



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN,  
PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM**

Conforme al Reglamento del Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI.  
Resolución del Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

**1. Datos del Autor:**

Apellidos y Nombres: ARANDA LEIVA RUBEN DARIO  
Código de alumno: 2017.3626.6.AR Teléfono: 979464585  
Correo electrónico: rubenic.26@gmail.com DNI o Extranjería: 45589645

**2. Modalidad de trabajo de investigación:**

- Trabajo de investigación  Trabajo académico  
 Trabajo de suficiencia profesional  Tesis

**3. Título profesional o grado académico:**

- Bachiller  Título  Segunda especialidad  
 Licenciado  Magister  Doctor

**4. Título del trabajo de investigación:**

"Evaluación del riesgo Sismo-Geotecnico de la ciudad universitaria de la UNASAM, 2018"

**5. Facultad de:** .....

**6. Escuela, Carrera o Programa:** Ciencias e Ingeniería con Mención en Gestión de Riesgo y Cambio Climatico

**7. Asesor:**

Apellidos y Nombres: Tinoco Meyhuay Tito Moner Teléfono: 944426060  
Correo electrónico: ttinoco2409@hotmail.com DNI o Extranjería: 31648615

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma: 

D.N.I.:

FECHA:  /  /



# UNIVERSIDAD NACIONAL “SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”

---

## ESCUELA DE POSTGRADO

### “EVALUACIÓN DEL RIESGO SISMO-GEOTÉCNICO DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNASAM, 2018”.

Tesis para optar el grado de maestro  
en Ciencias e Ingeniería  
Mención en Gestión de Riesgo y Cambio Climático

**RUBEN DARÍO ARANDA LEIVA**

Asesor: **Dr. TITO MONER TINOCO MEYHUAY**

Huaraz – Ancash – Perú

2019





**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”**

---

**ESCUELA DE POSTGRADO**

**“EVALUACIÓN DEL RIESGO SISMO-GEOTÉCNICO DE LA  
CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNASAM, 2018”.**

Tesis para optar el grado de maestro  
en Ciencias e Ingeniería  
Mención en Gestión de Riesgo y Cambio Climático

**RUBEN DARÍO ARANDA LEIVA**

Asesor: **Dr. TITO MONER TINOCO MEYHUAY**

Huaraz – Ancash – Perú

2019

Nº de Registro: T0716



## MIEMBROS DEL JURADO

*Doctor* Reynaldo Reyes Roque

Presidente

---

*Doctor* Victor Manrique Jeronimo

Secretario

---

*Doctor* Tito Moner Tinoco Meyhuay

Vocal

---

**ASESOR**

***Doctor*** Tito Moner Tinoco Meyhuay

## INDICE

	<b>Página</b>
Resumen.....	xiv
Abstrac.....	xv
I. INTRODUCCION	1
Objetivos	2
Hipótesis	3
Variables	3
II. MARCO TEORICO	4
2.1 Antecedentes de Investigación	4
2.2 Bases teóricas	7
2.2.1 Estudio Geológico	7
2.2.2 Estudio Geofísico	25
2.2.3 Sismicidad y Efectos del sismo	29
2.2.4 Peligro Sísmico	35
2.2.5 Vulnerabilidad Sísmica	45
2.2.6 Riesgo Sísmico	54
2.3 Definición de términos	56
III. METODOLOGIA	58
3.1 Tipo y diseño de Investigación	58
3.2 Plan de recolección de la investigación y/o diseño estadístico	59
- Población	59
- Muestra	59
3.3 Instrumento(s) de recolección de la información	59
3.4 Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información	60
IV. . RESULTADOS	62
V. DISCUSION	107
VI. CONCLUSIONES	117
VII. RECOMENDACIONES	118
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
ANEXO	121

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	:Mapa Geológico de Ancash .....	13
Figura 2	:Mapa Geológico Regional de Huaraz .....	16
Figura 3	:Mapa Geomorfológico de la ciudad de Huaraz .....	18
Figura 4	: Mapa de ubicación de napa freática en la ciudad de Huaraz .....	24
Figura 5	: Modelo inicial basado en 1/3 de la transformación de la longitud de onda .....	27
Figura 6	: Distribución de puntos de disparo del ensayo MASW.....	28
Figura 7	: Mapa de zonificación sísmica del Peru,.....	32
Figura 8	: Resumen de valores típicos para los distintos tipos de perfiles de suelo.....	33
Figura 9	: Fuentes Sismogénicas de subducción de Interfase .....	37
Figura 10	: Fuentes Sismogénicas de subducción de Intraplaza .....	38
Figura 11	: Fuentes Sismogénicas de corteza superficial o continentales).....	39
Figura 12	: Daño observado en las edificaciones luego del sismo del 2007 en la ciudad de Pisco. ....	45
Figura 13	: Se muestra los componentes de evaluación de la vulnerabilidad social, en sus 03 componentes exposición, fragilidad y resiliencia.....	50
Figura 14	: Se muestra los componentes de evaluación de la vulnerabilidad económica, en sus 03 componentes exposición, fragilidad y resiliencia.....	51
Figura 15	: Se muestra los componentes de evaluación de la vulnerabilidad ambiental, en sus 03 componentes exposición, fragilidad y resiliencia. ....	52
Figura 16	: Mapa Geomorfológico de la ciudad universitaria de la UNASAM .....	65
Figura 17	: Mapa Geologico según INGEMMET de la ciudad universitaria de la UNASAM .....	65

Figura 18	: Mapa Geológico según la municipalidad provincial de Huaraz de la ciudad universitaria de la UNASAM.....	66
Figura 19	: Ubicación de las líneas sísmicas en la ciudad universitaria de la UNASAM .....	67
Figura 20	: Resultado de velocidades de onda. ....	68
Figura 21	: Cuadros resumen de las velocidades de onda de corte así como la rigidez del suelo en función de la profundidad. ....	69
Figura 22	: Cuadros resumen de la velocidad de onda de corte a los 30 m de profundidad y el tipo de suelos según el periodo de vibración del suelo a los 30 m de profundidad .....	69
Figura 23	: Se muestra el tendido de 75m de línea sísmica con 24 geofonos espaciados a 3 m.....	70
Figura 24	: Se muestra el otro extremo de la línea sísmica donde se decepcionaba los datos de velocidad generadas por el martillo de 24 lb. ....	70
Figura 25	: Cuadros resumen de las velocidades de onda de corte así como la rigidez del suelo en función de la profundidad. ....	71
Figura 26	: Cuadros resumen de la velocidad de onda de corte a los 30 m de profundidad y el tipo de suelos según el periodo de vibración del suelo a los 30 m de profundidad.....	71
Figura 27	: Se muestra el tendido de 75m de línea sísmica con 24 geofonos espaciados a 3 m .....	72
Figura 28	: Se muestra los geófonos responsables de sentir la onda de corte y transmitirla al sismógrafo para su procesamiento posteriormente. ....	72
Figura 29	: Resultado de tipo de suelo en las dos líneas sísmicas. ....	73
Figura 30	: Resultado propiedades dinámicas en las dos líneas sísmicas. ....	73
Figura 31	: Se muestra la profundidad alcanzada y el tipo de suelo encontrado, se nota la presencia una arcilla de alta plasticidad. ....	75
Figura 32	: Se muestra la excavación de la calicata N° 03 para las aulas comunes.....	77

Figura 33	: Se muestra la construcción de la facultad de ingeniería civil, donde se nota la presencia de gravas con la mezcla de arcillas, francos de arcilla y como arcillas con gravas.....	78
Figura 34	: Se muestra la calicata N° 02, excavada con la ayuda de una retroexcavadora para poder llegar a profundidades mayores a 3 m.....	79
Figura 35	: Tipo de suelo en la ciudad universitaria según el plano de microzonificación sísmica de la Municipalidad Provincial de Huaraz.....	80
Figura 36	: Programa para la evaluación del peligro sísmico R-CRISIS Ver 18.3.....	81
Figura 37	: Se muestra la ciudad universitaria y las facultades que alberga.....	82
Figura 38	: Se puede ver las aceleraciones para la provincia de Huaraz y dentro de la provincia se encuentra la ciudad universitaria de la UNASAM, las aceleraciones que se muestran son para un periodo estructural de 0.00 seg y para un periodo de retorno de 475 años .....	82
Figura 39	: Se muestra el espectro de peligro uniforme para un periodo de retorno de 475 años donde se tiene una aceleración máxima en el suelo de la zona de estudio de $325.2 \text{ cm/s}^2$ .....	83
Figura 40	: Se puede seleccionar las coordenadas del lugar donde deseamos conocer la aceleración esperada.....	84
Figura 41	: Se muestra el espectro de peligro uniforme para un periodo de retorno de 475 años donde se tiene una aceleración máxima en el suelo de la zona de estudio de $372.8 \text{ cm/s}^2$ .....	84
Figura 42	: Se muestra de los perfiles geotécnicos, ubicados dentro de la ciudad universitaria de la UNASAM. ....	86
Figura 43	: Se muestra ver el perfil geotécnico empleado para el modelamiento en el programa Quake 2012.....	87
Figura 44	: Se muestra el perfil geotécnico empleado para el modelamiento en el programa Quake 2012.....	88



Figura 45	: Se muestra el perfil geotécnico empleado para el modelamiento en el programa Quake 2012.....	89
Figura 46	: Registro sísmico de aceleraciones del sismo del 31-05-1970 componente E-O con una duración de 30s.....	90
Figura 47	: Comparación de acelerogramas en la base del perfil geotecnico N° 01 y en la superficie, podemos observar que existe una amplificación sísmica de 2.63 g.....	91
Figura 48	: Comparación de acelerogramas en la base del perfil geotecnico N° 02 y en la superficie, podemos observar que existe una amplificación sísmica de 2.81 g.....	92
Figura 49	: Comparación de acelerogramas en la base del perfil geotecnico N° 03 y en la superficie, podemos observar que existe una amplificación sísmica de 3.08 g.....	92
Figura 50	: Comparación de espectros de respuesta en la base del perfil geotécnico N° 01 y en la superficie, podemos observar que existe una amplificación sísmica y que el espectro posee un pico elevado y luego decrece.....	93
Figura 51	: Comparación de espectros de respuesta en la base del perfil geotécnico N° 02 y en la superficie, podemos observar que existe una amplificación sísmica y que el espectro posee un pico elevado y luego decrece.....	94
Figura 52	: Comparación de espectros de respuesta en la base del perfil geotécnico N° 03 y en la superficie, podemos observar que existe una amplificación sísmica en el periodo, se nota 2 picos máximos y a partir de 0.90 seg recién decrece.....	94
Figura 53	: Se muestra un gráfico resumen donde se superponen los espectros, se nota que los 3 espectros en la superficie son mayores al espectro que se tiene en la base. Así mismo se observa que el espectro que se genera en la peor zona tiene una amplificación mayor en el rango del periodo.....	95
Figura 54	: Población expuesta a amenazas sísmicas.....	99

Figura 55	: Se muestra el plano de ubicación de calicatas realizadas en los últimos 10 años. ....	108
Figura 56	: Se muestra ver el plano de microzonificación geotécnica. ....	109
Figura 57	: Se muestra ver el mapa de peligro sísmico de la ciudad universitaria de la UNASAM.....	111
Figura 58	: Resumen de espectros en las 3 zonas geotécnicas que se tiene en la ciudad universitaria.....	112
Figura 59	: Plano de vulnerabilidad sísmica de la ciudad universitaria de la UNASAM. ....	115
Figura 60	: Plano de riesgo sismo-geotecnico de la ciudad universitaria de la UNASAM. ....	116

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 01	: Fuente Sismogenica de Interface de Ciudad Universitaria de la UNASAM (Fuente: Zenón Aguilar y Miguel Roncal, 2017).....	37
Tabla N° 02	: Fuente Sismogenica de Intraplaca de Ciudad Universitaria de la UNASAM (Fuente: Zenón Aguilar y Miguel Roncal, 2017).....	38
Tabla N° 03	: Fuente Sismogenica de corteza superficial o continental de Ciudad Universitaria de la UNASAM (Fuente Zenón Aguilar y Miguel Roncal, 2017).....	40
Tabla N° 04	: Parámetros sismológicos de las Fuentes Sismogénicas de la ciudad universitaria de la UNASAM (Fuente: Zenón Aguilar y Miguel Roncal, 2017).....	41
Tabla N° 05	: Matriz de vulnerabilidad (Fuente: CENEPRED).....	52
Tabla N° 06	: Matriz de riesgo (Fuente: CENEPRED).....	54
Tabla N° 07	: Resultados de tipos de suelos en el cerco perimétrico.....	74
Tabla N° 08	: Resultados de tipos de suelos en el pabellón de aulas comunes...	76
Tabla N° 09	:Resultados de tipos de suelos en la facultad de Ingeniería civil ...	77
Tabla N° 10	: resultados de tipos de suelos en la facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias .....	79
Tabla N° 11	: comparación de aceleración esperadas para un periodo de retorno de 475 años y un periodo estructural $T=0$ s .....	85
Tabla N° 12	: propiedades dinámicas para el perfil geotécnico N° 01. ....	87
Tabla N° 13	: propiedades dinámica para el perfil geotécnico N° 02 .....	88
Tabla N° 14	: propiedades dinámicas para el perfil geotécnico N° 03. ....	89

Tabla N° 15	: comparación de valores máximos en acelerogramas P.G. N° 01.....	96
Tabla N° 16	: comparación de valores máximos de espectros P.G. N° 01.....	96
Tabla N° 17	: comparación de valores máximos en acelerogramas P.G. N° 02.....	96
Tabla N° 18	: comparación de valores máximos de espectros P.G. N° 02.....	96
Tabla N° 19	: comparación de valores máximos en acelerogramas P.G. N° 03.....	97
Tabla N° 20	: comparación de valores máximos de espectros P.G. N° 03.....	97
Tabla N° 21	: resultado de estructuras y poblaciones expuestas en la ciudad universitaria de la UNASAM.....	100
Tabla N° 22	: resultado de principales características de las estructuras existentes expuestas.....	101
Tabla N° 23	: resultado del cálculo de la vulnerabilidad para las estructuras existentes expuestas.....	103
Tabla N° 24	: Matriz de peligro y Vulnerabilidad para el cálculo del riesgo. (fuente: Manual Básico para la estimación de riesgo de INDECI).....	105
Tabla N° 25	: resultado del cálculo del riesgo sísmogeotecnico en la ciudad universitaria de la UNASAM. ....	106
Tabla N° 26	: resultado del cálculo de la vulnerabilidad para las estructuras existentes expuestas.....	114

## RESUMEN

Conociendo el silencio sísmico que se tiene en el departamento de Ancash y teniendo dentro de ella fuentes sismo génicas internas y externas, la investigación planteo realizar la evaluación del riesgo sismo-geotécnico de la ciudad universitaria de la UNASAM, para ello se planteó una investigación de tipo aplicada, con un alcance correlacional, un diseño no experimental, teniendo como población y muestra a la ciudad universitaria de la UNASAM. Para el desarrollo de la tesis se realizó trabajos como topografía, geología, geotecnia y geofísica para determinar el peligro sismo-geotécnico, además se utilizó la metodología de CENEPRED para el cálculo de la vulnerabilidad de las estructuras existentes. Finalmente se concluye que en la ciudad universitaria de la UNASAM existe peligro sismo-geotécnico en los niveles medio, alto y muy alto, así mismo las estructuras existentes son vulnerables ante el peligro mencionado, por lo tanto, se concluye que la ciudad universitaria existe riesgo sismo-geotécnico, debido a las condiciones de sitio (suelo) y a la susceptibilidad de las estructuras existente frente a un evento sísmico.

**Palabras claves:** Peligro sismo-geotécnico, Vulnerabilidad y Riesgo sismo-geotécnico.

## **ABSTRACT**

Knowing the seismic silence that exists in the department of Ancash and having within it internal and external genetic seismic sources, the research proposed the evaluation of the earthquake-geotechnical risk of the university city of UNASAM, for this purpose an investigation of applied type, with a correlational scope, a non-experimental design, having as population and shows the university city of UNASAM. For the development of the thesis, works such as topography, geology, geotechnics and geophysics were carried out to determine the earthquake-geotechnical hazard, in addition the CENEPRED methodology was used to calculate the vulnerability of existing structures. Finally, it is concluded that in the university city of UNASAM there is an earthquake-geotechnical danger at the medium, high and very high levels, as well as existing structures are vulnerable to the mentioned danger, therefore it is concluded that the university city exists earthquake risk -geotechnical, due to site conditions (soil) and the susceptibility of existing structures to a seismic event.

**Key Words:** Earthquake-Geotechnical Hazard, Vulnerability, Earthquake-Geotechnical Risk



## I. INTRODUCCION

Se sabe que la ciudad universitaria de la UNASAM está ubicada en una zona de sismicidad alta, se caracteriza por albergar edificaciones en su mayoría de material noble, pero cimentadas sobre un suelo con presencia de arcillas y nivel freático lo que incrementa el riesgo sísmo-geotecnico debido a una alta vulnerabilidad de las mismas, pudiendo generar cuantiosos daños materiales y pérdida de vidas humanas. Ante la ocurrencia de un sismo es preocupante la magnitud de los daños que podrían producirse en dicha ciudad universitaria, por el efecto debido al tipo de suelo sobre el cual se han construido las estructuras.

La finalidad de la investigación es calcular el riesgo sísmogeotecnico de la ciudad universitaria de la UNASAM, en particular el comportamiento sísmo-geotécnico del suelo de cimentación, calcular el peligro sísmico en la zona, la vulnerabilidad de las estructuras existentes y poder crear mapas de riesgo sísmo-geotécnico debido a los movimientos sísmicos esperados en la zona.

### **Planteamiento y formulación del problema**

Debido a los peligros de geodinámica interna y externa, por ejemplo, los sismos son los que generan mayor capacidad de destrucción, pues es el causante de pérdidas de vidas humanas y materiales en las grandes urbes. La ciudad universitaria de la UNASAM, alberga diariamente más de 4000 alumnos de diferentes especialidades, además se sabe que se tiene un periodo de silencio sísmico en la región debido a que el ultimo sismo de gran magnitud se dio hace más de 47 años, el ultimo sismo genero muchas pérdidas humanas y económicas debido a las construcción precarias que se tenía en esa época y también se tiene poco conocimiento de las características

geotécnicas del suelo de cimentación de las edificaciones existentes; con todos estos antecedentes entonces surge inmediatamente la pregunta:

### **Formulación del Problema**

- ¿Existirá riesgo sismo-geotécnico de la ciudad universitaria de la UNASAM?

### **Problemas Específicos:**

- ¿Cuál será el peligro sismo-geotécnico de la ciudad Universitaria de la UNASAM?
- ¿Cuál será la vulnerabilidad de las estructuras existentes en la ciudad universitaria debido a un sismo?
- ¿Con la aplicación del Q-GIS se podrá realizar mapas de zonificación?

### **Objetivos**

#### **Objetivo General**

- Evaluar el riesgo sismo-geotécnico de la ciudad universitaria de la UNASAM debido a un sismo de gran magnitud.

#### **Objetivos Específicos**

1. Evaluar el peligro sismo-geotécnico de la ciudad universitaria de la UNASAM.
2. Evaluar la vulnerabilidad de las estructuras existentes en la ciudad universitaria de la UNASAM.

3. Evaluar el riesgo sismo-geotécnico, en base al peligro y vulnerabilidad, establecer niveles de posibles daños y generar mapas de riesgo sismo-geotécnicos en la ciudad universitaria de la UNASAM.

### **Hipótesis**

Existe riesgo sismo-geotécnico alto en la ciudad universitaria de la UNASAM

### **Variables**

#### **Variable N° 01: INDEPENDIENTE**

- Peligro Sísmico en la ciudad universitaria de la UNASAM
- Vulnerabilidad estructural de las edificaciones existentes en la ciudad universitaria de la UNASAM.

#### **Variable N° 02: DEPENDIENTE**

- Riesgo sismo-geotécnico, en la ciudad universitaria de la UNASAM.

## **II. MARCO TEORICO**

### **2.1 Antecedentes de Investigación**

#### **2.1.1 Antecedentes Internacionales**

En el año 2007, Nieves Lantada Zarzosa, realizo su tesis doctoral “EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO MEDIANTE MÉTODOS AVANZADOS Y TÉCNICAS GIS APLICACIÓN A LA CIUDAD DE BARCELONA, donde el principal objetivo de este trabajo se orienta hacia la evaluación del riesgo sísmico en grandes zonas urbanas con una aplicación a una ciudad donde el peligro sísmico, entendido como la probabilidad de que ocurran sismos con capacidad destructora, es entre moderada y baja. Métodos y técnicas avanzadas de evaluación del riesgo sísmico se aplicarán a la ciudad de Barcelona.

El desarrollo de la tesis doctoral fue para diseñar de forma efectiva planes de emergencia y definir medidas correctoras que ayuden a controlar y reducir el riesgo existente, es esencial disponer de escenarios de riesgo de la ciudad, sobre los cuales realizar una correcta identificación de los edificios más vulnerables y de aquellas áreas críticas que requerirán mayor atención. Dichos escenarios pueden ayudar a avanzar, de forma más efectiva, en la mitigación del riesgo y en la creación de planes de emergencia y, de ese modo, reducir las pérdidas que puede ocasionar un fenómeno sísmico, tanto desde el punto de vista físico, como social y económico.

En la tesis se llegó a la conclusión que los edificios de mampostería (obra de fábrica de ladrillo), de Barcelona, no presentan ninguna consideración de diseño sismorresistente y son, posiblemente, también representativos de los edificios de este tipo en toda España. Los edificios de hormigón armado son de una tipología especial que consta de pilares y de forjados reticulares. Se detectó la alta

vulnerabilidad de este tipo de edificios de hormigón cuando se comparan con la de los edificios de hormigón armado de pórticos. El hormigón armado con forjados reticulares es también de uso frecuente en países del Sur de Europa y de Latinoamérica. Al final se establece un análisis comparativo de los estudios realizados hasta aquel momento en Barcelona. Estos estudios fueron decisivos en la elaboración del plan de emergencia Sísmica de Barcelona

### **2.1.2 Antecedentes Nacionales**

En el año 2003, el Ing. Kelly Reque Córdova y el Ing. José Francisco Ríos Vara, presentaron una investigación al XIV Congreso Nacional de Ingeniería civil – realizado en la ciudad de Iquitos, denominada “APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA PARA LA DIAGNOSIS DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE LAS EDIFICACIONES DEL DISTRITO DE ATE- VITARTE”, donde se utilizaron 2 metodologías, las mismas que fueron empleadas para evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones con el fin de determinar cuál de ellas era la que mejor se acoplaba a las características de la zona, a la información disponible, a los recursos destinados para el proyecto, y a los objetivos iniciales, los tipos de metodologías aplicadas fueron:

- Tipos de Comportamiento de las Edificaciones Según el Grado Esperado.
- Método del Índice de Vulnerabilidad de Benedetti-Petrini aplicada en Italia, modificada y aplicada en Colombia.

El reto del proyecto y lo novedoso de la metodología desarrollada es demostrar en esa época fue cómo se puede trabajar con SIG (Sistemas de Información Geográfica) en zonas geográficas con mucha o poca disponibilidad de información.

Se llegó a la conclusión que el método del índice de vulnerabilidad es adecuado para implementarlo en grandes ciudades (aplicación a nivel urbano), solo en el caso que se disponga de la información mínima necesaria para evaluar la calidad sismorresistente.

Se calculó que el 3% de las viviendas presentan una Vulnerabilidad Alta, el 47% Vulnerabilidad de Media a Alta, el 37% Vulnerabilidad de Media a Baja y el 13% una Vulnerabilidad Baja.

El proceso de hacer mapas con GIS es mucho más flexible que las tradicionales aproximaciones cartográficas, manuales o automáticas. Comienza con la creación de bases de datos cartográfica basada en el GIS. La habilidad para desplegar el resultado de las consultas en forma geográfica es una gran ventaja por si misma, pero un GIS ofrece algo mucho más importante, la capacidad única de efectuar análisis espacial, permitiendo efectuar y responder a preguntas que están más allá del alcance de las bases de datos tradicionales.

### **2.1.3 Antecedentes Locales**

En el año 2015, el Ing. Tito Tinoco Meyhuay, el Ing. Pedro Colonia Cerna<sup>1</sup> y el Ing. Pedro Tinoco Gonzales, publicaron su investigación en la revista indexada Aporte Santiaguino Vol. N° 08, que lleva por título “DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN LAS EDIFICACIONES DE LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE JANGAS, APLICANDO EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA” el trabajo consistió en la determinación de la Vulnerabilidad Sísmica en las edificaciones de la zona urbana del distrito de Jangas, que pertenece a la provincia de Huaraz, en el lugar se aplicó el método del Índice



de Vulnerabilidad planteado por los estudiosos italianos Benedetti y Petrini, para lo cual se elaboró la cartografía de la zona urbana en el datum WGS84 y mediante el análisis de once parámetros y la aplicación del SIG para la elaboración de mapas temáticos se ha determinado que, llegando a la conclusión que el 21,6% de las viviendas se encuentra en la clase A, con una vulnerabilidad baja, el 39,0% en la clase B, con una vulnerabilidad media, el 34,9% en la clase C, con una vulnerabilidad alta y el 4,5% en la clase D, con una vulnerabilidad muy alta. Teniendo en cuenta el índice de vulnerabilidad y una aceleración horizontal del terreno de 0,32 gr., se obtuvo que 112 viviendas (38,4%) sufrirían el colapso total y 180 viviendas (61,6%) seguirían en pie con algún daño estructural. De acuerdo al índice de daño calculado y teniendo en cuenta el precio por metro cuadrado de construcción, si ocurriera un sismo con las características descritas los daños económicos ascenderían a la suma de S/.54'437,440.00.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Estudio Geológico**

#### **GEOLOGÍA REGIONAL**

La cartografía geológica regional elaborada por el INGEMMET y publicada en los cuadrángulos geológicos de Carhuaz, Huari, Huaraz y Recuay, correspondientes a los números 60 y 76, describen con propiedad la geología de Huaraz y alrededores, donde las rocas más antiguas son los sedimentos del cretáceo inferior conformantes del Grupo Goyllarisquizga (Formaciones Chimú, Santa-Carhuaz) hasta llegar a la cobertura de depósitos inconsolidados de edad holocénica.

Las rocas intrusivas corresponden al emplazamiento del “Batolito de la Cordillera Blanca” de edad Paleogeno. En razón de la orientación del presente estudio, cuyos fines son eminentemente ingenieriles, se ha creído conveniente hacer una descripción litológica a fin de facilitar la interpretación física/mecánica de los diferentes materiales emplazados y comprometidos en la problemática que se estudia (peligros naturales).

## **LITOLOGIA:**

### **A.-ROCAS DE BASAMENTO:**

Dentro del área estudiada, las rocas que constituyen el basamento son:

**Rocas sedimentarias**, conformadas por una alternancia de calizas y arcillitas calcáreas en la parte inferior y areniscas y cuarcitas finas con intercalaciones de arcillitas en la parte superior. Por tectonismo, se encuentran fuertemente fracturadas y disturbadas, con diferente grado de resistencia a la compresión, siendo alta para los estratos de calizas, que se presentan masivas; media para los estratos de areniscas y cuarcitas; y baja, para las arcillitas.

Este paquete sedimentario que aflora hacia el lado nor oeste del área de estudio, en las inmediaciones del Balneario de Monterrey, a ambos lados del río Santa, en conjunto presenta taludes medianamente estables, con cobertura de suelo residual que desprende por erosión laminar por lluvias. Con sismos moderados, se inestabiliza, originando pequeños derrumbes. En trabajos de corte importantes, es necesario diseñar taludes de reposo, generalmente “banquetas” y cunetas de coronación revestidas para evitar desestabilizaciones mayores.

A la fecha, este paquete sedimentario constituye el basamento rocoso de la zona de expansión urbana que se da al norte de la ciudad (área Vichay-Monterrey), pero las cimentaciones de las edificaciones solo llegan a la cobertura de material suelto, que generalmente es un suelo de origen fluvio glacial y aluvial.

**Rocas Intrusivas**, son las rocas que conforman el denominado “Batolito de la Cordillera Blanca”, de naturaleza granítica/granodiorítica/tonalítica; muy duras y resistentes, originando fuertes escarpas, características a lo largo de la Cordillera Blanca. Su emplazamiento se da margen derecha del río Santa, a una distancia horizontal promedio de 10 Km, no teniendo, en consecuencia, relación con el suelo de fundación de la ciudad de Huaraz y sus áreas de expansión.

**Rocas Volcánicas**, son las rocas que pertenecen al denominado “Volcánico Calipuy”, estando representadas, mayormente, por tobas, piroclásticos gruesos, aglomerados, lavas y cuerpos intrusivos sub volcánicos. Se emplazan mayormente en la Cordillera Negra, pasando a la margen derecha del río Santa y llegando, en algunos casos (fuera del área estudiada) muy cerca del Batolito de la Cordillera Blanca.

