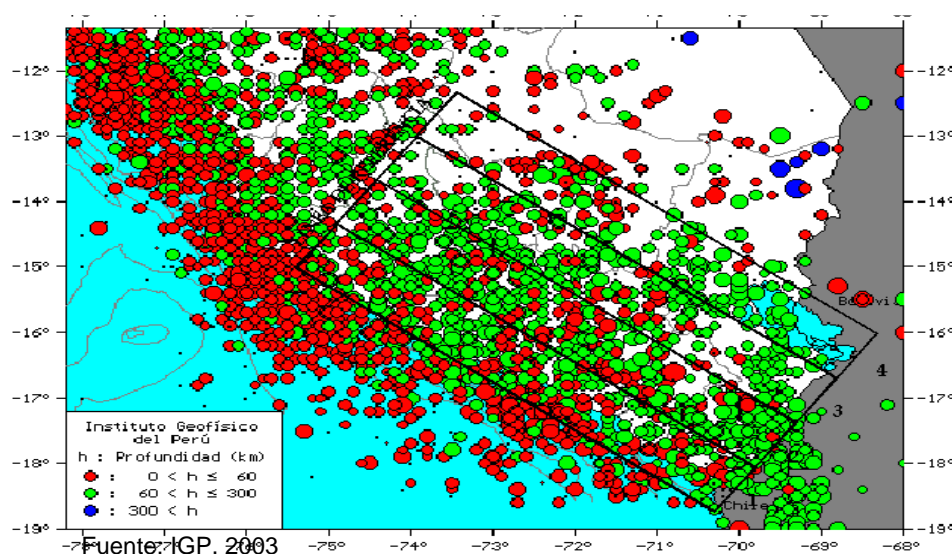
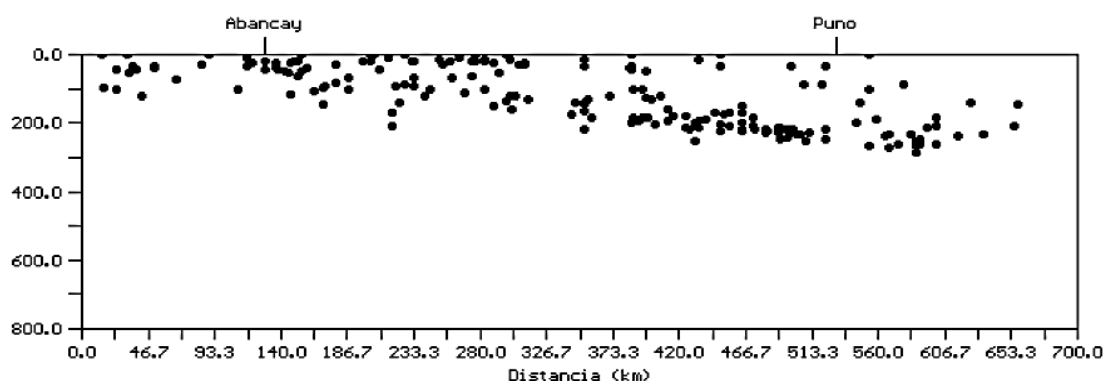


FIGURA 30

CORTE VERTICAL EN DIRECCIÓN PARALELA A LA LÍNEA DE LA FOSA OCEÁNICA PERU-CHILE PARA LOCALIZAR LA SECCIÓN.

L.R.



Fuente: IGP, 2003

4.2.2.1 ANALISIS DE LA SISMICIDAD

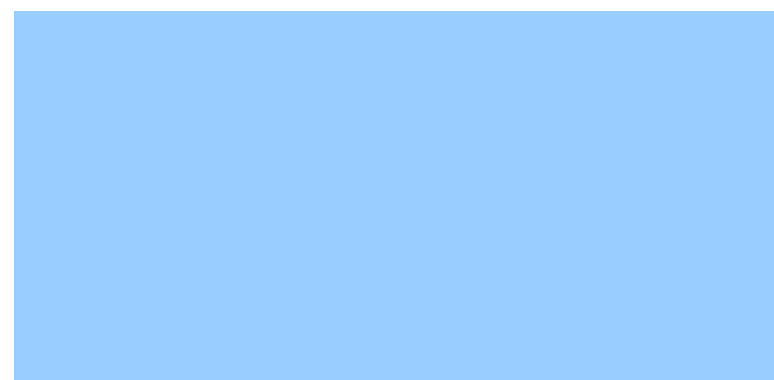
Los estudios sismo tectónicos se basan en el análisis de las relaciones entre la tectónica y la sismicidad (frecuencia de terremotos por unidad de área). En el cuadro 11, se presenta la información sísmica:

CUADRO 11
SISMOS SEGÚN DEPARTAMENTO, PERIODO 2003 - 2010.

Departamento	N° sismos	%	Porcentaje acumulado
AMAZONAS	66	10	10.87
ANCASH	10	1.6	12.52
APURIMAC	43	7.0	19.60
AREQUIPA	40	6.5	26.19
AYACUCHO	21	3.4	29.65
CAJAMARCA	31	5.1	34.76
Cusco	3	0.4	35.26
CALLAO	20	3.2	38.55
HUANCAVELICA	58	9.5	48.11
HUÁNUCO	5	0.824	48.93
ICA	65	10.71	59.64
JUNIN	12	1.977	61.61
LA LIBERTAD	11	1.812	63.43
LAMBAYEQUE	2	0.329	63.76
LIMA	84	13.84	77.59
LORETO	6	0.988	78.58
MOQUEGUA	28	4.613	83.20
PASCO	5	0.824	84.02
PIURA	4	0.659	84.68
PUNO	8	1.318	86.00
SAN MARTIN	59	9.72	95.72
TACNA	16	2.636	98.35
TUMBES	6	0.988	99.34
UCAYALI	4	0.659	100.00
TOTL	607		100.00

Fuente: IGP, 2011

FIGURA 31
FRECUENCIA DE OCURRENCIA



Fuente: Elaboración propia

Del análisis de la información sísmica se logró determinar que las zonas de máximo acumulamiento de energía, donde se produciría en el futuro terremotos de gran envergadura (8.0 M o más) estarían situadas frente a la Costa de Lima, al Sur de Arequipa y parte Baja de Chile, que de todos modos afectarían las regiones del sur.

Para nadie debe ser una sorpresa que la región Puno (a pesar de su ubicación geográfica) puede ser remecido por un movimiento telúrico que alcance la escala de terremoto, como lo ocurrido el 15 de agosto del 2007 en el departamento de Ica y la ciudad de Lima, que soportó un sismo de 7.9 grados en la escala de Richter, ocasionando muertes y severos daños.

- **EVALUACIÓN SISMICA EN LA REGION DE PUNO**

Históricamente, el altiplano ha soportado innumerables sismos que han ido desde la escala 2.0 a la de 6.9 grados, como lo sucedido el 2 de junio del 2005 a las 05:01 horas en la zona sureste de la ciudad de Puno (distrito de Chucuito).

De acuerdo al historiador de apellido Salgado, el 9 de abril de 1928, en el distrito de Ayapata (Carabaya) se presentó un terremoto que bien lo describió como detonaciones subterráneas que provocó el desprendimiento abrupto de enormes bloques de hielo del nevado Allincajac. Narró también que se veían derrumbes del talud del río Esquilaya, formando una gran laguna artificial que más tarde rompió en un gran huayco. No se tiene datos de muertos o desaparecidos, pero sí algunos testimonios.

La región Puno se encuentra en la zona intermedia del cinturón de fuego del Pacífico y es considerada como una región altamente sísmica, habiéndose registrado hasta el momento movimientos sísmicos, con una magnitud de entre 4, 2 y 5,3 grados en la escala de Richter.

El mismo Instituto Geofísico del Perú (IGP) a través de la Dirección de Sismología da cuenta de varios sismos en la región Puno, siendo los últimos registrados el 27 de mayo

del 2007 a las 27 de mayo del 2007 que tuvo una magnitud de 4.3 grados y del 15 de agosto que fue percibido en las provincias de Melgar, Moho, Huancané y Lampa con una magnitud aproximada de 3.0 grados.

El 05 de febrero del 2012 a las 3:58 pm, hora local, ha ocurrido un movimiento sísmico de magnitud 4.7 ° en la escala de Richter, localizado a 71 km de Juliaca y 78 km de Puno con una profundidad de 189 kilómetros. Cuadro 12.

El 29 de junio del año 2013, ocurrió un sismo cuyo epicentro se localizó en distrito de Platería, con una intensidad de 4,5 grados a una profundidad de 258 kilómetros, lo cual pasó desapercibido en la población.

Según el Instituto Geofísico del Perú, en Puno se han localizado las fallas geológicas de Santa Lucía, San Gabán y **Ayaviri-Copacabana**; en este último, la línea de riesgo está ubicada debajo de la superficie del Lago Titicaca.

Si dentro del lago se suscitara un movimiento sísmico de mayor intensidad podría provocar olas de hasta 3 metros de altura, ocasionando daños de consideración.

Hernando Tavera, director del IGP, aseguró que desde la costa central hasta el extremo sur del país, se presentaría

un terremoto de gran intensidad que inclusive superaría el registrado el 23 de junio del 2001 en la costa de Arequipa (magnitud de 6.9 grados en la escala de Richter). Para Tavera lo único que quedaba era esperar a que sucediera y que la población se preparase para enfrentarlo adecuadamente, sin llegar a tener lamentables pérdidas de vidas humanas, pero ya ven, el terremoto de Ica no tuvo la respuesta que se esperaba. Más de 500 muertos y ciudades enteras devastadas por la furia de la naturaleza.

