

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES



Facultad de Ingeniería
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Tesis:

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE
ABANCAY

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por:

BAZÁN ABARCA, DANNY
CHAPARRO SOTO, ALIZZ

Abancay – Apurímac - Perú
2018

Tesis

Microzonificación sísmica de la ciudad de Abancay

Línea de investigación

Geotecnia

Asesor

Ing. Hugo Virgilio Acosta Valer

DEDICATORIA

A Dios.

Por permitirnos vislumbrar un sueño que hoy es realidad, proveernos de mucha salud, constancia y perseverancia para alcanzar las metas trazadas, asimismo por su infinita gracia y sabiduría.

A nuestros padres.

Por ser el ejemplo y el apoyo incondicional que ha guiado sabiamente nuestras vidas y convertirnos en lo que hoy somos, gracias a la educación y valores inculcados que han dirigido nuestro sendero.

Danny Bazán Abarca y Alizz Chaparro Soto.

AGRADECIMIENTOS

Éste gran logro no es posible sin el apoyo y colaboración de personas con un gran sentido de dirección, conocimiento y sabiduría en la consecución del presente trabajo, especialmente al ING. HUGO VIRGILIO ACOSTA VALER, por su valiosa asesoría y seguimiento en el proceso de la investigación, mostrando interés y confianza para llevar a cabo el buen desenvolvimiento del estudio, atendiendo las sugerencias acertadas para el éxito del proyecto.

Del mismo modo, agradezco el apoyo de la familia, quienes siempre mostraron un espíritu de lucha y perseverancia en transmitirnos el sentido de la convicción en beneficio de alcanzar los objetivos planteados.

Danny Bazán Abarca y Alizz Chaparro Soto.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
INDICE GENERAL	V
CONTENIDO DE TABLAS.....	IX
CONTENIDO DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCION.....	XV
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION.....	15
1.1. Descripción de la realidad problemática	15
1.2. Formulación e identificación del problema.....	16
1.2.1. Problema general.....	16
1.2.2. Problema Específico.	16
1.3. Objetivos de la investigación	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivo específico.....	17
1.4. Justificación de la investigación	18
1.5. Delimitaciones de la investigación	19
1.5.1. Delimitación espacial.....	19
1.6. Limitaciones de la investigación.....	19
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Antecedentes de la investigación extranjero y nacionales	20
2.1.1. Extranjero.....	20
2.1.2. Nacionales.	26
2.2. Bases teóricas.....	29
2.2.1. Geología local.	29
2.2.2. Geomorfología local.	30
2.2.3. Geotecnia de la zona de estudio.	31
2.3. Formulación de la hipótesis	42
2.3.1. Hipótesis general.	42
2.3.2. Hipótesis específica.	43
2.4. Operacionalización de variables e indicadores	44
2.5. Definición de términos básicos	45

2.5.1.	Ensayo MASW.....	45
2.5.2.	Microzonificación sísmica.....	45
2.5.3.	Sismo.....	46
2.5.4.	Microtremor.....	46
2.5.5.	Falla geológica.....	46
2.5.6.	Intensidad.	47
2.5.7.	Escala de magnitud.....	47
2.5.8.	Fuentes sismogeneticas.....	48
2.5.9.	Módulo de Young.....	48
2.5.10.	Módulo de poisson.....	49
2.5.11.	Sensores sísmicos (geófonos).....	49
2.5.12.	Ondas de cuerpo.....	49
2.5.13.	Onda de Love.....	49
2.5.14.	Ondas P.....	50
2.5.15.	Ondas S.....	50
2.5.16.	Ondas Rayleigh.....	51
2.5.17.	Aceleración básica (ab).....	51
2.5.18.	Aceleración de cálculo (ac).	51
2.5.19.	Aceleración espectral (de período t) (SA (t)).	51
2.5.20.	Aceleración máxima del suelo.....	52
2.5.21.	Aceleración pico del suelo (PGA).....	52
2.5.22.	Árbol lógico.	52
2.5.23.	Desagregación.....	52
2.5.24.	Escala EMS.	53
2.5.25.	Espectro de diseño.	53
2.5.26.	Espectro de respuesta.	53
2.5.27.	Falla.....	53
2.5.28.	Falla activa.....	54
2.5.29.	Forma espectral normalizada.....	54
2.5.30.	Intensidad macrosísmica.....	54
2.5.31.	Ley de atenuación.....	54
2.5.32.	Ley de Gutenberg-Richter.	54
2.5.33.	Magnitud de la fase Lg (mbLg).....	55
2.5.34.	Magnitud momento (Mw).....	55
2.5.35.	Magnitud de ondas internas (mb).....	55
2.5.36.	Magnitud de ondas superficiales (MS).	55

2.5.37. Modelo del movimiento fuerte del suelo.	55
2.5.38. Modelo del terremoto característico.	56
2.5.39. Movimiento objeto.	56
2.5.40. Nivel del movimiento.	56
2.5.41. Parámetro alfa (α).	57
2.5.42. Parámetro beta (β).	57
2.5.43. Parámetro épsilon (ϵ).	57
2.5.44. Parámetro del movimiento.	57
2.5.45. Peligrosidad sísmica.	58
2.5.46. Período de recurrencia.	58
2.5.47. Período de retorno.	58
2.5.48. Período de recurrencia.	58
2.5.49. PGA.	58
2.5.50. PGV.	58
2.5.51. Probabilidad de excedencia.	59
2.5.52. Relación de predicción del movimiento.	59
2.5.53. SA(α).	59
2.5.54. SV(α).	59
2.5.55. Tasa anual de ocurrencia de terremotos (λ).	59
2.5.56. Terremoto característico.	60
2.5.57. Terremoto de control.	60
2.5.58. Velocidad espectral (de período T) (SV(T)).	60
2.5.59. Velocidad pico del suelo (PGV).	60
2.5.60. Zona sismogénica.	60
2.5.61. Zonificación.	61
2.5.62. Análisis de comportamiento sísmico de suelos.	61
2.5.63. Método de evaluación de la peligrosidad.	63
CAPITULO III: METODOLOGIA	65
3.1. Tipo y nivel de la investigación	65
3.1.1. Tipo de investigación.	65
3.1.2. Nivel de investigación.	66
3.2. Diseño de investigación.	67
3.3. Población y muestra	68
3.3.1. Población.	68
3.3.2. Muestra.	68
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	69

3.4.1.	Descripción de instrumentos.	70
3.4.2.	Validación de instrumentos.	70
3.5.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	71
CAPITULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		72
4.1.	Procesamiento de datos: Resultados	72
4.1.1.	Análisis de riesgo sísmico en la ciudad de Abancay por el método probabilístico.	72
4.1.1.1.	Cronología de los sismos más notables ocurridos en Abancay.	73
4.1.1.2.	Evaluación de fuentes sismogénicas.....	77
4.1.1.3.	Determinación de los parámetros sismológicos.....	78
4.1.1.4.	Leyes de atenuación.	90
4.1.2.	Análisis con el programa crisis 2007.	93
4.1.2.1.	Resultados del periodo fundamental del suelo.	94
4.1.3.	Medición de microtrepidaciones en la ciudad de Abancay.	94
4.1.3.1.	Características del equipo de medición y análisis.	94
4.1.3.2.	Descripción de la medición realizada en la ciudad de Abancay.....	96
4.1.3.3.	Procesamiento e interpretación de la información.	113
4.1.3.4.	Presentación de resultados.	114
4.2.	Discusión de resultados.	130
4.2.1.	Microzonificación de la ciudad de Abancay.	130
4.2.2.	Estudios de sitio.	132
4.2.3.	Condiciones geotécnicas.	132
4.3.	Prueba de hipótesis	140
4.3.1.	Condiciones dinámicas del suelo.	141
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		145
5.1.	Conclusiones:	145
5.2.	Recomendaciones.	146
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		148
ANEXOS.....		151
Anexo 1:	Matriz de consistencia.	152
Anexo 2:	Matriz de operacionalización de variables.	153
Anexo 3:	Instrumentos.	154

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla N°2.1: Dato para planos de tipo de suelos.

Tabla N°2.2: Esfuerzo admisible q_a (Kg/cm^2) en puntos de estudios recopilados.

Tabla N°2.3: Esfuerzo admisible q_a (Kg/cm^2) en calicatas excavadas para el presente estudio (Indeci, 2007).

Tabla N°2.4: Clasificación sísmica de suelos (IBC 2006).

Tabla N°2.5: Clasificación IBC y períodos fundamentales de los suelos en diferentes sitios.

Tabla N°4.1: Listado de Sismos Localizados en la Región de Apurímac.

Tabla N°4.2: Sismos más notables ocurridos en Abancay.

Tabla N°4.3: Características de los diferentes modelos de movimiento fuerte analizados.

Tabla N°4.4: Periodo fundamental del suelo para años definidos según el programa crisis 2007.

Tabla N°4.5: Distribución de puntos de micro tremores.

Tabla N°4.5: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-101.

Tabla N°4.6: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-102.

Tabla N°4.7: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-103.