Los afloramientos tienen una resistencia mayormente media (y en ciertos casos alta), muy modelados, que desestabilizan por erosión laminar por las aguas de precipitación pluvial, originando pequeños flujos de material areno gravoso que dan inicio a la formación de quebradas, como se observa en la ladera occidental del cerro Rataquenua.

## **B.- MATERIAL DE COBERTURA:**

Con esta denominación se comprende al amplio manto de material suelto que cubre mayormente la vertiente oriental del río Santa hasta las estribaciones de la Cordillera Blanca; habiéndose considerado también la importante capa de hielo.

Genéricamente y con fines de ingeniería práctica, se diferencian los siguientes tipos de material:

**Material Fluvio-glaciar**, comprende el material fuertemente reabajado, mayormente por acción del hielo en su retroceso (Fenómeno de deglaciación) y posterior transporte por el agua a manera de flujos. Abarca la amplia planicie de la margen derecha del río Santa hasta las estribaciones de la Cordillera Blanca; habiendo, también, remanentes de este material en la Cordillera Negra, como evidencia de la presencia del hielo en este lugar en épocas pasadas.

El material fluvio glaciar está constituido por gravas generalmente de tamaño mediano a pequeño, muy reabajadas, mayormente de naturaleza cuarcítica/areniscas, en matriz limo-arcillosa, con espesores muy variables, con resistencia a la compresión generalmente media, con taludes estables en los frentes de poco espesor, e inestables en los frentes de gran espesor, como es el caso del área de Cruz Punta (al SE de Huaraz), donde desestabiliza por erosión pluvial. Este material fluvio glaciar constituye mayormente el suelo agrícola en el área. Igualmente, es el suelo de fundación de buena parte de las edificaciones de la ciudad de Huaraz (zonas de Pedregal, la Soledad, parte de Belén), así como de las zonas de expansión urbana.

**Material Aluvial:** Con esta denominación se involucra a todo material suelto a semi compacto, medianamente a altamente retrabajado, producto del transporte por acción rápida/violenta de las aguas y que se encuentra relleno de los cauces de los ríos y quebradas importantes.

### **GEOLOGÍA ESTRUCTURAL:**

En los cuadrángulos geológicos elaborados por el INGEMMET, antes referidos, y dentro del área de nuestro interés, se han definido estructuras geológicas tipo fallamientos, antiguos y modernos:

#### **FALLAMIENTOS ANTIGUOS:**

Son un conjunto de trazas de fallas segmentadas que siguen un rumbo generalmente SENW, interceptadas por otras fallas menores de rumbo S-N, que atraviesan tanto a las rocas sedimentarias como a las rocas volcánicas, descritas.

En algunos casos, estas estructuras constituyen un contacto fallado entre ambos tipos de rocas, lo que significa que en su momento (tiempo geológico) sirvieron como línea de efusión del magma, que fluyó del interior de la tierra.

Por lo observado en el terreno, estas fallas antiguas no ejercen influencia alguna en la estabilidad de los terrenos que atraviesan, siendo observables solo por interpretación geológica.

#### **FALLAMIENTOS MODERNOS:**

En el mapeo geológico regional (cartografía del INGEMMET), se ha definido una traza de falla longitudinal (en realidad, es un conjunto de fallas que constituyen un “sistema”) que domina la margen occidental de la Cordillera Blanca, en una

longitud aproximada de 200 Km; con inicios, por el sur, a la altura de la Laguna Conococha (y probablemente mas al sur) hasta el nevado Rosco (la parte más norte de la Cordillera Blanca).

Esta “Falla de la Cordillera Blanca”, con claras evidencias de ser un fallamiento activo desde el punto de vista geológico, juega un papel sumamente importante en la calificación del riesgo para la ciudad de Huaraz (y otras ciudades del Callejón de Huaylas), toda vez que hay la gran interrogante de que podría ser una fuente de liberación de energía sísmica, con generación de sismos que naturalmente incidirán en la seguridad física de Huaraz, a pesar que no se tiene evidencias que en los últimos cinco mil años se haya reactivado por liberación sísmica.



**Ubicación de la zona del proyecto**

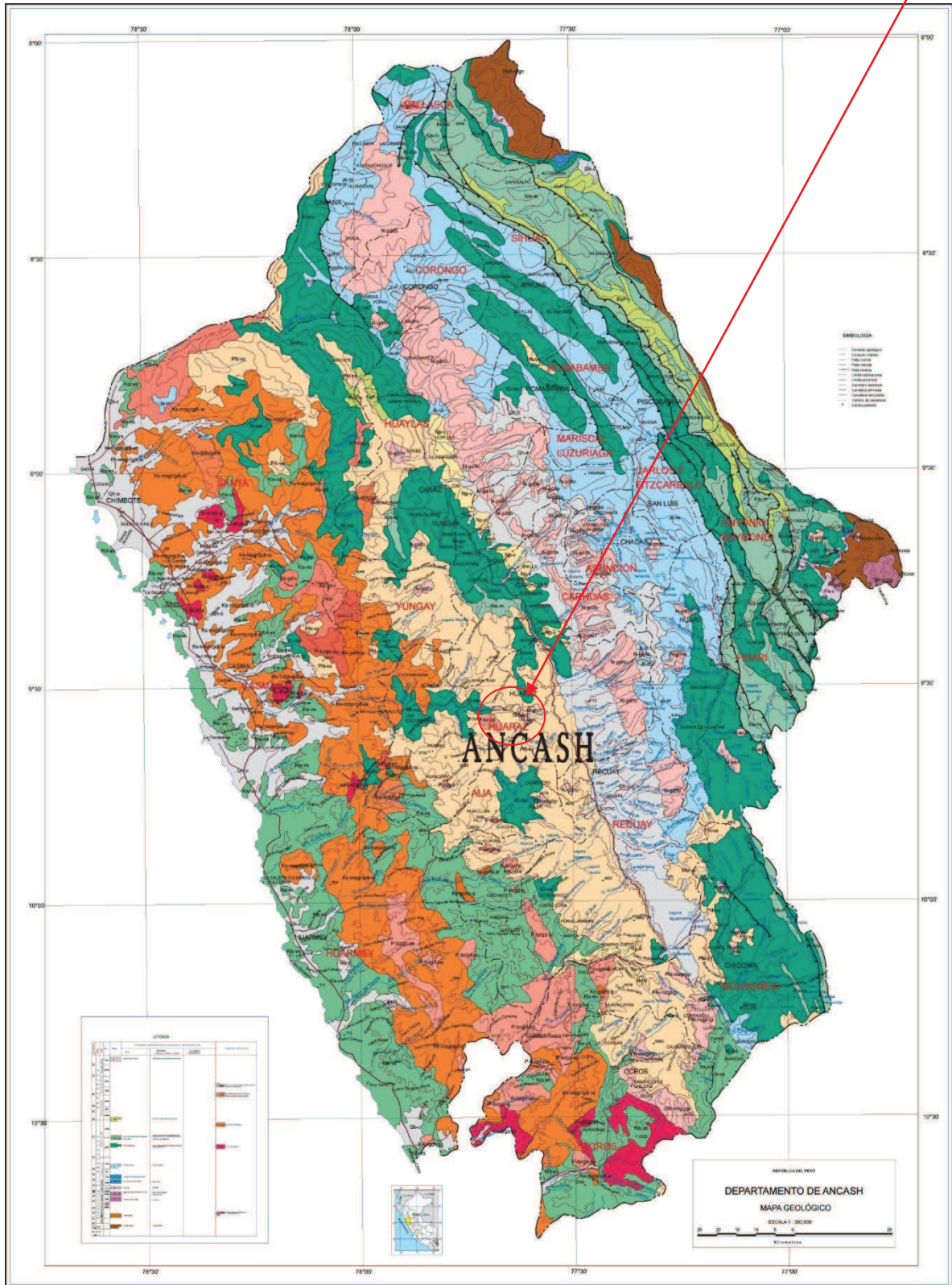


Figura 1: Mapa Geológico de Ancash

## **GEOLOGÍA LOCAL**

### **EVOLUCION GEOMORFOLOGICA DEL AREA DE EMPLAZAMIENTO DE LA CIUDAD DE HUARAZ.**

La interpretación del relieve del área donde se ubica la ciudad de Huaraz induce a ensayar alguna hipótesis sobre su evolución geomorfológica, asumiéndose, como premisa, que fue la intensa actividad glaciaria habida en el pasado (y que continúa en el presente) la que ha jugado un papel determinante en el modelado original (basamento rocoso), así como en el relieve superficial (material de relleno).

Se debe tener presente que en el tiempo geológico los fenómenos geológicos climáticos que marcan la evolución del relieve, son dependientes unos de otros y se dan en forma secuencial y/o muchas veces en forma simultánea y también reiterativa. Esto significa, por ejemplo, que un aluvionamiento importante puede dar lugar a la erosión inicial del área por donde se desplaza, para inmediatamente después depositar importantes volúmenes de material, que alteran el relieve original. En muchos otros casos, dan lugar a represamientos de cursos de agua con la formación de embalses naturales (lagunas glaciares) que prontamente se convierten en cubetas de almacenamiento de sedimentos.

Si por interpretación geomorfológica se puede afirmar que en el área de Huaraz se han producido varios aluvionamientos como consecuencia de la intensa deglaciación, es probable, entonces, que como producto de estos fenómenos se haya originado importantes erosiones del basamento rocoso, así como la formación de una cubeta que recibió materiales arrastrados, sea en forma violenta (otros aluviones), sea de manera tranquila, arrastrando sedimentos finos por el río Santa y por flujos provenientes de su perímetro.

Hacia los lados, sur, este y oeste de la ciudad (Sector Sur), están claramente definidos los límites de esta cubeta, mas no hacia el lado norte, pudiéndose explicar que en este lugar hubo una mayor erosión por la tendencia natural de los aluvionamientos (y en general de todo curso de agua) de dirigirse en dirección norte. La interpretación del relieve del basamento, ayudan a confirmar la existencia de una cubeta en el área de la ciudad de Huaraz.

#### **ROCA DE BASAMENTO:**

No se tiene información de perforaciones, con recuperación de testigos, que hayan llegado hasta el basamento donde se emplaza la ciudad de Huaraz, para definir con propiedad el tipo de roca que lo conforma y que constituye el soporte natural a la importante acumulación de material de relleno que existe; teniéndose sí información de la profundidad a que se encuentra, mostrándose un relieve uniforme con tendencia a una mayor profundidad a lo largo del curso del río Quilcay.

Este hecho confirma la premisa anteriormente expuesta, en el sentido que a lo largo de este río Quilcay se haya producido una mayor erosión del basamento por el paso de varios aluviones.



## Ubicación del proyecto

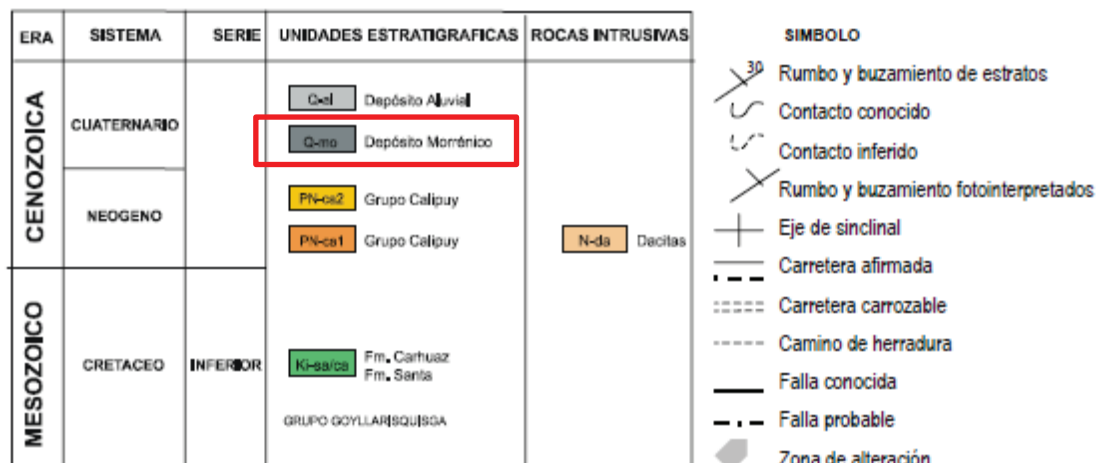
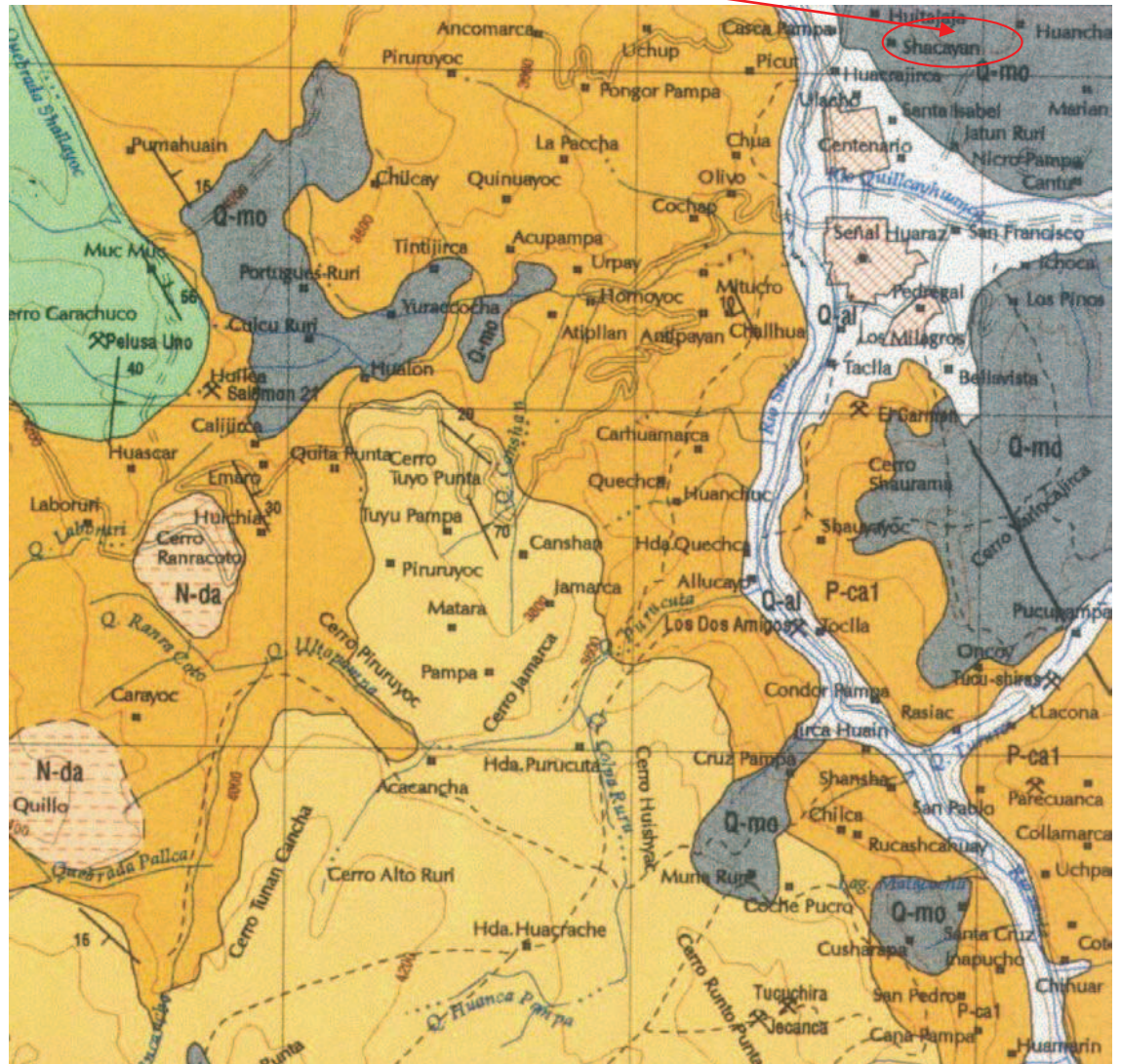


Figura 2: Mapa Geológico Regional de Huaraz (INGEMMET)

Igualmente, por la misma interpretación de las curvas de isopropundidades que se deducirse que corresponde, también, a un cauce aluvional antiguo, luego encubierto con deposición de material de relleno.

Para el lado norte de la ciudad, área de Independencia, pasando el río Quilcay, no se conoce de investigaciones que indiquen la profundidad del basamento, pero por la interpretación geomorfológica arriba descrita, se deduce que este basamento, con probabilidad, está a una profundidad mayor que los 100 m.

La interpretación del mapa Litológico nos hace deducir que es roca volcánica el basamento del área de la ciudad de Huaraz; esto es, desde Tacllan por el sur hasta Vichay por el norte; y, como ya se ha descrito, corresponden a derrames lávicos, tobas, andesitas, rioliras, de resistencia generalmente media.

Desde Vichay hasta Monterrey (y pasando), el basamento podría corresponder a rocas sedimentarias, constituidas por una alternancia de calizas, areniscas, cuarcitas y lutitas.



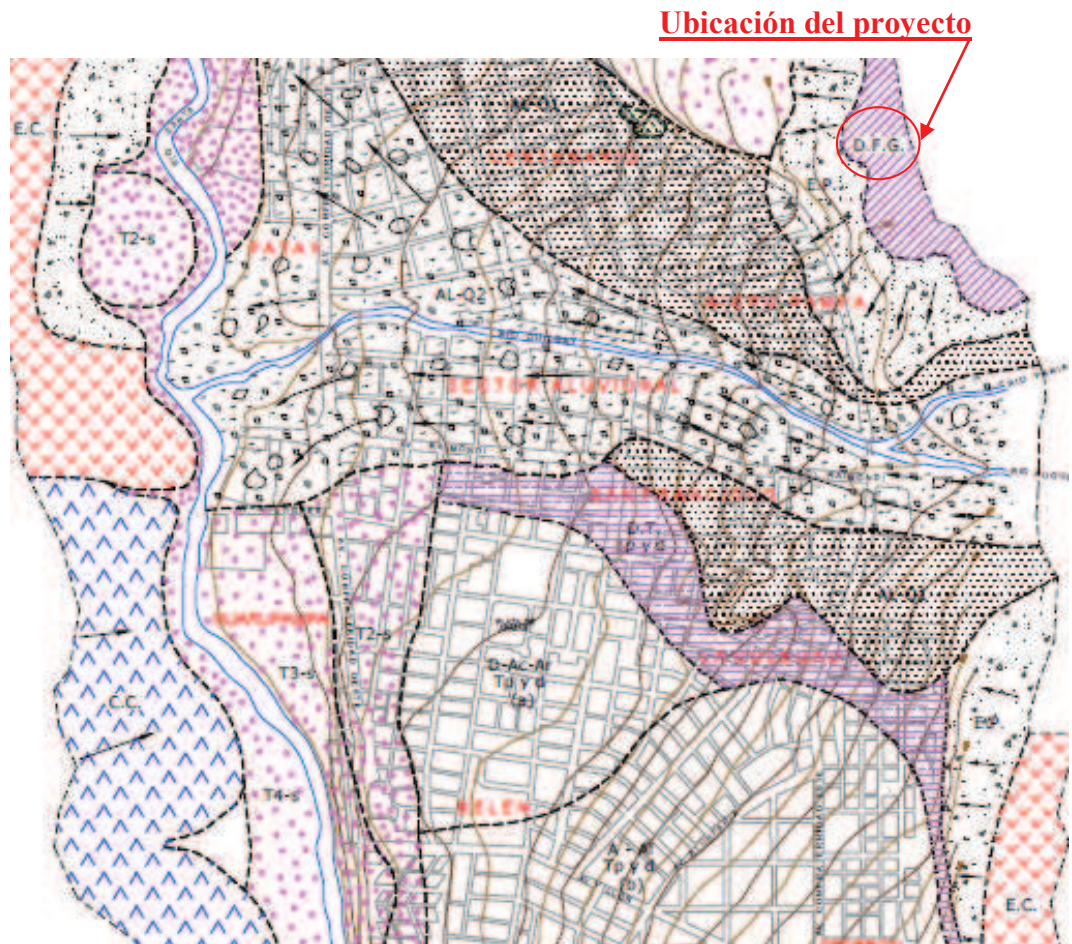


Figura 3: Mapa Geomorfológico de la ciudad de Huaraz

**MATERIAL DE COBERTURA:**

Hay una importante acumulación de material de relleno en todo lo que es el emplazamiento de la ciudad de Huaraz, con los mayores espesores, que llegan hasta los 120 m, en la zona del “aluvión”, conforme se interpreta de las curvas de isopropfundidades. Igualmente, lo es en la parte inferior de la Avenida Villón en la llegada hacia el cauce del río Santa.

Por el contrario, los menores espesores se dan hacia los lados sur y este de la ciudad, a medida que se acerca a los emplazamientos de las rocas en superficie.

Para el lado norte, distrito de Independencia, con probabilidad, los espesores del material de relleno serán mayores que los 100 m. En cuanto al tipo de material de relleno, no se conoce de perforaciones profundas que se hayan trabajado para este propósito, sin embargo, por la interpretación geomorfológica ya descrita, se deduce que el suelo de Huaraz es complejo, conformado por horizontes limoarenosos, limo-arcillosos, arenosos, aluvionales, fluvio-glaciares y aluviales, relacionados con su origen.

Las numerosas investigaciones de suelos hechas con fines de cimentación de edificaciones no han ido más allá de los 5 a 7 m (mayormente no más de los 3m.), mostrando solamente de 2 a 3 horizontes estratigráficos superiores. Es preciso recordar que dentro de los estudios que se hicieron para la reconstrucción de la ciudad de Huaraz luego del sismo de 1,970, se excavó una calicata de 11 m. de profundidad, ubicada en las inmediaciones de la Plaza de Armas, donde se mostraban amplios horizontes de suelo limo/arcillo/arenoso con dos horizontes aluvionales, que podrían relacionarse con igual número de aluviones que han pasado por el río Quilcay.

En cuanto a los horizontes superiores del material de relleno, hay una marcada diferencia entre el suelo que domina el sector sur (digamos desde la Av. Raymondí hacia el sur), donde está constituido por limo arcillas y gravas (reflejo de material transportado en forma lenta a moderada), frente al suelo que domina el sector norte (de la Av. Raymondí hacia el norte), donde el suelo está constituido por bloques de roca de tamaño mediano a grande, consecuente del transporte violento, tipo aluvional.

Por otro lado, también es importante remarcar la presencia de suelos formados por el transporte del río Santa, que son de naturaleza gravo arenosos, emplazados en la margen derecha, conformando terrazas aluviales que ahora sirven de emplazamiento para una gran concentración poblacional, como es en la zona de Challhua, parte inferior de Huarupampa, parte inferior del Centenario, parte inferior de Palmira-Vichay.

Finalmente, también se precisa que dado el acelerado crecimiento poblacional, se están ocupando áreas cada vez más alejadas de la “cubeta” de la gran ciudad, como son las laderas y lomadas en todo el perímetro, donde los suelos son básicamente de naturaleza gravo/limo/arcillosos.

#### **AGUAS SUBTERRANEAS**

La investigación sobre la existencia de agua subterránea en el subsuelo de una ciudad es sumamente importante, toda vez que está demostrado que ésta tiene una relación directa entre la estabilidad de las edificaciones y la generación de un sismo, vía el fenómeno de “licuación”, que se da cuando hay suelos granulares sueltos, produciéndose el aumento de presiones de poro que reduce las fuerzas de contacto entre los granos del suelo, dando lugar a la licuación de los estratos.

Por otra parte, para niveles freáticos muy superficiales, el subsuelo puede sufrir daños considerables en su estructura, sea por asentamiento o amplificación sísmica. También se puede relacionar la profundidad del nivel freático y la capacidad portante de suelos finos, ya que a menor profundidad del nivel del agua menor será la capacidad portante del suelo.

Luego de producida la destrucción de la ciudad de Huaraz como consecuencia del sismo de mayo 70, hubo algunas apreciaciones técnicas que indicaban que en algunos lugares de la ciudad se produjo el “fenómeno de licuación de suelos”,



aspecto que no fue plenamente verificado, pero que tampoco podría descartarse si no se han hecho las investigaciones apropiadas, máxime en un suelo que, como se ha indicado, es complejo.

Por cierto, que hay que diferenciar el sector sur de la ciudad, donde podría haber alguna probabilidad de “licuación”, frente al sector norte, donde es mucho menos probable.

### **NAPA FREÁTICA SUPERFICIAL:**

En relación con la forma, se indica que la napa freática es libre, a filetes convergentes, con un ancho conocido de 800 m. (entre el Estadio Rosas Pampa y la Av. Villón) y es drenada al río Santa.

La potencia total de la napa no es aún conocida al no haberse efectuado perforaciones que hayan alcanzado el basamento. Se deduce que no existe napa en recarga y que el acuífero es de muy poca permeabilidad.

En relación con el gradiente hidráulico, se indica que presenta valores elevados por tener relación con la topografía, estimándose en,  $i = 42/1000$  para el segmento entre la Plazuela la Soledad y la Plaza de Armas y de  $i = 34/1000$ , entre la Plaza de Armas y el extremo oeste de Huarupampa (río Santa). Los análisis químicos realizados en las muestras tomadas en 8 de los 31 manantiales (Dic. 70) dieron los resultados siguientes:

La Temperatura del agua para los diferentes manantiales varía entre 17°C y 19°C.

Las características físicas indican que el agua es incolora, transparente y de gusto agradable. La dureza varía entre 4.51 y 19.3 grados alemanes.

El PH indica que la concentración de iones hidrógeno prácticamente es uniforme para todos los manantiales, variando de 6.2 a 6.5

Con relación a la composición química, los análisis indican una calidad óptima del agua, con un residuo seco que varía entre 456 a 1238 mlg/lt. Como resultado de la ejecución de calicatas en diferentes puntos de la ciudad, se llegó a determinar la naturaleza del subsuelo en sus primeros metros, así como la presencia de la napa freática en muchos de ellos, permitiendo hacerse una zonificación en función de la profundidad del nivel freático:

Zona A: (Barrios Centenario y Patay), donde se efectuaron 7 calicatas con una mayor profundidad de 7.5 m. Solo en una excavación se encontró la napa freática a los 2.5 m. La profundidad de la mesa de agua y la compacidad del suelo confieren a esta zona buena estabilidad y sin problemas para las fundaciones, considerándose como la mejor zona de la ciudad de Huaraz.

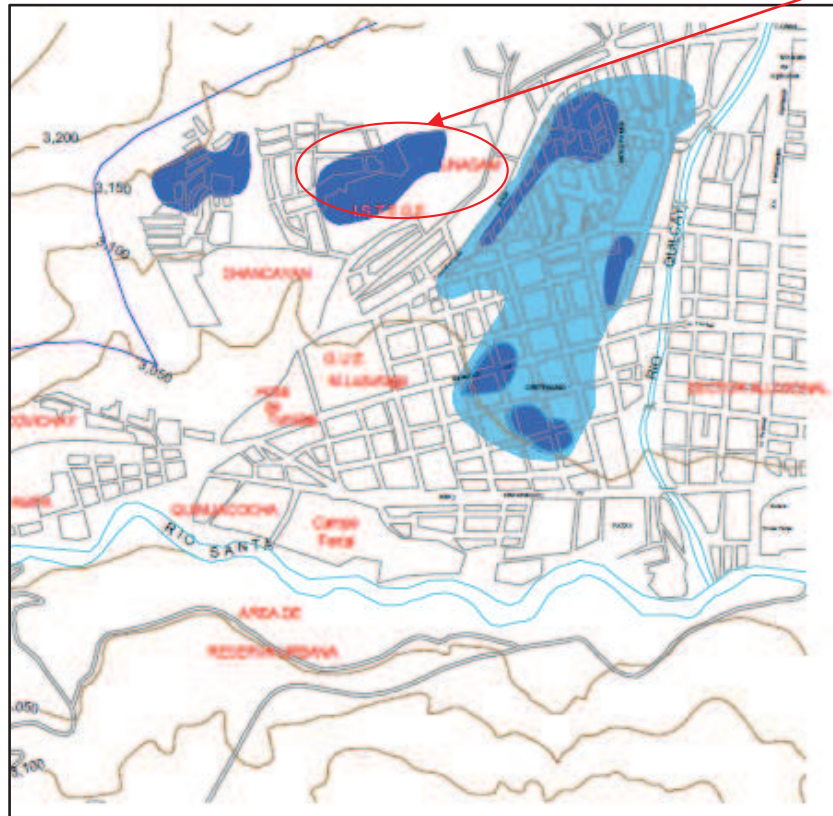
Zona B: (Barrios San Francisco, Belén y Huarupampa): Limita con zonas donde el nivel freático aflora en diferentes puntos. Al igual que en la Zona A, el perfil muestra horizontes de materiales compactos. El nivel del agua subterránea se encuentra a cierta profundidad. Por su posición próxima a zonas de afloramiento de napa, esta superficie presentaría cierto problema a las fundaciones, clasificándose por ello como “Zona intermedia”.




Zona C: (Barrios La Soledad – San Francisco): caracterizada por el afloramiento de muchos manantiales y en general la napa freática se encuentra a poca profundidad, presentando serios problemas para las futuras fundaciones. Esto convierte a esta zona en la de peores condiciones, no ofreciendo garantías de estabilidad por encontrarse saturada por la napa.