CUADRO 12

SISMOS DE LOS ULTIMOS AÑOS EN LA REGION PUNO

<i>FECHA</i>	<i>HORA GMT</i>	<i>PROFUNDIDAD</i>	<i>MAGNITUD</i>	<i>EPICENTRO</i>
2 de junio 2005	05:01 a.m.		2.0°	distrito de Chucuito
27 de mayo 2007			4.3	Provincias Melgar, Moho, Huancané
15 de agosto 2007			3.0	Lampa
05 de Febrero 2012	03:58 p.m.	189 Km	4,7°	71 Km de Juliaca 78 Km de Puno
16 de Octubre 2012	09:25 p.m.	30 Km	4,6°	67 Km al Norte de Macusani
29 de Noviembre 2013	02:19 p.m.	153 Km	4,3°	67 Km al SE de Juliaca
29 de junio del año 2013	4,5	258 Km	4,5	Distrito de Plateria
13 de Mayo 2014	01:50 p.m.	181 Km	4,3°	34 Km al NE de Capazo
31 de Julio 2014	07:31 p.m.	241 Km	4,5°	25 Km al SW de Juliaca
23 de Octubre 2014	02:11 a.m.	23 Km	4,1°	54 Km al SW de Moho
26 de Noviembre 2014	03:41 a.m.	210 Km	4,4°	34 Km al Este de Conduriri
28 de Noviembre 2014	11:34 p.m.	132 Km	4,3°	55 Km al NW de Ollachea
12 de Febrero 2015	01:24 a.m.	208 Km	4,4°	37 Km al SW de Ayaviri
27 de Noviembre 2015	12:35 a.m.	190 Km	4,4°	16 Km al SE de Conduriri
2 de Diciembre 2015	06:30 p.m.	6 Km	3,5°	5 Km al Sur de Puno

Fuente: IGP 2015

- **SISMO DE GRAN MAGNITUD**

El director del IGP, indicaba con sutileza, que Puno no estaba excluida de ser víctima de un movimiento telúrico de gran magnitud, al estar ubicada sobre una falla geológica, además de hallarse en la zona intermedia 2 y 3 de ocurrencias de sismos en todo el país o denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, donde se presenta la mayor cantidad de sismos a nivel mundial.

Sobre la falla geológica, que la región Puno está situado dentro del Sistema de Falla Ayaviri Copacabana (SFAC), el cual se encuentra por el momento inactiva, pero de reactivarse las consecuencias serían de gran escala.

“Como muestra de la presencia de dicha falla, se evidencia la megabrecha de Ayabacas, que son consideradas las más grandes del mundo. Esta falla atraviesa todo el departamento y parte del lago Titicaca, que de activarse provocaría un sismo de gran intensidad”.

Casi improbable que en Puno se registre un sismo producto de la tectónica, es decir por la subducción de las placas de Nazca con la de Sudamérica, debido que se encuentra a más de 200 kilómetros de distancia del rozamiento de las placas y que la fuerza liberada por el impacto no llegaría a la superficie con gran intensidad,

cosa que no sucede en la costa del país al localizarse a menos de 70 kilómetros de la subducción de las placas.

“Con el último terremoto en Ica, que ha sido de gran magnitud, nos damos cuenta que en Puno no se tuvo consecuencia alguna, esto por la distancia del hipocentro y la misma cordillera de los andes, que actúa como una pared ante las ondas sísmicas”.

La activación de la falla SFAC ocasionaría un terremoto y provocaría un sismo de severas consecuencias para la región, seguido de los vulcanismos, como lo que actualmente sucede en el distrito de Ollachea, provincia de Carabaya, el mismo que se encuentra asentada sobre un “domo tapón” geomorfológico, que es causante de los remezones de gran magnitud en la zona, que datan todavía desde 1928. No se descarta que el volcán pueda entrar en un proceso de activación, pero al momento no se evidencia reacción alguna. “Las fallas se reactivan a causa de las corrientes convectivas, es decir por el ascenso y descenso permanente del magma en el interior de la tierra”, si la falla se da en un terreno rocoso no se generaría muchos daños en la superficie, mientras que de registrarse en una zona de arena o grava saturada colapsarían gran cantidad de infraestructuras ubicadas en todo el anillo circunlacustre del Titicaca.

- **CARACTERISTICAS DE SUELOS EN LA CIUDAD DE PUNO**

La ciudad de Puno se encuentra sentada en material suelto, por lo que se ha determinado cuatro unidades de terreno: roca, depósitos eluviales, coluviales y lacustres a los que se han asociado valores de capacidad portante, periodo de vibración y aceleración sísmica. (Ver mapa 08)

Depósitos eluviales (Q-e): constituidos por fragmentos heterogéneos angulosas a subangulosas de rocas de diferente naturaleza en una matriz areno arcillosa de color marrón a rojizo predominantemente, verde a plomizo – amarillento esporádicamente; se encuentran en las partes altas y faldas de los cerros que circundan a la ciudad de Puno, es la cobertura casi continua que cubre la zona y varía según la naturaleza geológica de la roca madre.

Depósitos Coluviales (Q-c): constituido por materiales poco consolidados, de distribución irregular, están constituidas por intercalaciones de grava, arenas, arcillas y limos que sirven de matriz. Están distribuidos irregularmente en la zona de estudio.

Depósitos lacustres (Q-l): Constituido por material fino, arcillas limosas con intercalaciones de lentes de arenas y gravas.

Estos depósitos de materiales tienen valores preliminares que nos indican capacidad portante, periodo de vibración y aceleración sísmica y si no se han calculado las cimentaciones de las viviendas de pisos mayores a 2 pisos, considerando estos parámetros, en un probable sismo pueden fallar.

CUADRO 13
PARÁMETROS SISMICOS

MATERIAL	(Δ qs)b	S	Fn	Tn	g
Q-l	0.8 - 1.0	0	(2)	(0.5)	(0.2)
Q-c	1.4	0			
Q-e	1.2	0			
Roca	OK	3	10 - 20	0.10 - 0.05	

Fuente: Meza P., 1995

(Δ qs) b: Capacidad de carga Kg/cm²
 fn: Frecuencia natural de vibración en Hz
 Tn: Periodo Natural de vibración en seg
 g : aceleración de partícula g

Podemos inferir entonces que la zona más susceptible a experimentar daño es en la parte este, teniendo en cuenta que los sismos que pueden ocurrir afectarían al área ocasionando daños consistentes en viviendas de la zona de la costanera y zonas donde exista materiales sueltos en las laderas de los cerros o lomadas dependiendo del tipo de cimentación.

En varios casos las viviendas se encuentran en material de relleno artificial y las ondas pueden ser amplificadas en

estos materiales. Los que se encuentran sobre sustrato rocoso, los efectos del sismo se manifestaran en agrietamientos en las viviendas, sin embargo, es de considerar que depende de la calidad con que están hechas las construcciones.

4.3 ZONIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.3.1 CRITERIOS DE ZONIFICACIÓN

Se sabe que el riesgo existe donde una población determinada, sus bienes y sus actividades están expuestos a un peligro natural (geológico e hidrológico). La evaluación del riesgo debe tener en cuenta cada uno de estos elementos (físicos, sociales, económicos, etc.) y las relaciones existentes entre ellos.

Las zonificaciones geo ambientales constituyen una herramienta valiosa y necesaria para los fines de planificación territorial y mitigación de los desastres naturales. El objetivo principal de una zonificación de peligros es indicar las zonas con igual probabilidad de ocurrencia de un fenómeno con efectos desastrosos.

Los propósitos de la zonificación deben relacionarse con elementos básicos de información que se requiere para este fin y el nivel de detalle que a su vez debe corresponder con una escala de trabajo. En este estudio se propone utilizar un cuadro de relaciones proporcionando la manera de interconectar los elementos básicos imprescindibles como son la topografía, geología, geomorfología y

clima, cobertura, sismos y el factor antrópico. La escala del trabajo se ha escogido en 1:30, 000; todos estos datos son ploteados en una matriz y ésta a su vez podrá materializarse en mapas.

El método a emplear en la zonificación es el método implícito donde la zonificación del área en estudio se realiza a partir de la observación subjetiva, para establecer las características de algunos de los elementos básicos enunciados y proceder a la zonificación.

Las actividades metodológicas que se realizaron para nuestro trabajo fueron en primer lugar en la búsqueda de información luego se obtuvo la base cartográfica para llevar a cabo un correcto mapeo geodinámico, geológico y de procesos erosivos y con ésta información, se pudo definir preliminarmente zonas de comportamiento homogéneo.

CUADRO 14
MATRIZ DE CORRELACIONES PARA ZONIFICACIÓN
ELEMENTOS BASICOS

DESCRIPCION	ESCALA	ELEMENTOS BASICOS			
		TOPOGRAFIA	GEOLOGIA	GEOMORFOLOGIA	SUELOS
REMOCION DE MASA	1:30000			L	P
INUNDACION	1:30000				P

SIMBOLOGIA GRADO DE IMPORTANCIA

	IMPRECINDIBLE
	NECESARIO
	RECOMENDABLE
	NO SE REQUIERE

L: Litología

P: Precipitaciones pluviales

Mediante la matriz anterior se deduce que para estudiar fenómenos de remoción en masa a un nivel general, los suelos, la cobertura y los fenómenos antrópicos son datos recomendables, siendo un dato necesario la ocurrencia de sismos y para ésta escala los datos sobre geomecánica no se requieren; a su vez, dentro de la geología un dato imprescindible es la litología y dentro del clima el dato que se requiere es la precipitación, debido a que la roca en áreas de diferente clima tiene un comportamiento diferente.