Tabla N°4.8: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-104

Tabla N°4.9: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-105.

Tabla N°4.10: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-106.

Tabla N°4.11: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-107.

Tabla N°4.12: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-108

Tabla N°4.13: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-109

Tabla N°4.14: Resumen de los sondajes sísmicos definidos.

Tabla N°4.15: Factores de zona "Z".

Tabla N°4.16: Clasificación de los perfiles de suelo.

Tabla N°4.17: Clasificación sísmica de suelos (IBC 2006).

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura N°2.1: Zonificación sísmica de la NEC-11.

Figura N°2.2: Mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Arequipa.

Figura N°4.1: Ilustración del procedimiento para determinar el peligro sísmico (modif. De Hong et al. 2006).

Figura N°4.2: Mapa de distribución de hipocentros (castillo 1993).

Figura N°4.3: Sismicidad superficial 0-70km (castillo 1993).

Figura N°4.4: Sismicidad intermedia 71-300km y sismicidad profunda 301-700km (castillo 1993).

Figura N°4.5: Fuentes sismogénicas de subducción superficiales y continentales (castillo 1993).

Figura N°4.6: Fuentes sismogénicas superficiales.

Figura N°4.7: Fuentes sismogénicas de subducción superficiales y continentales (castillo 1993).

Figura N°4.8: Fuentes sismogénicas intermedia profunda.

Figura N°4.9: Coordenadas geográficas de las fuentes de subducción superficial y de las fuentes continentales.

Figura N°4.10: Coordenadas geográficas de las fuentes de subducción intermedias y profundas.

Figura N°4.11: En la fotografía se muestra el equipo utilizado sismógrafo geometrics ES-3000 en el ensayo realizado.

Figura N°4.12: Reconocimiento de la zona en estudio.

Figura N°4.13: Ubicación de putos.

Figura N°4.14: Instalación de equipo.

Figura N°4.15: Instalación de equipo para lectura de ondas.

Figura N°4.16: Instalación de los geófonos.

Figura N°4.17: Tendido de línea de geófonos.

Figura N°4.18: Uso de comba para determinar la vibración del suelo.

Figura N°4.19: Toma de datos.

Figura N°4.20: Finalización del ensayo.

RESUMEN

El presente trabajo se refiere a la descripción de los estudios que permiten una microzonificación de los estudios subyacentes de la ciudad de Abancay, comprendiendo la formación geológica que evidencias las diferencias de suelos superficiales; características de los estratos, que llegan a profundidades de 30 metros, como también las condiciones en que se encuentran y mostrar algunos parámetros de comportamiento mecánico.

Se mostrará una descripción de la geología y geomorfología de la zona de estudio, así como algunas características geotécnicas de los suelos y los resultados obtenidos en los ensayos de medición de microtrepidaciones en los 9 puntos de la ciudad.

En la ciudad de Abancay se presenta una geología muy errática debido al origen volcánico de los suelos, encontrándose unidades de rocas ígneas intrusivas y extrusivas, tufos volcánicos, material piroclástico y materiales aluviales, los cuales poseen diversas características geotécnicas. Estas diferencias se reflejan en los valores de los períodos predominantes de vibración natural del suelo, obtenidos en los ensayos de medición de microtrepidaciones en esta ciudad, que varían de 0.10 a 0.30 seg.

Con base a lo expuesto, se propondrá el mapa de curvas isoperíodos para la ciudad de Abancay, que juntamente con la información geológica y geotécnica y la zonificación de daños del sismo de Abancay, han permitido proponer una zonificación sísmica preliminar de la ciudad de Abancay.

Palabras Claves: Sismicidad Abancay, Peligro sísmico, Curvas isoperíodo

ABSTRACT

The present work refers to the description of the studies that allow a microzonification of the underlying studies of the city of Abancay, including the geological formation that evidences the differences of superficial soils; characteristics of the strata, which reach depths of 30 meters, as well as the conditions in which they are found and show some parameters of mechanical behavior.

A brief description of the geomorphology and geology of the city of Abancay is presented, as well as some geotechnical characteristics of the foundation soils and the methodology used, and the results obtained from the micro-trepidation measurement tests in 9 points in the city.

Due to the volcanic origin of the soils, in the city of Abancay a very erratic geology is presented, being units of intrusive and extrusive igneous rocks, volcanic tuffs, pyroclastic material and alluvial materials, which have diverse geotechnical characteristics. These differences are reflected in the values of the predominant periods of natural soil vibration, obtained in the microtrepidation measurement tests in this city, which vary from 0.10 to 0.30 sec.

Based on this information, the map of isoperiod curves for the city of Abancay is proposed, which together with the geological and geotechnical information and the damage zoning of the Abancay earthquake, have allowed to propose a preliminary seismic zoning of the city of Abancay.

Key Words: Abancay Seismicity, Seismic Hazard, Isoperiod Curves

INTRODUCCION

La microzonificación sísmica que se estudia en una determinada ciudad constituye un proceso multidisciplinario, que conlleva el estudio geológico, sismológico, geotécnico, asimismo la evaluación de daños sísmicos, microtrepidaciones y de amplificación sísmica. En este sentido, dichos estudios viabiliza la delimitación de zonas con diferente comportamientos sísmicos, tomando en cuenta las condiciones locales de los suelos de cimentación.

En el desarrollo del presente proyecto de investigación, se propone la microzonificación sísmica preliminar de la ciudad de Abancay, delimitada con relación a la siguiente información de fuente pública:

-) Estudios de geomorfología y geología.
-) Estudio de las características geotécnicas de los suelos de cimentación.
-) Evaluación del comportamiento dinámico del suelo, mediante la medición de micro trepidaciones.

De tal manera que, la información obtenida ha sido recopilada de investigaciones realizadas en el área de estudio, asimismo otra parte importante se obtuvo a través de los resultados obtenidos visibilizados como trabajos de campo desarrollados en esta investigación.

Finalmente, uno de los principales aportes de esta investigación a la microzonificación sísmica de Abancay, lo constituye el estudio de medición de micro trepidaciones, mediante el cual se ha elaborado el mapa de curvas isoperíodos de la ciudad.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

1.1. Descripción de la realidad problemática

La ciudad de Abancay es un lugar expuesto a diferentes riesgos debido a su configuración geodinámica y geológica así con la difícil formación topográfica y morfológica el cual influye en la alteración de zonas sísmicas, que da lugar al aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos destructivos.

Estos lugares de riesgo son aquellos escenarios donde anteriormente se registraron algunos eventos sísmicos y también donde se hicieron algunos estudios de riesgo en el cual se determinaron que esas zonas componían mayor probabilidad de eventos peligrosos. Se tiene algunos factores que se consideran para la identificación de estos lugares los cuales son:

-) Características de la sismicidad.
-) Procesos de geodinámica externa e interna.

Sabemos que los sismos son una amenaza que aqueja el país desde siempre. La actividad sísmica en el Perú tiene un vasto incremento cuya causa está relacionada con las condiciones tectónicas regionales y locales, y las condiciones locales de los suelos que determinan la aceleración y la severidad de sacudimiento, que a su vez van a tener una alta influencia referente a las estructuras.

Otra de las zonas sismo génicas que producen sismos locales y regionales dentro del territorio están asociados a la existencia de fallas geológicas activas. Estos sismos locales son por lo general de menor magnitud, pero al generarse muy cerca de la superficie, alcanzan un gran poder destructor reflejado en la alta severidad de sacudimiento e intensidades que se registran en las estructuras.

Estas zonas sismogénicas continentales corresponden a segmentos que corren paralelos a la Cordillera de los Andes. Una de ellas que se ubica en la vertiente oriental de los Andes que abarca los departamentos de Amazonas San Martín y se extienden hacia el Sur cubriendo los departamentos de Huánuco, Pasco, Junín, Ayacucho, Cusco y Puno.

1.2. Formulación e identificación del problema

1.2.1. Problema general.

La falta de información del comportamiento sísmico en la ciudad de Abancay.

1.2.2. Problema Específico.

-) comportamiento dinámico de los suelos en diferentes zonas de la ciudad ante la ocurrencia de los sismos.
-) La falta de información de los tipos de estratos del suelo de la ciudad de Abancay para el diseño de edificios y obras civiles.

-) La escases de conocimiento de cuáles son las características, el escenario y la distribución de la peligrosidad sísmica de la localidad de Abancay.
-) La carencia de información de las características geológicas y geodinámicas del suelo en la ciudad Abancay.
-) La falta de información de cuáles son las características geomorfológicas de los suelos de la ciudad de Abancay.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general.

La presente investigación tiene como propósito fundamental realizar la microzonificación sísmica de la ciudad de Abancay, considerando investigaciones previas, recolección y análisis de la información, eventos sísmicos previos y deslizamientos, a fin de obtener una primera aproximación sobre el comportamiento dinámico de los suelos para diferentes zonas de la ciudad en caso de un sismo.