Zona D: (Barrios Pedregal y parte de Belén), poco es lo que se conoce de estos tramos, pero por una perforación hecha hasta los 17 m. de profundidad y que no se encontró la napa, se deduce que el nivel freático discurre a buena profundidad, razón por la que puede considerarse como una “Zona buena”.

La napa freática de Huaraz es alimentada por filtraciones provenientes de las quebradas circundantes, tales como Bellavista y Rataquena. La napa es libre y convergente, con un ancho de 800 metros y atraviesa la ciudad de Huaraz de Este a Oeste. El acuífero es de baja permeabilidad, con gradiente hidráulico entre 0.042 y 0.034.

Ubicación del Proyecto



LEYENDA	
	0.00 - 1.50 m.
	1.50 - 3.00 m.
	Mayor de 3.00 m.

*Figura 4:* Mapa de ubicación de napa freática en la ciudad de Huaraz

### **2.2.2 Estudio Geofísico**

#### **Medición de ondas de superficie en arreglos multicanales MASW**

El ensayo MASW o Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal es un método que consiste en la interpretación de las ondas superficiales (Ondas Rayleigh) de un registro en arreglo multicanal, generadas por una fuente de energía impulsiva en puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno, obteniéndose el perfil de velocidades de ondas de corte ( $V_s$ ) para el punto central de dicha línea, fue desarrollado por investigadores de Kansas University.

El principal requerimiento es el uso de geófonos de muy baja frecuencia (4,5 Hz) y un programa de modelamiento. El método MASW, permite obtener perfiles de ondas S hasta profundidades promedio de 25 m a 30 m.

En este método, la interpretación de los registros consiste en obtener de ellos una curva de dispersión (velocidad de fase ( $c$ ) vs la frecuencia ( $f$ )). Luego, el perfil de velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) se calcula utilizando un proceso iterativo que requiere la inversión no lineal de los datos de la curva de dispersión.

El método MASW estima que, a partir de la curva de dispersión, el perfil de velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) del terreno es construido mediante una simple transformación. Esta transformación estima que la longitud de onda ( $\lambda$ ) se calcula a partir de la frecuencia ( $f$ ) y la velocidad de fase ( $c$ ) (Ecuación 1, Figura 2.1(b)).

A continuación, la profundidad ( $D$ ) se define como  $1/3$  de la longitud de onda, y la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) a dicha profundidad es  $b$  veces la velocidad de fase medida  $c$ , donde  $b$  es un coeficiente que cambia ligeramente con la frecuencia y se

basa en un semi-espacio homogéneo. Se grafica el esquema Velocidad de Onda de Corte (m/s) vs Profundidad (m), (Figura 2.1(b)) (Hayashi K., 2008).

$$\lambda = c/f \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$D = \lambda/3 \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$V_s = b*c \quad (b \text{ es } 1.05 \text{ a } 1.11) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Dónde:

$\lambda$  = Longitud de onda

$c$  = Velocidad de fase

$f$  = Frecuencia

$D$  = Profundidad

$V_s$  = Velocidad de la onda S

Es importante remarcar que la forma de la curva de dispersión está fuertemente relacionada a la variación de la rigidez con la profundidad. Por lo tanto, el método MASW tiene la capacidad de identificar estratos más blandos entre estratos rígidos.

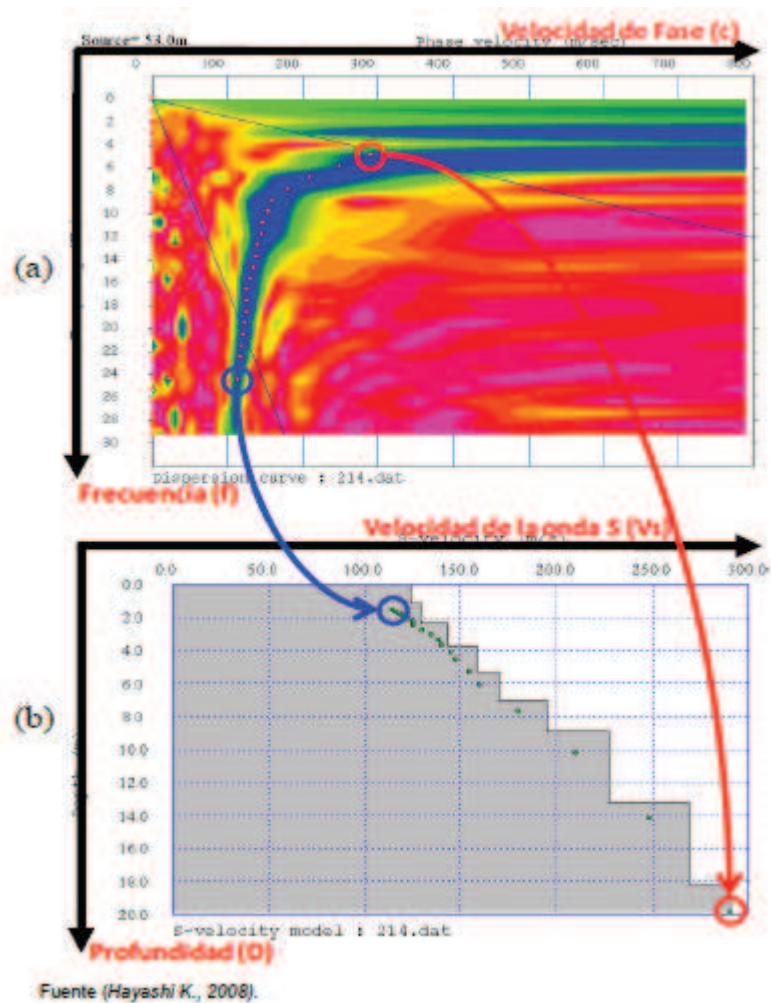


Figura 5: Modelo inicial basado en 1/3 de la transformación de la longitud de onda

Esta técnica se ha venido utilizando con bastante frecuencia en la exploración geotécnica para la cimentación de edificaciones, de puentes y cimentación de máquinas, cimentación de presas de tierra, presas de relaves y pads de lixiviación, obteniéndose buenas correlaciones con los perfiles estratigráficos del suelo en los casos donde se han realizado perforaciones diamantinas, así como con los resultados de los ensayos SPT, por lo que tiene una buena confiabilidad y constituye una alternativa muy económica para la evaluación de los parámetros elásticos del suelo de fundación.

### Método de ensayo

El ensayo MASW consiste en la medición de los tiempos de viaje de las ondas de corte ( $V_s$ ), generadas por el impacto de una pesa de 25 libras. La diferencia principal con el ensayo de refracción sísmica, radica que para este método se emplean geófonos de 4.5 Hz de frecuencia, además los puntos de shot se ubican a  $0,2$  y  $0,1 L$  a los extremos de la línea.

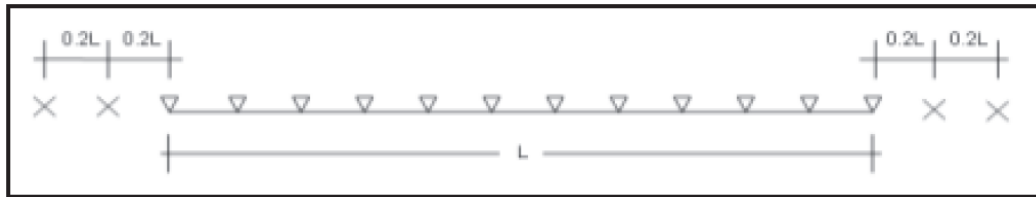


Figura 6: distribución de puntos de disparo del ensayo MASW

### Procesamiento e interpretación

Para el procesamiento de los registros de campo, se realiza la inversión de velocidades de las ondas S mediante el análisis de la dispersión de las ondas de superficies. Esto se debe a que éstas cuentan con un 98% de componente de onda S y menos de 2% de onda P. Las ondas de superficie pierden velocidad de fase de manera significativa mientras la frecuencia de las mismas aumenta. Por esto, la dispersión de la onda de superficie ocurre por lo general entre 5 y 30 Hz.

Mediante un procesamiento minucioso se obtiene un gráfico de distancia versus tiempo que luego mediante las transformadas de Fourier se obtiene las curvas de velocidad de fase versus frecuencia en donde se puede ver la tendencia de la onda de fase que define la velocidad de la onda S que nos permite obtener la curva de dispersión en el modo fundamental generada en el ensayo.



### **2.2.3 Sismicidad y Efectos del sismo**

#### **SISMICIDAD**

La particular ubicación del territorio peruano dentro del contexto geotectónico mundial (“Cinturón de Fuego Circunpacifico”), le confiere una alta actividad sísmica, traducida en los innumerables eventos catastróficos que se ha dado en su historia y con probabilidades de generación de otros en el futuro. El movimiento tectónico de la placa Oceánica bajo la placa Continental genera la actividad sísmica en el sector occidental de la Cordillera de los Andes, una zona marcadamente sísmica, siendo el sismo del 31 de Mayo de 1,970 el evento catastrófico más devastador en la historia moderna del país.

La región centro norte del territorio, donde se encuentra la ciudad de Huaraz, se efectuaron investigaciones para evaluar la sismicidad y el riesgo sísmico de la ciudad de Huaraz, para predecir probabilísticamente las posibles aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos que podrían ocurrir en un determinado lugar y en un intervalo de tiempo; contribuyendo, de esta manera, en la implementación de medidas de protección y prevención sísmica para la ciudad de Huaraz.

El CISMID en 1,989; evalúa la sismicidad histórica, los efectos sísmicos en el área, la sismotectónica regional, para finalmente proponer el riesgo sísmico para la ciudad de Huaraz.

Para el área de Huaraz y para la región del departamento de Ancash en general, la mayor actividad sísmica se concentra en el Océano Pacífico, en una línea paralela a la costa, a una distancia media de 80 Km, correspondiendo a la traza del contacto entre las placas tectónicas marina y continental. Ahí se da una gran concentración

de sismos, apreciándose la subducción de la Placa de Nazca, aumentando la profundidad focal de los sismos hacia el continente, donde se producen a profundidades superficiales a intermedias y que podrían estar relacionadas a fallamientos activos.

### **SISMO DEL 31 MAYO DE 1,970: ORIGEN Y EFECTOS EN LA CIUDAD**

El terremoto ocurrido en esta fecha tuvo una magnitud MS de 7.7 en la escala de Richter, se produjo a las 20h 23m 28.7s (3.23 p.m. hora local), frente a la costa norte del Perú y cuyos parámetros epicentrales, según el USGS fueron:

Longitud = 9.176 S

Latitud = 78.823 W

Profundidad = 43 Km.

Magnitud = 6.6 MB – 7.8 Ms

Intensidad = VIII MMI

Debido a su distancia epicentral, a Huaraz le correspondía una intensidad de VII MM, pero el centro urbano de la ciudad alcanzó una intensidad de VIII MM, debido a la amplificación sísmica causada por las condiciones locales del suelo, que según Martínez A. (1975-1976), puede atribuirse a la presencia del nivel freático muy superficial.

Este hecho también podría deberse al “rebote” que experimentaron las ondas sísmicas al encontrarse con el cuerpo granítico de la batolito de la Cordillera Blanca, dando lugar a un fenómeno de “reflexión de ondas” que contribuyeron a intensificar la actividad sísmica en la ciudad.

Según los estudios sismológicos efectuados por Lomnitz (1970), no se registraron cambios geofísicos en gran escala, debido a que la magnitud del sismo no llegó a un mayor valor.

En relación con estudios geológicos/estructurales (Plafker et al, 1971), se constató que la serie de fallas geológicas que existen en el valle del Santa no fueron reactivadas por este sismo de mayo de 1970.

### **EFFECTOS DEL SISMO**

De la Norma de Diseño Simorresistente E-030 recientemente aprobada, se tiene que el territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, según se muestra en la figura adjunta. 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 información neotectónica. 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.

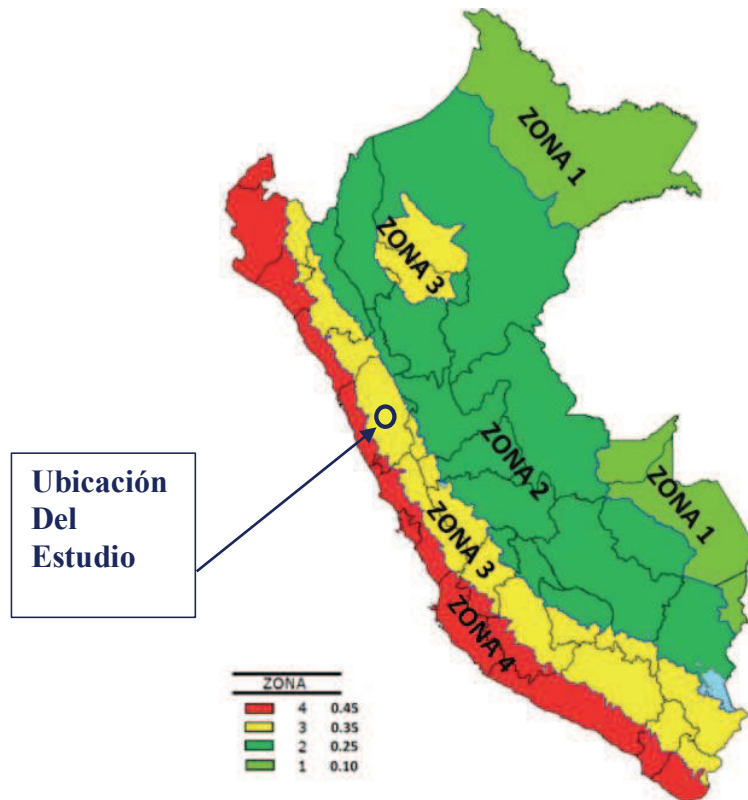


Figura 7: mapa de zonificación sísmica del Peru.

Para los efectos de esta Norma, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte ( $\bar{U}_s$ ) o alternativamente del promedio de los (N60) del ensayo de penetración estándar (SPT); los tipos de perfiles de suelos son cinco:

- a) Perfil tipo S0: Roca dura
- b) Perfil tipo S1: Roca o Suelo muy rígido
- c) Perfil tipo S2: Suelos intermedio
- d) Perfil tipo S3: Suelos Blandos
- e) Perfil tipo S4: Condiciones Excepcionales

A través de la siguiente tabla también se podrá clasificar el tipo de suelo que se tiene en el lugar del proyecto:

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	$\bar{V}_s$	$\bar{N}_{60}$	$\bar{S}_u$
S <sub>0</sub>	> 1500 m/s	-	-
S <sub>1</sub>	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S <sub>2</sub>	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S <sub>3</sub>	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S <sub>4</sub>	Clasificación basada en el EMS		

Figura 8: resumen de valores típicos para los distintos tipos de perfiles de suelo

#### PARÁMETROS DE SITIO (S, TP y TL)

Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los períodos TP y TL dados en las Tablas N° 3 y N° 4.

Tabla N° 3 FACTOR DE SUELO "S"				
SUELO ZONA	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Z <sub>4</sub>	0,80	1,00	1,05	1,10
Z <sub>3</sub>	0,80	1,00	1,15	1,20
Z <sub>2</sub>	0,80	1,00	1,20	1,40
Z <sub>1</sub>	0,80	1,00	1,60	2,00

Tabla N° 4 PERÍODOS "T <sub>p</sub> " Y "T <sub>L</sub> "				
	Perfil de suelo			
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
T <sub>p</sub> (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T <sub>L</sub> (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

De acuerdo a la Norma de Diseño Sismorresistente (E-030), la revisión de la información disponible y los resultados del presente estudio, se proporcionan los siguientes datos para suelos intermedios (S<sub>2</sub>):

Factor de Zona – Z (g)	: 0.35 (ZONA 3)
Período de vibración del Suelo – T <sub>P</sub> (s)	: 1.20 seg.
Período de vibración del Suelo – T <sub>L</sub> (s)	: 1.00 seg.
Factor de Amplificación del Suelo – S	: 1.60

## **2.2.4 Peligro Sísmico**

### **a) Fuentes Sismogénicas**

La fuente sismogénica es aquella línea, área o volumen geográfico que presenta similitudes geológicas, geofísicas y sísmicas, a tal punto que puede asegurarse que su potencial sísmico es homogéneo en toda la fuente; es decir, que el (los) proceso de generación y recurrencia de sismos es espacial y temporalmente homogéneo. Definir la geometría de la fuente sismogénica es fundamental para la evaluación del peligro sísmico, debido a que proporcionan los principales parámetros físicos que controlan la sismotectónica de la región en estudio.

Para la delimitación de estas fuentes, se ha analizado y evaluado la distribución espacial de la sismicidad asociada al proceso de la subducción (sismos interface), teniendo en cuenta la ubicación geográfica de los grandes sismos y los cambios en el patrón de distribución espacial de la sismicidad de acuerdo a Tavera y Buforn (2001), Bernal y Tavera (2002), Quispe y Tavera (2003), Condori y Tavera (2010), Guardia y Tavera (2013). Para fuentes sismogénicas continentales asociadas a las deformaciones corticales, se ha considerado la distribución espacial de los diversos sistemas de fallas geológicas propuestas por Macharé et al (2003) y Bernal y Tavera (2002). En este caso, a pesar que para algunas zonas la sismicidad se encuentra dispersa, ha sido posible reagruparlas en fuentes sismogénicas de manera adecuada. En la tesis, se tomado como información las fuentes ya definidas en otras investigaciones, donde se han utilizado veintinueve fuentes sismogénicas de subducción, en las cuales se han diferenciado los mecanismos de interfase (F1, F2, F3, F4, F5 y F6) y de intraplaca superficial (F7, F8, F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15 y F16) e intermedias (F17, F18, F19 y F20). Así mismo se han utilizado nueve

fuentes sísmicas continentales (F21, F22, F23, F24, F25, F26, F27, F28 y F29). Ambas geometrías de estas fuentes son concordantes con el modelo de subducción propuesto por Cahill e Isacks (1992).

Para la investigación usaremos la información correspondiente a las fuentes que se encuentran muy cercanas a la provincia de Huaraz, ya que la ciudad universitaria de la UNASAM se encuentra en el distrito de independencia en la provincia de Huaraz, para ello realizaremos los siguientes cuadros de las fuentes sismogenicas y parámetros que utilizaremos:



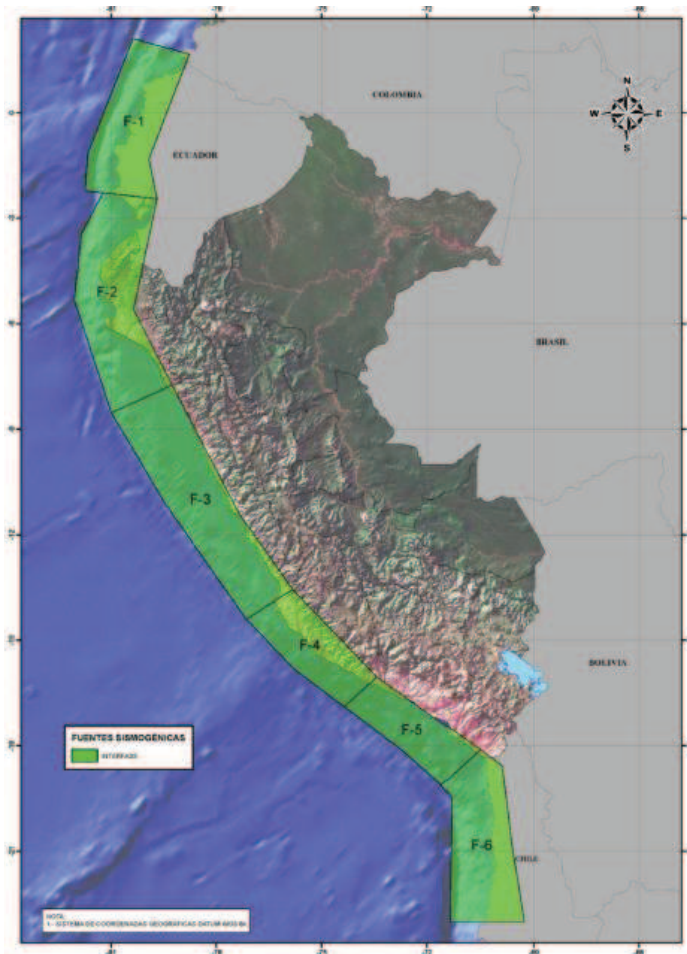


Figura 9: Fuentes Sismogénicas de subducción de Interfase (Zenon Aguilar y Miguel Roncal, 2017)

Tabla N° 01: Fuente Sismogenica de Interface de Ciudad Universitaria de la UNASAM (Zenón Aguilar y Miguel Roncal, 2017)

Fuente	Coordenadas Geográficas		Profundidad (km)
	Longitud	Latitud	
<b>F3</b>	-80.991	-8.528	25
<b>F3</b>	-80.022	-10.322	25
<b>F3</b>	-77.184	-14.412	25
<b>F3</b>	-75.856	-13.563	60
<b>F3</b>	-77.824	-10.464	60
<b>F3</b>	-79.267	-7.740	60

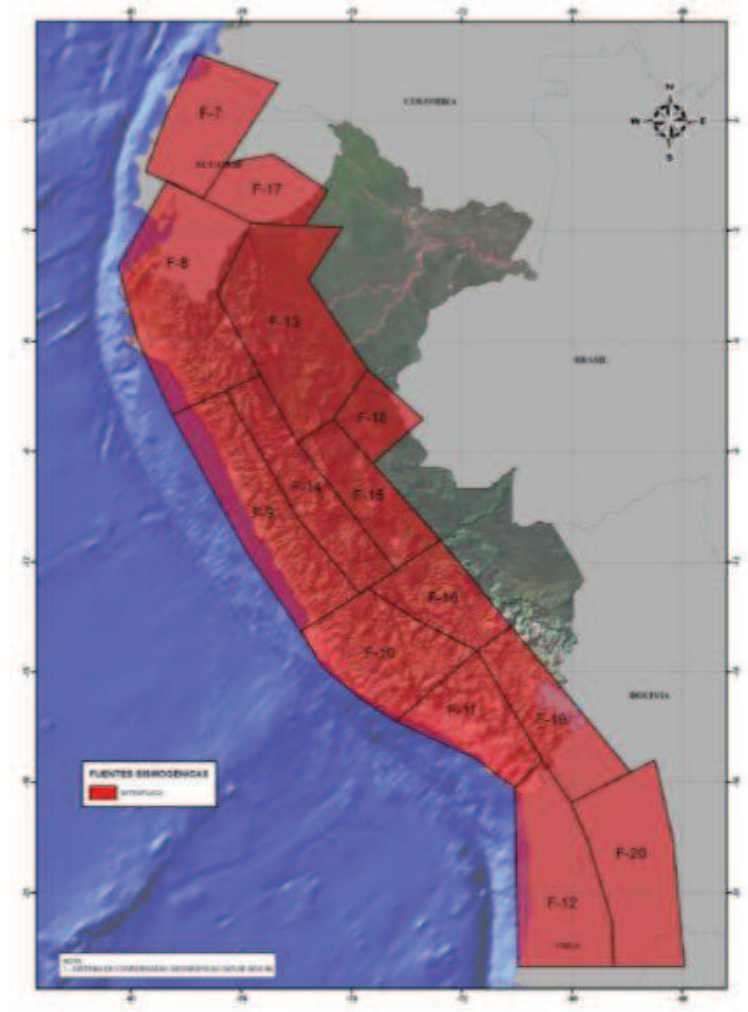


Figura 10: Fuentes Sismogénicas de subducción de Intraplaza ( Zenon Aguilar y Miguel Roncal, 2017)

*Tabla N° 02: Fuente Sismogenica de Intraplaca de Ciudad Universitaria de la UNASAM (Zenón Aguilar y Miguel Roncal, 2017)*

Fuente	Coordenadas Geográficas		Profundidad (km)
	Longitud	Latitud	
<b>F9</b>	-78.423	-7.352	100
<b>F9</b>	-79.881	-8.015	56
<b>F9</b>	-78.003	-11.728	57
<b>F9</b>	-76.381	-13.899	57
<b>F9</b>	-74.775	-12.871	100
<b>F9</b>	-76.441	-10.831	115
<b>F14</b>	-76.441	-10.831	115
<b>F14</b>	-74.775	-12.871	100
<b>F14</b>	-73.794	-12.219	112
<b>F14</b>	-76.472	-8.763	120
<b>F14</b>	-77.474	-8.920	105
<b>F14</b>	-78.423	-7.352	100

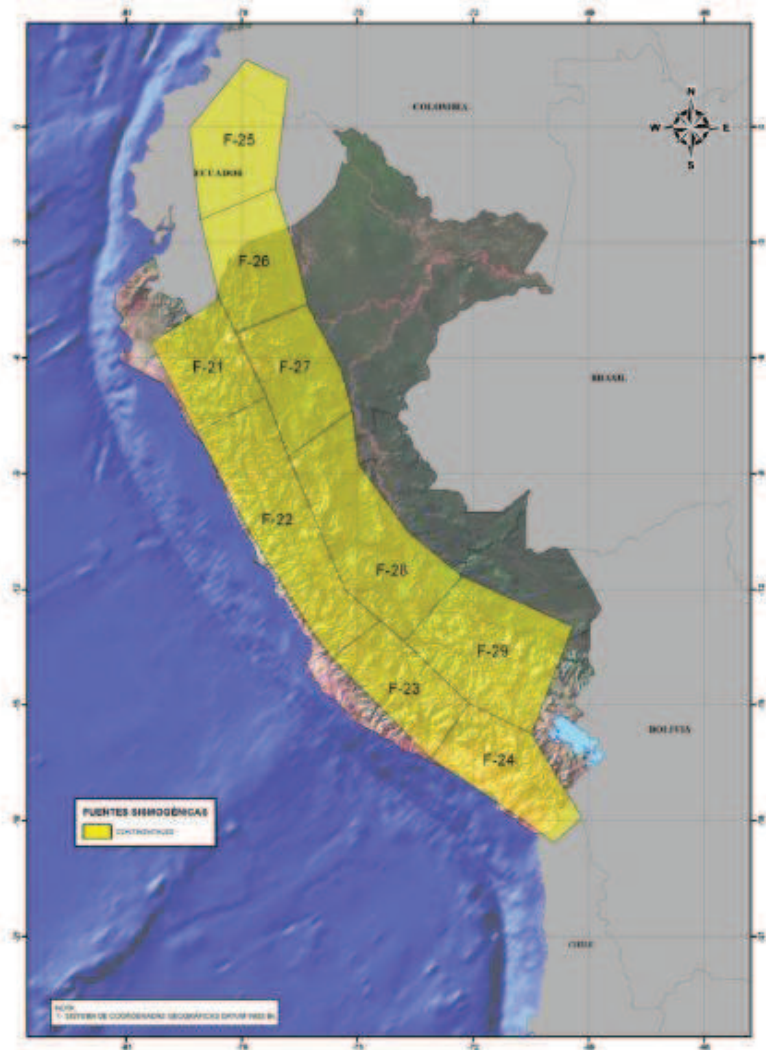


Figura 11: Fuentes Sismogénicas de corteza superficial o continentales (Zenon Aguilar y Miguel Roncal, 2017)

Tabla N° 03: Fuente Sismogenica de corteza superficial o continental de Ciudad Universitaria de la UNASAM (Zenón Aguilar y Miguel Roncal, 2017)

Fuente	Coordenadas Geográficas		Profundidad (km)
	Longitud	Latitud	
F22	-79.173	-7.916	30
F22	-77.824	-10.464	30
F22	-76.318	-12.881	30
F22	-75.677	-13.764	30
F22	-74.411	-12.807	30
F22	-75.315	-12.019	30
F22	-76.798	-8.551	30
F22	-77.365	-7.009	30

#### b) Parámetro Sismológicos

Para evaluar la variabilidad de las magnitudes de los eventos sísmicos que cada fuente pueda generar es indispensable evaluar la recurrencia sísmica de la fuente. La recurrencia sísmica representa el número de eventos mayores o iguales a alguna magnitud dentro de la fuente y está definida por la pendiente de la relación de recurrencia de Gutenberg y Richter ( $b$ ), la tasa media anual de actividad sísmica ( $\lambda_0$ ), la magnitud mínima ( $M_0$ ) y la magnitud máxima ( $M_{\text{máx}}$ ).

La expresión que define la relación de recurrencia de la actividad sísmica de un determinado lugar es:

$$\log N = a - bM$$

Donde  $N$  es el número de sismos con magnitud mayor o igual a  $M$ , y  $a$  y  $b$  son constantes. El valor  $a$  describe la actividad o productividad sísmica (log del número de eventos con  $M=0$ ). El valor  $b$ , el cual es típicamente cercano a 1 (Zúñiga y Wyss,

2001) es un parámetro tectónico que describe la abundancia relativa de grandes a pequeños eventos.