4.3.2 USO DEL TERRITORIO

Con lo expuesto anteriormente, se puede decir que los eventos naturales son frecuentes en éste tipo de territorio, por lo tanto es necesario plasmar estos datos mediante mapas donde se facilite la identificación y la clasificación de los componentes geo ambientales que integran físicamente la zona de estudio, esto permitirá establecer relaciones concretas entre el territorio, recursos que posee, zonas de riesgo a eventos naturales y las actividades de la población que se ubica en ellos. Como se puede ver una gran parte del área de estudio es netamente en pendientes de ladera donde se ubican las viviendas urbanas y urbano marginales y se ubican en zonas de alto riesgo, por lo tanto, se hace necesario una zonificación de componentes, especialmente para producir información básica para los usuarios de

las mismas que deben tomar decisiones inteligentes respecto a sus actividades, en ésta forma la geología combinada con otras disciplinas, contribuye a orientar el desarrollo racional y sostenible del medio y las actividades que en ella se realizan en equilibrio con las condiciones naturales del territorio.

4.3.3 VARIABLES GEOAMBIENTALES QUE INTERVIENEN PARA CARACTERIZAR LA AMENAZA

En el presente estudio se ha considerado cuatro variables que intervienen en la amenaza traducida en mapas temáticos y son la litología, pendientes, geomorfología y usos del suelo.

4.3.3.1 Litología

La información geológica de campo y gabinete de las unidades aflorantes en el área se le divide en unidades de tipo de roca; así se obtiene el mapa de litología, diferenciándose cinco tipos:

Unidad I: Rocas volcánicas

Esta unidad está conformada por secuencias litológicas del Grupo barroso constituido por derrames andesíticos, piroclastos y brechas volcánicas y Volcánicos Tacaza constituido por sedimentos vulcano-clásticos y por derrames andesíticos dacitas conglomerados que aflora en los alrededores de la ciudad de Puno.

Unidad II: Rocas Volcánico-sedimentarias

Esta unidad está constituida por secuencias litológicas del grupo Puno conformados por conglomerados y areniscas de grano grueso, limolitas, lutitas y delgados niveles tobaceos.

Unidad III: Rocas sedimentarias

Esta unidad la constituyen las Formaciones Ayabacas constituido por Calizas y dolomitas grisáceos, formación Huancané constituido por Areniscas Cuarzosas feldespáticas y la formación Muni constituidos por lutitas, limo arcillas rojizas. Las formaciones Muñani y Vilquechico son similares a las de la formación Ayabacas

Unidad IV: Rocas Intrusivas:

En este grupo se encuentran la granodiorita de Isla Esteves de color gris verdoso, en el área en estudio se encuentra muy alterado por el clima a arena.

Unidad V: Depósitos Superficiales

Conformados por depósitos de gravas y bloques, subangulosos a subredondeados englobados en un cemento de grava fina y limo arenoso, se les encuentran formando terrazas aluviales y fluviales en las proximidades de las laderas de las quebradas y depósitos lacustres de material fino en la zona del lago Titicaca.

4.3.3.2 Geomorfología y pendientes

Mediante la geomorfología se determinan las formas del relieve y las pendientes de las laderas pues ellas nos darán una idea de la estabilidad del terreno y comportamiento del mismo frente a procesos erosivos.

Las pendientes mayores se ubican en la zona oeste de la ciudad de Puno con valores mayores a 30°, el resto de la zona presenta un relieve suave a moderado con pendientes que fluctúan entre 5° a 20° y en la zona este se presenta zonas casi planas a la orilla del Lago Titicaca (ver mapa 09).

4.3.3.3 Usos del Suelo

Se han identificado uso del suelo, que son:

- **Cultivos de secano**

Los cultivos que se dan en esta época de secano incluyen terrenos donde los pobladores de las zonas marginales del área en estudio utilizan para sus faenas agrícolas, y todo se hace por las precipitaciones pluviales que ocurren en el área.

- **Suelo Desnudo Permanente**

En ésta parte se trata de aquellos terrenos donde el suelo se encuentra desprovisto de vegetación o existe escasos arbustos.

- **Expansión urbana**

La zona marginal se está poblando, debido a que no existen zonas donde poder construir o expansión y ocupan terrenos donde existen evidencias pasadas de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa e inundación.

- **Actividad Minera No Metálica**

En la zona sur se encuentra la Cantera de Chejoña donde se explota materiales no metálicos, consistiendo en depósitos de material de agregados para rellenos y otros usos.

La utilización de recurso suelo, la expansión urbana y los destinos de uso de la tierra contribuyen muchas veces a la inestabilización de los terrenos por actividad antrópica.

- **Suelos con vegetación escasa**

En el mapa de usos del suelo se puede observar terrenos donde existe vegetación escasa mayormente consistente en paja y arbustos de raíces cortas que se ubican en las quebradas que se tiene en la zona de estudio.

4.3.4 ACTIVIDAD DE LOS PROCESOS EROSIVOS Y ESTABILIDAD DE LOS TERRENOS

La actividad de los procesos erosivos y la estabilidad de los terrenos son datos importantes para el análisis posterior de la susceptibilidad y

se ha podido discriminar que en el área en estudio los procesos erosivos inciden mucho en la morfodinámica del lugar.

Observando el mapa se distinguen zonas donde los procesos se encuentran activos, en la unidad geomorfológica del lado oeste de la ciudad, haciéndose más incisivos en la unidad geomorfológica de relieve de ladera debido a que los materiales que predominan son materiales sueltos de limo arcillitas y arcillas lo que le hace susceptible a las lluvias.

Las zonas donde los procesos erosivos se encuentran inactivos son debido a que los fenómenos de remoción en masa inventariados sucedieron en determinados periodos de tiempo y en la actualidad quedan cicatrices de movimientos en masa, no descartándose que los mismos puedan ser reactivados si las condiciones climatológicas son favorables para desencadenarlos.

Los procesos de erosión fluvial e inundación están sujetos a la dinámica de los riachuelos que se forman en época de avenidas y a los cambios en el clima; es así que durante las lluvias estacionales y excepcionales tipo Fenómeno de El Niño las zonas aledañas al cauce donde se ubican terrenos de cultivo y viviendas son susceptibles a inundaciones y las obras de infraestructuras existentes como vías pueden colapsar por socavamiento en la base del talud inferior.

Se han diferenciado terrenos inestables y medianamente estables, no se tienen datos inventariados; sin embargo, por la morfología del

lugar, la litología y los eventos históricos que ocurrieron en las unidades geomorfológicas cartografiadas se puede inferir que pueden suceder fenómenos naturales de características similares a los inventariados (ver Mapa10).

4.3.5 FACTORES DETONANTES

4.3.5.1 Clima

El clima es bien diferenciadas, la zona B(o, i) C'H3 que se ubica sobre la cota 3,800 msnm y se caracteriza por poseer un clima lluvioso, frío y húmedo, con deficiencia de lluvias durante las estaciones de otoño y primavera.

4.3.5.2 Sismicidad

Según la Norma Peruana E.030-97 de Diseño Sismo resistente, el territorio nacional se considera dividido en tres zonas.

La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información geotectónica.

A cada zona se asigna un factor "Z" según se indica en la tabla. Este factor se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. El valor del factor "Z" está expresado en gals (g).

CUADRO 15
FACTOR DE ZONA

ZONA	FACTOR DE ZONA (Z)
3	0.40
2	0.30
1	0.15

Fuente: Norma E-030 - NPE

La sismicidad por zonas:

- **Zona 1**

- Departamento de Loreto. Provincias de Ramón Castilla, Mainas, y Requena.
- Departamento de Ucayali. Provincia de Purús.
- Departamento de Madre de Dios. Provincia de Tahuamanú.

- **Zona 2**

- Departamento de Loreto. Provincias de Loreto, Alto Amazonas, y Ucayali.
- Departamento de Amazonas. Todas las provincias.
- Departamento de San Martín. Todas las provincias.
- Departamento de Huánuco. Todas las provincias.
- Departamento de Ucayali. Provincias de Coronel Portillo, Atalaya y Padre Abad.
- Departamento de Cerro de Pasco. Todas las provincias.
- Departamento de Junín. Todas las provincias.
- Departamento de Huancavelica. Provincias de Acobamba, Angaraes, Churcampá, Tayacaja y Huancavelica.
- Departamento de Ayacucho. Provincias de Sucre, Huamanga, Huanta y Vilcashuaman.
- Departamento de Apurímac. Todas las provincias.
- Departamento de Cusco. Todas las provincias.
- Departamento de madre de Dios. Provincias de Tambo Pata y Manú.
- **Departamento de Puno. Todas las provincias.**

- **Zona 3**

- Departamento de Tumbes. Todas las provincias.
- Departamento de Piura. Todas las provincias.
- Departamento de Cajamarca. Todas las provincias.
- Departamento de Lambayeque. Todas las provincias.
- Departamento de La Libertad. Todas las provincias.
- Departamento de Ancash. Todas las provincias.