1.3.2. Objetivo específico.

-) Identificar qué beneficios trae una microzonificación sísmica en la ciudad de Abancay.
-) Identificar el coeficiente de tipo de zona en la ciudad de Abancay
-) Identificar las características, Escenario y Distribución de la Peligrosidad sísmica de la Localidad de Abancay.

-) Identificar las características geológicas y geodinámicas del suelo de la ciudad de Abancay.
-) Identificar las características de geomorfológicas de los suelos de la ciudad de Abancay.

1.4. Justificación de la investigación

Para realizar la evaluación de la microzonificación sísmica de la ciudad de Abancay se propondrá un método sintético, perfeccionado, compatible y adaptado a las características propias de una pequeña ciudad, con las limitaciones metodológicas y técnicas de evaluación propias del presente estudio, en base a las variadas, complejas y extensas clases de metodologías actualmente aplicadas al escenario de grandes ciudades y mega urbes.

La metodología desarrollada de evaluación de la microzonificación sísmica será un modelo metodológico para establecer en zona de suelos con comportamientos similares durante un sismo, de manera que puedan definirse allí, recomendaciones precisas para el diseño y construcción de edificaciones de la región, en ciudades pequeñas con similares características.

En base al presente estudio se podrá comprobar el nivel de detalle, confiabilidad y precisión, además de especificar la fuerza sísmica posible, deben identificarse los tipos de fenómeno asociados que pueden desencadenarse a raíz del sismo, como son los deslizamientos, la ampliación exagerada del movimiento o la posibilidad de la licuefacción del suelo.

El enfoque de la microzonificación sísmica desde el punto de vista de las ingenierías se enfoca básicamente a criterios tipográficos, estratigráficos, espesores y rigideces relativa de los materiales, entre otras características de suelos para las edificaciones constituyentes del entorno urbano.

1.5. Delimitaciones de la investigación

1.5.1. Delimitación espacial.

El estudio se realizó en el ámbito geográfico del distrito y provincia de Abancay, departamento de Apurímac (ver plano N°01).

-)] **Por el norte:** Se encuentra delimitado por el sector de Pueblo Joven con una línea recta.
-)] **Por el sur:** Se encuentra delimitado por el sector de Patibamba Baja.
-)] **Por el oeste:** Se encuentra delimitado en una línea recta por el sector de Aymas.
-)] **Por el este:** Se encuentra delimitado en una línea recta por el sector de Condebamba.

1.6. Limitaciones de la investigación

El presente trabajo logra, con limitaciones de equipos tecnológicos y medios que ayuden a establecer con la información que maneja las fuentes de estudio geodinámicas en la ciudad de Abancay, básicamente de las fichas técnicas, y visitas a campo, los índices de vulnerabilidad, índices de daño y posibles pérdidas económicas de cada una de la localidad de Abancay, dejando como

inquietud la perspectiva de implementar la metodología utilizada de estudio de microzonificación sísmica a gran escala para la ciudad de Abancay.

Es fundamental apuntar que en el país y en general en todo el mundo, no existe una metodología específica para efectuar estudios de este tipo. Esto se debe mayormente a que las fuentes sísmicas de cada zona son particulares, así mismo las tipologías estructurales varían de una cultura a otra, y primordialmente, con toda la tecnología con la que cuenta el ser humano, el tiempo que se lleva registrando daños ocurridos en edificaciones en todo el mundo gracias a eventos sísmicos, no es lo suficientemente extenso para emplear la tradicional filosofía de "teoría y experimentación". Al contrario, para este tipo de trabajos se aplica una filosofía basada en la "modelación y simulación" puesto que es con lo único que en esta circunstancia se puede contar mientras el tiempo permite "experimentar" más con las respuestas que las diferentes estructuras presentan en la realidad ante movimientos sísmicos.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación extranjero y nacionales

2.1.1. Extranjero.

2.1.1.1. Microzonificación sísmica de la ciudad de México.

Los daños ocasionados en la ciudad de México por el gran sismo de Michoacán (M=8.1) el 19 de septiembre de 1985 mostraron la necesidad

de revisar las normas de construcción vigente de 1976. Del consenso de los expertos surgió un conjunto de normas técnicas de emergencia para la reconstrucción de las obras civiles de la ciudad. Según (Ordaz & Pérez Rocha, 1993) “fijaron mayores coeficientes de diseño sísmico y se especificó que los efectos interacción suelo - estructura más importantes se tomaran en cuenta explícitamente en el diseño de estructuras desplazadas en sitios de suelo blando” (pág.1).

Lo que significa que para cada zona geotécnica de la ciudad se estipuló un espectro de diseño sísmico, aunque se reconoció que los espectros de diseño podrían modificarse si se conocía el periodo del suelo; “Esta es la primera vez que en los reglamentos mexicanos se considera la reducción de las ordenadas espectrales de diseño en función del periodo dominante del sitio” (Ordaz & Pérez Rocha, 1993, pág. 2).

El reglamento mexicano para la construcción de obras civiles en el Distrito Federal está reconocido que aparte de las propiedades estructurales, las fuerzas sísmicas que actúan sobre las estructuras dependen de las características de la fuente sísmica. “En 1985, operaban en la ciudad alrededor de 10 estaciones acelerométricas. Actualmente, existen 200 en la ciudad” (Ordaz & Pérez Rocha, 1993, pág. 2).

2.1.1.2. Microzonificación sísmica en Quito (Ecuador).

Según (Falconi, 2013), el primer estudio de microzonificación fue realizado por la politécnica nacional en 1994 donde se clasificaron los

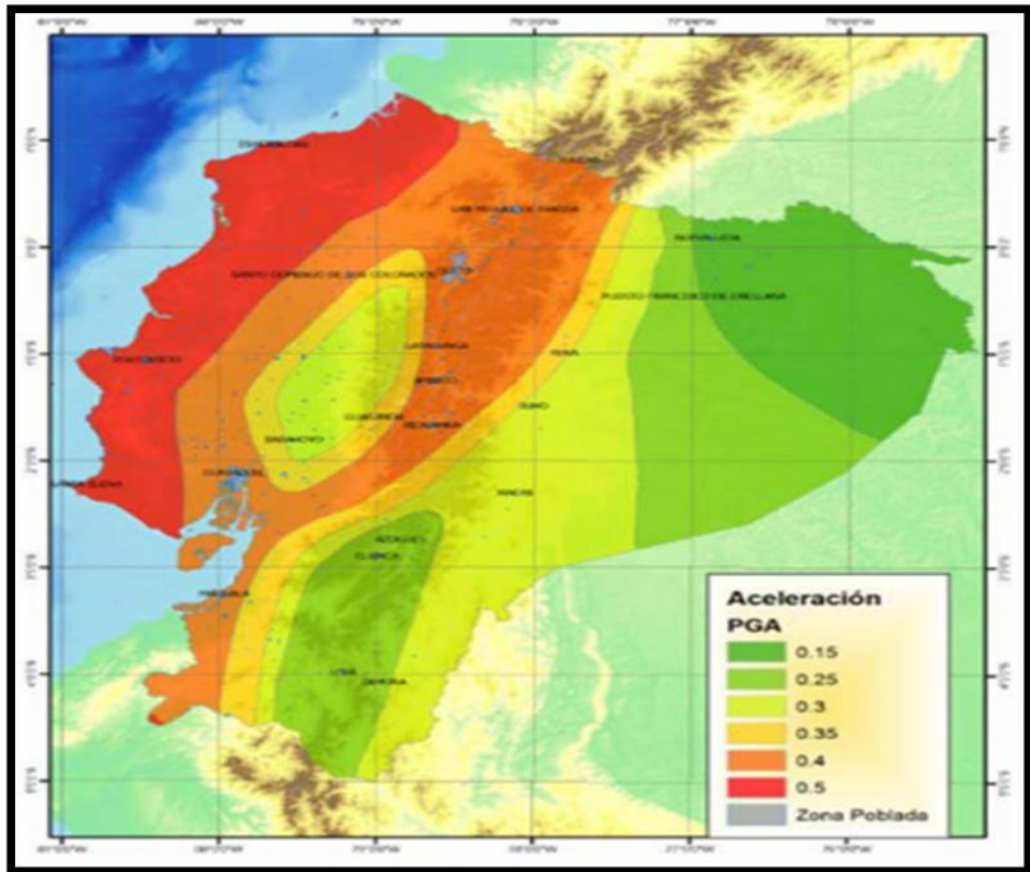
suelos de la ciudad. El segundo fue desarrollado en 1997 por el instituto francés de cooperación, ORSTOM en que obtuvieron factores de sitio y frecuencias de vibración de los suelos; los factores de sitio o de amplificación son debidos al tipo de suelo que se tiene en los diferentes lugares de la ciudad. El tercer fue publicado en el 2002 por la politécnica nacional, donde se amplió notablemente el área de estudio con respecto al de 1994, se clasificó los suelos de acuerdo con el CEC-2000 y se presentaron espectros de diseño. En el 2011 para diseñar el metro de Quito, se realizaron estudios de suelos por los lugares donde va a circular el metro, lo importante de este estudio fue que se obtuvo importante información hasta una profundidad media de 50 m. Esta información fue entregada por el distrito Metropolitano de Quito a la compañía consultora ERN, evaluación de riesgos naturales en América latina, realizando el cuarto estudio de microzonificación sísmica de Quito (Pag 5).