*Tabla 4:* Parámetros sismológicos de las Fuentes Sismogénicas de la ciudad universitaria de la UNASAM (Zenón Aguilar y Miguel Roncal, 2017)

Fuente	Parámetros			
	$M_{min}$	$M_{max}$	$\beta$	$\lambda_0$
<b>F3</b>	4.80	8.60	1.732	3.980
<b>F9</b>	4.50	7.30	2.040	6.470
<b>F14</b>	4.20	6.60	1.280	2.070
<b>F22</b>	4.1	7.20	1.068	1.320

### c) Leyes de atenuación

Para evaluar los efectos que produciría la actividad sísmica en un determinado lugar, caracterizándola a través de los parámetros sismológicos de cada fuente, es necesario relacionar la magnitud, la distancia del sitio de interés a una fuente dada y la intensidad sísmica que se presentaría si ocurriera un sismo en dicha fuente. Las expresiones que permiten establecer este tipo de relaciones se las conoce como leyes de atenuación. Para los sismos de subducción se han utilizado las leyes de atenuación para aceleraciones espectrales propuestas por Youngs, Chiou, Silva y Humphrey (1997) y para los sismos continentales se han utilizado las leyes de atenuación para aceleraciones espectrales propuestas por Sadigh, Chang, Egan, Makdisi y Youngs (1997).

Para la investigación se utilizaron las leyes de atenuación:

- Para las fuentes sismogénicas de Interface e Interplaca se utilizó la ley Ley de Atenuación para aceleraciones espectrales de Young et al (1997): La ley considera relaciones espectrales de respuesta horizontal al 5% de amortiguamiento para sismos de subducción; es decir, interplaca e intraplaca.
- Para las fuentes continentales se utilizó la Ley de Atenuación para aceleraciones espectrales de Sadigh et al (1997): La ley considera relaciones espectrales de respuesta horizontal al 5% de amortiguamiento para sismos corticales.

#### **d) R-CRISIS**

El peligro sísmico de la ciudad universitaria de la UNASAM es calculado considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sismogénicas, la distancia entre cada fuente y los puntos de interés que se van a evaluar, y para ello se hace uso del algoritmo de cómputo R-CRISIS V 18.3 desarrollado y actualizado por Ordaz et al (2018). Las características del algoritmo e información a utilizarse se describen a continuación:

- **Algoritmo CRISIS:** Hace uso del método probabilístico para calcular el peligro sísmico conociendo la geometría y parámetros de cada fuente sísmica, y las leyes de atenuación. El peligro sísmico se calcula para varios puntos de una malla definida de acuerdo al área de estudio. CRISIS estima el tamaño de los futuros movimientos sísmicos.

- **Fuentes Sismogénicas:** Definen áreas de geometrías determinadas que pueden presentar diversas inclinaciones para una mejor definición de la sismicidad que caracterizan a una región.
- **Parámetros Sísmicos:** Consideran a los valores físicos que caracterizan a una fuente sismogénica, todos definidos a partir de la curva de recurrencia sísmica de cada fuente sismogénica (Gutenberg y Richter, 1956) de acuerdo al proceso de Poisson.
- **Ley de Atenuación:** Se requiere construir y/o disponer de una o varias leyes de atenuación de la aceleración en función de la distancia. Esta será utilizada para calcular las aceleraciones probabilísticas para diversos periodos de retorno. Las leyes de atenuación pueden ser construidas considerando espectros de respuesta.
- **Grillado:** El cálculo de la aceleración probabilística es para cada nodo de un grillado construido sobre el área de estudio. La densidad de la grilla dependerá de los objetivos del estudio, a mayor grillado, mayor tiempo de cálculo.
- **Aceleraciones:** La intensidad del sacudimiento del suelo se calcula en términos de aceleración con un espectro de respuesta para el 5% del amortiguamiento crítico.



### **2.2.5 Vulnerabilidad Sísmica**

La experiencia ha enseñado a través de los terremotos pasados que existen estructuras de una misma tipología que pueden sufrir un mayor grado de daño a pesar de localizarse en el mismo sitio. Esto se debe a que existen estructuras con una calidad estructural mejor que otras, o en otras palabras, su vulnerabilidad es menor. Por lo tanto, se puede llegar a plantear que la vulnerabilidad sísmica de una estructura o grupo de estructuras es la calidad estructural o capacidad de sus elementos estructurales para resistir un terremoto de determinada intensidad.

Los estudios de vulnerabilidad sísmica se pueden aplicar a cualquier obra de ingeniería civil como son edificaciones, presas, carreteras, puentes, taludes, depósitos, centrales nucleares y en general a toda obra en la que se requiera conocer su comportamiento ante un posible terremoto y las consecuencias que puedan producir.

#### **2.2.5.1 Daño en las Edificaciones**

El daño es un fenómeno que afecta a cualquier tipo de estructura, sin embargo, a partir de ahora se hará referencia únicamente al daño estructural por ser parte del objetivo del presente proyecto. Para tal fin clasificaremos el daño en tres grupos:

##### **a) Daño Estructural**

Es el de mayor importancia, ya que éste puede ocasionar que una estructura colapse o en el mejor de los casos que su reparación sea muy costosa. El daño estructural depende del comportamiento de los elementos resistentes de una estructura. Es lo

que se observa como consecuencia de la disminución de la capacidad de resistencia, de rigidez y de estabilidad de los elementos estructurales.

La evaluación del daño se puede realizar de diferentes maneras. Una de ellas es la de evaluar el daño de una manera cuantitativa, basándose en algunos parámetros de respuesta estructural como por ejemplo las distorsiones de entrepiso, demandas de ductilidad, de rigidez, cantidad de energía disipada, cortante de entrepiso, etc. Para medir éstos parámetros se utilizan indicadores de daño. Estos indicadores pueden ser a nivel de cada elemento (Indicador de daño local), o nivel de la estructura (Indicador de daño global).



*Figura 12:* Daño observado en las edificaciones luego del sismo del 2007 en la ciudad de Pisco.

### **b) Daño no estructural**

Este tipo de daño está asociado principalmente a elementos que no forman parte del sistema resistente, como tabiques aislados, revestimientos, etc. Sin embargo, a pesar de que este tipo de daño no pone en peligro el comportamiento de la estructura, si es causa de un incremento considerable en las pérdidas económicas como se ha podido comprobar en los sismos de Loma Prieta (1989) y Northridge (1994).

### **c) Daño Económico**

Es una forma de relacionar el índice de daño estructural con las pérdidas económicas de un edificio debido a un sismo. Para esto se necesita evaluar el índice de daño global en términos de costos financieros, es decir, se requiere conocer un índice de daño económico global de la estructura que agrupe los índices anteriores.

## **2.2.5.2 Metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad**

Una de las características más importantes de los estudios de riesgo sísmico a nivel urbano es que la metodología que se utiliza en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los edificios debe ser simplificada, para que se pueda aplicar a grandes áreas o a un gran conjunto de estructuras.

### **a) Métodos Mecánicos**

Hacen la predicción de un efecto sísmico por medio de modelos mecánicos adecuados de las construcciones (análisis estático lineal, análisis estático no lineal, análisis dinámico lineal, análisis dinámico no lineal, etc.). Estos métodos solo son aplicables a las construcciones que pueden ser representados por modelos

mecánicos y, generalmente son utilizados para la evaluación de estructuras individuales debido a que involucran análisis detallados y modelos más refinados que no son adecuados para proyectos de escenarios sísmicos en áreas urbanas.

#### **b) Métodos Convencionales**

Se utilizan para comparar las diferentes construcciones de una misma tipología en una determinada zona de acuerdo con algunos factores cuya contribución a la resistencia sísmica es calibrada por expertos.

#### **c) Métodos Indirectos**

Estas técnicas determinan un índice de vulnerabilidad y luego establecen una relación entre la vulnerabilidad y el daño para diferentes intensidades sísmicas. En su concepción original estos métodos son útiles únicamente para evaluaciones sísmicas de edificaciones en centros urbanos.

### **2.2.5.3 Criterios para el cálculo de la vulnerabilidad según el CENEPRED**

Se define la vulnerabilidad como la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza.

Además define el análisis de vulnerabilidad como el proceso mediante el cual se evalúa las condiciones existentes de los factores de la vulnerabilidad: exposición, fragilidad y Resiliencia, de la población y sus medios de vida. (Decreto Supremo N° 048-2011-PCM - Reglamento de la Ley N° 29664).

En el caso del PPRRD el análisis e al vulnerabilidad es cualitativa

#### **a) Vulnerabilidad por Exposición**

La Exposición, está referida a las decisiones y prácticas que ubican al ser humano y sus medios de vida en la zona de impacto de un peligro. La exposición se genera por una relación no apropiada con el ambiente, que se puede deber a procesos no planificados de crecimiento demográfico, a un proceso migratorio desordenado, al proceso de urbanización sin un adecuado manejo del territorio y/o a políticas de desarrollo económico no sostenibles. A mayor exposición, mayor vulnerabilidad.

### **b) Vulnerabilidad por Fragilidad**

La Fragilidad, está referida a las condiciones de desventaja o debilidad relativa del ser humano y sus medios de vida frente a un peligro. En general, está centrada en las condiciones físicas de una comunidad o sociedad y es de origen interno, por ejemplo: formas de construcción, no seguimiento de normativa vigente sobre construcción y/o materiales, entre otros. A mayor fragilidad, mayor vulnerabilidad.

### **c) Vulnerabilidad por Resiliencia**

La Resiliencia, está referida al nivel de asimilación o capacidad de recuperación del ser humano y sus medios de vida frente a la ocurrencia de un peligro. Está asociada a condiciones sociales y de organización de la población. A mayor resiliencia, menor vulnerabilidad.

## **2.2.5.4 Análisis de los Elementos Expuestos Sociales, Económicos y Ambientales**

### **a) Análisis de la dimensión social**

Se determina la población expuesta dentro del área de influencia del fenómeno de origen natural, identificando la población vulnerable y no vulnerable, para posteriormente incorporar el análisis de la fragilidad social y resiliencia social en la población vulnerable.

Esto ayuda a identificar los niveles de vulnerabilidad social.

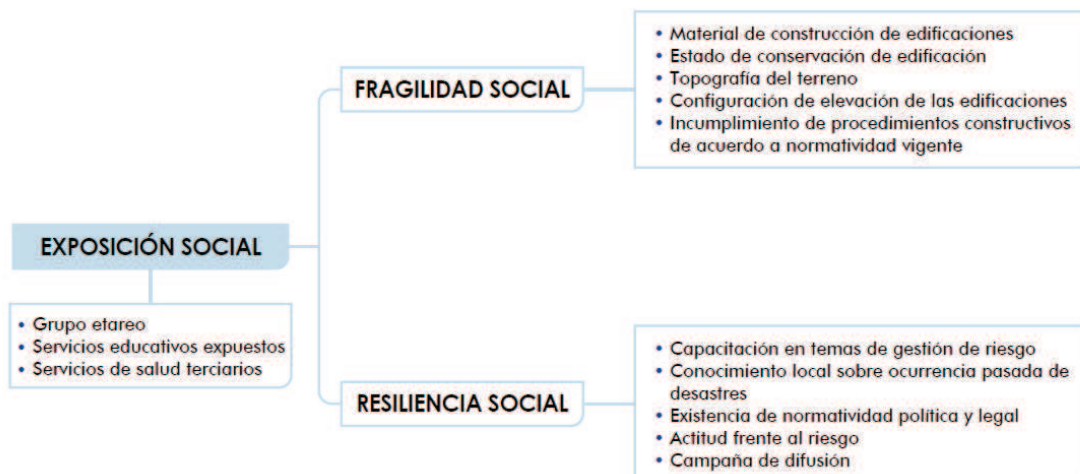
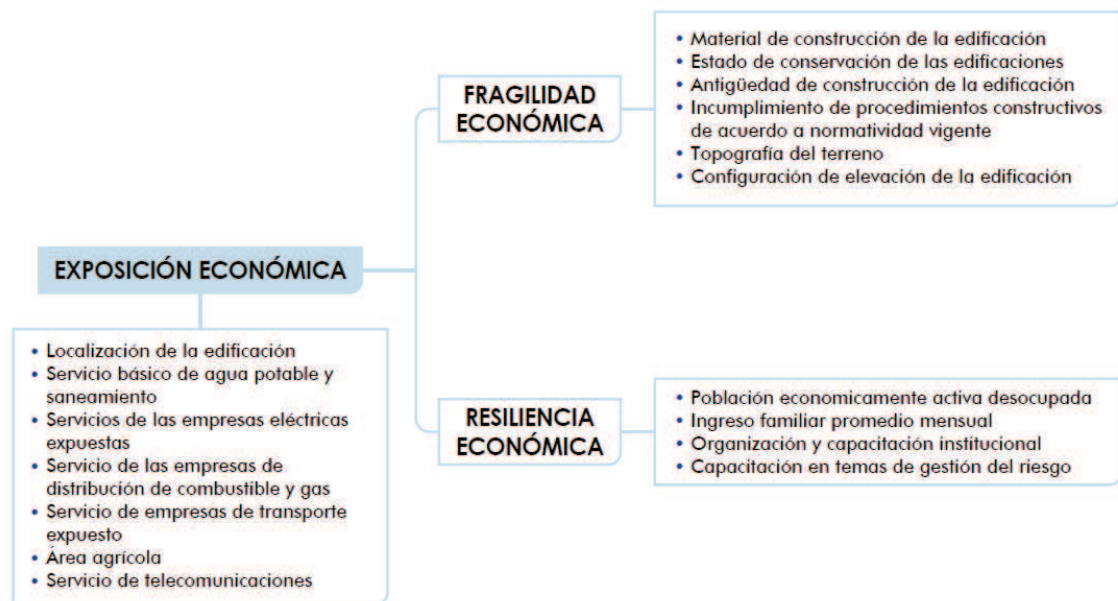


Figura 13: Se muestra los componentes de evaluación de la vulnerabilidad social, en sus 03 componentes exposición, fragilidad y resiliencia. (Manual de evaluación originados por fenómenos naturales 02 versión. CENEPRED)

#### b) Análisis de la dimensión económica

Se determina las actividades económicas e infraestructura expuesta dentro del área de influencia del fenómeno de origen natural, identificando los elementos expuestos vulnerables y no vulnerables, para posteriormente incorporar el análisis de la fragilidad económica y resiliencia económica. Esto ayuda a identificar los niveles de vulnerabilidad económica.



*Figura 14:* Se muestra los componentes de evaluación de la vulnerabilidad económica, en sus 03 componentes exposición, fragilidad y resiliencia. (Manual de evaluación originados por fenómenos naturales 02 versión. CENEPRED)

### c) Análisis de la dimensión Ambiental

Se determina los recursos naturales renovables y no renovables expuestos dentro del área de influencia del fenómeno de origen natural, identificando los recursos naturales vulnerables y no vulnerables, para posteriormente incorporar el análisis de la fragilidad ambiental y resiliencia ambiental. Esto ayuda a identificar los niveles de vulnerabilidad ambiental.



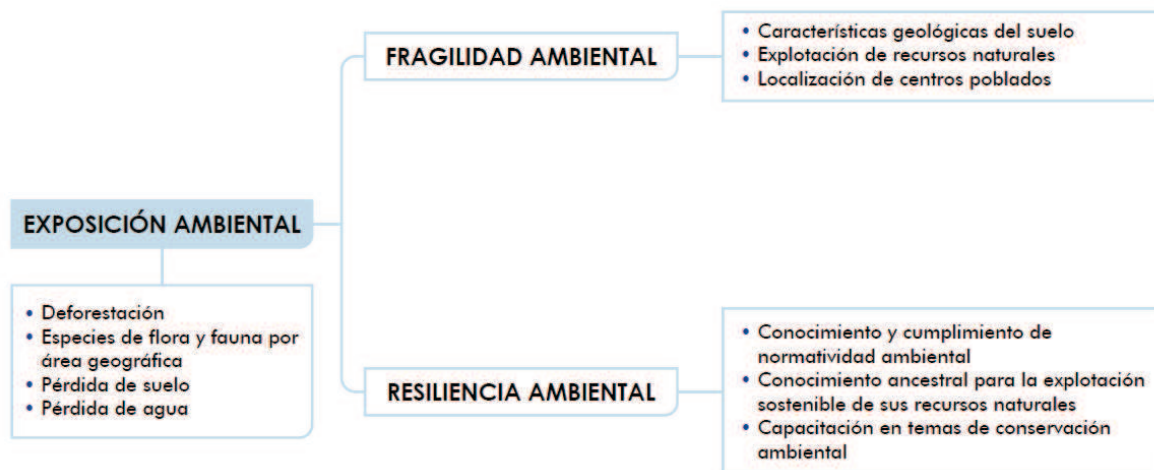


Figura 15: Se muestra los componentes de evaluación de la vulnerabilidad ambiental, en sus 03 componentes exposición, fragilidad y resiliencia. (Manual de evaluación originados por fenómenos naturales 02 versión. CENEPRED.)

### 2.2.5.5 Análisis de la estratificación de los niveles de vulnerabilidad

Para fines de la Evaluación de Riesgos, las zonas de vulnerabilidad pueden estratificarse en cuatro niveles: bajo, media, alta y muy alta, cuyas características y su valor correspondiente se detallan a continuación.

Tabla N° 05: matriz de vulnerabilidad (Fuente: CENEPRED)

NIVEL	RANGO
Vulnerabilidad Muy Alta	$0.260 \leq V < 0.503$
Vulnerabilidad Alta	$0.134 \leq V < 0.260$
Vulnerabilidad Media	$0.068 \leq V < 0.134$
Vulnerabilidad Baja	$0.035 \leq V < 0.068$

### 2.2.6 Riesgo Sísmico

Luego de revisar las definiciones acerca de peligrosidad y vulnerabilidad sísmica podemos concluir en que existe una relación directa entre ellos; es decir, para que exista riesgo sísmico se debe producir una convolución de ambos. El riesgo sísmico evalúa y cuantifica las consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un terremoto como resultado de la falla de las estructuras cuya capacidad resistente fue excedida.

Cambios en el peligro o la vulnerabilidad modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y las consecuencias en un área determinada. (Carreño et. al. 2005).

En base a varios estudios técnicos la ecuación que se usa para el cálculo de riesgo está fundamentada en la ecuación adaptada a la Ley N°29664 Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, mediante la cual se expresa que el riesgo es una función  $f()$  del peligro y la vulnerabilidad.

$$R_{iesgo} = f(P_i, V_e)$$

Donde:

R = Riesgo

f = En función

$P_i$  = Peligro con la intensidad mayor o igual a  $i$  durante un periodo de exposición  $t$

$V_e$  = Vulnerabilidad de un elemento expuesto

Para el análisis del peligro sísmico se identificaron y caracterizaron, los suelos de la ciudad universitaria, así mismo se determinó la aceleración esperada, y las amplificaciones sísmicas y el nivel de susceptibilidad. Asimismo, se analizó los componentes que inciden en la vulnerabilidad explicada por tres componentes:

exposición, fragilidad y resiliencia, la identificación de los elementos potencialmente vulnerables, el tipo y nivel de daños que se puedan presentar.

Para tener la escala del nivel del riesgo se hará uso de una matriz de doble entrada: matriz del grado de peligro y matriz del grado de vulnerabilidad. Para tal efecto, se ha determinado los niveles de peligro y del análisis de vulnerabilidad, de cada una de las estructuras existentes en la ciudad universitaria respectivamente.

Para fines de la Evaluación de Riesgos, luego del procesamiento adecuado las zonas de riesgo pueden estratificarse en cuatro niveles: bajo, media, alta y muy alta, cuyas características y su valor correspondiente se detallan a continuación.

*Tabla N° 06: matriz de riesgo (Fuente: CENEPRED)*

<b>NIVEL</b>	<b>RANGO</b>
Riesgo Muy Alto	$0.068 \leq R < 0.503$
Riesgo Alto	$0.018 \leq R < 0.068$
Riesgo Medio	$0.005 \leq R < 0.018$
Riesgo Bajo	$0.001 \leq R < 0.005$

### 2.3 Definición de términos

Los términos que se utilizaron en la realización de la tesis serán los siguientes:

- **Análisis de Riesgo:** Procedimiento técnico, que permite identificar y caracterizar los peligros, analizar las vulnerabilidades, calcular, controlar, manejar y comunicar los riesgos, para lograr un desarrollo sostenido mediante una adecuada toma de decisiones en la Gestión del Riesgo de Desastres.
- **Cálculo de Riesgo:** Etapa de la evaluación de riesgos, en la que se determina los niveles de riesgos, se estima (cualitativa y cuantitativa) los daños o afectaciones, se elabora el mapa de zonificación del nivel de riesgos y se recomiendan medidas de control preventivo y de reducción de orden estructural y no estructural.
- **Cálculo de Riesgo Sismo-geotécnico:** etapa final donde se obtendrá los niveles de riesgo debido a un sismo, se cuantificara y se elaborara mapas de zonificación geotécnica, así como mapas con problemas de amplificación sísmica, dinámica de suelos, etc.
- **Evaluación de Riesgo:** Componente del procedimiento técnico del análisis de riesgos, el cual permite calcular y controlar los riesgos, previa identificación de los peligros y análisis de las vulnerabilidades, recomendando medidas de prevención y/o reducción del riesgo de desastres y valoración de riesgos.
- **Mapa Temático o Zonificación:** Son representaciones sobre el papel de las características de algún tema en particular, apoyado sobre una base topográfica en donde se resalta, mediante la utilización de diversos colores

y recursos de las técnicas cartográficas, correlaciones, valoraciones o estructuras de distribución de, por ejemplo: viviendas, obras de infraestructura, caminos, áreas seguras, etc.

- **Peligro:** Probabilidad de que un fenómeno, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un período de tiempo y frecuencia definidos.
- **QGIS – QUANTUM GIS:** es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código libre para la elaboración de mapas. Permite manejar formatos raster y vectoriales.
- **Vulnerabilidad:** Es la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro. La vulnerabilidad puede ser explicada por tres factores: Exposición, Fragilidad y Resiliencia. Se expresa en términos de 0 a 1.

### **III. METODOLOGIA**

#### **3.1 Tipo y diseño de Investigación**

##### **Tipo de Investigación**

##### **Investigación aplicada**

La investigación buscara conocer el peligro sísmico, la vulnerabilidad estructural, para luego actuar y construir los mapas de riesgo sismo-geotécnico debido a la realidad sísmica que se tiene en el ámbito regional.

##### **3.1.1 Enfoque de la Investigación**

CUANTITATIVA; porque al final de la investigación, se tendrá valores del riesgo sismo-geotécnico y en el desarrollo de la tesis se trabajó con los valores de la evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones existentes de la ciudad universitaria, así como los valores de las propiedades geotécnicas del suelo de cimentaciones, entre otros valores cuantificables con lo que se trabajó.

##### **3.1.2 Alcance de la Investigación**

CORRELACIONAL, para obtener el riesgo sismo-geotécnico, se tendrá que relacionar varios sucesos, en la primera parte se relacionara el peligro sísmico con las propiedades geotécnicas del suelo, en la segunda parte se relacionara el peligro con la vulnerabilidad y finalmente podremos predecir o calcular el riesgo sismo-geotécnico.

## **Diseño de investigación**

NO EXPERIMENTAL / TRANSVERSAL, los datos serán recolectados en un solo momento, en un momento único. Bastara con realizar ensayos para conocer las propiedades dinámicas del suelo. Con los datos obtenidos se podrá contrastar la hipótesis.

### **3.2 Plan de recolección de la información y/o diseño estadístico**

#### **- Población**

Ciudad Universitaria de la UNASAM.

#### **- Muestra**

Ciudad Universitaria de la UNASAM

### **3.3 Instrumento(s) de recolección de la información**

- **Observación:** a través de una visita y hacer un recorrido por toda la ciudad universitaria para observar las posibles fallas en las estructuras existentes, así mismo para poder realizar la topografía de la zona y plantear las ubicaciones de las calicatas y las ubicaciones donde se va realizar los sondeos geofísicos.
- **Ensayos:** se realizó ensayos geofísicos y geotécnicos en campo y también se realizó ensayos geofísicos en laboratorio, para determinar múltiples propiedades físicas del suelo de la ciudad universitaria de la UNASAM.
- **Análisis documental:** se buscó videos o documentales que describan, como fue el terreno de la ciudad universitaria antes de ser construida. Así como imágenes satelitales para ver la variación del terreno de la ciudad

Universitaria de la UNASAM.

### **3.4 Plan de procesamiento y análisis estadístico de datos**

#### **Para el Peligro Sísmico**

- Para tener conocimiento de la topografía y las construcciones existentes se ejecutó un levantamiento topográfico, el cual nos ayude a visualizar las curvas de nivel, las pendientes, el área y el perímetro y con el software especializado podremos obtener los perfiles longitudinales de cualquier parte de la ciudad universitaria si se necesitara.
- Se realizó ensayos de campo, primero los ensayos geofísicos como MASW o refracción sísmica, para determinar los estratos de suelo que se tiene debajo de la ciudad universitaria, seguidamente se realizara excavaciones como calicatas abarcando la totalidad del área para tener conocimiento de los perfiles estratigráficos que se tiene en la zona también se realizara ensayos como auscultaciones por ejemplo penetración dinámica Ligera para poder determinar las propiedades físicos mecánicos y básicos del suelo.
- Con todos los datos de campo se pasó al trabajo de gabinete donde se comenzó calculando el peligro sísmico con la ayuda del software R-CRISIS.

#### **Para la Vulnerabilidad de las edificaciones Existentes**

- Se realizara trabajos de campo para poder evaluar las vulnerabilidades físicas de las estructuras existentes aplicando el manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales del CENEPRED, que consiste en evaluar parámetros desde un enfoque social, económico y



ambiental en base a tres factores como exposición, fragilidad y resiliencia con una metodología que considera aspectos como la configuración en planta y elevación, el tipo de cimentación, los elementos estructurales y no estructurales, el estado de conservación, y el tipo y calidad de los materiales para evaluar los parámetros que calificados individualmente en una escala numérica (afectada por un peso  $W_i$ , que trata de enfatizar su importancia relativa en el resultado final), proporciona un valor numérico de la calidad estructural o vulnerabilidad sísmica de los edificios de concreto armado.

#### **Para el Riesgo Sismo-geotécnico**

- Con los valores obtenidos del peligro sísmico y las vulnerabilidades de las edificaciones se podrá calcular el riesgo sismo - geotécnico, para la elaboración de los mapas se pasó a utilizar el software Q-GIS.

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1 Resultados Topografía**

Se realizó el levantamiento topográfico de la ciudad universitaria de la UNASAM, durante una semana donde luego de realizar los trabajos de campo se pasó a realizar los trabajos de gabinete donde se determinó las estructuras las que alberga y las curvas de nivel que al final resultaron típicas a terrenos explanados, además se determinó los lados y ángulos del perímetro y por último se calculó el área total, los datos de topografía están registrados en el siguiente cuadro (ver en anexos: plano planta general: T-01):

#### **Estructuras Existentes**

- Oficina de Bienestar Universitario
- Comedor Universitario
- Campo deportivo de gras sintético
- Campo deportivo de losa de concreto
- Facultad de ciencias agrarias
- Facultad de ingeniería civil
- Pabellón de aulas comunes
- Aulas Taller facultad de ciencias agrarias
- Facultad de ciencias del ambiente
- Facultad de Minas
- Facultad de educación y ciencias de la comunicación
- Facultad de ciencias
- Biblioteca central
- Auditorio central
- Facultad de administración y turismo

- Facultad de economía y contabilidad
- Facultad de industrias alimentarias
- Laboratorios
- Laboratorios especializados de insdustrias alimentarias
- Taller de mantenimiento
- Invernadero
- Sub estaciones eléctricas

Así mismo se llegó a determinar el perímetro y el área de la ciudad universitaria:

AREA	51681.71	m <sup>2</sup>
PERIMETRO	1019.63	m

#### **4.2 Resultados Geología**

Se realizó los trabajos de campo, luego de indagar en los estudios que se realizaron en el instituto Geológico Minero Metalúrgico y revisar el cuadrángulo de Huaraz, se llegó a las siguientes conocer la siguiente unidad estratigráfica, predominante en la zona de estudio:

##### **Cenozoico - Cuaternario**

##### **Depósito Morrénico (Qpl-mo)**

Estos depósitos son los que se encuentran formando parte de una terraza aluvial como indica la geomorfología, el depósito se describe a continuación:

Este depósito morrénico son materiales coluviales, corresponden a todo tipo de material suelto distribuido con mucha amplitud en el área de estudio. Estos materiales tienen un origen heterogéneo, pero, en conjunto son los materiales inicialmente desintegrados por la intensa actividad glaciar sobre la roca base y la desintegración física química de las rocas, que son transportados, luego en el devenir geológico, y son depositados lateralmente. **Conforman suelos arcillosos,** fragmentos de piedra, cantos rodados y bolonerías que se depositan superficialmente sobre el macizo rocoso de la zona.