- Departamento de Lima. Todas las provincias.
- Provincia Constitucional del Callao.
- Departamento de Ica. Todas las provincias.
- Departamento de Huancavelica. Provincias de Castrovirreyna y Huaytará.
- Departamento de Ayacucho. Provincias de Cangallo, Huanca, Lucanas, Víctor Fajardo, Parinacochas, Paucar del Sara Sara.
- Departamento de La Arequipa. Todas las provincias.
- Departamento de Moquegua. Todas las provincias.
- Departamento de Tacna. Todas las provincias.

4.3.6 ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

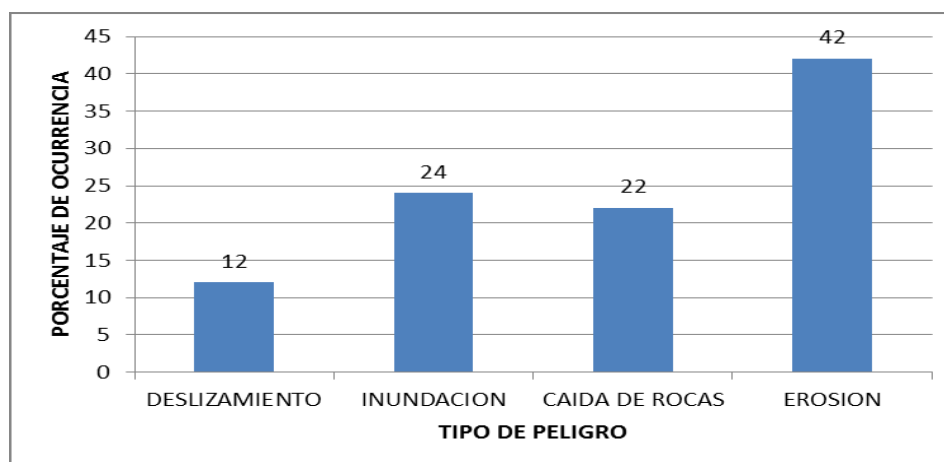
La zonificación es una división de la superficie terrestre en áreas que representan diferentes grados de susceptibilidad potencial o actual hacia los fenómenos de remoción en masa, procesos erosivos e inundación.

Para generar el mapa de susceptibilidad total, se hace uso del mapa de inventario de peligros geológicos (ver mapa 10); el método empleado consiste en mezclar la totalidad de fenómenos de remoción en masa y procesos erosivos que ocurren en la zona con las capas o mapas índice más relevantes (geomorfología, pendiente, litología y usos del suelo), con lo cual se determinará cuantitativamente el “peso” de cada unidad diferenciada sea geomorfología, pendientes, litología y usos del suelo. En el trabajo se ha dividido la susceptibilidad en Muy Alta (3-4), Alta (2.3), Moderada (1-2) y Baja (0-1).

El inventario realizado de los peligros geológicos en la ciudad de Puno figura 32.

FIGURA 32

ESTADÍSTICA DE LA OCURENCI DE PELIGROS GEOLOGICOS



Fuente: Elaboracion propia

Los peligros geologicos que mayormente ocurren en la ciudad de Puno es la erosion de laderas con un 42 %, que se da en los cerros que circundan, donde mayormente se tiene materiales incoolidados que son propensos a ser arrastrados y llevados por todas las quebradas y posteriormente entra a las calles de la ciudad malogrando las obras y viviendas en su transcurso, lo cual debio ser planificado con anterioridad, realizando obras que puedan reducir los peligros. De igual manera la ciudad sufre inundaciones en 24 % en todas sus riberas denominado como costanera, que se da por las precipitaciones pluviales de toda la region, además se presentan inundaciones en las hondondas que se tiene en Jallihuaya, Salcedo y partes de la ciudad, por existir barreras que se vienen construyendo y no dejando pasar el agua hacia el lago Titicaca. Así mismo existe un 22 % de caída de rocas, mayormente en las zonas de las laderas de los cerros donde se vienen construyendo viviendas e infraestructuras

y por ultimo un 12 % de deslizamientos y derrumbes que se ha dado y viene dandose en zonas donde se construye carreteras de acceso, salida a Moquegua, Juliaca y hacia ventanilla donde esta el barrio Cuesta Blanca, que se encuentra en una zona de peligro. Por las entrevistas realizadas a pobladores de la zonas, mencionan que existieron estos peligros en Azoguine, Machallata, Vallecito.

4.3.6.1 Geomorfología vs. Mapa de Peligros Geológicos

Este mapa es el resultado de la mezcla del mapa de inventario de peligros geológicos mezclando los fenómenos de remoción en masa y procesos de erosión de laderas, inundación presentes en la zona con la geomorfología, muestra la relación entre las unidades geomorfológicas diferenciadas en interacción con los deslizamientos, caída de rocas, procesos erosivos e inundaciones.

El método empleado va de acuerdo a la experiencia de la observación de campo; es así que se asignó valores o pesos (1-4) a cada unidad geomorfológica donde se ubicaban determinados tipos de peligros.

El análisis se hizo independientemente de cada unidad geomorfológica para cada proceso y evento; por ejemplo, los procesos de erosión de ladera que afectan la zona otorgándosele a las unidades geomorfológicas de Relieve de **Sistema Montañoso (S-mo,)** se observa en las partes altas

de la ciudad como Salcedo, Jallihuaya y Azoguine.

Altiplanicie Ondulada (Ap-on) debajo del relieve anterior.

CUADRO 16
ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS PELIGROS GEOLÓGICOS POR MEDIO DEL PESO

MAPAS		SISMO	DESIZAMIENTOS Y DERRUMBES	CAIDA DE ROCAS	FLUJOS	EROSION	INUNDACION	PESO	PESO PONDERADO
Geomorfología	S-mo	1	3	3	0	1	0	8	3
	Ap-on	1	3	3	1	1	0	9	3
	S-co/la	1	2	2	1	3	0	9	3
	D-pmo	1	2	1	1	2	1	8	3
	D-la	3	0	0	0	0	4	7	3
	D-bo	3	0	0	0	0	4	7	3
Pendientes	<5°	1	0	0	0	0	3	4	2
	5-10°	1	1	0	1	1	1	5	2
	10-15°	1	2	1	1	2	0	7	3
	15-30°	2	2	2	2	2	0	10	4
	>30	2	1	2	1	2	0	8	3
Litología	Qh - C	3	2	1	3	2	2	13	4
	NQ-um/ab	1	1	1	1	1	0	5	2
	PN - talin	1	1	2	1	1	0	6	2
	D - nu	1	2	2	1	1	0	7	3
	Kis - ay	1	1	2	1	1	0	6	2
	Ks - hn	1	1	1	1	1	0	5	2
	i	1	0	0	1	1	0	3	1
	U. Suelo	CS	1	1	0	0	1	2	5
	SDP	1	1	1	1	1	1	6	2
	EU	1	2	1	1	2	2	9	3
	AM	1	4	3	2	3	1	14	4
	SVE	1	1	1	1	1	0	5	3

Fuente: Elaboración propia

4	Peligro Muy Alto	0.41 ó más
3	Peligro Alto	De 0.26 a 0.40
2	Peligro Medio	De 0.16 a 0.25
1	Peligro Bajo	De 0.00 a 0.15

Para las unidades anteriores el valor más alto (3) debido a que los procesos de erosión de laderas ocurren en estas unidades; no siendo así para la zona este lago Titicaca que se le asignó un valor (1) que significa, que ésta unidad es menos susceptible a la erosión; lo mismo se hizo para la erosión de laderas dándole a la unidad de **D-pmo** el valor de (2). Se procedió luego a analizar a los deslizamientos, movimientos complejos y derrumbes para cada unidad geomorfológica cayendo el valor alto (3) en la unidad de **S-mo** y **Ap-on**, debido a que la mayor intensidad de deslizamientos y derrumbes suceden en ésta unidad, por lo tanto ésta unidad es más susceptible a experimentar estos fenómenos, mientras que los derrumbes por actividad antrópica son más comunes en la unidad de y **S-co/la** en los cortes de carretera donde se le dio el valor (2), debido a que la litología y pendiente juegan un rol muy importante y la forma del relieve la hacen menos susceptibles a experimentar caídas; a la superficie lacustre **D-la** se le dio el valor 0 debido a que ésta unidad es casi con una pendiente nula.

En la unidad de Superficies de **D-pmo** también suceden deslizamientos y derrumbes en la misma proporción, manifestándose en los cortes de carreteras y trochas carrozables por actividad antrópica del hombre, al construirlas utilizando maquinarias o explosivos y no dando un adecuado ángulo de talud; ésta unidad tendrá un grado de

susceptibilidad menor a los fenómenos de remoción en masa; sin embargo, tendrá una susceptibilidad alta a los procesos erosivos (ver mapa 11).

En lo que se refiere a inundaciones **D-la y D-bo** se le da un valor de (4) ya que estas geoformas se encuentra en las riberas del Lago de Titicaca.

4.3.6.2 Pendiente vs. Mapa de Peligros Geológicos

La pendiente juega un rol muy importante y a la vez se encuentra íntimamente relacionada a la geomorfología, al superponer el mapa de pendientes con el mapa de peligros geológicos, se observa que los deslizamientos, derrumbes y caída de rocas, suceden con más frecuencia en terrenos donde las laderas están entre 10° a más de 30° , en la parte oeste de nuestra ciudad suceden estos fenómenos; por lo tanto, se puede decir que ésta zona es de susceptibilidad alta (3); no siendo así en terrenos de suave pendiente $< 5^\circ$ donde la susceptibilidad será baja (1) por ejemplo en los alrededores de la ciudad de Puno (costanera); donde las pendientes fluctúan entre 5° - 10° han sucedido y vienen sucediendo movimientos de masa del tipo deslizamientos y derrumbes por acción antrópica por el corte de la carretera construida que ha desencadenado estos fenómenos y también la acción erosiva de las aguas que bajan por las quebradas han originado colapsos en los taludes naturales; sin embargo, ésta zona es

de susceptibilidad baja a moderada (2) a experimentar fenómenos de remoción en masa naturales debido a que la zona es de un relieve muy suave.