El grupo consultor ERN quienes realizaron el estudio, siendo liderados por expertos de Colombia, México, España y Ecuador a quienes se les entrego los tres trabajos de microzonificación sísmica realizados y los estudios del metro. En base a esta información ERN seleccionó 17 sitios donde no se conocía las propiedades geotécnicas de los suelos y realizó estudios hasta una profundidad media que está entre los 30 y 40 m (Falconi, 2013, pág. 6).

El estudio finalizó con la entrega de factores de sitio para el distrito Metropolitano de Quito (ver figura N°2.1), con los cuales se obtienen los espectros de diseño utilizando las ecuaciones del espectro del NEC-11

que conforman en cinco sectores de Quito: Sur, Centro Sur, Centro, Centro Norte y Norte.

Figura N°2.1: Zonificación Sísmica de la NEC-11.



Fuente: Microzonificación sísmica de la ciudad de Quito-Ecuador.

2.1.1.3. Microzonificación sísmica de Santiago de Chile.

En Santiago, se comprobó el efecto producido en diferentes tipos de suelo durante un sismo en el terremoto de Valparaíso de 1906 y de 1985. A partir de este último, se ha realizado el trabajo de zonificación sísmica de la cuenca de Santiago que "Define sectores de mayor intensidad sísmica a partir de las características geológicas y dinámicas del suelo" (Galvez Vega, 2012, pág. 9). Actualmente, para calcular la intensidad de un terremoto en una zona determinada, se utiliza el método de "Escala micro sísmica europea" la que es una actualización de la escala MSK-64.

Esta se basa en la magnitud de los daños en infraestructura causadas por un terremoto. Para aplicar esta técnica se realizan salidas a terreno en las cuales, por medio de la observación y registros existentes de daño, se registran los daños en la infraestructura de las construcciones de la zona de estudio. Estas observaciones son traducidas a una estadística que relaciona grados de daño y tipo de estructura definida por grado de vulnerabilidad (Galvez Vega, 2012, pág. 9).

Microzonificación sísmica en los sectores de Lampa y Batuco, Región Metropolitana, chilena de las limitaciones más importantes que tiene la escala MSK es la dependencia del lapso que haya pasado entre el terremoto y la aplicación del método. Con el paso del tiempo, los habitantes tienden a minusvalorar su percepción inicial del terremoto y muchos daños en infraestructura son reparados, lo que se traduce en una subestimación general de la intensidad del terremoto. Por otra parte, “cuando se produce un terremoto, las ondas sísmicas que se forman desde la ruptura son modificadas en su propagación a través de los diferentes estratos de la litósfera y luego, a través de los depósitos no consolidados, hacia la superficie” (Galvez Vega, 2012, pág. 10). Se ha comprobado tanto en la teoría como en la práctica que la respuesta sísmica de los diferentes depósitos sedimentarios depende de las propiedades geomecánicas de los diferentes estratos, de sus espesores, y de la profundidad a la roca basal.

2.1.2. Nacionales.

2.1.2.1. Microzonificación sísmica Arequipa.

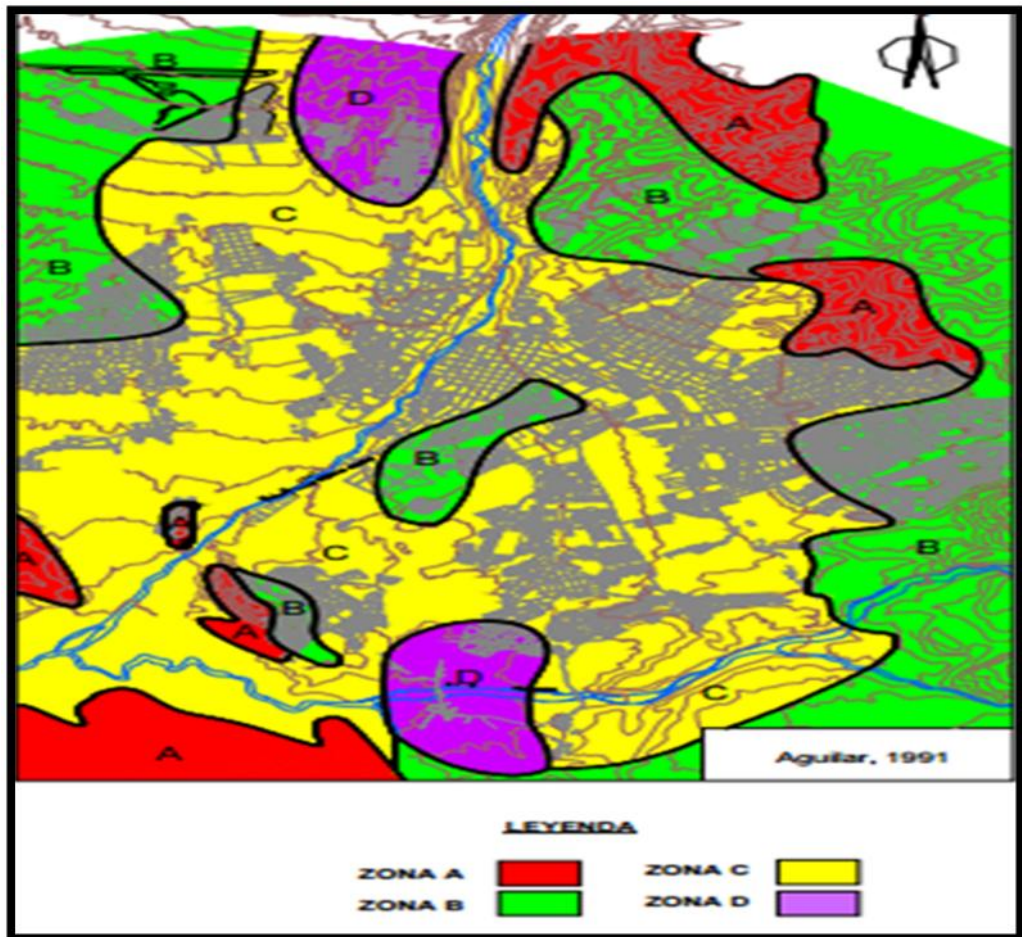
“La microzonificación sísmica de una ciudad es un procedimiento multidisciplinario, vinculado con la elaboración de estudios geológicos, topográficos, geotécnicos, sismológicos hidrológicos, de identificación de daños sísmicos ocurridos, de microtrepidaciones y de amplificación sísmica” (Bardales & Hurtado, 2002, pág. 1). Estos estudios permiten demarcar zonas con diverso comportamiento sísmico dentro de una ciudad, considerando las condiciones locales de los suelos de cimentación. Según (Bardales & Hurtado, 2002) se propone la microzonificación sísmica preliminar de la ciudad de Arequipa, la cual ha sido delimitada con base a la siguiente información:

-) Estudios de geomorfología y geología.
-) Estudio de las características geotécnicas de los suelos de cimentación.
-) Evaluación del comportamiento dinámico del suelo, mediante la medición de microtrepidaciones.
-) Evaluación y zonificación de daños producidos por el sismo de Arequipa del 16-02- 79.

A la luz de estas consideraciones, la información recabada ha sido gracias a investigación previas o antecedentes del estudio en cuestión y en

segundo lugar representa los resultados obtenidos de los trabajos de campo, llevados a cabo en el desarrollo de esta investigación (pág. 1).

Figura N°2.2: Mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Arequipa.



Fuente: Microzonificación sísmica de la ciudad de Arequipa

2.1.2.2. Microzonificación sísmica Cusco.

Según (García, 2004), la ciudad del Cusco está ubicada en el inicio del valle del río Huatanay con un ancho no mayor a los 3.00 km, rodeada por cerros, presentando dos zonas muy diferenciadas, el fondo del valle y las elevaciones que la circundan; en el origen del valle y parte de las elevaciones se encuentran ubicadas las construcciones de mayor

importancia de la ciudad desde el incanato, la colonia, constituyendo actualmente el casco histórico-monumental. La parte baja del valle y el resto de las elevaciones conforman la zona de expansión de la ciudad diferenciándose en que las urbanizaciones se van ubicando en el valle, mientras que las partes elevadas (cerros) son ocupadas por 105 asentamientos urbano-populares (pág. 275).

“Los suelos del valle tienen diferentes orígenes desde depósitos lacustres, lago de Morki, las terrazas aluviales formadas por los ríos, los depósitos coluviales a manera de conos deyección hasta rellenos recientes, esta conformación define, en primera instancia una distribución que puede considerarse como una zonificación geológica” (García, 2004, pág. 276).

Otra condición de los suelos de la ciudad del Cusco es la que presentan los rellenos de los cauces de los ríos Huatanay, Tullumayo, Chunchulmayo y Retiro que constituyen las actuales principales avenidas Sol, Tullumayo, Ejército y Retiro. “Rellenos recientes aún no consolidados y apoyados en los antiguos lechos de ríos, cuyas profundidades varían entre 1.50 y 4.00m. Y los anchos alcanzan hasta 50.00 m” (García, 2004, pág. 276).