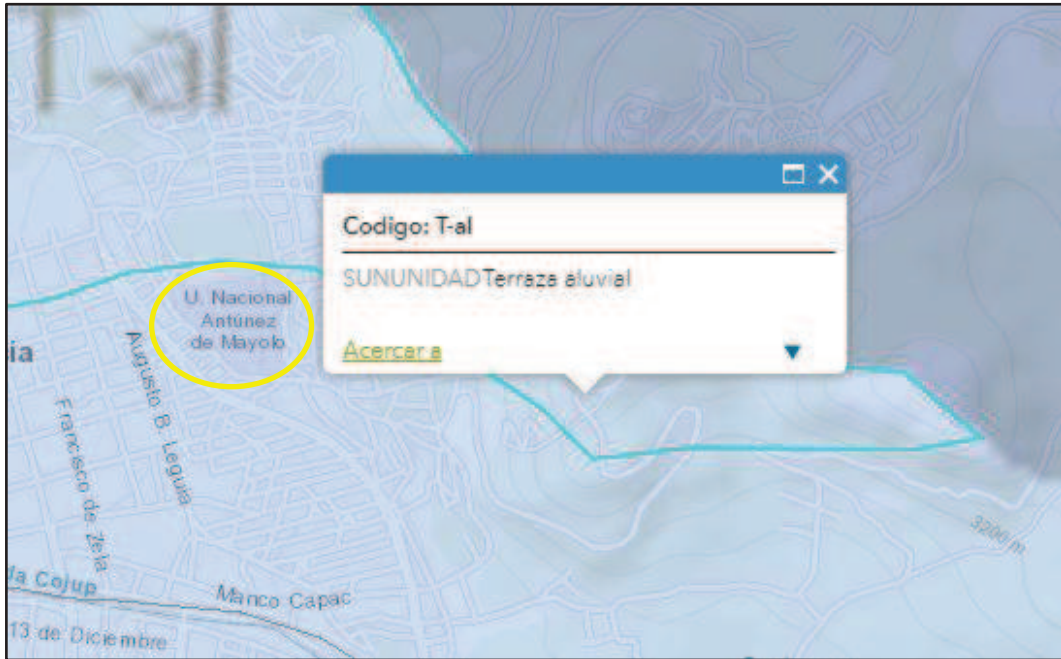


Figura 16: Mapa Geomorfológico de la ciudad universitaria de la UNASAM

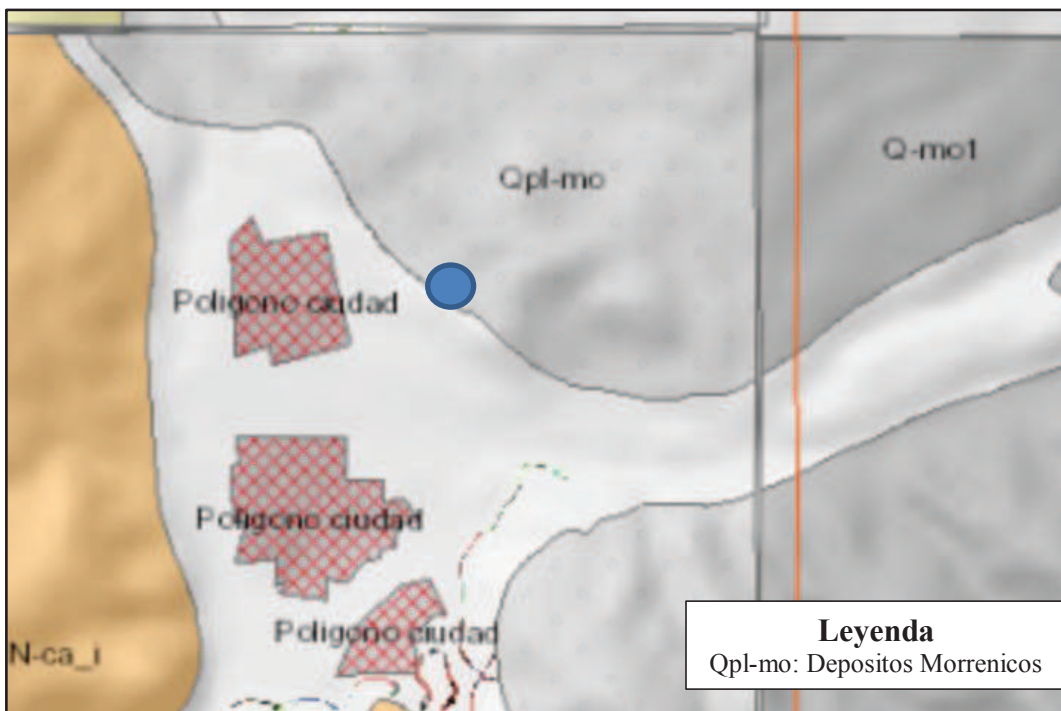


Figura 17: Mapa Geológico según INGEMMET de la ciudad universitaria de la UNASAM

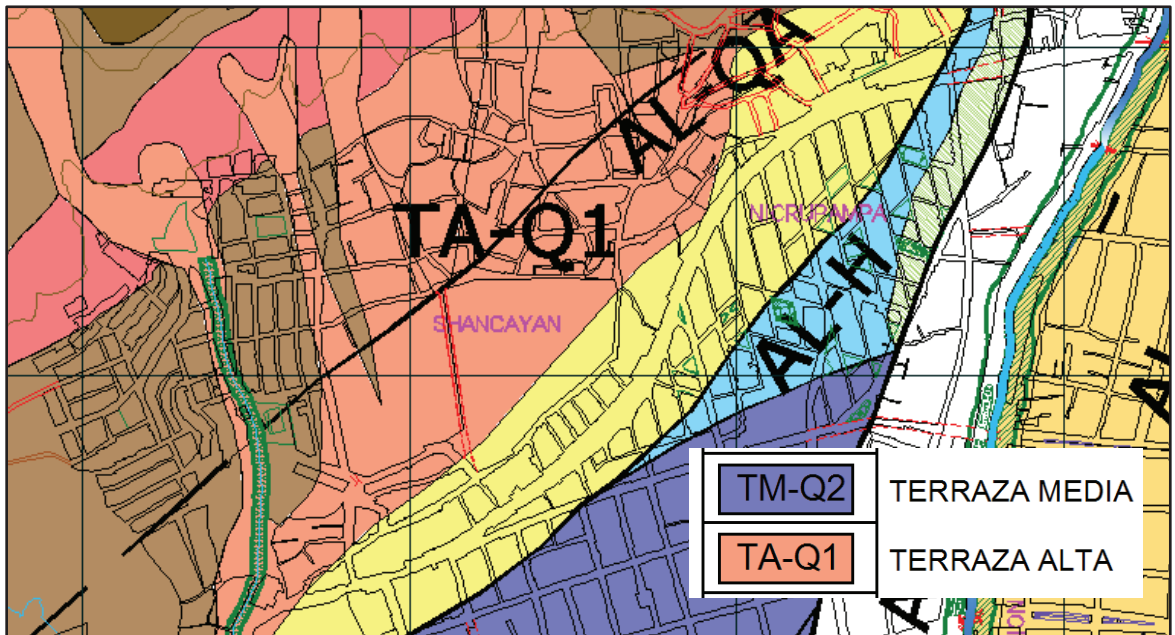


Figura 18: Mapa Geológico según la municipalidad provincial de Huaraz de la ciudad universitaria de la UNASAM

### 4.3 Resultados Geofísica

Como parte del presente estudio se realizaron dos ensayos MASW con la finalidad de determinar los parámetros dinámicos del suelo.

En la tabla siguiente se presenta un resumen de la ubicación de los puntos de ensayos MASW. (Ver en anexos: Informe de ensayos geofísico de GID Ingenieros S.A.C. 2018)

Ensayo	Coordenadas UTM		Observación
	Este	Norte	
MASW-CU-1	222 811,67	8 946 898,97	Punto medio de la línea sísmica LS-1
MASW-CU-2	222 868,97	8 946 862,76	Punto medio de la línea sísmica LS-2



*Figura 19:* Ubicación de las líneas sísmicas en la ciudad universitaria de la UNASAM

**Justificación de Ubicación de la Líneas sísmicas:** las líneas sísmicas se ubicaron en las zonas donde se tiene más construcciones existentes y donde se tiene mayor densidad poblacional, así mismo son lugares donde se tiene más transferencia de carga al suelo de cimentación.



Los resultados de este ensayo nos permitirán obtener la variación de las velocidades de ondas de corte ( $V_s$ ) hasta una profundidad de 30,00 m. aproximadamente.

El procesamiento de la información de campo se realizó por medio del programa Seislmager/SW versión 1.4.

MASW-CU-1		MASW-CU-2	
Cota (msnm)	$V_s$ (m/s)	Cota (msnm)	$V_s$ (m/s)
3080.93	378	3081.93	342
3079.69	350	3080.69	342
3078.29	364	3079.29	365
3076.73	412	3077.73	403
3075.00	482	3076.00	452
3073.10	554	3074.10	481
3071.04	608	3072.04	477
3068.81	635	3069.81	498
3066.42	666	3067.42	512
3063.87	681	3064.87	533
3061.15	681	3062.15	566
3058.26	728	3059.26	604
3055.21	810	3056.21	678
3052.00	938	3053.00	743

*Figura 20:* Resultado de velocidades de onda.



## Resultados de la Línea Sísmica 1- MASW-CU-1

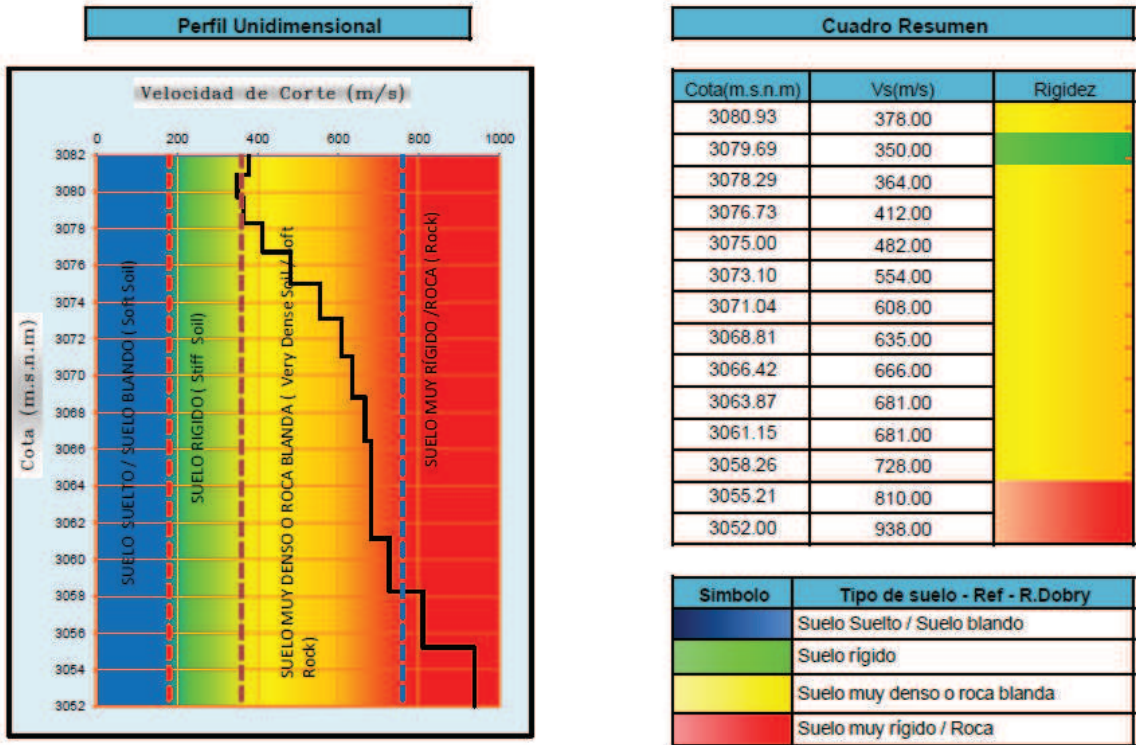


Figura 21: Cuadros resumen de las velocidades de onda de corte así como la rigidez del suelo en función de la profundidad.

<b>Vs 30(m/s)</b>	<b>595</b>
<b>Tipo de Suelo</b>	<b>C</b>

<b>Ts*</b>	<b>0.20</b>	<b>S1</b>
<b>suelo muy rígido</b>		

*Ts\*;*Periodo fundamental del suelo

Figura 22: Cuadros resumen de la velocidad de onda de corte a los 30 m de profundidad y el tipo de suelos según el periodo de vibración del suelo a los 30 m de profundidad.



*Figura 23:* Se muestra el tendido de 75m de línea sísmica con 24 geófonos espaciados a 3 m.



*Figura 24:* Se muestra el otro extremo de la línea sísmica donde se decepcionaba los datos de velocidad generadas por el martillo de 24 lb.

## Resultados de la Línea Sísmica 2- MASW-CU-2

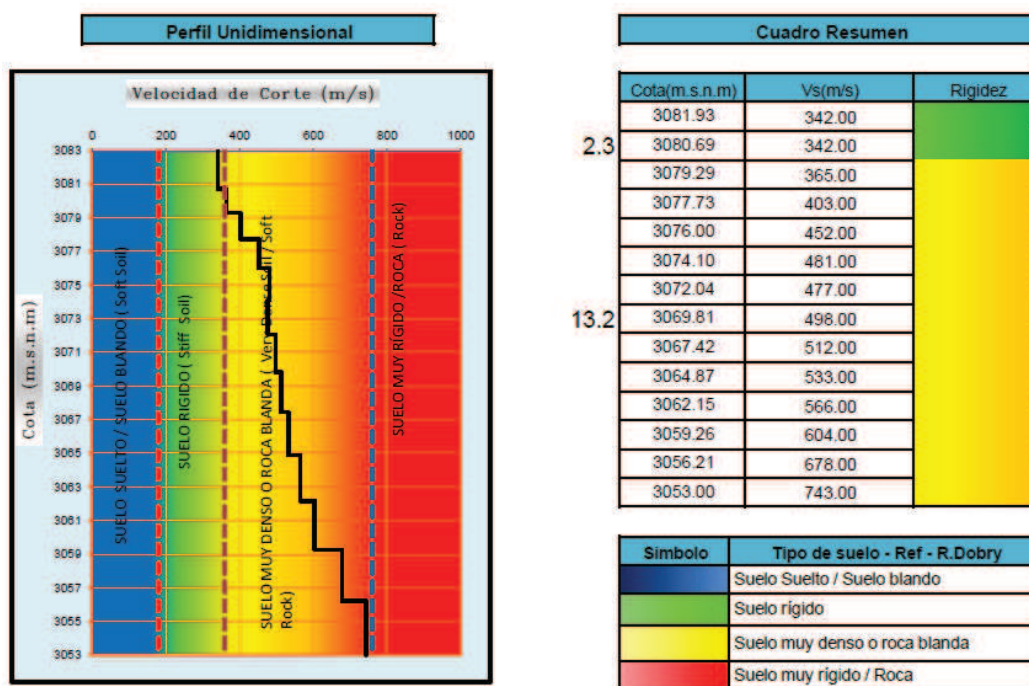


Figura 25: Cuadros resumen de las velocidades de onda de corte así como la rigidez del suelo en función de la profundidad.

<i>Vs</i> 30(m/s)	<b>509</b>
<i>Tipo de Suelo</i>	<b>C</b>

<i>Ts</i> *	<b>0.24</b>	<b>S1</b>
<b>suelo muy rígido</b>		

*Ts*\*;Periodo fundamental del suelo

Figura 26: Cuadros resumen de la velocidad de onda de corte a los 30 m de profundidad y el tipo de suelos según el periodo de vibración del suelo a los 30 m de profundidad.





*Figura 27:* Se muestra el tendido de 75m de línea sísmica con 24 geófonos espaciados a 3 m.



*Figura 28:* Se muestra los geófonos responsables de sentir la onda de corte y transmitirla al sismógrafo para su procesamiento posteriormente.

Luego del trabajo de campo las líneas sísmicas que se realizaron en 2 líneas MASW de 75,0 m de longitud, el ensayo fue realizado para la caracterización del suelo en función al Vs30, como indica la norma E030 diseño Sismorresistente, encontrándose los siguientes resultados:

N°	MASW	Tipo de onda	Período Fundamental Ts (s)	Vs 30 (m/s)	IBC	Tipo de Suelo según IBC
1	MASW-CU-1	S	0.20	595	C	Suelo muy denso
2	MASW-CU-2	S	0.24	509	C	Suelo muy denso

Figura 29: resultado de tipo de suelo en las dos líneas sísmicas.

Así mismo con este ensayo se pudo determinar algunos módulos dinámicos para los diferentes estratos del terreno en la Ciudad Universitaria de la UNASAM

Ensayo	Velocidades		Densidad (T/m <sup>3</sup> )	Poisson $\mu$	Elástico estático	
	Profund. (m)	Vs (m/s)			E (kN/m <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )
MASW-CU-1	0.0 - 2.3	364	1.80	0.35	43805	<b>447</b>
	2.3 - 8.9	453	2.10	0.32	92872	<b>948</b>
	8.9 - 23.7	667	2.40	0.28	278500	<b>2842</b>
	23.7 - 30.0	874	2.60	0.25	1013305	<b>10340</b>
MASW-CU-2	0.0 - 2.3	342	1.80	0.35	38670	<b>395</b>
	2.3 - 13.2	446	2.10	0.32	90024	<b>919</b>
	13.2 - 30.0	606	2.40	0.28	230234	<b>2349</b>

Figura 30: resultado propiedades dinámicas en las dos líneas sísmicas.

#### **4.4 Resultados Geotecnia**

Para poder clasificar el tipo de suelo en toda la ciudad universitaria de la UNASAM se va realizar en base a los estudios realizados para las obras de mejoramiento como el cerco perimétrico, el laboratorio de estructuras de la facultad de ingeniería civil, el pabellón de aulas comunes, la construcción de la facultad de ingeniería Civil y la construcción del urbanismo de la ciudad universitaria, por lo tanto empezaremos a presentar los resúmenes de los resultados encontrados:

- Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación:

***“Mejoramiento de la seguridad externa e interna de la ciudad universitaria de Shancayan de la UNASAM – Huaraz - Ancash”***

Descripción: el estudio de mecánica de suelos que se realizó para los nuevos muros construidos en la ciudad universitaria ubicadas en todo el perímetro, se realizaron 17 calicatas de diferentes profundidades obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla N° 07: resultados de tipos de suelos en el cerco perimétrico  
(Fuente: Elaboración propia)

CALICATAS CERCO PERIMETRICO				
Calicata	Muestra	Nivel Freático	Clasificación SUCS	Descripción
C-01-C	Mab-01	-0.60	CL	<i>Arcilla Inorganica de Plasticidad Baja a Media</i>
C-02-C	Mab-01	-2.50	SC	<i>Arena Arcillosa</i>
C-03-C	Mab-01	---	GM	<i>Grava Limosa</i>
C-04-C	Mab-01	-1.20	SC	<i>Arena Arcillosa</i>
C-05-C	Mab-01	-1.30	SC	<i>Arena Arcillosa</i>
C-06-C	Mab-01	---	GC	<i>Grava Arcillosa</i>
C-07-C	Mab-01	---	GM-GC	<i>Grava Arcillosa – Grava Arcillosa</i>
C-08-C	Mab-01	---	GC	<i>Grava Arcillosa</i>
C-09-C	Mab-01	-2.40	CL	<i>Arcilla Inorganica de Plasticidad Baja a Media</i>
C-10-C	Mab-01	-2.00	SC	<i>Arena Arcillosa</i>
C-11-C	Mab-01	-1.80	SC	<i>Arena Arcillosa</i>
C-12-C	Mab-01	---	SM	<i>Arena Limosa</i>
C-13-C	Mab-01	---	SC	<i>Arena Arcillosa</i>
C-14-C	Mab-01	---	SC	<i>Arena Arcillosa</i>
C-15-C	Mab-01	---	CH	<i>Arcilla Inorganica de Plasticidad Elevada</i>
C-16-C	Mab-01	---	CH	<i>Arcilla Inorganica de Plasticidad Elevada</i>
C-17-C	Mab-01	---	SC	<i>Arena Arcillosa</i>

Nota: C-1-C: Calicata N° 01 del cerco, para ubicar en el plano de calicatas (ver Anexo).



Figura 31: Se muestra la profundidad alcanzada y el tipo de suelo encontrado, se nota la presencia una arcilla de alta plasticidad.

- Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación:

*“Mejoramiento de los servicios de aulas y de los servicios de soporte académico de la oficina general de estudios de la UNASAM, distrito de independencia – provincia de Huaraz – departamento de Ancash”*

Descripción: el estudio de mecánica de suelos que se realizó para el pabellón de aulas comunes que usaran las diferentes escuelas de la UNASAM, se realizaron 4 calicatas de diferentes profundidades obteniéndose los siguientes resultados:



Tabla N° 08: resultados de tipos de suelos en el pabellón de aulas comunes (Fuente: Elaboración Propia)

CALICATAS PABELLON AULAS COMUNES				
Calicata	Muestra	Nivel Freático	Clasificación SUCS	Descripción
C-01-A	Mab-01	---	GM	Grava Limosa
C-02-A	Mab-01	---	SC	Arena Arcillosa
C-03-A	Mab-01	---	GW-GM	Grava bien graduada – grava limosa
C-04-A	Mab-01	---	SC	Arena Arcillosa

Nota: C-1-A: Calicata N° 01 de aula comunes, para ubicar en el plano de calicatas (ver Anexo)

Estas calicatas se complementaron con las que se hicieron durante la construcción de la facultad de ingeniería civil

Tabla N° 09: resultados de tipos de suelos en la facultad de Ingeniería civil (Fuente: Elaboración Propia)

CALICATAS FIC -UNASAM				
Calicata	Muestra	Nivel Freático	Clasificación SUCS	Descripción
C-01-FIC	Mab-01	---	GC	Grava Arcillosa
C-02-FIC	Mab-01	---	GC	Grava Arcillosa
C-03-FIC	Mab-01	---	GC	Grava Arcillosa

Nota: C-1-FIC: Calicata N° 01 de la facultad de ingeniería Civil, para ubicar en el plano de calicatas (ver Anexo)



*Figura 32:* Se muestra la excavación de la calicata N° 03 para las aulas comunes. (Fuente: Elaboración propia)



*Figura 33:* Se muestra la construcción de la facultad de ingeniería civil, donde se nota la presencia de gravas con la mezcla de arcillas, francos de arcilla y como arcillas con gravas.

- Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación:

***“Mejoramiento de los servicios académicos de la facultad de Industrias Alimentarias de la UNASAM”.***

Descripción: el estudio de mecánica de suelos que se realizó para la construcción de laboratorios complementarios para la facultad de industrias alimentarias, se realizaron 3 calicatas de diferentes profundidades obteniéndose los siguientes resultados:



Tabla N° 10: resultados de tipos de suelos en la facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

CALICATAS FIA -UNASAM				
Calicata	Muestra	Nivel Freático	Clasificación SUCS	Descripción
C-01-FIA	Mab-01	---	SC	<i>Arena Arcillosa</i>
C-02-FIA	Mab-01	---	SC	<i>Arena Arcillosa</i>
C-03-FIA	Mab-01	---	SM-SC	<i>Arena Limosa – Arena Arcillosa</i>

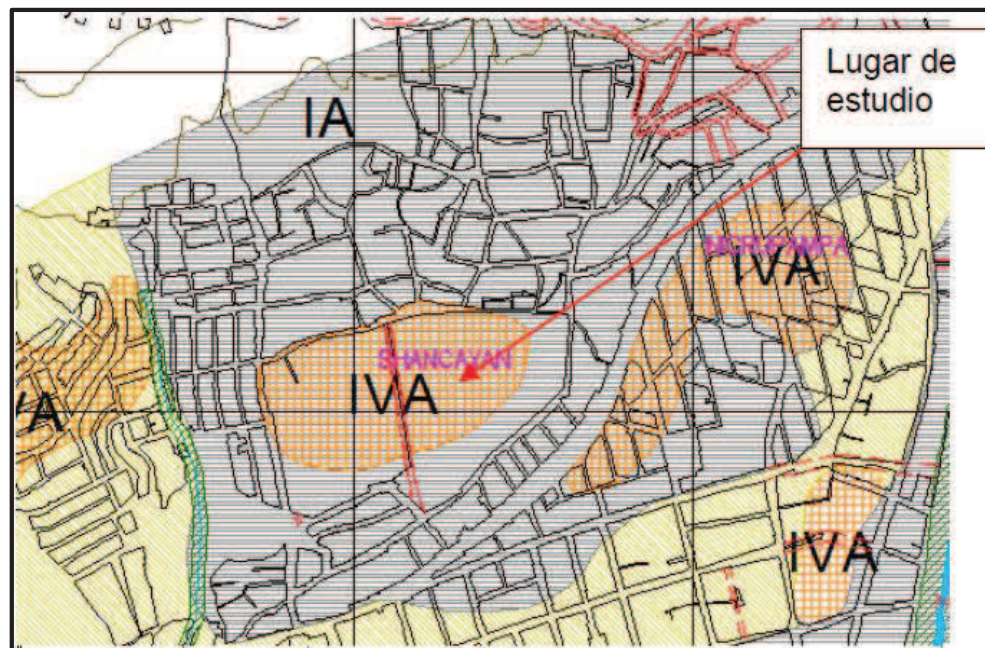
Fuente: Elaboración Propia

Nota: C-1-FIA: Calicata N° 01 de la facultad de ingeniería Industrias Alimentarias, para ubicar en el plano de calicatas (ver Anexo)



Figura 34: Se muestra la calicata N° 02, excavada con la ayuda de una retroexcavadora para poder llegar a profundidades mayores a 3 m.

Así mismo se tiene información de la microzonificación sísmica realizada por la municipalidad provincial de Huaraz, donde se puede verificar que la ciudad universitaria se encuentra sobre arcillas de baja compresibilidad



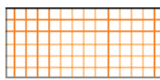
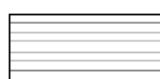
	IV-A	Arcilla de baja compresibilidad, seguido de material gravoso pobremente graduado-arenoso
	IV-B	Gravas y arenas sueltas de distinta graduación, en un matriz de arena limo arcillosa.
<b>SIMBOLO</b>	<b>ZONA</b>	<b>SUELO PREDOMINANTE</b>
	I-A	Limos y arena arcillosa , seguido de gravas arcillosas pobremente graduadas
	I-B	Trozos de roca de diversos tamaños en una matriz de grava limosa o arena bien graduada

Figura 35: tipo de suelo en la ciudad universitaria según el plano de microzonificación sísmica de la Municipalidad Provincial de Huaraz.

Se puede ver que la ciudad universitaria se encuentra en un tipo de suelo superficialmente malo, esta clasificación fue realizada en base a calicatas.