Se puede comentar también que la mayor concentración de los procesos de erosión de laderas se encuentran en terrenos cuyas inclinaciones fluctúan entre los 10°-15°, por ejemplo la unidades de **S-co/la** y **D-pmo** y la escorrentía superficial se encarga de modelarlos observándose surcos y cárcavas en áreas de lomadas distribuidos homogéneamente. La unidad de Relieve cuyas pendientes fluctúan entre 15°-30° posee también una susceptibilidad a la erosión alta otorgándole el valor de 3 (ver mapa 12)

4.3.6.3 Litología vs. Mapa de Peligros Geológicos

Las diferentes rocas volcánicas y volcánicas-sedimentarias **NQ-um/ab** y **PN-Ta/in** , está constituido por sedimentos vulcano-clásticos y por derrames andesíticos, dacitas, conglomerados tienen un comportamiento similar y se le asigna un valor de (1 a 2) por su fracturamiento; las rocas del **P-Pu**, **Ks-hn** y **Kis-ay** debido a que el factor precipitación pluvial es preponderante en éste sector que altera a suelos las rocas del tipo conglomerados, areniscas de grano grueso, limolitas, lutitas y delgados niveles tobaceos, lo que hace que el macizo rocoso se vuelva inestable; por lo tanto la susceptibilidad de la litología a experimentar fenómenos de

remoción en masa será (1 a2) en ésta zona. En los materiales **Qh-al1** la erosión de laderas se hace evidente en materiales del tipo heterogéneo de fragmentos angulosos y sub angulosos englobados en una matriz arenosa – limosa, mayormente distribuidos en los alrededores de la ciudad de Puno y en la carretera Puno- Juliaca, la susceptibilidad será Alta (3) a la erosión por el tipo de material y alta en los depósitos superficiales (3).

Hacia el noroeste de Puno, en la margen derecha Cuesta Blanca, cerca de Azoguine, la litología consta **PN-ta/in** de rocas sedimentarias mezcladas con rocas volcánicas, las mismas que al contacto con el clima se vuelven inestables siendo la susceptibilidad media (2). Esta misma unidad es también susceptible a experimentar flujos por lo tanto se le puede asignar el valor (2) para flujos. (Ver mapa 13)

4.3.6.4 Usos del suelo vs. Mapa de Peligros Geológicos

Este mapa indica el efecto de la actividad antrópica sobre los suelos, para la confección de éste mapa, al igual que los anteriores se hace el cruce del mapa de usos del suelo con el mapa de inventario de peligros geológicos. Se observa que los fenómenos de remoción en masa van íntimamente ligados a los usos del suelo; existen en el área de estudio zonas donde la vegetación es escasa SVE y los cultivos se dan por la agricultura de secano CS, estas zonas son susceptibles a

erosión antrópica otorgándole el valor (2), en nuestra escala de susceptibilidad; por otro lado tenemos zonas donde existen afloramientos rocosos SDP la susceptibilidad será baja (1) y zonas donde la minera no metálica está en actividad AM, invadiendo terrenos de cultivo para la extracción de agregados, que contribuyen a la inestabilización de laderas por el uso de maquinaria y explosivos, la susceptibilidad tendrá también un valor alto (3). Existen también los suelos desnudos permanentemente SDP donde los procesos de erosión son intensos, por lo tanto la susceptibilidad es media (2) en éste tipo de terreno. (Ver mapa 14)

Adicionalmente se ha hecho una sumatoria de pesos en ésta matriz de correlaciones, teniendo en cuenta la geomorfología, la pendiente, la litología, uso del suelo y la observación de campo que es en base a ella se elabora la matriz, donde se ha podido discriminar áreas que son más propensas o susceptibles a experimentar determinados fenómenos de remoción en masa como deslizamientos y caída de rocas, derrumbes y áreas donde la erosión de laderas y flujos son más comunes de suceder e inundaciones.

Finalmente con la sobre posición y los pesos dados a las diferentes unidades temáticas se obtiene el mapa de susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa y a los procesos erosivos; los pesos se vuelven a recalcular

haciéndose una división entre el peso inicial entre 4 para así utilizar nuestra escala de valores inicial, el mapa de susceptibilidad muestra valores en cada unidad de terreno (ejemplo unidad geomorfológica, unidad de pendiente alta, unidad de rocas sedimentarias, etc.) y estas son descritas mediante colores, donde cada color significa el grado de susceptibilidad del área.

4.4 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA

Para obtener el mapa de zonificación de la amenaza, a los mapas de fenómenos de remoción en masa (flujos, deslizamientos y derrumbes), de erosión de laderas e inundación, se le integran los factores detonantes mostrados en cuadro de precipitación y de aceleraciones sísmicas; encontrándose que las áreas se pueden clasificar en áreas de Muy Alta Amenaza, Alta Amenaza, Moderada Amenaza y baja Amenaza representadas por un color determinado, de éste análisis se infiere que las áreas más peligrosas de Alta Amenaza, donde los fenómenos de remoción en masa son detonados por lluvias y sismos se encuentran en la unidad geomorfológica de **Sistema Montañoso (S-mo)**, involucrando a las localidades de Huaje, Llavini, Machallata Azoguine, Cuesta Blanca. Cancharani, Manto Salcedo y Jallihuaya, donde se tiene registros de deslizamientos antiguos y recientes.

El área donde se emplaza la ciudad de Puno (Centro de la ciudad) el grado de Amenaza es moderada, debido a que se emplaza geomorfológicamente en un área relativamente plano ondulada; sin embargo los procesos

erosivos mantienen una estrecha relación a la intensidad de lluvias que caigan en la zona.

En las carreteras que son accesos a la ciudad de Puno, como la de Juliaca, Moquegua, los taludes de carretera han sido labrados en la unidad de materiales meteorizados con depósitos de material suelto y se vuelven inestables produciéndose derrumbes y flujos en cada temporada de lluvias por la naturaleza litológica y el ángulo de talud, el grado de Amenaza pasa de un rango Bajo a Alto.

Las áreas de Baja Amenaza a los fenómenos de remoción en masa se ubican en las áreas de topografía plano ondulada al este de ciudad de Puno, la zona de costanera.

En las áreas de alta amenaza a los fenómenos de inundación se ubican en las áreas de topografía plano ondulada al este de ciudad de Puno, la zona de costanera

Las zonificaciones geo ambientales son muy importantes para los planificadores debido a que mediante las mismas podemos hacer un mejor uso del territorio, expresando la distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia de un determinado fenómeno de remoción en masa en un área dada dentro de un periodo de tiempo determinado (ver mapa 15).

4.5 PROPUESTA GENERAL

El objetivo del Programa de Ciudades Sostenibles, orienta a mejorar las condiciones de seguridad física de los asentamientos humanos, la

ciudad de Puno corresponde a una ciudad que debe adoptar planes, normas y regulaciones congruentes con las medidas y acciones de protección física, y que estará dotada de un sistema de gestión de la administración del desarrollo urbano confiable, ordenado, seguro y básicamente promotor.

Está estrechamente vinculada a las condiciones del medio natural en el que está localizada esta ciudad y a las características de su entorno cercano, así como a la naturaleza de sus aptitudes y a su rol central en los procesos de desarrollo social, económico y cultural de la región.

La presente propuesta visualiza un escenario estructurado por los siguientes elementos clave:

- Crecimiento demográfico.
- Programas de ordenamiento urbano.
- Desarrollo urbano organizado
- Aplicación eficiente de sistemas constructivos y utilización de materiales de construcción adecuados.
- Aprovechamiento de la particular potencialidad turística de la zona, mediante la adecuada utilización de los recursos naturales, paisajistas, climáticos, etc.
- Población, autoridades e instituciones comprometidas con la gestión de riesgos, para el desarrollo y promoción de una cultura de prevención.

4.5.1 PROPUESTA DE MEDIDAS DE MITIGACION ANTE DESASTRES

Las Medidas de Mitigación ante Desastres tienen la finalidad de orientar el proceso del desarrollo de la ciudad en forma armónica y sostenible, reduciendo los niveles de vulnerabilidad de la integridad física de las personas, la infraestructura.

Las medidas de mitigación deben ser percibidas como una importante inversión, especialmente en sectores de alto riesgo, y deben ser incorporadas a los procesos de planificación, normatividad e implementación de planes, para permitir la ocupación ordenada y segura del espacio urbano.

Las medidas de mitigación se realizan para:

- Reducir las condiciones de vulnerabilidad social, física y económica
- Establecer condiciones óptimas de ocupación del territorio.
- Aplicar medidas preventivas para lograr un equilibrio medio ambiental, en áreas vulnerables expuestas a los efectos de eventos adversos.
- Establecer las pautas de seguridad operativas en materia de planificación, para el desarrollo sostenible de la ciudad de Puno.

4.5.2 MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE MITIGACIÓN ANTE DESASTRES

A. Medidas Preventivas a Nivel Político Institucional

- La Municipalidad de Puno debe liderar un proceso de cambio

hacia el mayor conocimiento de los peligros geológicos.