2.1.2.3. Microzonificación sísmica Pisco.

En la evaluación de las características geotécnicas de los depósitos de suelos de la ciudad de Pisco fue realizada utilizando la información

geológica existente y de la información geotécnica desarrollada y recopilada para el reciente estudio. Según (Espinoza, Murrugarra, & Uribe, 2011) Los objetivos principales fueron los siguientes: precisar los tipos de suelos existentes, en profundidad, precisar la distribución de éstos en toda la ciudad, obtener sus parámetros de resistencia al esfuerzo cortante, definir la ubicación del nivel freático, precisar rangos de valores de capacidad portante y calcular probables zonas con comportamiento crítico (pág. 3).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Geología local.

Según (Indeci, 2007), en la zona de estudio se observa la presencia de rocas del pérmico triásico correspondiente al Grupo Copacabana. También, el Grupo Mitu, calizas del Grupo Pucara (Jurásico), rocas intrusivas del terciario (granodioritas) (pág. 38). Estructuralmente se ha registrado una falla de rumbo NW-SE, denominada falla Sahuanay, la que posiblemente crea la desestabilización de taludes en la parte media y baja de la ladera Ampay.

Los suelos de cobertura de la ciudad de Abancay son de tipo fluvio glaciarios de edad cuaternaria a reciente. Hacia el NE de la ciudad de Abancay, Tamburco, se ha cartografiado afloramiento de calizas (Grupo Pucara) con presencia karstica y manantes con presencia de agua. Igualmente, al SW de la ciudad de Abancay se han cartografiado afloramientos de calizas y evaporitas. Lo cual indicaría que el substrato rocoso de la ciudad de Abancay

estaría conformado por calizas del Grupo Pucara y supra yaciendo a éstas estarían los suelos de origen fluvioglaciares (Indeci, 2007, pág. 38).

2.2.2. Geomorfología local.

El área geográfica donde se ubica la ciudad de Abancay y sus zonas de expansión ha sido afectada por la intensa actividad geodinámica interna, así como externa reflejada en su diversa topografía y su tendencia a la ocurrencia de fenómenos geológicos y geológico climáticos.

) Morfogénesis.

Según (Indeci, 2007), Los rasgos morfológicos de la cuenca de Abancay están relacionados a las perturbaciones tectónicas del levantamiento andino y por procesos degradacionales.

Los cambios climáticos ocurridos durante el cuaternario han dejado profundas huellas en la morfología de la región, las glaciaciones produjeron grandes movimientos de masas rocosas, acumulándose gradualmente en el actual valle de Abancay y al pie de los nevados Ampay y Runtococha. (Indeci, 2007, pág. 26).

Los estudios geomorfológicos determinaron que la actual configuración del Ampay está determinada por, “perturbaciones geodinámicas internas (tectónicas) y externas (intemperismo, erosión y procesos geodinámicos) como son las glaciaciones, los deslizamientos y la erosión, que fueron modelando la superficie” (Indeci, 2007, pág. 26). El relieve en general es

bastante accidentado, con una configuración topográfica heterogénea con predominancia de elevaciones escarpadas.

2.2.3. Geotecnia de la zona de estudio.

2.2.3.1. Mapa de tipos de suelos.

En éste punto, la elaboración del mapa de tipo de suelos de la ciudad de Abancay se recopiló, gracias a la información existente (Indeci, 2007), que se puntualiza a continuación:

- J Recopilación de resultados de estudios geotécnicos existentes para el proyecto (155pts).
- J Puntos de observación directa en taludes visibles de carreteras y cauces naturales (C - #) (52pts).
- J Excavación, muestreo y tapado por la municipalidad de Abancay, Ensayos de Campo y Laboratorio, pagados por PCS–PNUD (Pz - #) (80pts).

a. Ensayos de laboratorio.

Para la clasificación, cálculo y diseño geotécnico, confiables y actuales, se realizó los siguientes ensayos in situ y de laboratorio en todas las calicatas excavadas (ver plano N°02), los cuales son:

- J Contenido de Humedad: ASTM D 2216
- J Granulometría: ASTM D 421 y D 422

- J Límite Líquido: ASTM 4318
- J Límite Plástico: ASTM 4318
- J Densidad in situ: ASTM 1556
- J Consolidación: ASTM D 2435
- J Compresión no Confinada: ASTM 2166
- J Corte Directo: STM D 3080
- J Ensayo de Penetración PDL DIN 4094

b. Clasificación de Suelos.

Según (Indeci, 2007), se toma como suelo representativo a aquel que se encuentra ubicado dentro de la zona activa para el diseño de la cimentación típica. Se asumió una zapata aislada cuadrada de 1m de lado cimentada a 1m de profundidad como cimentación típica, por lo que la zona activa que se encuentra entre la base de la cimentación y un nivel a 2 veces el ancho de la cimentación por debajo de la misma. En este sentido, el suelo representativo de cada sector estará conformado por el material ubicado entre 1 y 3m de profundidad. Se ha considerado para el estudio, el material predominante o más crítico entre 1 y 3m de profundidad, en cada sitio (Indeci, 2007, pág. 129).

Tabla N°2.1: Dato para planos de tipo de suelos.

Pz	SUCS	Pz	SUCS	Pz	SUCS	Pz	SUCS
01	SC	21	GC	41	SC	61	GM
02	SC	22	GC	42	CL	62	SC
03	GC	23	GC	43	SC	63	GC
04	GC	24	GC	44	GC	64	GC
05	SC	25	GC	45	GC	65	SC
06	CL	26	GC	46	GC	66	GC
07	SC	27	GC	47	GC	67	GC

08	SC	28	GC	48	GC	68	GC
09	GC	29	GC	49	GC	69	GC
10	GC	30	SC	50	GC	70	SC
11	CL	31	GM	51	SC	71	SC
12	SC	32	GM	52	GC	72	SC
13	CL	33	GC	53	SM	73	GC
14	GC	34	GC	54	GC	74	GC
15	SW-SC	35	SC	55	GC	75	GC
16	GC	36	SC	56	GC	76	GC
17	GC	37	GC	57	GC	77	SC
18	GC	38	SC	58	CL	78	GC
19	GC	39	GP-GC	59	SC	79	SC
20	GW-GC	40	SC	60	SC	80	GC

Fuente: INDECI: PNUD PER/02/051 00014426-ciudades sostenibles.

Con la finalidad de contrastar el peligro geológico-climático de origen geotécnico de los distintos sectores de la ciudad, se considero 4 tipos a saber (Indeci, 2007):

-)] Roca (R) para afloramientos de macizos rocosos.
-)] Gravas (G) para suelos en los que predomina la fracción de gravas.
-)] Arenas (S) para suelos en los que predomina la fracción de arena.
-)] Suelos Finos (F) suelos en los que predomina la fracción de arcilla y limos.

Del mismo modo, el criterio para diferenciarlo se direccionó en:

-)] Roca: Material sólido conformado por diversos minerales, cuya resistencia es claramente superior a 25 Kg/cm².

- J Grava: Material conformado por partículas de tamaño mayor a 4.75mm, para fines del presente informe se incluye dentro de esta descripción a la bolonería o piedra grande.
- J Arena: Material conformado por partículas mayores 0.075mm y menores a 4.740mm.
- J Finos: Material conformado por partículas menores a 0.075mm incluye a limos y arcillas.

A continuación, se especifica y describe los diferentes tipos de materiales observados en el área de estudio, atendiendo su ubicación (Ver plano N°03).

- J Suelos finos (f): En el presente estudio se agrupa bajo esta denominación a los suelos en los que predominan Arcillas y Limos resaltando que los más frecuentes son los suelos limosos. En general tienen coloración blanquecina grisácea y se presenta con grava en el área central de la ciudad, pero hacia el sector Noroeste tiene color rojizo y mayor plasticidad; hacia la parte baja en los terraplenes inferiores tiene coloración amarillenta y se presenta con arena fina. Las áreas de suelos finos se presentan en forma de intrusiones alargadas con respecto al material gravoso predominante (Indeci, 2007, pág. 131).
- J Arenas (s): Como se ha mencionado líneas arriba en el área del proyecto abundan los materiales arenosos finos de color rojizo

que en estado húmedo pueden confundirse con arcillas puesto que tienen textura fina y permiten excavaciones verticales, pero al secar o saturarse pierden su pseudo-cohesión (debida a la succión matricial) y se desmoronan (Indeci, 2007, pág. 131).

- J) Gravas (g): Los suelos gravosos presentan casi siempre abundante piedra grande y bolonería conformada por fragmentos de roca caliza de color superficial blanco, pero negro en su interior (negro en fractura fresca). El fragmento de piedra grava y arena son duros y resistentes, los materiales finos presentan cierto grado de cementación por la solución calcárea que circula entre sus partículas. El material es denominado como caliche (Indeci, 2007, pág. 132).