#### 4.5 Resultados Peligro Sísmico

##### R-CRISIS

Como parte del presente estudio, llego a determinar los diferentes valores de la aceleración esperada en la ciudad universitaria de la UNASAM, para ello se hizo uso del programa probabilístico para calcular el peligro sísmico conociendo la geometría y parámetros de cada fuente sísmica, y las leyes de atenuación. Como se muestra en las siguientes imágenes:

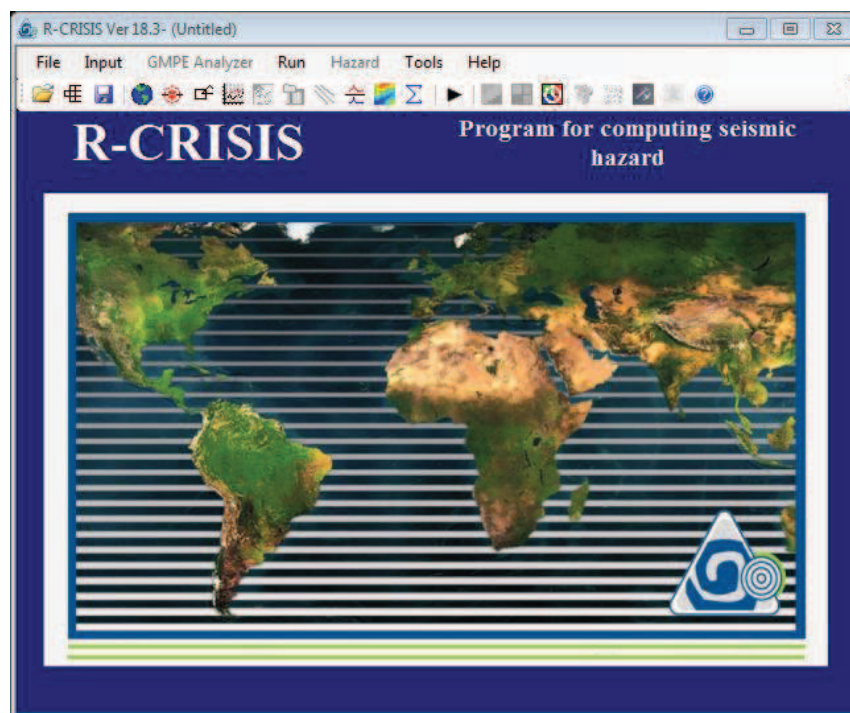


Figura 36: Programa para la evaluación del peligro sísmico R-CRISIS Ver 18.3



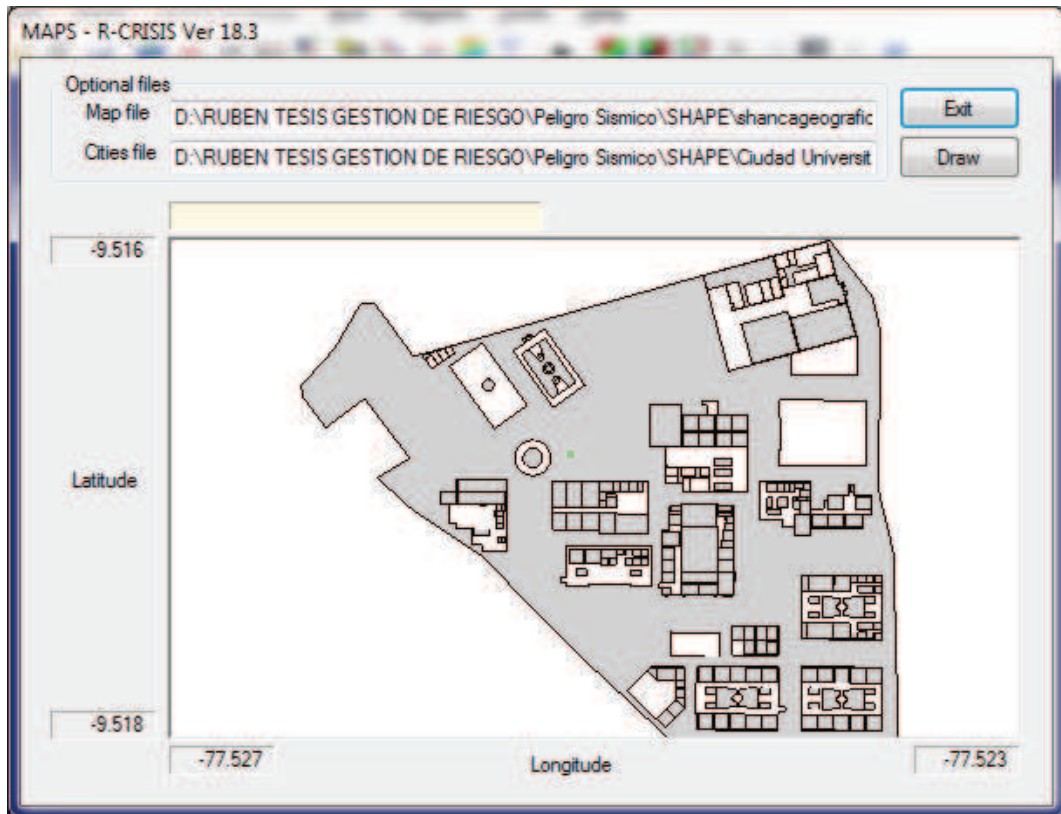


Figura 37: Se muestra la ciudad universitaria y las facultades que alberga.

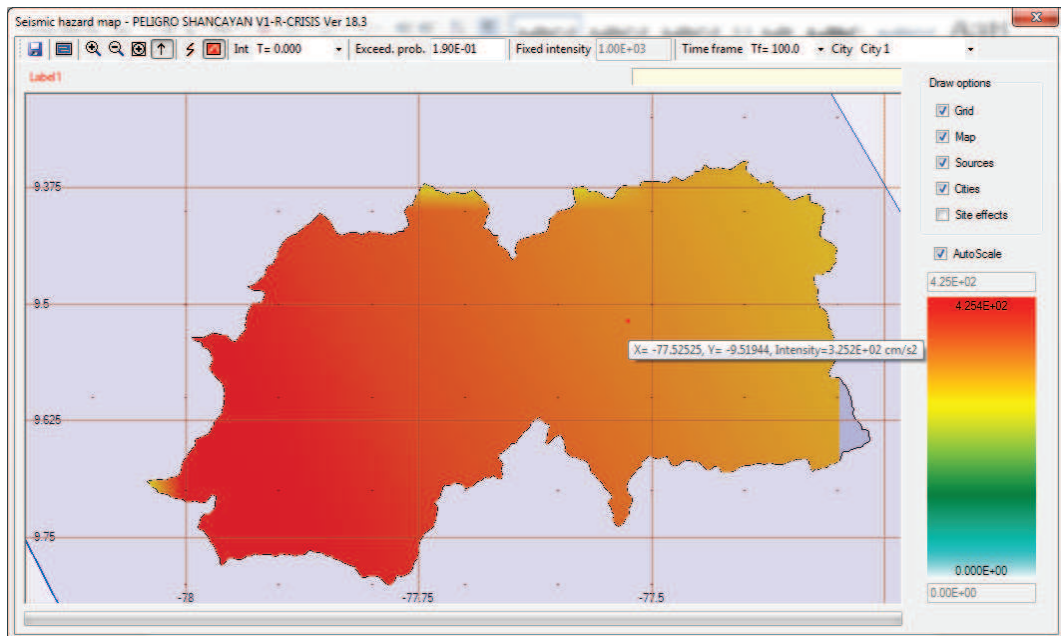


Figura 38: Se muestra las aceleraciones para la provincia de Huaraz y dentro de la provincia se encuentra la ciudad universitaria de la UNASAM, las aceleraciones que se muestran son para un periodo estructural de 0.00 seg y para un periodo de retorno de 475 años.

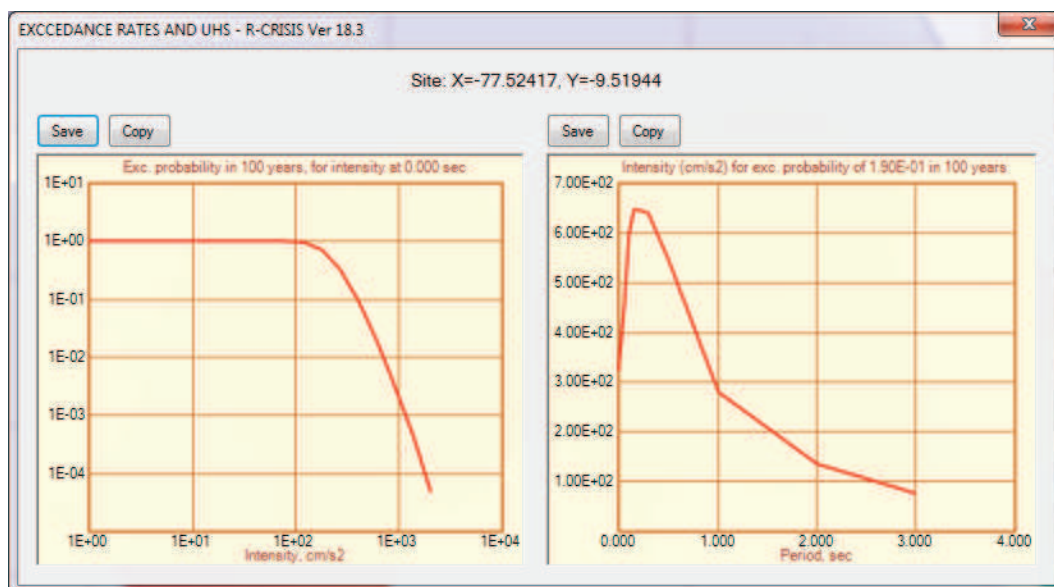


Figura 39: Se muestra ver el espectro de peligro uniforme para un periodo de retorno de 475 años donde se tiene una aceleración máxima en el suelo de la zona de estudio de  $325.2 \text{ cm/s}^2$



## APLICATIVO WEB

Para la investigación usaremos la aplicación web de la página de SENCICO, que se encuentra en la siguiente dirección electrónica:

<https://www.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=331>



Figura 40: Seleccionamos las coordenadas del lugar donde deseamos conocer la aceleración esperada. ([www.sencico.gob.pe/investigacion/publicaciones.php?id=492](http://www.sencico.gob.pe/investigacion/publicaciones.php?id=492))

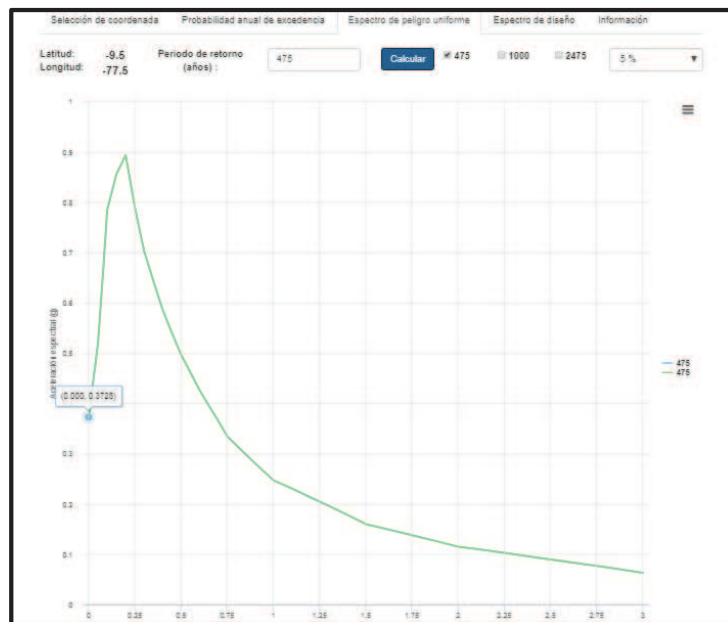


Figura 41: Muestra el espectro de peligro uniforme para un periodo de retorno de 475 años donde se tiene una aceleración máxima en el suelo de la zona de estudio de  $372.8 \text{ cm/s}^2$ . ([www.sencico.gob.pe/investigacion/publicaciones.php?id=492](http://www.sencico.gob.pe/investigacion/publicaciones.php?id=492))

Si comparamos los resultados:

*Tabla N° 11:* comparación de aceleración esperadas para un periodo de retorno de 475 años y un periodo estructural T=0 s (Fuente: Elaboración propia)

Metodología	Aceleración esperada en la ciudad universitario de la UNASAM
R-CRISIS	<b>325.20 cm/s<sup>2</sup></b>
APLICATIVO WEB	<b>372.80 cm/s<sup>2</sup></b>

#### 4.6 Resultados de Amplificación sísmica

Para realizar el análisis dinámico y determinar la amplificación sísmicas se utilizó el programa Quake 2012, sabemos que con el análisis dinámico podemos realizar una comparación de los acelerogramas y espectros de respuesta en cada uno de los perfiles geotécnicos analizados, para poder notar si existe amplificación o no, analizaremos los valores en la base y en la superficie de cada uno de los perfiles geotécnicos; a continuación mostraremos los resultados:

**A. Ubicación de los perfiles geotécnicos:** la ubicación de los perfiles geotécnicos, fueron escogidos en las zonas donde se realizaron los ensayos geofísicos, así mismo las zonas forman parte de la microzonificación geotécnica (ver plano G-01), por lo tanto, se tienen 03 líneas geotécnicas:

- **Perfil Geotécnico N° 01 (P.G. N° 01):** perfil ubicado en la zona I-A, zona clasificada como gravas arcillosas.

- **Perfil Geotécnico N° 02 (P.G. N° 02):** perfil ubicado en la zona II-A, zona clasificada como arenas arcillosas.
- **Perfil Geotécnico N° 03 (P.G. N° 03):** perfil ubicado en la zona III-A, zona clasificada como arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, zona más desfavorable.



*Figura 42:* Se muestra la ubicación de los perfiles geotécnicos, ubicados dentro de la ciudad universitaria de la UNASAM.

**B. Propiedades Dinámicas:** las propiedades dinámicas para el modelamiento fueron extraídas del informe geofísico realizado en dichas zonas:

- **Perfil Geotécnico N° 01 (P.G. N° 01)**

Tabla N° 12: propiedades dinámicas para el perfil geotécnico N° 01.

Estrato	Espesor (m)	Densidad (t/m <sup>3</sup> )	Poisson $\mu$	Módulo de Corte G (KN/m <sup>2</sup> )	Presencia de Nivel freático
0.00 a 10 m	10	1.80	0.35	243360	a -3.50 m
10 a 30 m	20	2.40	0.28	1087891	-.-

Fuente: Elaboración propia

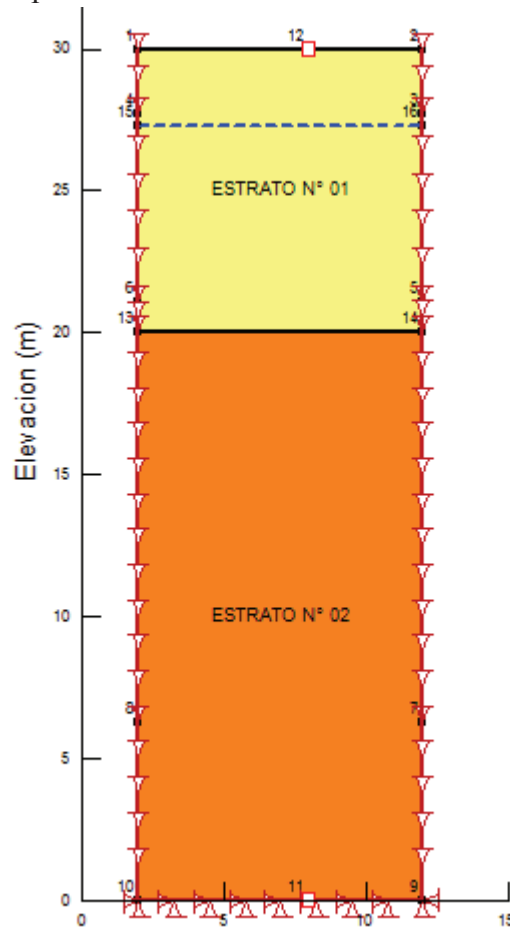


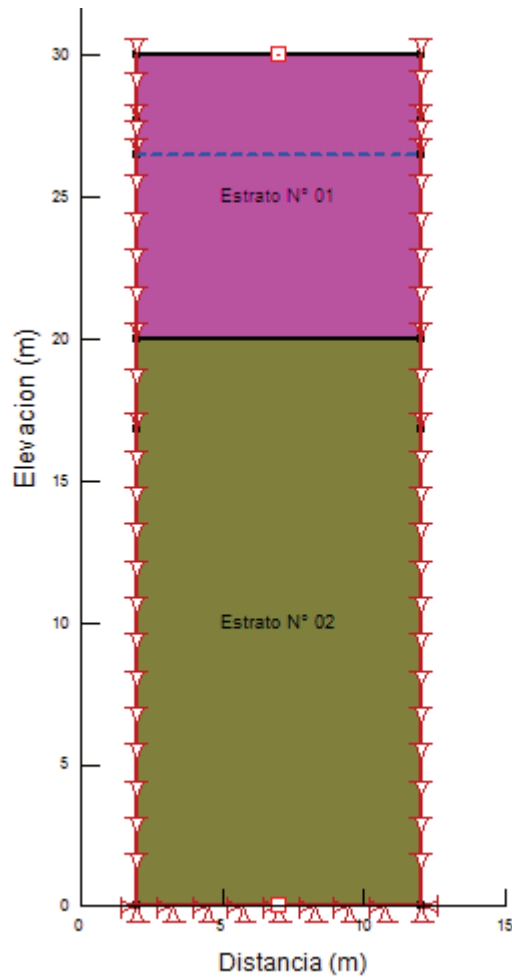
Figura 43: se muestra el perfil geotécnico empleado para el modelamiento en el programa Quake 2012

- **Perfil Geotécnico N° 02 (P.G. N° 02)**

*Tabla N° 13: propiedades dinámicas para el perfil geotécnico N° 02*

Estrato	Espesor (m)	Densidad (t/m <sup>3</sup> )	Poisson $\mu$	Módulo de Corte G (KN/m <sup>2</sup> )	Presencia de Nivel freático
0.00 a 10 m	10	1.80	0.35	214832	a -3.50 m
10 a 30 m	20	2.10	0.28	899353	-.-

Fuente: elaboración propia



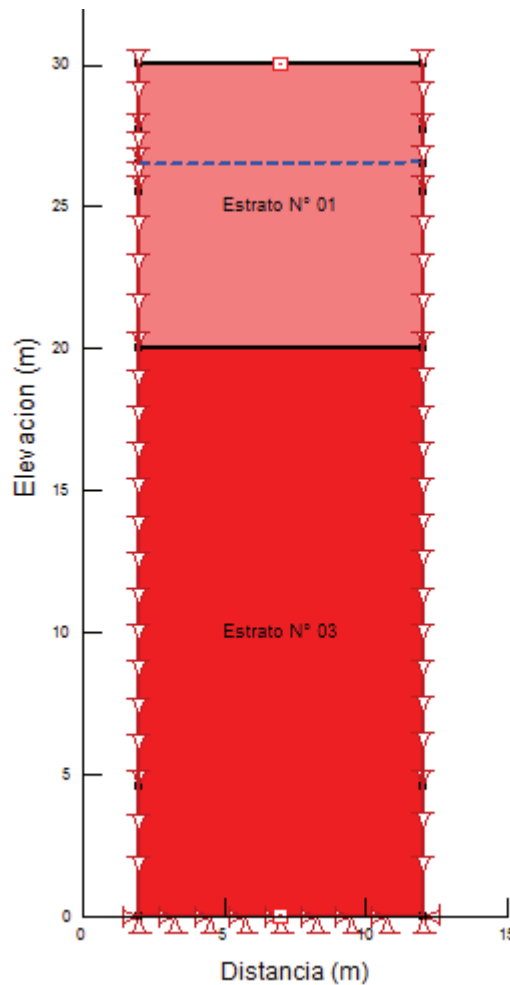
*Figura 44: se muestra ver el perfil geotécnico empleado para el modelamiento en el programa Quake 2012*

- **Perfil Geotécnico N° 03 (P.G. N° 03)**

*Tabla N° 14:* propiedades dinámicas para el perfil geotécnico N° 03.

Estrato	Espesor (m)	Densidad (t/m <sup>3</sup> )	Poisson $\mu$	Módulo de Corte G (KN/m <sup>2</sup> )	Presencia de Nivel freático
0.00 a 10 m	10	1.60	0.30	12500	a -3.50 m
10 a 30 m	20	1.80	0.30	65018	-.-

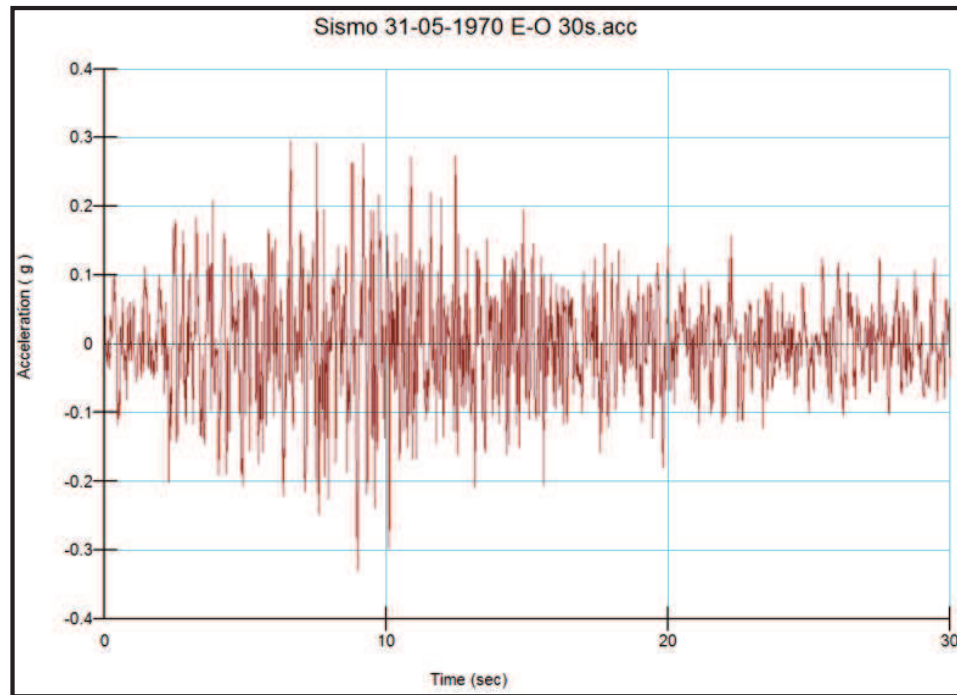
Fuente: elaboración propia



*Figura 45:* se muestra el perfil geotécnico empleado para el modelamiento en el programa Quake 2012

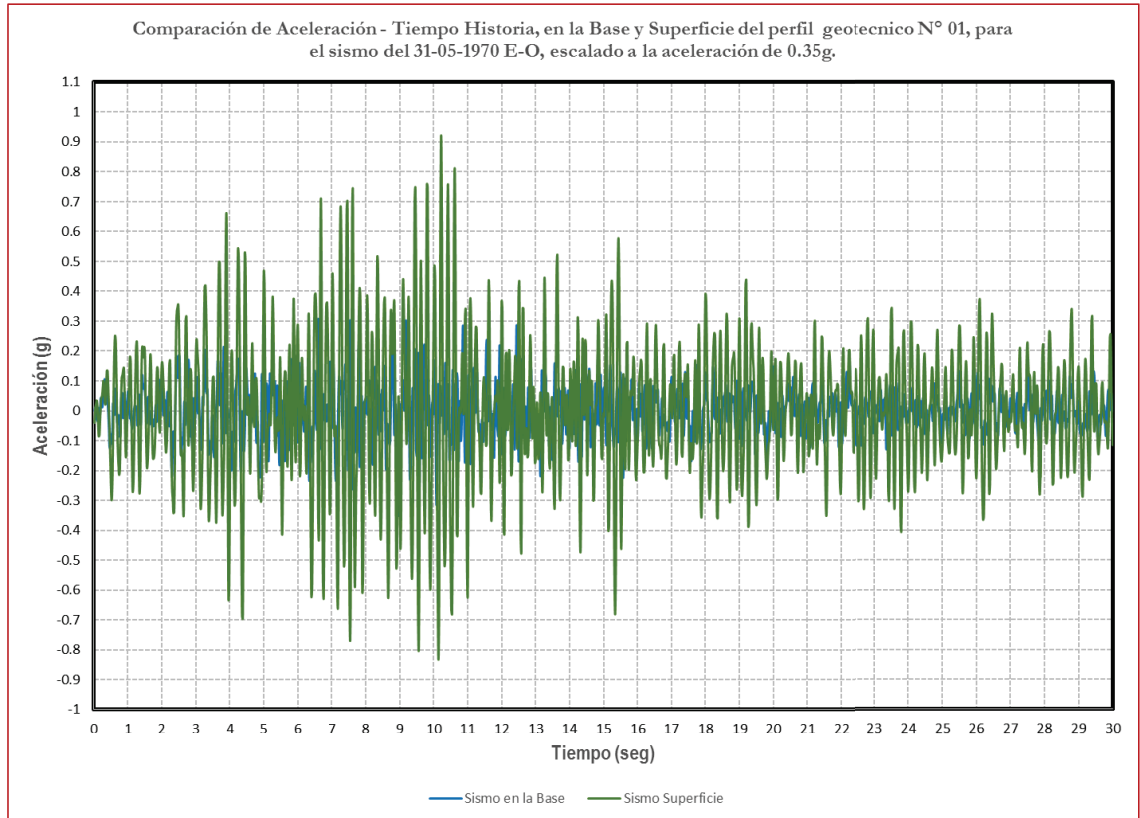
El sismo empleado para el análisis dinámico fue el sismo ocurrido el 31-05-1970 en su componente más destructivo E-O, teniendo como una duración de 30 seg, se

utilizó el registro sísmico de aceleraciones que se muestra en la imagen N° 14 los registros de aceleraciones fueron escalados a la aceleración de 0.35g de acuerdo a lo revisado en las normas existentes.



*Figura 46:* Registro sísmico de aceleraciones del sismo del 31-05-1970 componente E-O con una duración de 30s.

**C. Análisis de Acelero gramas y espectros de respuesta en la base y superficie de cada perfil geotécnico**



*Figura 47:* comparación de acelerogramas en la base del perfil geotecnico N° 01 y en la superficie, podemos observar que existe una amplificación sísmica de 2.63 g.



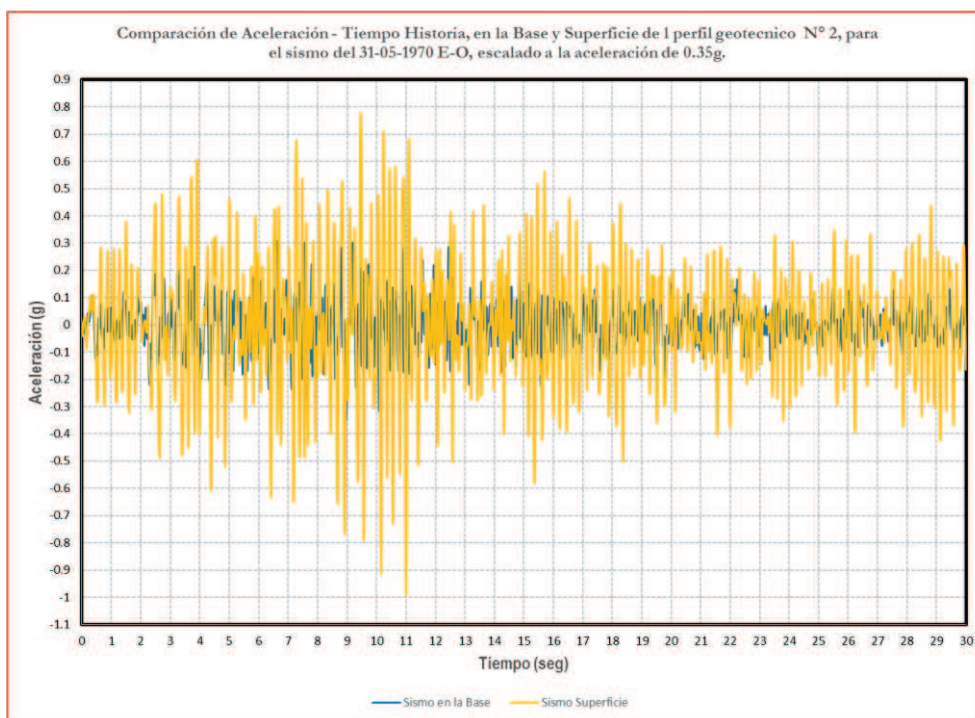


Figura 48: comparación de acelerogramas en la base del perfil geotecnico N° 02 y en la superficie, podemos observar que existe una amplificación sísmica de 2.81 g.

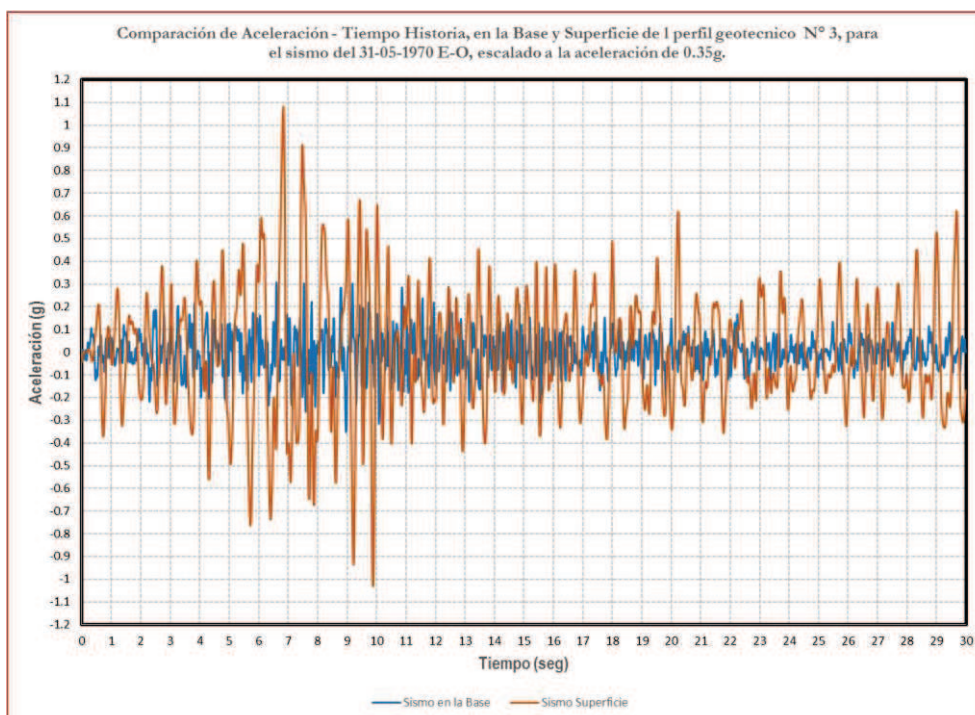
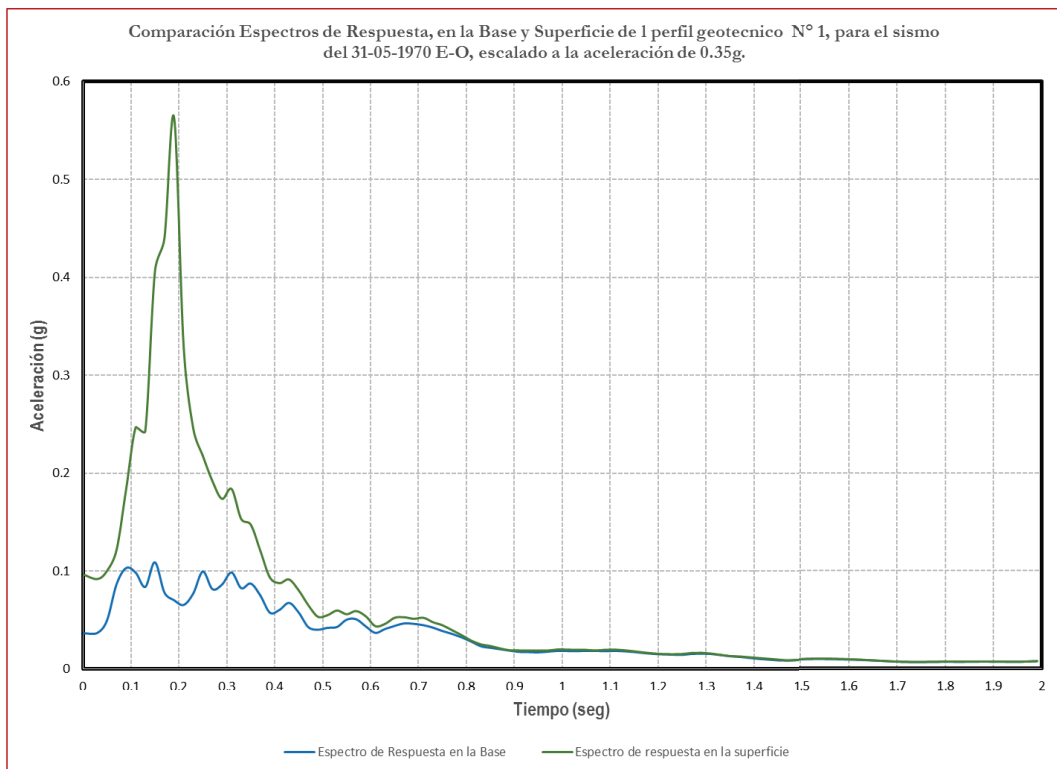


Figura 49: comparación de acelerogramas en la base del perfil geotecnico N° 03 y en la superficie, podemos observar que existe una amplificación sísmica de 3.08 g.