- Gestión de recursos para la medición permanente, la profundización de investigaciones y la ejecución de proyectos orientados a la seguridad de la ciudad de Puno, con énfasis en la reducción de los peligros geológicos-climáticos.
- Difusión extensiva del presente estudio "Mapa de Peligros y Medidas de Mitigación de la Ciudad de Puno" entre todos los sectores de la población.

B. Medidas Preventivas a Nivel Ambiental

- Diseñar un sistema de intervención de microcuencas o quebradas degradadas con el fin de evitar la erosión, la inestabilidad de suelos y la generación de inundaciones.
- Promover la divulgación de las acciones que cada localidad viene desarrollando en la prevención de desastres.

B.1. Medidas de Mitigación a Nivel de Geología

- Siendo la sismicidad un peligro geológico muy importante en Puno, se debe promover la preparación de la población para mitigar este peligro natural.
- Las precipitaciones pluviales originan muchos problemas de geodinámica externa como los deslizamientos, estos corresponde al movimiento lento de masas de tierra o de rocas por la pérdida de estabilidad debido a la gravedad, la saturación de agua,

por la presencia de materiales arcillosos y la ocurrencia de movimientos sísmicos. Por ello es muy importante realizar trabajos de estabilidad de laderas y taludes, mediante la forestación intensiva.

- Los desprendimientos de rocas consiste en el desplazamiento rápido hacia abajo de una masa de materiales de roca o sedimentos por la pérdida de estabilidad debido a la sobrecarga de los materiales y favorecida por la forma de la ladera. Por ello se deben hacer trabajos de sostenimiento de los sectores críticos donde existen estos problemas.

B.2. Medidas de Mitigación sobre Hidrología e Hidráulica

- Protegido el suelo evitamos que las escorrentías superficiales lo erosionen y se generen por sumatoria los flujos de lodos o escombros que hasta la fecha se convierten en el mayor peligro que año a año afectan a la ciudad.
- Reforestar las áreas denudadas. Este objetivo de disminuir drásticamente la deforestación se convierte en uno de las medidas de mitigación más importante que favorecerá grandemente a la ciudad y sus anexos, elevando la calidad de vida de su población.
- Estabilizar las quebradas erosionadas e inestables
- Implementar en forma prioritaria la estabilización de las

principales quebradas erosionadas e inestables que circundan la ciudad a través de trabajos de ingeniería (Qdas. Huaje, San José, Cuesta Blanca, etc.).

- Las medidas de mitigación en caso de inundaciones o de la erosión fluvial consisten en la implementación de obras de defensas ribereñas en las zonas más vulnerables identificadas en la ribera del lago y quebradas de la ciudad.

C. Medidas Preventivas a Nivel de Proceso de Planificación

- Actualizar el Plan Urbano de la ciudad de Puno y reformular la Zonificación Urbana de la ciudad a fin de reordenar el espacio urbano y regular su expansión, incorporando como base fundamental del desarrollo, la seguridad física de asentamientos.
- Efectuar un eficiente control urbano a fin de que se controle el crecimiento espontáneo hacia áreas inseguras como las riberas del lago, cursos de quebradas y áreas de ladera con peligros de deslizamiento, derrumbes y de pendiente pronunciada que son no aptas para fines urbanos.
- Establecer sistemas de monitoreo del proceso de colmatación de los cursos de agua en ríos, y quebradas activas, ejecutando las acciones necesarias para evitar que lleguen a constituir amenazas para la seguridad de sectores de la ciudad.
- Planificar el ordenamiento urbano y territorial con el fin de

delimitar las áreas no aptas para usos urbanos por amenazas naturales o antrópicas.

- Formular un plan de acciones de emergencia que considere, de ser posible, sistemas de alarma, rutas de evacuación y centros de refugio, para distintos tipos de eventos.

4.5.3 ALTERNATIVAS DE EXPANSION URBANA

El crecimiento de las ciudades debe ser planificado para que la organización de su espacio urbano sea equilibrado, y sobre todo seguro. Sin embargo, en nuestro país como en muchos otros, aún no se puede crecer organizadamente, ya sea por la falta de estudios urbanos o porque en la realidad la dinámica urbana rebasa las previsiones planteadas en éstos. De allí que las "**tendencias**" de expansión en la mayoría de los casos no coincidan con los planteamientos o alternativas de expansión, técnicamente sustentadas.

De otro lado, los sectores de menos recursos de la población, ante la imposibilidad de acceder al mercado formal de la vivienda y establecerse en sectores urbanos habilitados para tal fin, ocupan terrenos agrícolas y eriazos en áreas periféricas, conos de deyección, terrazas fluviales, quebradas, etc., altamente peligrosas ante la amenaza de ocurrencia de desastres naturales. Este hecho, si bien constituye para esta población una solución a sus demandas de vivienda, los ubica en una situación de alto riesgo no solo por la ubicación física de sus viviendas, sino porque en los

procesos de edificación no cuentan con el debido asesoramiento técnico que las haga menos vulnerables ante la posibilidad de ocurrencia de un evento natural.

En este sentido, ante el requerimiento de formular una propuesta para la expansión urbana de una ciudad es fundamental evaluar las alternativas existentes en el entorno físico-geográfico inmediato al área urbana para determinar así las ventajas comparativas que éstas ofrecen para la demanda proyectada. Estas áreas deberán contar con condiciones favorables de articulación al área ocupada, factibilidad de servicios básicos, y sobre todo seguridad ante la ocurrencia de fenómenos naturales. En la ciudad de Puno se ha observado durante las últimas décadas tres tendencias de crecimiento, la primera se ha dado en la periferia de la ciudad, al noreste, generándose un proceso de conurbación urbana sobre el eje de la vía a Huaje. La segunda y tercera tendencias se han dado hacia el oeste y sur respectivamente, mediante la densificación del área urbana sobre laderas de los cerros y riberas del lago Titicaca.

Las tendencias de crecimiento en la periferia se caracterizan por ser procesos espontáneos sobre los principales ejes viales regionales de acceso a la ciudad, muchos de ellos en zonas expuestas a peligros naturales.

Las áreas de expansión de la ciudad de Puno han sido evaluadas de acuerdo a las características del entorno y a los factores

naturales que se encuentran condicionando su ocupación, identificándose las áreas siguientes con la mejor aptitud para su ocupación:

1. **Área de Yanamayo:-** Se ubica al Oeste de la ciudad en una planicie alta sobre la margen izquierda de la Carretera Puno Juliaca. izquierda de la quebrada del mismo nombre, está constituido por parcelas agrícolas ocupadas parcialmente en proceso de urbanización. Posee accesibilidad a través de la carretera Puno a Mañazo. El área no cuenta con servicios básicos, pero si existen redes en el entorno inmediato sobre el eje de la carretera.
2. **Área Carretera a Moquegua:-** Se ubica al extremo Sur oeste de la ciudad sobre el eje de la carretera central en dirección a Moquegua, en una planicie sobre la margen derecha e izquierda de la vía, está constituido por lotes rústicos de incipiente ocupación. Posee accesibilidad a través de la carretera, el área no cuenta con servicios básicos, El área no cuenta con servicios básicos, pero si existen redes en el entorno inmediato sobre el eje de la carretera.
3. **Área a Huerta Huaraya.-** Área localizada al extremo noreste de la ciudad, constituida por parcelas agrícolas con una grado incipiente de ocupación. Posee accesibilidad a través de la carretera a Huaje.
4. **Áreas de Jllihuaya.-** Áreas ubicadas al sur de la ciudad, entre las, constituidas por terrenos con actividad agrícola al interior del área

urbana. El área cuenta parcialmente con servicios básicos, con redes en las urbanizaciones antes mencionadas, sin embargo para su ocupación es necesario que se amplíen las redes de agua potable, desagüe y energía eléctrica. El área agrícola actualmente ocupada a mediano plazo podría ser incorporada al suelo urbano.

ÁREAS CON CONSIDERABLE USO DE SUELO:

En este concepto están incluidas las tierras conformadas por los cauces y márgenes de ríos y quebradas, así como taludes de laderas, las que deberán estar 'sujetas a trabajos de mantenimiento periódico para evitar flujos de lodos, inundaciones, derrumbes, deslizamientos o erosiones. En resumen, los suelos no urbanizables del ámbito del estudio son:

- **Zona de Protección de Quebradas**

Es la franja afectada por el cauce de quebradas activas. Esta zona se constituye en suelo de protección ante peligros naturales que reducirá el grado de vulnerabilidad de áreas urbanas contiguas a zonas de riesgo.

- **Zona de Protección de Riberas del lago**

Es la franja ribereña del Lago Titicaca ocupada por áreas urbanas y afectadas por desborde del lago. Esta zona se constituye en suelo de protección ante este peligro natural,

que reducirá el grado de vulnerabilidad de áreas urbanas contiguas; requiriéndose estudios y reglamentación específica para la reubicación de la población.

- **Zona de Protección de Deslizamientos**

Es la franja afectada por deslizamientos en laderas. Esta zona se constituye en Suelo de protección ante este peligro natural que reducirá el grado de vulnerabilidad de áreas urbanas contiguas a estas zonas de riesgo.