En algunos sectores la grava es de origen coluvial (pese a presentar cantos rodados) y abundan los paleocauces que se presentan en franjas de material con menos cantidad de finos. En las terrazas inferiores de la quebrada hacia el Rio pachachaca abundan los bolones de granito. Los materiales identificados como gravosos son de alta resistencia y competentes para cimentación (Indeci, 2007, pág. 132).

- J) Roca (r): Los afloramientos de roca en la zona del proyecto se encuentran en las partes altas que circundan y flanquean al valle del Abancay, Hacia el Noroeste son predominantemente calizas y areniscas, Hacia el Suroeste se presentan yesos y calizas

menos competentes con indicios de karstificación y hacia el Suroeste se tienen Rocas metamórficas derivadas del Granito como son el Gneiss muy intemperizado hacia la superficie y con evidencias de intensa deformación plástica (Indeci, 2007, pág. 132).

2.2.3.2. Mapa de esfuerzo admisible.

Existen numerosos indicadores de la resistencia de los suelos, estos son “la resistencia al corte, la resistencia a la penetración dinámica, la capacidad de carga y otros. Existe cierta relación entre ellos, aunque para diferentes tipos de suelos esta relación no es igual, siempre es directa, pero tiene diferencias sustanciales” (Indeci, 2007, pág. 132).

En el mapa de peligros, se ha incluido como material peligroso a los suelos con esfuerzo admisible menor de 1 Kg/cm^2 .

a. Capacidad portante.

La capacidad portante es una propiedad que depende de los suelos y las cimentaciones. “Por esta razón ha sido necesario asumir un tipo de cimentación para determinar este parámetro. Los estudios de suelos recopilados son elaborados para distintos tipos de proyectos por lo que los resultados de capacidad portante que presentan obedecen a diferentes criterios” (Indeci, 2007, pág. 132).

Durante la sistematización de la información, se ha recopilado los parámetros de resistencia de ángulo de fricción interna y cohesión (ϕ , c) y el peso específico natural (γ) de cada sitio.

) **Cimentación tipo y método de cálculo.**

Para determinar el esfuerzo admisible para las características de la cimentación tipo elegida como representativa de este proyecto son:

Zapata cuadrada	B/L = 1
Ancho de cimentación	B = 1m
Profundidad de cimentación	Df = 1m
Teoría	Meyerhof
Criterio de falla	Localizada (Estructuras sensibles a asentamientos)
Factor de seguridad	FS = 3
Zona de influencia	Desde 1m - 3m de profundidad

Se ha elegido la zapata cuadrada por ser la cimentación aislada la más frecuente en edificaciones de concreto armado en Abancay.

Las expresiones de cálculo empleadas corresponden a la teoría de Meyerhof y son:

Expresión general

$$q_c = XcN_c s_c \Gamma \times Df N_q s_q \Gamma 0.5 \times BN_x s_x$$

Siendo N, s y d, los factores de capacidad de carga, factor de forma y de profundidad respectivamente. Estos valores son calculados en base a las siguientes expresiones.

Factores de:

Capacidad de carga	Forma
$N_c \times (N_q \times Z) \cot \phi$	$s_c \times \Gamma \times 0.2 N \theta \frac{B}{L}$
$N_q \times e^{\sigma \tan \phi} N \theta$	
$N_x \times (N_q \times Z) \tan(1.4\phi)$	$s_q \times s_x \times \Gamma \times 0.1 N \theta \frac{B}{L}$

No se han empleado factores de profundidad por ser superficial la cimentación típica en la ciudad del Abancay. Los resultados se presentan en Kg/cm² (1 Kg/cm² = 100 KPa).

J) Elección de parámetros de comportamiento.

Los estudios geotécnicos proporcionan directamente parámetros de comportamiento a diferentes profundidades y se ha elegido los parámetros de diseño a corto plazo por ser los valores más críticos para el diseño (U, cU) es decir parámetros no drenados para profundidades entre 1 y 3m, es por esta razón que los parámetros seleccionados para el presente proyecto no necesariamente corresponden a los que han sido usados en cada estudio específico recolectado.

Los parámetros de resistencia al corte se pueden estimar en función de los límites de consistencia para los suelos arcillosos (CL, CH, SC y GC) que son la mayoría son:

Para la cohesión: (KPa)

-) Si el índice de Liquidez es mayor a 0.5: $su \times 0.18(IL)^{2.1/2}$
-) Si el índice plástico es mayor a 5%: $su \times 0.45(IP)^{1/2}$

Para el ángulo de fricción interna: (°)

Se ha empleado la correlación expresada por Joseph E Boules. En esta tabla se ha leído valores de f para diferentes valores de IP con los que se ha ploteado un gráfico de coordenadas x,y determinando la ecuación de correlación de segundo grado siguiente:

$$w \times 0.0028IP^2 - 0.4246IP + 37.954$$

Para los casos en que se ha encontrado roca el proyecto determina una capacidad portante de 5 Kg/cm².

La información recopilada por la municipalidad presenta los ensayos de penetración dinámica de cono, conocido como PDL del que se obtuvo el número de golpes correspondientes al ensayo SPT.

Estos valores se han reemplazado en la ecuación para capacidad de carga para 1" de asentamiento de la estructura

diseñada, criterio que es propio del método correspondiente al ensayo SPT.

$$q_a X(N'_{70})(1 \Gamma 0.3 / B)^2 (1 \Gamma D / 3B) / 6 \text{ Kg/cm}^2$$

Finalmente se tienen algunos casos en los que se tiene ensayos de CBR, de los que se ha obtenido por análisis de la presión correspondiente que ocasiona la falla en el suelo para obtener un valor aproximado de la capacidad de carga, usando un factor de seguridad de 3 se obtiene la capacidad de carga (Indeci, 2007, pág. 134).

b. Esfuerzo admisible

Los diferentes métodos descritos permiten calcular diferentes valores de esfuerzo admisible y en algunos casos se repiten para un mismo punto, en esos casos se ha empleado el criterio de elegir el valor más bajo.

Tabla N°2.2: Esfuerzo admisible q_a (Kg/cm^2) en puntos de estudios recopilados.

Punto	q_a	Punto	q_a	Punto	q_a	Punto	q_a	Punto	q_a
1	1.86	31	3.83	61	3.99	101	7.62	131	3.94
2	3.17	32	1.40	62	3.62	102	5.51	132	3.05
3	1.78	33	4.27	63	3.30	103	7.09	133	3.71
4	....	34	1.15	64	3.30	104	6.92	134	2.46
5	4.13	35	2.46	65	3.99	105	3.67	135	4.26
6	2.97	36	5.51	66	3.30	106	6.62	136	1.83
7	2.86	37	5.51	67	3.80	107	0.54	137	3.52
8	3.45	38	3.62	68	3.46	108	2.95	141	5.51

9	3.64	39	5.51	69	4.73	109	5.51	142	5.51
10	3.97	40	0.99	70	4.07	110	3.79	143	5.51
11	3.30	41	1.51	71	2.11	111	3.62	144	4.50
12	3.35	42	1.05	72	1.44	112	2.12	145	2.91
13	3.78	43	5.51	73	1.36	113	2.49	146	4.37
14	3.77	44	1.58	74	1.15	114	1.45	147	5.26
15	3.94	45	1.63	75	4.21	115	4.00	148	1.33
16	3.20	46	3.99	76	1.15	116	2.42	149	0.79
17	3.59	47	3.99	77	1.67	117	3.12	150	0.64
18	2.92	48	2.20	78	5.51	118	2.08	151	1.88
19	3.34	49	2.66	79	5.51	119	2.57	152	1.67
20	3.12	50	1.70	80	5.51	120	4.04	153	1.45
21	4.06	51	3.62	81	1.90	121	2.74	154	1.35
22	4.23	52	3.46	82	5.25	122	4.27	155	1.38
23	4.22	53	3.46	83	2.43	123	2.69		
24	4.30	54	3.46	84	5.51	124	3.68		
25	4.28	55	2.20	85	1.54	125	2.69		
26	4.54	56	4.20	86	5.51	126	2.33		
27	3.77	57	3.46	87	5.51	127	3.52		
28	3.02	58	3.99	88	5.51	128	4.42		
29	4.73	59	5.51	89	0.81	129	3.83		
30	2.82	60	3.99	90	5.51	130	3.04		

Fuente: INDECI: PNUD PER/02/051 00014426-ciudades sostenibles.

Tabla N°2.3: Esfuerzo admisible q_a (Kg/cm²) en calicatas excavadas para el presente estudio (Indeci, 2007).