Con la información de los acelerogramas, podemos obtener los incrementos de los valores de la aceleración, observar el cambio de los valores en la base y cuando emergen a la superficie. A continuación, presentaremos los resultados de los espectros de respuesta generados por los sismos en la base y en la superficie, de los 3 perfiles geotécnicos que se está estudiando:



*Figura 50:* comparación de espectros de respuesta en la base del perfil geotécnico N° 01 y en la superficie, podemos observar que existe una amplificación sísmica y que el espectro posee un pico elevado y luego decrece.

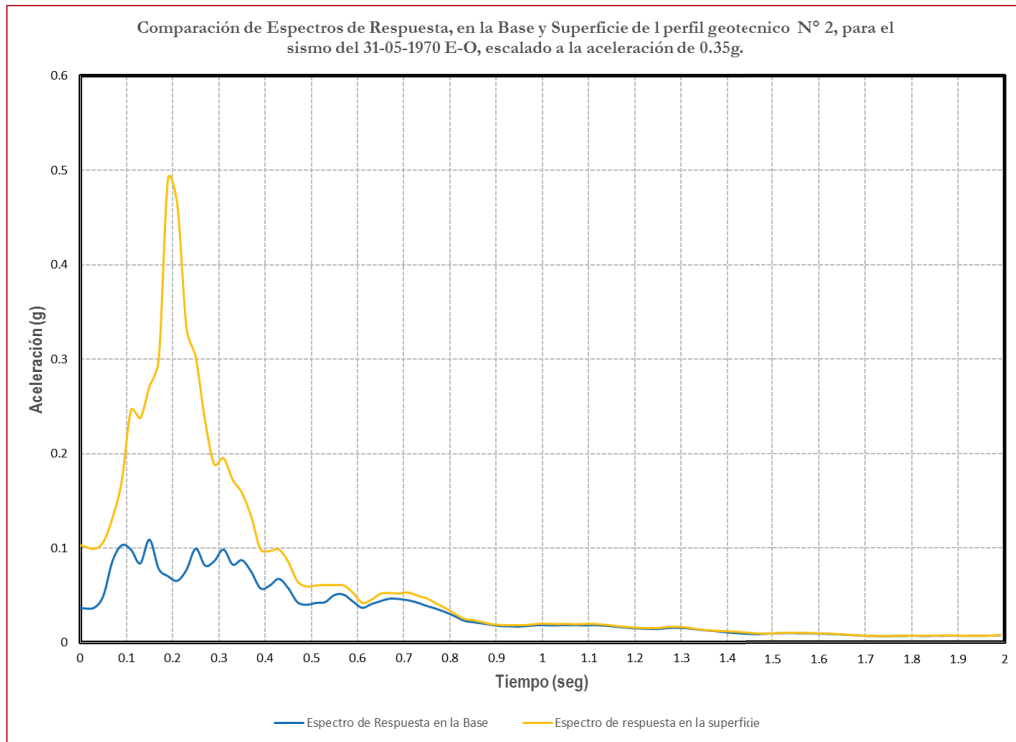


Figura 51: comparación de espectros de respuesta en la base del perfil geotécnico N° 02 y en la superficie, podemos observar que existe una amplificación sísmica y que el espectro posee un pico elevado y luego decrece.

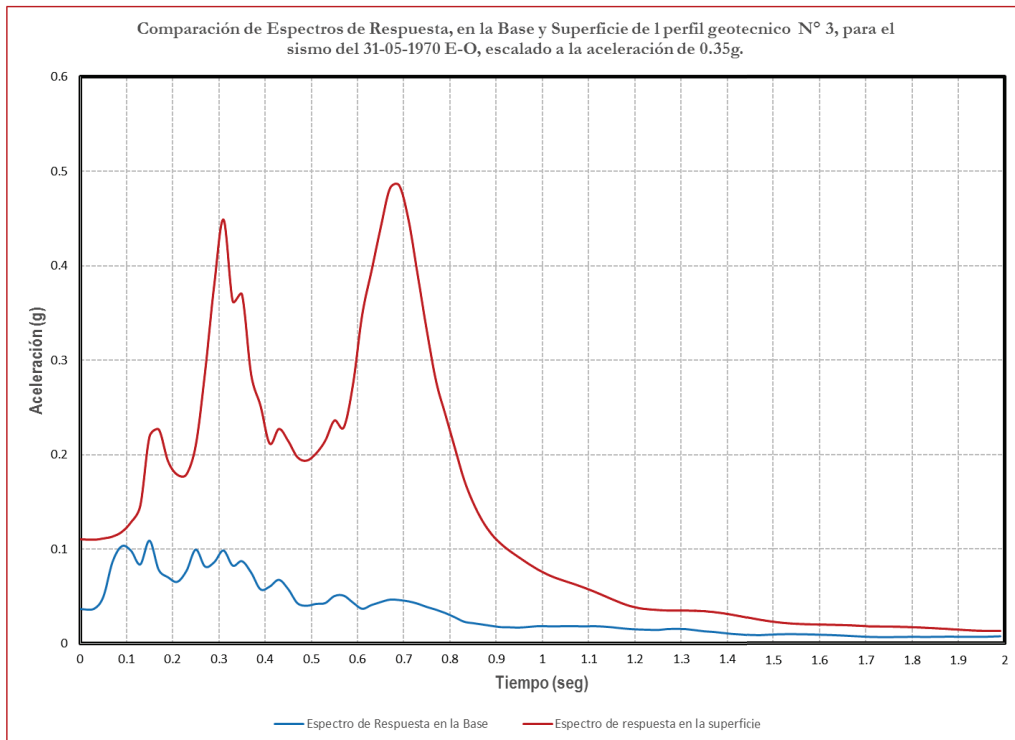
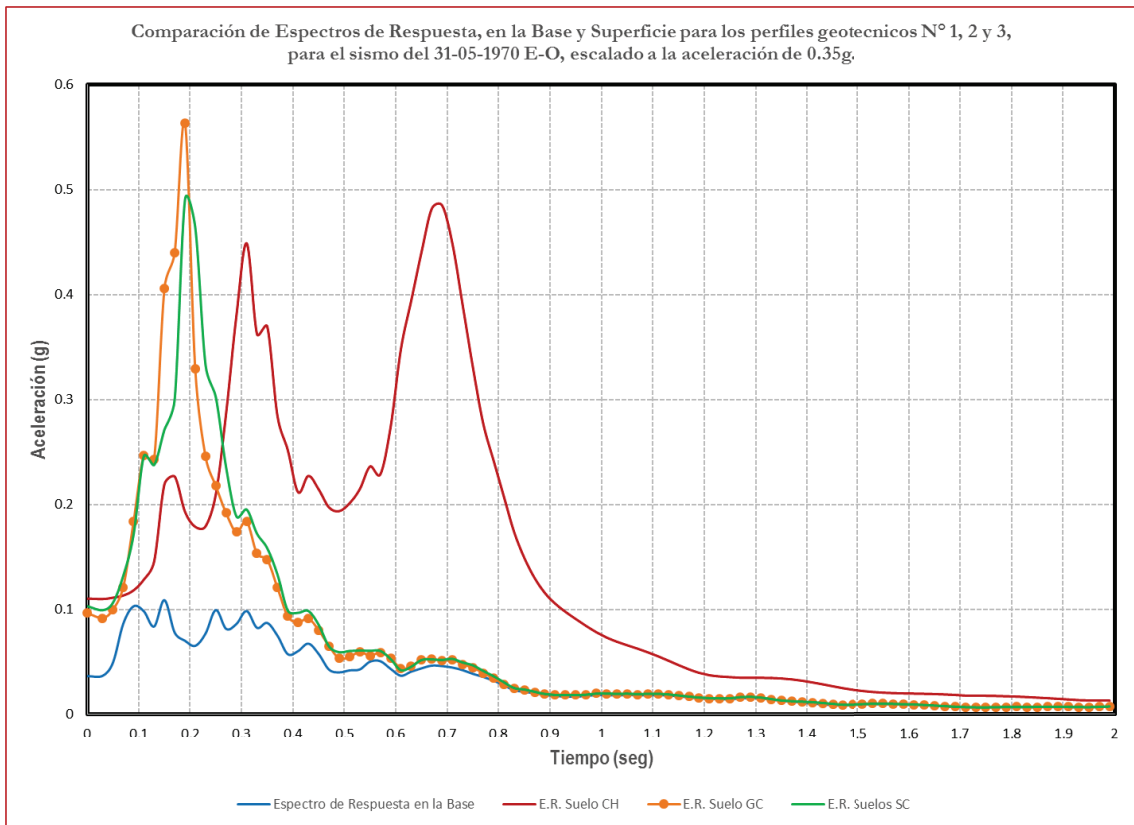


Figura 52: comparación de espectros de respuesta en la base del perfil geotécnico N° 03 y en la superficie, podemos observar que existe una amplificación sísmica en el periodo, se nota 2 picos máximos y a partir de 0.90 seg recién decrece.



*Figura 53:* Se muestra un gráfico resumen donde se superponen los espectros, se nota que los 3 espectros en la superficie son mayores al espectro que se tiene en la base. Así mismo se observa que el espectro que se genera en la peor zona tiene una amplificación mayor en el rango del periodo.

## Resumen de los valores obtenido en el análisis dinámico

- **Perfil Geotécnico N° 01 (P.G. N° 01)**

Tabla N° 15: comparación de valores máximos en acelerogramas P.G. N° 01

<b>Revisión de Acelerogramas</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Resultados en la base del Estrato</b>	<b>Resultado en la superficie del Estrato</b>
Aceleración máxima (g)	0.35	0.92
Amplificación		2.63

Tabla N° 16: comparación de valores máximos de espectros P.G. N° 01

<b>Revisión de Espectros de Respuesta</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Resultados en la base del Estrato</b>	<b>Resultado en la superficie del Estrato</b>
Aceleración máxima (g)	0.11	0.56
Amplificación		5.09

- **Perfil Geotécnico N° 02 (P.G. N° 02)**

Tabla N° 17: comparación de valores máximos en acelerogramas P.G. N° 02

<b>Revisión de Acelerogramas</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Resultados en la base del Estrato</b>	<b>Resultado en la superficie del Estrato</b>
Aceleración máxima (g)	0.35	0.99
Amplificación		2.83

Tabla N° 18: comparación de valores máximos de espectros P.G. N° 02

<b>Revisión de Espectros de Respuesta</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Resultados en la base del Estrato</b>	<b>Resultado en la superficie del Estrato</b>
Aceleración máxima (g)	0.11	0.49
Amplificación		4.45

- **Perfil Geotécnico N° 03 (P.G. N° 03)**

*Tabla N° 19: comparación de valores máximos en acelerogramas P.G. N° 03*

<b>Revisión de Acelerogramas</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Resultados en la base del Estrato</b>	<b>Resultado en la superficie del Estrato</b>
Aceleración máxima (g)	0.35	1.08
Amplificación		2.83

*Tabla N° 20: comparación de valores máximos de espectros P.G. N° 03*

<b>Revisión de Espectros de Respuesta</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Resultados en la base del Estrato</b>	<b>Resultado en la superficie del Estrato</b>
Aceleración máxima (g)	0.11	0.48
Amplificación		4.36

#### **4.7 Resultados de Vulnerabilidad**

La vulnerabilidad en sí misma constituye un sistema dinámico, que surge como consecuencia de la interacción de un conjunto de factores y características, tanto internas como externas, que convergen en una comunidad particular. Como resultado se da un “bloqueo” o incapacidad de la comunidad para responder en forma adecuada ante un riesgo determinado y desemboca en un desastre.

Si se considera a la sociedad como sistema de elementos interdependientes e interconectados, de forma directa e indirecta, las vulnerabilidades de unos sectores de la sociedad y de unas regiones de un país hacen vulnerables a todos los demás sectores y regiones.

De acuerdo al Reglamento de la ley del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres, la Vulnerabilidad: Es la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza.

El Análisis de la Vulnerabilidad comprende: procesos mediante el cual se evalúa las condiciones existentes de los factores de vulnerabilidad (exposición, fragilidad y resiliencia) de la población y de sus medios de vida.

En esta investigación se va a utilizar el modelo de: “Vulnerabilidad como resultado de la exposición, fragilidad y resiliencia”.

### **Población expuesta a sismos**

Para la identificación de la Población Vulnerable de Interés (PVI) asociada a amenazas sísmicas, se ha utilizado la información de la Norma Técnica de Edificación E.030, cuya elaboración está a cargo del Servicio Nacional de Normalización, Capacitación e Investigación para la Industria de la Construcción (SENCICO), pero la misma también se puede complementar con el trabajo realizado por PREDECAN, institución que realizó estimaciones de la población expuesta a amenazas sísmicas con criterios y resultados muy similares. A continuación se presentan los resultados en el siguiente gráfico.





Figura 54: Población expuesta a amenazas sísmicas.

Desde una perspectiva internacional, el estudio de PREDECAN concluye que el Perú tiene la segunda mayor cantidad de población expuesta (en términos absolutos) a amenaza sísmica alta dentro de la Comunidad Andina (CAN), con 18.7 millones de personas, que representan el 69% de la población total. Asimismo, Lima Metropolitana – Callao se destaca por tener la mayor concentración urbana de la región CAN expuesta a amenaza sísmica alta con 8.8 millones de habitantes. Además, cabe resaltar que varias ciudades principales del Perú están en la misma condición: Arequipa, Trujillo, Chimbote, Chiclayo, Tacna, Moquegua, Piura, Pisco y Tumbes, dado el alto grado de urbanización que tienen.

Dentro de la ciudad universitaria se tiene las siguientes facultades y su población expuesta:



Tabla N° 21: resultado de estructuras y poblaciones expuestas en la ciudad universitaria de la UNASAM

FACULTAD	Población Estudiantil Matriculada en el semestre académico 2018-II	Grupo Etario
CIENCIAS	510	Entre 15 a 30 años
CIENCIAS AGRARIAS	681	Entre 15 a 30 años
ADMINISTRACIÓN Y TURISMO	602	Entre 15 a 30 años
INGENIERÍA INDUSTRIAS ALIMENTARIAS	392	Entre 15 a 30 años
CIENCIAS DEL AMBIENTE	716	Entre 15 a 30 años
INGENIERÍA MINAS GEOLOGÍA Y METALURGIA	379	Entre 15 a 30 años
INGENIERÍA CIVIL	549	Entre 15 a 30 años
CIENCIAS SOCIALES EDUCACIÓN Y DE LA COMUNICACIÓN	886	Entre 15 a 30 años
ECONOMÍA Y CONTABILIDAD	749	Entre 15 a 30 años
<b>TOTAL DE ESTUDIANTES EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNASAM</b>	<b>4954</b>	

Elaboración propia

Estructuras vulnerables en la ciudad universitaria de la UNASAM, a continuación, describiremos algunas de sus características:

Tabla N° 22: resultado de principales características de las estructuras existentes expuestas.

FACULTAD	Tipo de Suelo	Material de construcción	Número de Pisos	Estado de Conservación
Ciencias y Ciencias Sociales educación y comunicación	Arena Arcillosa	Concreto Reforzado	5	Bueno
Ciencias Agrarias	Grava Arcillosa	Concreto Reforzado	5	Malo
Administración y Turismo	Arena Arcillosa	Concreto Reforzado	5	Bueno
Ingeniería Industrias Alimentarias	Arena Arcillosa	Concreto Reforzado	5	Regular
Ciencias del ambiente y Minas	Arena Arcillosa	Concreto Reforzado	5	Bueno
Biblioteca Central	Arena Arcillosa	Concreto Reforzado	3	Bueno
Ingeniería civil	Grava Arcillosa	Concreto Reforzado	6	Regular
Auditorio central	Arena Arcillosa	Concreto Reforzado	3	Bueno
Laboratorios de Ciencias	Arena Arcillosa	Concreto Reforzado	4	Malo
Ex Ciencias	Arena Arcillosa	Concreto Reforzado	4	Malo
Comedor Universitario	Arcilla de Alta Plasticidad	Concreto Reforzado	3	Malo
Oficina de Bienestar Universitario	Arcilla de Alta Plasticidad	Concreto Reforzado	3	Bueno
Laboratorios de Industrias Alimentarias	Arcilla de Alta Plasticidad	Concreto Reforzado	1	Regular
Lab. De Minas y oficinas de Oficina general de estudios	Arena Arcillosa	Concreto Reforzado	3	Regular

Fuente: Elaboración propia

Siguiendo la metodología de CENEPRED se procedió a calcular las vulnerabilidades de cada una de las estructuras construidas en la ciudad universitaria, a continuación, presentaremos un cuadro resumen de los valores obtenidos, así como la categoría en la que se encuentran:

*Tabla N° 23:* resultado del cálculo de la vulnerabilidad para las estructuras existentes expuestas.

FACULTAD	Valor de Vulnerabilidad	Nivel de Vulnerabilidad	Color Correspondiente
Ciencias y Ciencias Sociales	0.208	ALTA	
educación y comunicación	0.264	MUY ALTA	
Ciencias Agrarias	0.208	ALTA	
Administración y Turismo	0.198	ALTA	
Ingeniería Industrias	0.208	ALTA	
Alimentarias	0.208	ALTA	
Ciencias del ambiente y	0.156	ALTA	
Minas	0.208	ALTA	
Biblioteca Central	0.156	ALTA	
Ingeniería civil	0.208	ALTA	
Auditorio central	0.150	ALTA	
Laboratorios de Ciencias	0.264	MUY ALTA	
Ex Ciencias	0.197	ALTA	
Comedor Universitario	0.168	ALTA	
Oficina de Bienestar	0.166	ALTA	
Universitario	0.171	ALTA	
Laboratorios de Industrias	0.171	ALTA	
Alimentarias	0.180	ALTA	
Lab. De Minas y oficinas de	0.180	ALTA	
Oficina general de estudios	0.133	MEDIA	
Pabellon de Aulas Comunes	0.133	MEDIA	

Fuente: Elaboración propia

En anexos se presentan las hojas de cálculo de cada una de las estructuras analizadas.

#### **4.8 Resultados de Riesgo Sismo-Geotécnico**

En los resultados anteriores se calculó el peligro sismo-geotécnico (P) a la que está expuesta la ciudad universitaria de la UNASAM y también se realizó el análisis de vulnerabilidad (V) siguiendo la metodología propuesta por el CENEPRED llamado manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, ahora se procede a una evaluación conjunta, para calcular el riesgo (R), es decir estimar la probabilidad de pérdidas y daños esperados (personas, bienes materiales, recursos económicos) ante la ocurrencia de un fenómeno de origen natural y las condiciones de sitio que se tiene.

El cálculo del riesgo corresponde a un análisis y una combinación de datos teóricos y empíricos con respecto a la probabilidad del peligro sismo-geotécnico identificado, es decir la fuerza e intensidad de ocurrencia; así como el análisis de vulnerabilidad o la capacidad de resistencia de los elementos expuestos al peligro (población estudiantil, infraestructura, zonas de recreación masiva etc.), dentro de la ciudad universitaria de la UNASAM.

Existen diversos criterios o métodos para el cálculo del riesgo, por un lado, el analítico o matemático; y por otro, el descriptivo, en la investigación se utilizaron ambos métodos.

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

$$R = P \times V$$

Esta ecuación matemática fue empleada dentro del software libre que se empleó en la tesis, llamada Q GIS, dentro del programa una de sus herramientas es llamada calculadora Raster, donde se puede realizar dicha operación teniendo como insumos elementos raster.

El criterio descriptivo, se basa en el uso de una matriz de doble entrada: “Matriz de Peligro y Vulnerabilidad” (tabla N° 28). Para tal efecto, se requiere que previamente se hayan determinado los niveles de probabilidad de ocurrencia del peligro identificado y del análisis de vulnerabilidad, respectivamente.

Con ambos niveles identificados previamente, se interrelaciona, por un lado (vertical), el valor y nivel estimado del peligro; y por otro (horizontal) el nivel de vulnerabilidad promedio determinado en el respectivo Cuadro General (Tabla N° 28). En la intersección de ambos valores se podrá estimar el nivel de riesgo esperado. Para la investigación el criterio descriptivo se utilizó a manera de verificación para comprobar los resultados arrojados por el software libre QGIS.

*Tabla N° 24: Matriz de peligro y Vulnerabilidad para el cálculo del riesgo.*

<b>Peligro Muy Alto</b>	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto	Riesgo Muy Alto
<b>Peligro Alto</b>	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto
<b>Peligro Medio</b>	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto
<b>Peligro Bajo</b>	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
	<b>Vulnerabilidad Baja</b>	<b>Vulnerabilidad Media</b>	<b>Vulnerabilidad Alta</b>	<b>Vulnerabilidad Muy Alta</b>

Fuente: Manual Básico para la estimación de riesgo de INDECI

Usando los dos métodos para calcular el riesgo, a continuación, presentaremos los niveles de riesgo que se ha encontrado en todas las estructuras o infraestructuras construidas dentro de la ciudad universitaria de la UNASAM.

*Tabla N° 25: resultado del cálculo del riesgo sísmogeotecnico en la ciudad universitaria de la UNASAM*

FACULTAD	Nivel de Riesgo	Color Correspondiente
Ciencias y Ciencias Sociales educación y comunicación	ALTO	ALTO
Ciencias Agrarias	ALTO	
Administración y Turismo	ALTO	
Ingeniería Industrias Alimentarias	MEDIO	MEDIO
Ciencias del ambiente y Minas	ALTO	ALTO
Biblioteca Central	ALTO	
Ingeniería civil	MEDIO	MEDIO
Auditorio central	ALTO	ALTO
Laboratorios de Ciencias	MUY ALTO	MUY ALTO
Ex Ciencias	ALTO	ALTO
Comedor Universitario	MEDIO	MEDIO
Oficina de Bienestar Universitario	MUY ALTO	MUY ALTO
Laboratorios de Industrias Alimentarias	MUY ALTO	MUY ALTO
Lab. De Minas y oficinas de Oficina general de estudios	MEDIO	MEDIO
Pabellon de Aulas Comunes	MEDIO	MEDIO
Campos deportivos	MUY ALTO	MUY ALTO

Fuente: Elaboración propia

En anexos se presentan el plano de riesgo sismo-geotécnico donde se muestra el nivel de riesgo descrita en la tabla N° 25

## V. DISCUSION

1. El levantamiento topográfico nos dio a conocer que la ciudad universitaria tiene una área de 51681.71 m<sup>2</sup> y un perímetro 1019.63 m, teniendo zonas de poca pendiente entre 0 a 10%, debido a las explanaciones que se han realizado para la construcción de las estructuras. La ciudad universitaria alberga 22 estructuras, distribuidas entre facultades de carreras universitarias, estructuras al servicio de los estudiantes (Comedor, ect), laboratorios especializados y áreas de recreación.

2. Según la geología del lugar, se sabe que la ciudad universitaria se encuentra sobre un depósito morrénico que es un material coluvial, corresponden a todo tipo de material suelto distribuido con mucha amplitud en el área de estudio. Estos materiales tienen un origen heterogéneo, pero, en conjunto son los materiales inicialmente desintegrados por la intensa actividad glacial sobre la roca base y la desintegración física química de las rocas, que son transportados, luego en el devenir geológico, y son depositados lateralmente. **Conforman suelos arcillosos**, fragmentos de piedra, cantos rodados y bolonerías que se depositan superficialmente sobre el macizo rocoso de la zona.

3. Los ensayos geofísicos realizados en las zonas con mayor incremento de esfuerzo en el suelo nos dieron como resultado; que a una profundidad de 30 m se tiene un suelo muy rígido, esto se puede interpretar, que debido al peso que se le viene asignando a un suelo arcilloso, que en su momento se ha realizado sistemas de drenaje, en la actualidad se tiene un suelo consolidado y compacto,

por lo que el resultado del ensayo geofísico nos da como resultado un suelo rígido a dicha profundidad.

4. Según las exploraciones a cielo abierto realizado para diferentes estructuras que se han construido en los últimos 10 años en la ciudad universitaria, nos dan a conocer la existencia de 3 grupos de suelos, en la siguiente figura se puede ver las exploraciones realizadas en la ciudad universitaria:

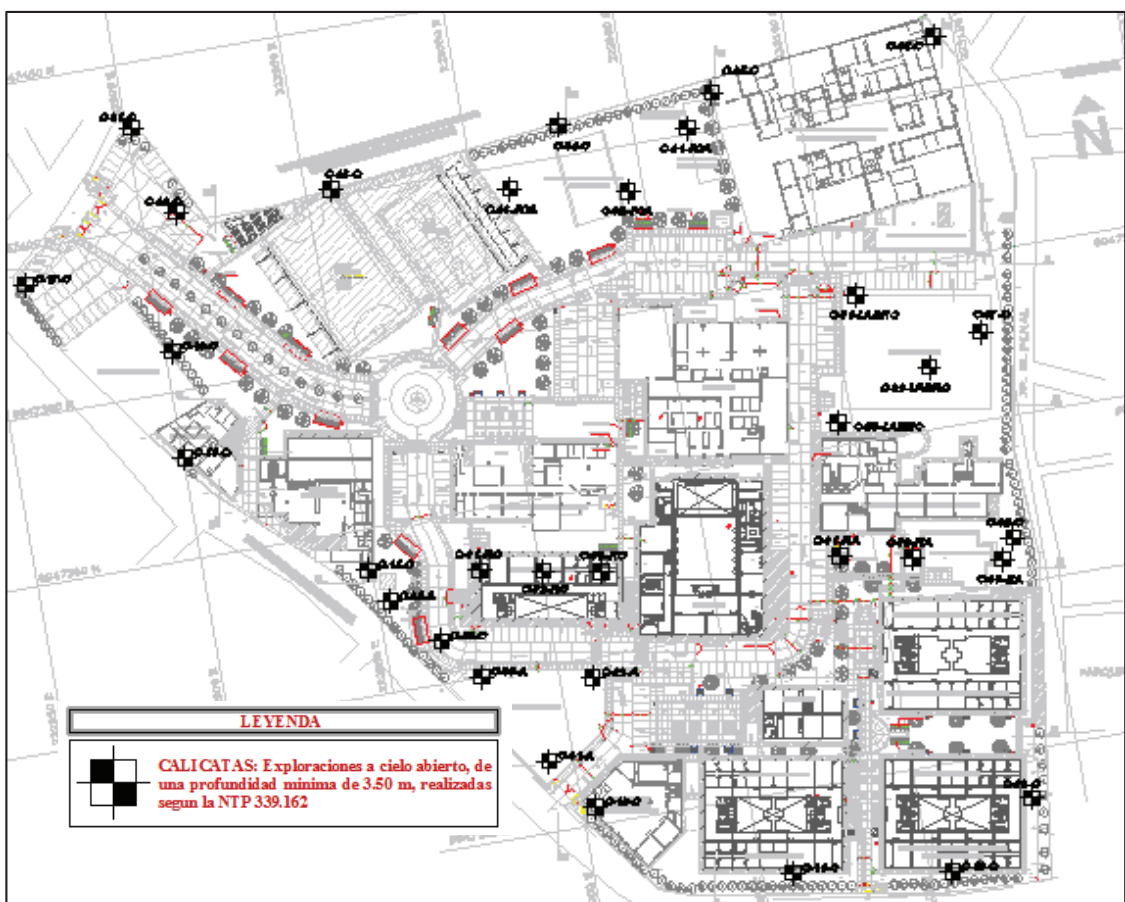


Figura 55: Se muestra el plano de ubicación de calicatas realizadas en los últimos 10 años.