4.5.4 SUGERENCIAS TÉCNICAS Y DE GESTIÓN

A. SOBRE GEOLOGÍA

- La Municipalidad Distrital de Puno deberá efectuar las gestiones ante el gobierno regional y central, la ejecución de las obras identificadas, previa elaboración de los expedientes técnicos correspondientes.
- Tomar acciones para prohibir la habitabilidad en las áreas calificadas como de Peligro Muy Alto y restringir la habitabilidad de las calificadas como de Peligro Alto.
- Impedir el desarrollo de grupos habitacionales y de inversiones en áreas calificadas como de Peligro Alto, no autorizando ni permitiendo la ejecución de obras de construcción nuevas ni la ampliación de las existentes.
- En los sectores calificados con Peligro moderado que presentan una forma de relieve que facilitaría el escurrimiento

de aguas y producirían inundaciones de áreas urbanas y de expansión urbana en casos de precipitaciones extraordinarias, en lo posible, se deben realizar acciones para que las calles y avenidas principales se alinean en la dirección de la posible ruta y la capacidad del cauce natural original para posibilitar el flujo natural en armonía con el ecosistema. Dichas acciones consistirían en obras de canalización que eviten la inundación de las áreas aledañas y la infiltración de la napa freática.

- Estos proyectos deberán incluir el diseño de los sistemas de seguridad física necesarios, principalmente para casos de sismos, definiéndose rutas y tiempos de evacuación, áreas de concentración, refugio, atención médica necesaria, etc.
- Para las construcciones de las Edificaciones, los estudios de Mecánica de Suelos deberán ser debidamente firmados por el profesional responsable, conteniendo como mínimo: memoria descriptiva del proyecto, planos y perfiles del suelo, diseño estructural, además de considerar los efectos de los sismos para la determinación de la capacidad portante del suelo.

B. SOBRE MANEJO DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA

- La Municipalidad de Puno deberá efectuar las gestiones ante el gobierno regional y central, para la ejecución de las obras identificadas, previa elaboración de los

expedientes técnicos correspondientes.

- La gestión deberá hacerlo en coordinación con INDECI, buscando también la posibilidad de un financiamiento externo.
- La Municipalidad de Puno debe liderar con apoyo de INDECI la implementación de talleres y programas de radio, de educación ambiental, y con el Ministerio de Educación a través de la UGEL del sector, para reforzar un curso de riesgos geológicos en la ciudad de Puno.

CONCLUSIONES

Las características geo ambientales; geológico, geomorfológico, pendientes, usos del suelo y actividad de procesos, son básicos para el análisis de la susceptibilidad, conjuntamente con los factores detonantes de sismicidad y precipitación pluvial; en base a ellos es posible recomendar el uso más apropiado de áreas urbanas

Los peligros geo ambientales son erosión de laderas, deslizamientos que están localizadas en materiales del tipo de fragmentos angulosos y sub angulosos englobados en una matriz arenosa - limosa que cubren gran parte del área en la ciudad de Puno, al noreste y oeste de la misma donde la morfología muestra un relieve de superficie de colinas y laderas, pie de monte; susceptibles a erosión natural y antrópica. Las áreas sujetas a inundaciones están localizadas en las riberas del lago Titicaca donde se encuentra depósitos lacustrinos y bofedales, y afectando terrenos de cultivo, viviendas ubicadas en sus orillas donde los pobladores han expandido sus terrenos

De acuerdo al estudio geo ambiental se puede señalar que es muy importante la zonificación geomorfológica y de pendientes, puesto que están relacionados mayormente al factor clima como las precipitaciones pluviales de la zona y el

factor sismo el cual se debe tomar en cuenta con sumo cuidado en vista que ningún lugar está libre de los fenómenos naturales.

La ciudad de Puno, en las condiciones actuales de las viviendas y sin un adecuado control de drenaje ni planeamiento urbanístico, se encuentra geográficamente en una zona de peligrosidad moderada a alta, ante los peligros geológicos de caídas de rocas, erosión de laderas, deslizamientos e inundaciones, que se localizan principalmente en los flancos, con laderas de fuerte pendiente y cortes de carretera, donde las condiciones litológicas, precipitaciones pluviales, presencia de agua y pendientes les son favorables.

Las amenazas por movimientos de masa, en especial las caídas de bloques, son de carácter puntual en la ciudad, siendo el punto de mayor atención el que se presenta en laderas, donde las rocas están muy fracturadas. El creciente desarrollo urbano en áreas de pendientes fuertes, algunas veces con poco o ningún control, son susceptibles a sufrir daños a consecuencia de la activación de un peligro geológico.

El área inundable costanera y Salcedo corresponde a la planicie de inundación del lago. Además los anegamientos que sufren en zonas aledañas son a consecuencia de la barrera formada por la carretera, que no deja fluir libremente el agua.

Muy cerca del área de estudio y al sur de la localidad de Puno, se reconoció una falla normal con dirección E-W, su activación y magnitud ocasionaría movimientos que pondrían en peligro la zona de estudio.

Un Ordenamiento Territorial metodológicamente planteado y jurídicamente válido se convierte en el instrumento de planificación esencial en la búsqueda del equilibrio entre la preservación, conservación y explotación de los recursos naturales disponibles en una ciudad y/o región.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios en las microcuencas, de peligros geológicos, hidrológicos, para conocer el comportamiento del material, pendiente, caudal, la velocidad en épocas de máximas avenidas y de acuerdo a ello controlar el drenaje y plantear un planeamiento urbanístico

Para evitar la erosión y socavación del cauce que generan derrumbes de laderas en algunos puntos de la ciudad, se debe construir muros de protección escalonados técnicamente con normas existentes y proteger las márgenes de la erosión.

En sectores donde presentan un relieve que facilite el escurrimiento de aguas se producirían inundaciones de áreas urbanas y expansión urbana, en casos de precipitaciones extraordinarias; donde en lo posible, se deben realizar que las calles y avenidas principales se alinean en la dirección de la ruta del cauce original para posibilitar el flujo natural en armonía con el ecosistema. Dichas acciones consistirían en obras de canalización que eviten la inundación de las áreas aledañas y la infiltración de la napa freática.

La población en el área de estudio, deben ser informadas con material educativo sobre los peligros geológicos identificados, mediante material informativo proporcionados por los entes competentes.

La autoridad local, con el apoyo de los sectores, deberán ejecutar obras para el encauzamiento de las aguas de escurrimiento superficial, la que finalmente desemboca en el lago Titicaca; y tomar las medidas de prevención necesarias.

BIBLIOGRAFÍA

Alcántara -Ayala, I. (2002) Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. Geomorphology United states of America by. Cambrige University.

Alexander, D. (1993) Natural Disasters. University College London Press, Londres.

Ascencio C. (2010) Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Puno. 2008-2012, Municipalidad Provincial de Puno

Ayala, F.J. (1995). Probabilidad y vulnerabilidad en movimientos de ladera. En: Reducción de riesgos geológicos en España. ITGE. Madrid.

Ayala, F.J. (2002). Análisis de riesgos por movimientos de ladera. En: Ayala, F.J. Olcina J. Riesgos Naturales. Ed. Ariel, Barcelona.

Arias, L. (1980). Diagnóstico de sistemas de producción. Herramienta de planificación de la investigación en la Estación Experimental del Norte-Oriente de Guárico. FONAIAP Valle de la Pascua. Estado Guárico. p. 36.

Botz, J. T. & Loudon, C. & Barger, J.B. & Olafsen, J.S. & Steeples, D W., (2003). Effects of slope and particle size on ant locomotion: Implications for choice of substrate by antlions, *J Kans Entomol Soc.* vol. 76, no3, pp. 426-435.

Bonachea, J. (2006) Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos. Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada. Universidad de Cantabria. Santander.

Bonachea, J. & Remondo, J. & Cendrero, A. (2004). Evaluación y cartografía de riesgo de deslizamientos a partir del análisis de los movimientos ocurridos en el pasado reciente y de sus efectos. En: Benito, G., Díez Herrero, A., (Eds.), *Riesgos Naturales y Antrópicos en Geomorfología 2*. Sociedad Española de Geomorfología, Madrid, pp. 423-434.

Campero J. (2014) Estabilización de taludes en la Asociación Swen Erickzon sector 01

CARDONA, O. D. (2001). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Centro de estudios sobre desastres y riesgos CEDERI. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

Cardona, O. D. (1993): Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo en: *Los desastres no son naturales*, A. Maskrey (compilador). LA RED, Tercer Mundo Editores, Bogotá.

Cardona O.D. (2004). Evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo
Bogotá.

Cardoch, (2001). Previendo el caos urbano Revista Mouse La Tercera.

Castillo, J. y Alva, J. (1993). Peligro Sísmico en el Perú., VII Congreso Nacional
de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima.

Casanova, E.& Páez, M. & Rodríguez, O. (1989). Pérdida de nutrimentos por
erosión bajo diferentes manejos en dos suelos agrícolas. Revista de la Facultad
de Agronomía de la UCV. Alcance 37:33-43.

Cendrero, A. & Díaz de Terán, J.R.& Fernández, O. & Garrote, R. & González
Lastra, J.R. & Inoriza, I. & Lütting, G.& Otamendi, J. & Pérez, M. & Serrano,
A.(1987). Metodología para la elaboración de mapas de riesgo. Geología
Ambiental y Ordenación del Territorio. II Reunión Nacional, Comunicaciones II,
Valencia.

CENEPRED. (2013) Manual de evaluación de riesgos originados por
fenómenos naturales, Lima, Perú.

Centeno, F. (2008). Estudio de Geomorfología y Amenazas Geotécnicas e
Hidrológicas. Caracas.