Punto	Qa	Punto	Qa	Punto	qa	Punto	qa
1	0.84	21	4.39	41	0.31	61	0.10
2	0.63	22	3.09	42	2.87	62	0.87
3	3.42	23	3.14	43	0.72	63	3.48
4	0.34	24	3.25	44	3.18	64	3.51
5	3.16	25	3.20	45	3.05	65	0.55
6	2.73	26	4.07	46	3.39	66	3.07
7	0.90	27	2.12	47	0.82	67	3.22

8	3.38	28	2.90	48	3.88	68	2.80
9	1.01	29	3.54	49	3.69	69	3.49
10	1.83	30	4.18	50	3.68	70	1.96
11	1.35	31	....	51	2.28	71	3.78
12	2.05	32	1.96	52	2.96	72	2.19
13	2.34	33	3.81	53	....	73	2.94
14	3.29	34	0.78	54	0.51	74	2.95
15	3.45	35	0.38	55	2.71	75	0.83
16	4.01	36	1.59	56	3.15	76	2.65
17	2.74	37	3.84	57	3.77	77	3.23
18	4.05	38	3.59	58	0.53	78	0.90
19	3.13	39	0.53	59	3.32	79	3.52
20	2.74	40	3.31	60	1.49	80	3.04

Fuente: INDECI: PNUD PER/02/051 00014426-ciudades sostenibles.

En el mapa temático de capacidad portante (Ver plano N°05) se han demarcado con colores los sectores de capacidad portante alta, media y baja. Así mismo el mapa de las curvas de esfuerzo admisible para la ciudad de Abancay se encontrarán en el plano N°04.

2.3. Formulación de la hipótesis

2.3.1. Hipótesis general.

Con la microzonificación sísmica se conocerá el comportamiento dinámico de los suelos en las diferentes zonas de la ciudad de Abancay ante la ocurrencia de sismos.

2.3.2. Hipótesis específica.

- J Las fuerzas de corte del suelo es un factor determinante de la microzonificación sísmica de la localidad de Abancay.
- J Los periodos fundamentales del suelo son un factor determinante de la microzonificación sísmica de la localidad de Abancay.
- J El nivel de riesgo sísmico de la localidad de Abancay es de nivel medio.
- J El índice global de daño sísmico de la localidad de Abancay es de nivel medio.

2.4. Operacionalización de variables e indicadores

DEF. CONCEPTUAL	DIMENSION	INDICADOR	DEF. OPERACIONAL	VALOR FINAL
<p>MICROZONIFICACION SISMICA: La microzonificación sísmica de una ciudad es un procedimiento multidisciplinario, que involucra la realización de estudios geológicos, sismológicos, geotécnicos, de evaluación de daños sísmicos, de micro trepidaciones y de amplificación sísmica.</p>	Mano de obra	Cantidad.	<p>Realización de estudios geofísicos y geotécnicos de campo para determinar las características geotécnicas y dinámicas de las zonas de la ciudad de Abancay, para tal fin se utiliza la técnica de medición de microtemblores para estimar los periodos fundamentales del terreno.</p>	Horas Hombre.
		Experiencia.		Alto - Medio – Bajo.
		Categoría.		Alto - Medio – Bajo.
	Equipos	Tipo de equipo.		Alto - Medio – Bajo.
		Acelerogramas.		Alto - Medio – Bajo.
	Procesamiento	Aceleración pico del suelo (PGA).		Metros/Segundo.
		Fuerzas de corte del suelo.		Metros/Segundo
		Estratigrafía del suelo.		Roca Dura - Roca Blanda - Suelo Muy Denso - Suelo Rígido- Suelo Blando.
		Sismicidad.		Periodo fundamental del suelo.

2.5. Definición de términos básicos

2.5.1. Ensayo 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, estas son 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” (Rivera Zeta, Piedra Rubio, & Paripanca García, 2016). El método MASW, permite obtener perfiles de ondas S hasta profundidades promedio de 30 m a 70 m.

2.5.2. Microzonificación sísmica.

La microzonificación sísmica según Kelly consiste en establecer zonas de suelos con comportamiento similar durante un sismo, de manera que puedan definirse allí, recomendaciones precisas para el diseño y construcción de edificaciones sismo resistentes. Para cada una de las zonas, además de especificarse la fuerza sísmica posible, deben identificarse los tipos de fenómenos asociados que pueden desencadenarse a raíz del sismo, como son los deslizamientos, la ampliación exagerada del movimiento o la posibilidad de la licuación del suelo. La definición de estas zonas se hace con base en criterios tipográficos, estratigráficos, espesores y rigidez relativa de los materiales, entre otras características de los suelos (Kelly, 2016, pág. 1).

2.5.3. Sismo.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), se define al proceso de generación y liberación de energía para posteriormente propagarse en forma de ondas por el interior de la tierra. Al llegar a la superficie, estas ondas son registradas por las estaciones sísmicas y percibidas por la población y por las estructuras.

2.5.4. Microtremor.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), Nombre con el que se designa a los movimientos oscilatorios natural de la superficie terrestre producidos por una gran variedad de agentes naturales y artificiales como el viento, tránsito de vehículos y personas.

2.5.5. Falla geológica.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), considera a la superficie de contacto entre dos bloques de roca que se desplazan o han sido desplazados en el pasado en forma diferencial uno con respecto al otro y que en el momento de formación estaban unidos. Se pueden extender espacialmente por varios cientos de km y en forma temporal por varios millones de años. Desde el punto de vista geológico, una falla activa es aquella en la cual ha ocurrido desplazamiento en los últimos 2 millones de años; mientras que, desde el punto de vista sísmico se considera activas si ellas producen sismos sin importar su magnitud.

2.5.6. Intensidad.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), refiere a la medida de los efectos producidos por un sismo en personas, animales, estructuras y terreno en un lugar particular. Los valores de intensidad se denotan con números romanos en la escala de intensidades de Mercalli modificada (Wood y Neumann, 1931) que clasifica los efectos sísmicos con doce niveles ascendentes en la severidad del sacudimiento. La intensidad no sólo depende de la fuerza del sismo (magnitud) sino que también de la distancia epicentral, la geología local, la naturaleza del terreno y el tipo de construcciones del lugar.

2.5.7. Escala de magnitud.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), representa a la escala que mide el total de la energía liberada en el foco sísmico y originalmente corresponde a la escala de Richter, propuesta por el autor en el año 1935. Es una escala logarítmica, lo que hace que los niveles asignados no tengan un comportamiento lineal y permiten medir sismos muy pequeños hasta los que alcanzarían valores en magnitud del orden de 6.5 ML (llamada también escala de magnitud local, de ahí sus siglas "ML"). En la actualidad la escala de magnitud más acertada y más utilizada es la escala de magnitud de momento (M_w) en razón que permite medir sin restricción sismos pequeños y grandes como el ocurrido en Japón en el año 2011.

2.5.8. Fuentes sismogenéticas.

Según (D. Muñoz, 2004), se denominan fuentes sismogénéticas aquellas zonas en las que se puede considerar que los terremotos presentan características comunes y, por tanto, se pueden asociar a una única estructura geológica. Su conocimiento es fundamental en los estudios de sismicidad y por tanto en la valoración del riesgo sísmico, y para definir las se requiere toda la información sísmica y geotectónica existente. La herramienta más importante para establecer los límites de las zonas sismogénéticas son los mapas de localización de los terremotos (pág. 203).

2.5.9. Módulo de Young.

El módulo de elasticidad o módulo de Young es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza. Para un material elástico lineal e isótropo, el módulo de Young tiene el mismo valor para una tracción que para una compresión, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico, y es siempre mayor que cero: si se tracciona una barra, aumenta de longitud, no disminuye. Este comportamiento fue observado y estudiado por el científico inglés Thomas Young. Tanto el módulo de Young como el límite elástico son distintos para los diversos materiales (Geoinstruments international S.A.C., 2013, pág. 8).

2.5.10. Módulo de poisson.

Nombrado en honor a Simeon Poisson, “es una constante elástica que proporciona una medida del estrechamiento de sección de una partícula de material elástico lineal e isótropo cuando se estira longitudinalmente y se adelgaza en las direcciones perpendiculares a la de estiramiento” (Geoinstruments international S.A.C., 2013).

2.5.11. Sensores sísmicos (geófonos).

Según (contreras G., 2015), un sensor sísmico es un instrumento para medir el movimiento del suelo cuando su estabilidad ha sido perturbada. El sensor sísmico (sismómetro o geófono) debe suministrar una variable física cinemática relacionada con el movimiento del suelo (desplazamiento, velocidad o aceleración).

2.5.12. Ondas de cuerpo.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), se les llama así a las ondas que se propagan a través del interior de la tierra, sean en medios sólidos, líquidos o gaseosos. En sismología definen a las ondas P y S, conocidas como ondas primarias (P) de mayor velocidad que las ondas secundarias (S).

2.5.13. Onda de Love.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), son ondas llamadas superficiales y tienen un movimiento horizontal y perpendicular a la dirección de propagación, son transversales o de corte a la dirección de

propagación. Reciben el nombre de ondas love en honor a Augustus Edward Hough Love, mejor conocido como A. E. H. Love, matemático y geofísico del reino unido.

2.5.14. Ondas P.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), las ondas P o primarias son ondas longitudinales; es decir, que el medio por el cual se propagan es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación. Estas ondas viajan a una velocidad mayor que la velocidad de las ondas S y pueden hacerlo a través de cualquier tipo de material. La naturaleza del movimiento de sus partículas en el medio de propagación hace que estas se desplacen más rápido que otro tipo de ondas.