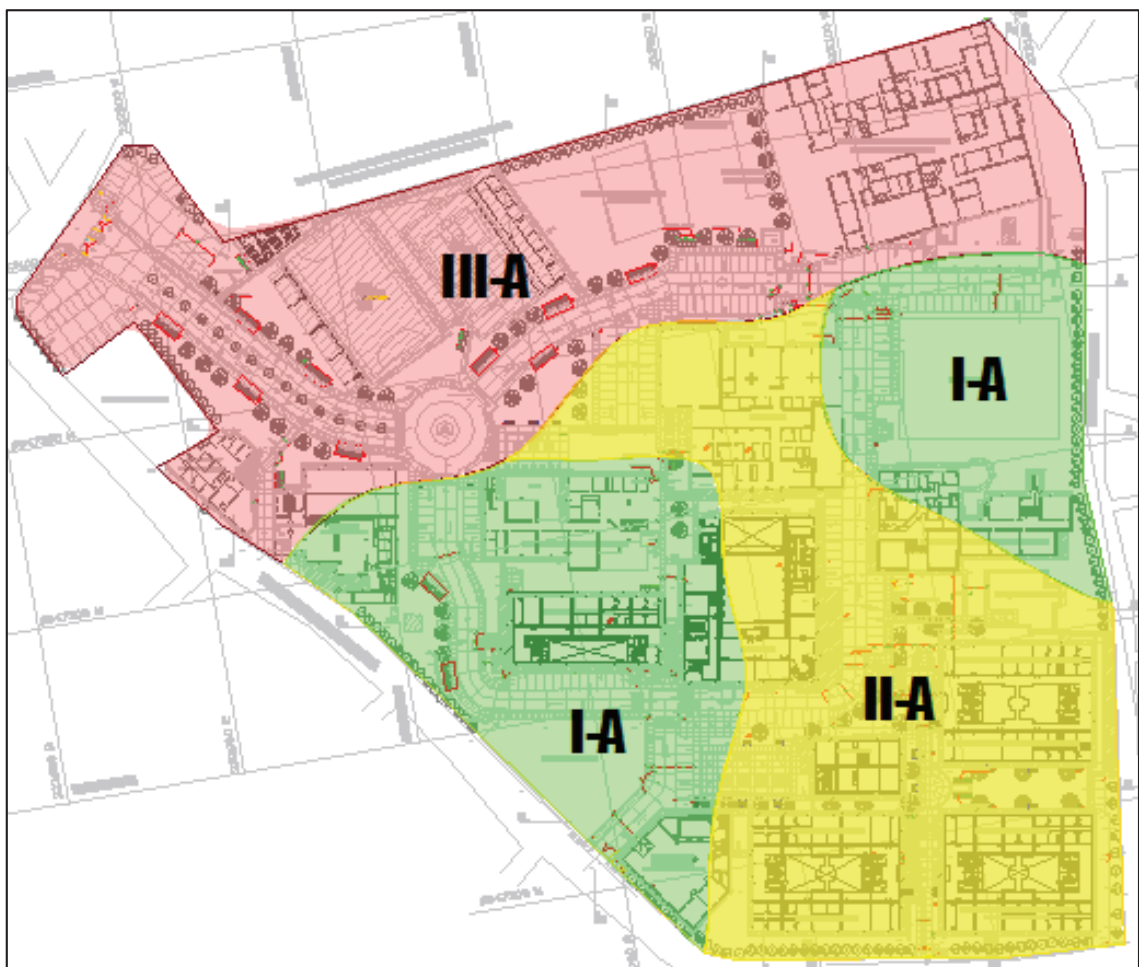
Con el análisis de todas las calicatas se pudo clasificar la ciudad universitaria en 03 zonas:



**Zona 1 (I-A):** suelo formado en su mayoría por gravas arcillosas, con presencia de boloneras de distinta gradación, suelo de buenas características.

**Zona 2 (II-A):** suelo formado en su mayoría por arenas arcillosas, con presencia matriz granular en poca cantidad de distinta gradación.

**Zona 3 (III-A):** suelo formado en su mayoría por arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, con presencia de nivel freático, sin presencia matriz granular, suelo muy desfavorable y de malas características.



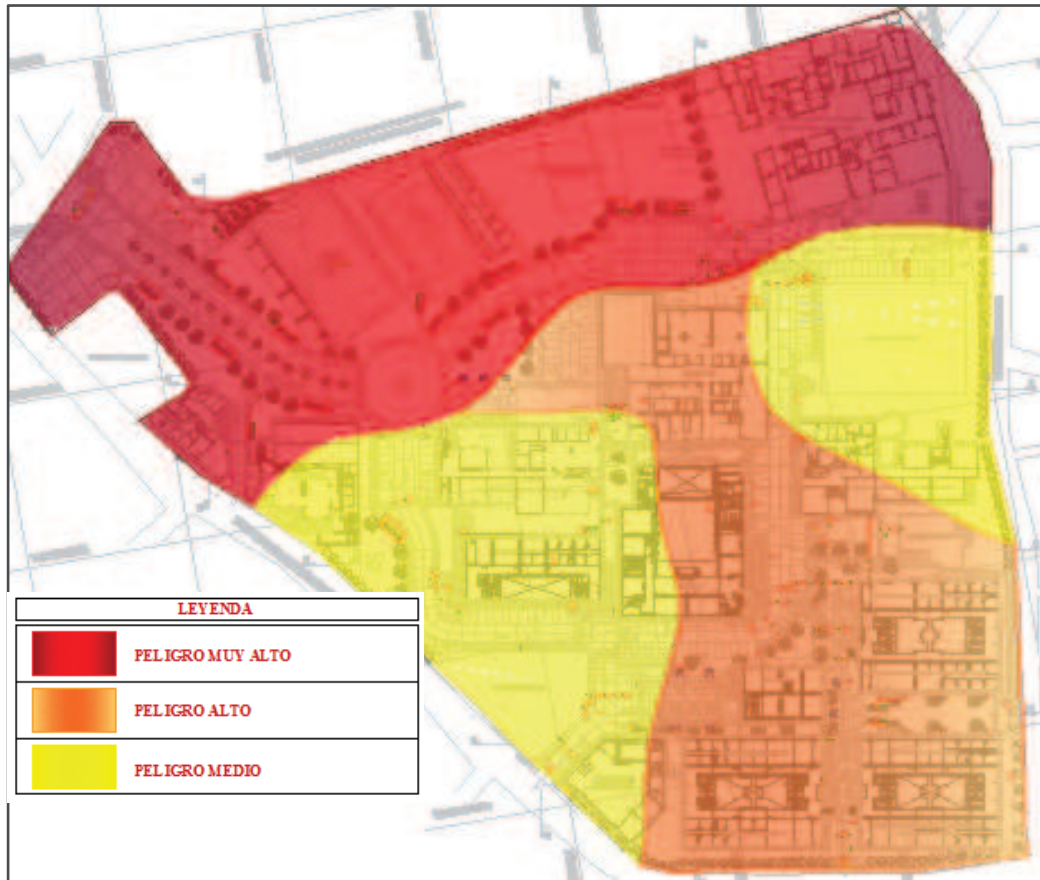
*Figura 56:* Se muestra el plano de microzonificación geotécnica. (Fuente: elaboración propia)

5. El estudio de peligro sísmico nos permitió calcular la aceleración esperada en la ciudad universitaria según las propiedades de geología y geotecnia

mostrados en los ítems anteriores, haciendo uso del software R-CRISIS se determinó una aceleración esperada de  $325.20 \text{ cm/s}^2$  (0.33 g) y haciendo uso de un aplicativo web de la página de SENSICO se obtuvo una aceleración esperada de  $372.80 \text{ cm/s}^2$  (0.38 g), sabemos que la norma E030 diseño Sismorresistente según su mapa sísmico a Huaraz le corresponde una aceleración de  $350 \text{ cm/s}^2$  (0.35g), por lo que para los diseños de futuras estructuras en la ciudad universitaria no se puede trabajar con valores menores que indica la norma, por lo que se deberá de seguir empleando el valor indicado según norma. Otro punto a tomar en cuenta es la actualización de un catálogo de sismo ocurridos en zonas cercanas a la ciudad universitaria, se sabe que en la ciudad universitaria se cuenta con la estaciones acelerográfica pero en los últimos 10 años no se ha tenido la ocurrencia de sismos considerables por lo que no se puede obtener una aceleraciones esperada mucho más precisa.

El estudio geotécnico fue antecedente importante para poder determinar el mapa de peligro sismo-geotécnico, donde se encontró tres zonas como peligro muy alto, alto, medio, esta clasificación fue realizada tomando en cuenta la escala de valoración del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales en su segunda versión elaborada por el CENEPRED.

A continuación, se muestra el mapa de peligro sísmico para la ciudad universitaria.

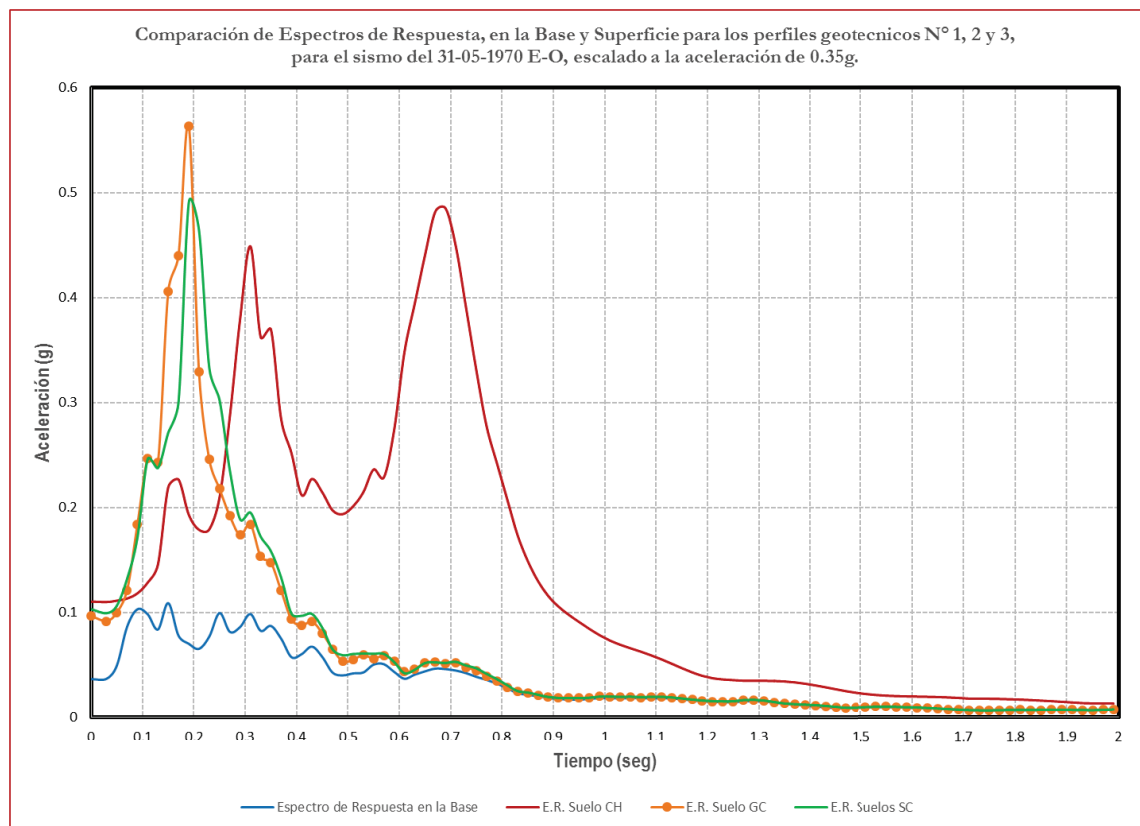


*Figura 57:* Se muestra el mapa de peligro sísmico de la ciudad universitaria de la UNASAM

6. Se realizó un análisis de amplificación sísmica en los perfiles geotécnicos donde se realizaron los ensayos geofísicos y tomando las propiedades dinámicas que se obtuvieron del ensayo, se realizó la verificación de la amplificación de los acelerogramas en la base de los perfiles y en la superficie donde se encuentran las estructuras existentes y se obtuvieron los siguientes valores:

- Perfil geotécnico N° 01: se tiene una amplificación de 2.63 en los valores del acelerograma y 5.09 de amplificación en los valores del espectro de respuesta.

- Perfil geotécnico N° 02: se tiene una amplificación de 2.83 en los valores del acelerograma y 4.45 de amplificación en los valores del espectro de respuesta.
- Perfil geotécnico N° 03: se tiene una amplificación de 2.83 en los valores del acelerograma y 4.36 de amplificación en los valores del espectro de respuesta.



*Figura 58:* resumen de espectros en las 3 zonas geotécnicas que se tiene en la ciudad universitaria.

Analizando la figura anterior se puede observar que en los suelos GC: gravas arcillosas (Zona I-A), se tiene un solo pico de aceleración en un periodo pequeño, esto indica que en un sismo solo se sentirá un fuerte movimiento en pocos segundos, lo mismo se presenta en el tipo de suelos SC: arenas arcillosa (Zona II-A), lo contrario ocurre en los suelos CH: arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, ahí

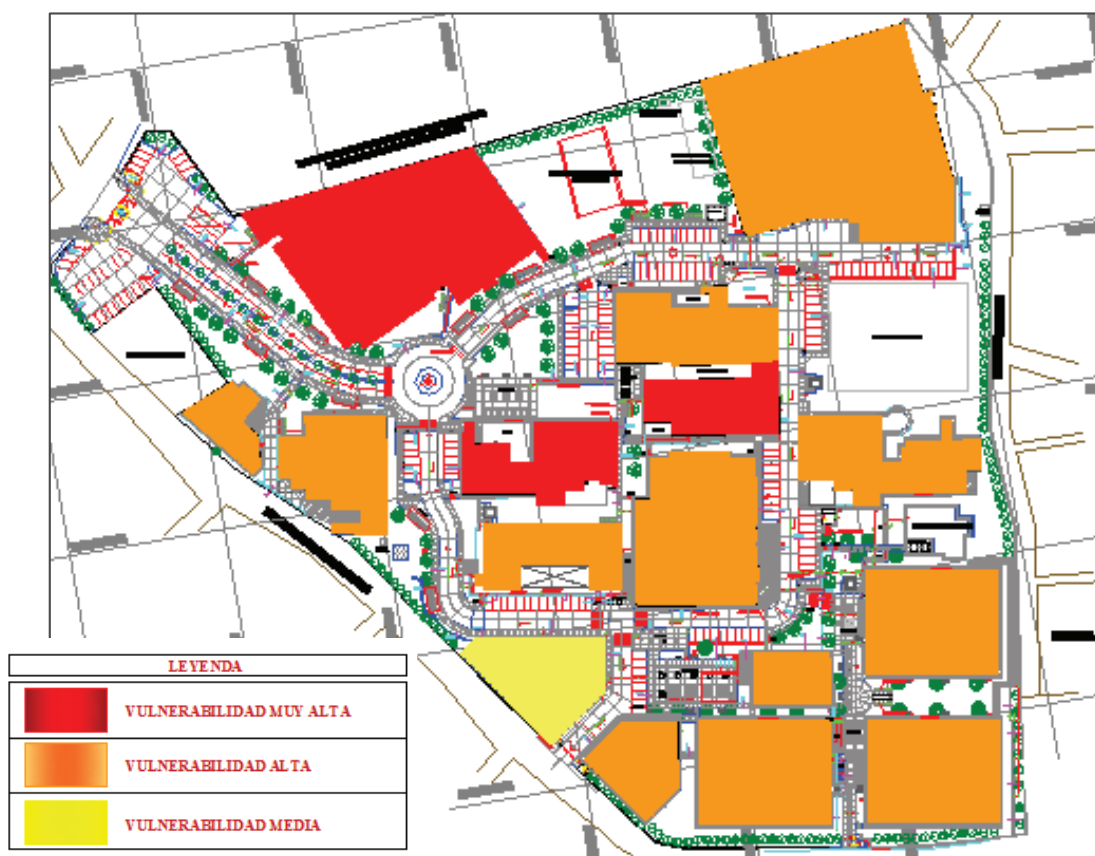
podemos observar que el espectro tiene 2 picos de aceleración, además se puede notar que el espectro tiene un periodo mucho más grande, esto nos indica que cuando se dé el sismo en dicha zona se sentirá en muchos más segundos y con mayor fuerza el sismo, haciendo que las estructuras que tengan periodos similares a las del movimiento del suelo podrían caer en el fenómeno de resonancia.

7. Se realizó una evaluación de la población expuesta frente a un sismo como parte del análisis de vulnerabilidad, donde se tomó referencia la relación de alumnos matriculados en el semestre académico 2018-II, donde se encontró que solo en la ciudad universitaria se tiene 4954 alumnos, que están vulnerables. Así mismo se identificó las estructuras existentes y sus condiciones actuales en varios aspectos. Para la evaluación de los elementos vulnerables se usó la metodología indicada en el manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales en su segunda versión elaborada por el CENEPRED, donde se realizó la evaluación de la vulnerabilidad en sus 3 componentes, SOCIAL, ECONOMICO y AMBIENTAL, resultando lo siguiente:

Tabla N° 26: resultado del cálculo de la vulnerabilidad para las estructuras existentes expuestas.

FACULTAD	Valor de Vulnerabilidad	Nivel de Vulnerabilidad	Color Correspondiente
Ciencias y Ciencias Sociales educación y comunicación	0.208	ALTA	Yellow
Ciencias Agrarias	0.264	MUY ALTA	Red
Administración y Turismo	0.208	ALTA	Yellow
Ingeniería Industrias Alimentarias	0.198	ALTA	Yellow
Ciencias del ambiente y Minas	0.208	ALTA	Yellow
Biblioteca Central	0.156	ALTA	Yellow
Ingeniería civil	0.208	ALTA	Yellow
Auditorio central	0.150	ALTA	Yellow
Laboratorios de Ciencias Ex Ciencias	0.264	MUY ALTA	Red
Comedor Universitario	0.197	ALTA	Yellow
Oficina de Bienestar Universitario	0.166	ALTA	Yellow
Laboratorios de Industrias Alimentarias	0.171	ALTA	Yellow
Lab. De Minas y oficinas de Oficina general de estudios	0.180	ALTA	Yellow
Pabellon de Aulas Comunes	0.133	MEDIA	Light Yellow

Con dicho cálculo se puede realizar el dibujo de un plano donde se indica las estructuras vulnerables, que a continuación se presenta:



*Figura 59:* plano de vulnerabilidad sísmica de la ciudad universitaria de la UNASAM.

8. Se realizó el cálculo del riesgo sismo-geotécnico, utilizando la herramienta de la calculadora Raster del software libre QGIS, donde se pudo determinar la probabilidad de sufrir un riesgo sismo-geotécnico de cada una de las estructuras, clasificándolos por niveles, dichos niveles son de acuerdo a las indicaciones del CENEPRED, se encontró que las estructuras que están dentro del nivel de riesgo Muy Alto son las que se encuentran construidas sobre un suelo con condiciones geotécnicas más desfavorables, de igual modo las estructuras que se están dentro del nivel de riesgo Alto, son aquellas que se encuentran en peligro Alto y las facultades ubicadas en zonas de suelo un poco más favorable y construidas recientemente son las que se ubican dentro del nivel de riesgo medio. Es



importante mencionar que toda la ciudad universitaria presenta un riesgo sismo-geotécnico. Resumiendo, se tiene; 04 estructuras o lugares con nivel de riesgo muy alto, 07 estructuras con nivel de riesgo alto y 05 estructuras con nivel de riesgo medio.

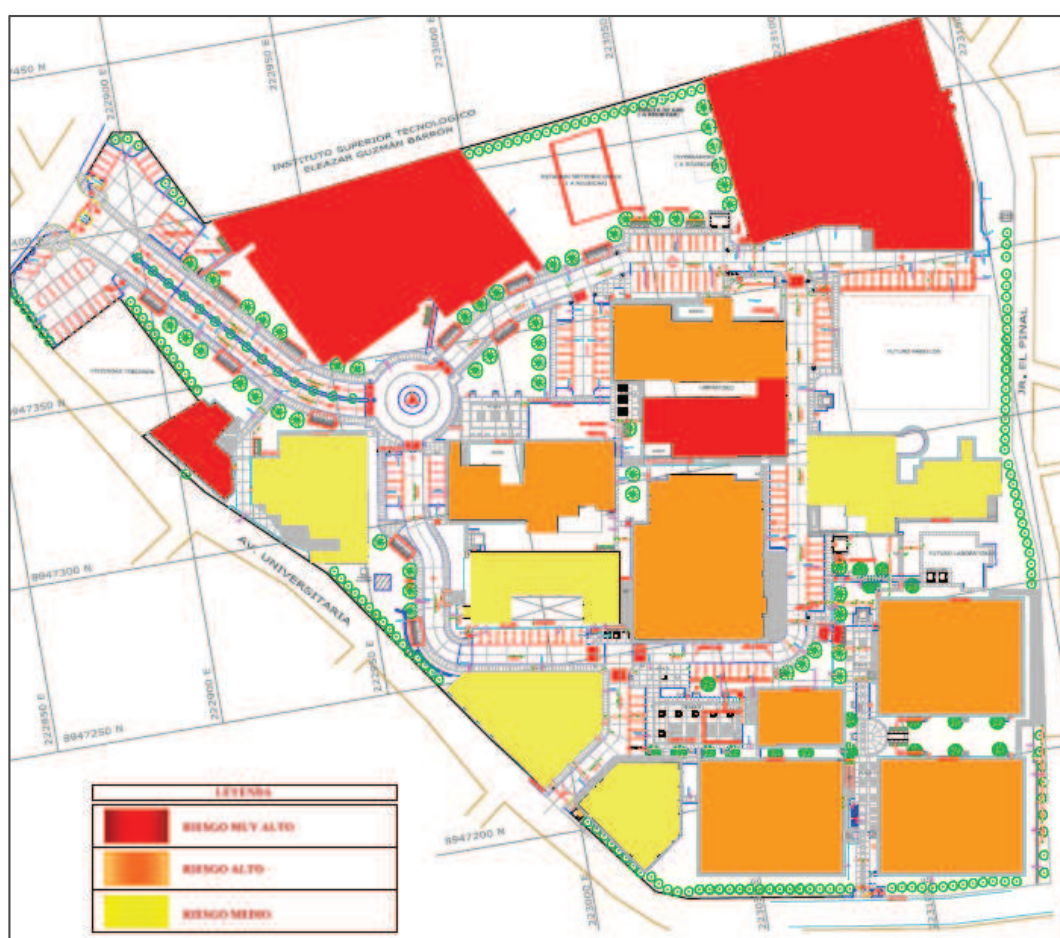


Figura 60: plano de riesgo sismo-geotécnico de la ciudad universitaria de la UNASAM



## VI. CONCLUSIONES

- Según los estudios realizados en la ciudad universitaria de la UNASAM, se verifico que existe riesgo sismo-geotécnico, debido a los tipos de suelos que se tiene y al problema de amplificación sísmica verificada.
- Se encontró peligro sismo-geotécnico en la ciudad universitaria de la UNASAM, en tres niveles, peligro Muy alto en la zona III-A, peligro Alto en la zona II-A y peligro medio en la zona I-A.
- Se encontró estructuras que presentan vulnerabilidad sísmica, se encontró que el pabellón de aulas comunes recientemente construido es el único que presenta una vulnerabilidad MEDIA, las demás estructuras por tener configuraciones irregulares en planta y al estar construidos sobre un suelo arcilloso presentan en su mayoría vulnerabilidad ALTA y solo tres estructuras debido a su antigüedad y a su mal estado de conservación resultan con vulnerabilidad MUY ALTA.
- Existiendo peligro sísmo-geotecnico y la vulnerabilidad sísmica de las estructuras, se concluye que la ciudad universitaria de la UNASAM existe riesgo sismo- geotécnico muy alto.

## VII. RECOMENDACIONES

- En la zona III-A donde se encontró la presencia de nivel freático en la actualidad, se recomienda realizar sistemas de drenaje, para las futuras construcciones, este drenaje deberá de ser empleado para la nueva facultad de ciencias agrarias que se viene ejecutando en la actualidad.
- Se deberá de hacer una evaluación estructural cuantitativa para cada una de las estructuras evaluadas en la presente investigación, con el objetivo de realizar las verificaciones con la actualización de las normas y plantear medidas de reforzamiento y tratar en lo posible de que las estructuras existentes dejen de crecer verticalmente sin tener estudios previos, como se viene observando actualmente en las facultades.
- Al estar sobre un suelo geológicamente y geotécnicamente inestable o de malas características, se deberá de enseñar una cultura de prevención de riesgos sísmicos a la población estudiantil, a los docentes y trabajadores administrativos, mediante campañas de difusión y simulacros diurnos y nocturnos con mayor frecuencia. Mediante políticas de gestión de riesgo locales a nivel del rectorado y a nivel de facultades.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, L. (1998). *Vulnerabilidad y análisis de riesgo sísmico en la ciudad de Huaraz*. [Tesis de Título inédita]. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Perú.
- ARÉVALO, E. (1984). *Riesgo sísmico del departamento de Ancash* [Tesis de Título inédita]. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Perú.
- DIAZ, M. (2010). *Microzonificación sísmica de la ciudad de Pisco* [Tesis de Título inédita]. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Perú.
- MARIN, F. (2012). *Evaluación del riesgo sísmico del centro histórico de la ciudad de Huánuco*. [Tesis de Maestro inédita]. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil – Sección Posgrado, Perú.
- MORENO, R. (2002). *Análisis del riesgo sísmico de la ciudad de Moquegua usando sistema de información geográfica*. [Tesis de Título inédita]. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Perú.
- PITA, L. (2016). *Tutorial de estimación de riesgo sísmico con la plataforma CAPRA-GIS*. Tomo I. Washington. Estados Unidos.
- MUÑOZ, A. (2002). *Ingeniería Sismorresistente*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería, Perú.
- FLORES, R. (2015), “*Vulnerabilidad, Peligro y Riesgo Sísmico en viviendas autoconstruidas del distrito de Samegua, región Moquegua*” [Tesis de Título inédita]. , Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua – Perú.

CENEPRED (2015), “*Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales*”. Recuperado de <https://cenepred.gob.pe/web/manuales/>

## **ANEXO**

**ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA**

<b>“EVALUACIÓN DEL RIESGO SISMO-GEOTÉCNICO DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNASAM, 2018”</b>					
<b>Formulación</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>Tipos de Variable</b>	<b>Técnicas de recolección de datos</b>
	<b>General</b>		<b>Variable 1: Independiente</b>		<b>Fuentes</b>
	- Evaluar el riesgo sísmo-geotécnico de la ciudad universitaria de la UNASAM		- Peligro Sísmico en la ciudad universitaria de la UNASAM. - Vulnerabilidad estructural de las estructuras existentes en la ciudad universitaria de la UNASAM	Cuantitativa	Registros de sismos en estaciones cercanas a la muestra de investigación. Evaluación de la vulnerabilidad mediante un método semicuantitativo
¿Existirá riesgo sísmo-geotécnico de la ciudad universitaria de la UNASAM?	<b>Específicos</b>	Existe riesgo sísmo-geotécnico alto en toda la ciudad universitaria de la UNASAM	<b>Variable 2: Dependiente</b>		Primaria: Magnitud de Sismo, acelerogramas, configuraciones estructurales, irregularidades, antigüedad de construcción, etc.
	1. Evaluar el peligro sísmo-geotécnico de la ciudad universitaria de la UNASAM.		Riesgo sísmo-geotécnico, en la ciudad universitaria de la UNASAM.	Cuantitativa	Primarias: Resultados de Peligro Sísmico y vulnerabilidad
	2. Evaluar la vulnerabilidad de las estructuras existentes en la ciudad universitaria de la UNASAM.				Aplicación del QGIS para la generación de mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo.
	3.3. Evaluar el riesgo sísmo-geotécnico, en base al peligro y vulnerabilidad, establecer niveles de posibles daños y generar mapas de riesgo sísmo-geotécnicos en la ciudad universitaria de la UNASAM.				Análisis de Datos
<b>TRATAMIENTO DE DATOS</b>					
<b>TIPO DE INVESTIGACION: APLICADA</b>					
Enfoque: Cuantitativo; Alcance: Correlacional					
DISEÑO: No experimental / Transversal					

# **INFORME DE ENSAYOS GEOFISICOS**

# **CALCULO DE VULNERABILIDAD SEGÚN CENEPRED**



# PLANOS