CCS (2004) Consorcio de Compensación de Seguros

Charaja F. (2004). Investigación Científica. Segunda Edición Editora Mundo
Puno-Perú

Cuny, F. (1983) Disaster and Development, New York Oxford Universty Press.

Chubieco, E. (2006). Teledetección ambiental. Observación de la tierra desde el espacio. Segunda edición, editorial Ariel Ciencias, Barcelona, España, 583 p.

Dai F, C. Lee C, F. (2001). Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, (42), 213-228.

Dregneh, E. (1983.) *Desertification of arid lands.* H awood Academic Publ. London.

De Marco, P. (2004). Guía de estudios de la cátedra de mecánica de rocas. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Departamento de Minas. Inédito. Caracas.

Díez Herrero A. et al, (2008); *Los Riesgos Geológicos En Guadalajara: Inundaciones y Terremotos*, España

Ferrer, M. (1995). Los movimientos de ladera en España. En: *Reducción de Riesgos Geológicos en España*. ITGE, Madrid

FAO, UNESCO, WMO (1977). *Desertification Map of the World*, United Nations Conference on Desertification. New York.

FAO, (1967). *La erosión del suelo por el agua*. Cuadernos de fomento agropecuario. N° 81 Roma. 207 p.

Gallo C. (2014) *Efectos Sociales en las familias damnificadas y afectadas por temporada de invernal en el barrio la florida, sector la banda, de la ciudad de Loja a las cuales asiste el ministerio de inclusión economía y social y la intervención del trabajador social.*

Gonzales L, et al. 2005 Ingeniería geológica, universidades Complutense y Politécnica de Madrid- España.

Hernández., R. & Fernández, C. & Baptista, P. (2010.) Metodología de la Investigación. Quinta Edición. Ed. Mc Graw Hill. México

Herrera C. R (1999). Geología de las quebradas Santa María y Palo Negro Los Teques - Carrizal, Estado Miranda. Trabajo especial de grado. Inédito.

Huamán, L. (2001). Metodología de la Investigación. Ed. Geogea.

INDECI, (2006). Estimación De Riesgos, Lima, Perú

INDECI, (2013). Compendio Estadístico, Lima, Perú

INGEMMET. (1993) Estudio Integrado del Sur. Boletín N° 42; Lima – Perú

INGEMMET (2006), Estudio De Riesgos Geológicos en la Región Huánuco.

IUGS (1997) Working Group on Landslides, Committee on Risk Assessment "Quantitative risk assessment for slopes and landslides – The state of the art". Proceedings of the International Workshop on landslide risk assessment, Honolulu, Hawaii, USA, pp. 3-12.

Jimes M. (2014), Deslizamientos Inducidos Por Sismo y Lluvia, Instituto de ingeniería UNAM- México

Luzi, L.Pergalani, F. (2000). Slope vulnerability to earthquakes at subregional scale, using probabilistic techniques and geographic information systems. Engineering Geology, (58), 313-336

Lope, Bermupu. ET.AL. (1979). Inundaciones catastróficas, precipitaciones torrenciales y erosión en la OCDE 1985.

Mardones M.-Vidal C, 2001; La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción- Chile

Maskrey, A. (1993) Los desastres no son naturales. Red de Estudios sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 134 p. Lima Perú

Marcato,C. & Morretto, S. & Pasuto,A. &Silverio, S. & Tagliavini, F.& Zannoni, A. (2005). Assessment of Landslide Risk and Mitigation in Mountain Areas (ALARM). Final report, Contract EVG1-CT- 2001-00038. 85 p.

Mejía M., Wohl E., Oaks, S. (1994). Geological hazards, vulnerability, and risk assessment using GIS: model for Glenwood Springs, Colorado. Geomorphology, (10), 331-354.

Meza P.- Benavides I, (1995) Comportamiento Sísmico Preliminar De Los Suelos De La Ciudad De Puno.

Moreno, J.M. (2005). Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Proyecto ECCE. Ministerio de Medio Ambiente.

Murcia C. (2015); Plan De Emergencias y Contingencias Del Sistema De Acueducto, Alcantarillado y Aseo Empresas Públicas Municipales De Sibaté S.C.A. E.S.P.

MPBJ, (2012) Plan de acondicionamiento Territorial de la Provincia Jorge Basadre PAT 2012-2021

MPP, (2008) Plan de desarrollo urbano 2008 – 2012, Municipalidad Provincial de Puno.

Oliver-Smith, A. (2002). El gran terremoto del Perú 1970: el concepto de la vulnerabilidad y el estudio y la gestión de los desastres en América Latina.

Ocola, L. (1996) Efectos Macro sísmicos del sismo de Nazca del 12 de noviembre de 1996. Informe inédito Instituto Geofísico del Perú.

OEA (1991). Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños, Washington Estados Unidos

ONU, Costa Rica (Estrategia Internacional Para La Reducción De Desastres)
Elina Palm, Encargada De Asuntos Regionales San José, Costa Rica

OPS, (2000), Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de Salud, Washington. Estados Unidos

Otero, I. (1993) Planificación Territorial. Estudios de casos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes Editor Fundación Conde del Valle de Salazar. 1993

PREDES, (2005). Gestión de Riesgos de Desastre. Lima PREDES

Páez, M. (1980). Contribución al estudio de la precipitación como factor de erosión en condiciones tropicales. Chaguaramas (Edo. Guárico). Tesis MSc,

Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. 79p.

Palacios O, & Sánchez A. (1995) Geología Del Perú. Boletín N° 55, INGEMMET. Lima Perú. Movimientos En Masa En La Región Andina (Una Guía Para La Evaluación De Amenazas) (GEMMA)

Peña,N. & Luis,F.(2003). Estudio de riesgo geológico en el sector Maiquetía_Caraballeda, Edo. Vargas. Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Rubio, J. L. (1987). Desertificación en la Comunidad Valenciana: antecedentes históricos y situación actual de erosión. Revista Valenciana D Estudios Autonomics.

Swiss, Re. (2001). Catástrofes de la naturaleza y antropogenias en el 2000: menos daños asegurados a pesar de las devastadoras inundaciones. Sigma, N°2, Zurich

Urbani, F.& Rodríguez, J. (2004). Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa Venezuela. U.C.V., Caracas Walsh S., Butler D. y Malanson G. (1998). An overview of scale, pattern, process relationships in geomorphology: a remote sensing and GIS perspective, *Geomorphology*, (21), 183-205.

Valenzuela, G. (2003) la geología ambiental en la zonificación de amenazas naturales, Tesis maestría, Perú, Lima.

Vallejo, L. et.al (2004). Ingeniería Geológica, editorial Isabel Capella, España, 744 p.

Vásquez J. (2009) Movimientos en Masa en la Quebrada Canto Grande. Lima, tesis de Ingeniero Geólogo, UNMSM Perú.

Varnes, D.J. (1994) Slope movements and types and proceses. En Landslides: Analysis and control, Spec. Rep. 176 (Transportation Res., Board Nat. Acad. Sci., Washington), II-33.

Vera J. (1994). "Estratigrafía. Principios y métodos". Ed. Rueda. 806 pp

Wilches-Chaux. G. (1993): La vulnerabilidad global. Red de Estudios Sociales en la Prevención de desastres en América Latina Editores Colombia.

Zuloaga, I. (1995).Venezuela-estimation of the economic losses due to geological hazards. Primeras Jornadas Venezolanas de Ingeniería Civil, Caracas.

ANEXOS

ANEXO 1

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

AM: Actividad Minera No Metálica

Ap-on: Altiplanicie Ondulada

CCS: Consorcio de Compensación de Seguros

CENEPRED: Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres

CP-100110: Estación Meteorológica Principal de Puno

CS: Cultivos de secano

D-bo: Depósito bofedal

D-la: Depósito lacustre

D-pmo: Depósito de pie de monte

EIRD: Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres las Naciones Unidas

E-O: Este – Oeste

EU: Expansión urbana

FEMA: Emergency Management Agency

FRM: fenómenos de remoción en masa

G.P.S.: Sistema Global de Posicionamiento

I: Rocas ígneas

IGN: Instituto Geográfico Nacional

INDECI: Instituto Nacional de Defensa Civil

INGEMMET: Instituto Geológico Minero Metalúrgico

IUGS: International Union of Geological Sciences

JsKi – Mu: Formación Muni Kis

– **ay:** Formación Ayabacas Kis

– **hn:** Formación Huancané Ks-

mñ: Formación Muñani

Ks-vi: Formación Vilquechico

MM: Mercalli Modificada

MPJB: Municipalidad Provincia Jorge Basadre

MSK: Medvedev, Sponhever y Karnik

Msnm: metros sobre el nivel del mar

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

NTE-030-97: Norma Sismo resistente

OEA: organismo de estados americanos

ONI: Índice del Niño Oceánico

O.N.U.: Organización de Naciones Unidas

P – pu: Grupo Puno

PN – ta/in: Volcánico Tacaza

NQ-um/ab: Grupo Barroso

Qh – C: Cuaternario Coluvial

S-co/la: Superficie de colinas y laderas

SDP: Suelo Desnudo Permanente

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

SFAC: Sistema de Falla Ayaviri Copacabana

SIG: Sistema de Información Geográfica

SINADECI: Sistema Nacional de Defensa Civil

S-mo: Sistema Montañoso

SVE: Suelos con vegetación escasa

SW – NW: Sur Oeste –Norte Oeste

UTM: Sistema de Coordenadas Universal Trasnversal de Mercator

ANEXO 2

FICHAS DE INVENTARIO