2.5.15. Ondas S.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), estas ondas S son secundarias son ondas transversales o de corte; cabe mencionar que el medio en el cual se propagan es desplazado perpendicularmente a la dirección de propagación, hacia un lado y hacia el otro. Estas pueden viajar únicamente a través de sólidos, debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte. Su velocidad es alrededor del 60% la de una onda P para cualquier material sólido. La onda S tiene mayor amplitud que la P y es por ello, que, durante la ocurrencia de un sismo, causa mayor daño.

2.5.16. Ondas Rayleigh.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), corresponde a una onda superficial que se mueve en forma retrógrada y elíptica. Son ondas con velocidad muy baja y se sienten como un movimiento ondulado o rodante. Son llamadas así en memoria de lord Rayleigh, un físico inglés que predijo su existencia.

2.5.17. Aceleración básica (a_b).

Es un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno proporcionado por la Norma NCSE-02, resultante de un estudio de peligrosidad. La Norma NCSE-02 da los valores de a_b para un período de retorno de 500 años en aquellos municipios en los que supera el valor de 0,04 g y un mapa de aceleración básica del territorio español.

2.5.18. Aceleración de cálculo (a_c).

Según la definición de la Norma NCSE-02, es el producto de la aceleración básica por un coeficiente adimensional de riesgo (β , función de la probabilidad aceptable de que se exceda a_c en el período de vida para el que se proyecta la construcción), y un coeficiente de amplificación del terreno.

2.5.19. Aceleración espectral (de período t) ($S_A(t)$).

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), es la aceleración máxima de respuesta de un oscilador libre de un grado de libertad, ante un movimiento de entrada en su base y de período t . La velocidad espectral y

la aceleración espectral se pueden relacionar mediante la expresión $SA(T) \times 2f * SV(T) / T$.

2.5.20. Aceleración máxima del suelo.

Véase aceleración pico del suelo.

2.5.21. Aceleración pico del suelo (PGA).

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), valor máximo que toma la aceleración en el acelerograma. Normalmente se considera que la PGA es la aceleración espectral de período cero.

2.5.22. Árbol lógico.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), herramienta lógica que se utiliza para incorporar distintas opciones en el cálculo de la peligrosidad sísmica, asignándoles pesos que representan la verosimilitud del analista de que la opción correspondiente reproduzca el caso real. El árbol lógico se compone de nodos, que representan elementos que intervienen en el cálculo, y ramas, que representan diferentes opciones alternativas para esos elementos.

2.5.23. Desagregación.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), técnica de tratamiento de los resultados del estudio probabilista de peligrosidad sísmica utilizada para definir el terremoto de control. Consiste en determinar las contribuciones relativas a la peligrosidad de diferentes

intervalos de magnitud, distancia y otras variables, siendo el intervalo que mayor contribución presenta el que define el terremoto de control. La desagregación se puede realizar para cada variable por separado o para varias variables conjuntamente.

2.5.24. Escala EMS.

Escala Europea de Intensidad Macrosísmica (en inglés, European Macroseismic Scale). Escala MSK: Escala de Intensidad Macrosísmica de Medvedev, Sponheuer y Karnik, ampliamente utilizada en Europa, sobre todo hasta la aparición de la escala EMS.

2.5.25. Espectro de diseño.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), espectro de respuesta utilizado en diseño de estructuras.

2.5.26. Espectro de respuesta.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), es una curva que representa la aceleración máxima de un oscilador libre de período natural en respuesta a una excitación.

2.5.27. Falla.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), zona de fractura que materializa el contacto entre dos partes de una roca, o terreno en general, que han experimentado desplazamiento una respecto de la otra.

2.5.28. Falla activa.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), falla que presenta evidencias de desplazamientos en tiempos recientes (por ejemplo, en los últimos 10.000 años).

2.5.29. Forma espectral normalizada.

Curva sintética compuesta por varios tramos que, multiplicada por factores de suelo, de importancia de estructura, proporciona el espectro de respuesta especificado en diferentes normativas sismorresistentes, como la española NCSE-02 o el Eurocódigo EC8.

2.5.30. Intensidad macrosísmica.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), estos parámetro de tamaño del terremoto están basados en sus efectos sobre estructuras y el terreno.

2.5.31. Ley de atenuación.

Véase Modelo del movimiento fuerte del suelo.

2.5.32. Ley de Gutenberg-Richter.

Es una relación exponencial entre el número de terremotos N que superan una magnitud dada M y esa magnitud, de la forma $\log N = a - bM$. Los coeficientes a y b se determinan mediante ajuste por regresión de los datos.

2.5.33. Magnitud de la fase Lg (mbLg).

Parámetro de tamaño del terremoto que se basa en la amplitud y en el período del tren de ondas Lg. Es el tipo de magnitud utilizado en el catálogo del IGN.

2.5.34. Magnitud momento (Mw).

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), parámetro de tamaño del terremoto derivado del momento sísmico escalar, que se define como el producto de la superficie de ruptura en el plano de falla, el desplazamiento neto en la falla o dislocación y el coeficiente de rigidez. Es el parámetro de tamaño que mejor correlaciona con la energía liberada por el terremoto.

2.5.35. Magnitud de ondas internas (mb).

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), los parámetro a lo que se refiere en tamaño del terremoto deducido a partir de la amplitud y del período de ondas internas.

2.5.36. Magnitud de ondas superficiales (MS).

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), parámetro de tamaño del terremoto deducido a partir de la amplitud y del período de ondas superficiales.

2.5.37. Modelo del movimiento fuerte del suelo.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), o simplemente, modelo del movimiento, es una expresión matemática que da el valor del parámetro del movimiento en un emplazamiento dado en función de su distancia a la fuente y de la magnitud del sismo y, frecuentemente, en función de otras variables como el tipo de suelo, el mecanismo focal, etc. También se denomina ley de atenuación y relación de predicción del movimiento. Frecuentemente se considera que el logaritmo del parámetro del movimiento predicho con el modelo del movimiento sigue una distribución normal.

2.5.38. Modelo del terremoto característico.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), modelo de ocurrencia de terremotos donde se asume que las fallas liberan la energía sísmica fundamentalmente a través de un terremoto de tamaño máximo o característico.

2.5.39. Movimiento objeto.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), es el valor de un determinado parámetro del movimiento que se toma como base para realizar un estudio de desagregación.

2.5.40. Nivel del movimiento.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), término empleado para referirse de manera genérica al valor (o amplitud) del movimiento del suelo.

2.5.41. Parámetro alfa (α).

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), los parámetros de sismicidad están relacionados con el número acumulado de terremotos ocurridos en un área dada, derivado de la ley de Gutenberg Richter. Se deriva a partir de ley de Gutenberg-Richter, según la fórmula $r = X a * \ln(10)$.

2.5.42. Parámetro beta (β).

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), parámetro de sismicidad relacionado con la proporción entre terremotos de magnitud grande y magnitud pequeña ocurridos en un área dada. Se deriva a partir de ley de Gutenberg-Richter, según la fórmula $s = X b * \ln(10)$.

2.5.43. Parámetro épsilon (ϵ).

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), es un número que representa la cantidad de desviaciones estándar utilizadas para calcular el valor del parámetro del movimiento por medio de un modelo del movimiento del fuerte del suelo.

2.5.44. Parámetro del movimiento.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), término empleado para definir el tipo de movimiento del suelo empleado en el análisis. Los parámetros del movimiento más comunes son la aceleración pico del suelo, la aceleración espectral, la velocidad pico del suelo y la velocidad espectral.

2.5.45. Peligrosidad sísmica.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), la peligrosidad sísmica en un emplazamiento se define como la probabilidad de excedencia de un determinado nivel del movimiento del suelo a causa de los terremotos que afectan a dicho emplazamiento. Su inversa es el período de retorno.

2.5.46. Período de recurrencia.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), es el intervalo de tiempo que transcurre entre la ocurrencia de un gran terremoto y otro en el modelo del terremoto característico.

2.5.47. Período de retorno.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), esta se refiere a la inversa de la probabilidad de excedencia del movimiento del suelo.

2.5.48. Período de recurrencia.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), número medio de años que transcurren desde la ocurrencia de un terremoto de magnitud determinada hasta la ocurrencia del siguiente.

2.5.49. PGA.

Véase aceleración pico del suelo.

2.5.50. PGV.

Véase velocidad pico del suelo.

2.5.51. Probabilidad de excedencia.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), es la probabilidad de que un nivel del movimiento dado sea superado en un emplazamiento a causa de la acción de los terremotos del área de influencia.

2.5.52. Relación de predicción del movimiento.

Véase Modelo del movimiento fuerte del suelo.

2.5.53. SA().

Véase aceleración espectral.

2.5.54. SV().

Véase velocidad espectral.

2.5.55. Tasa anual de ocurrencia de terremotos (λ).

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), número de terremotos de magnitud igual o superior a una magnitud umbral (por debajo de la cual la influencia de los sismos en la peligrosidad es despreciable) que ocurren anualmente en una zona dada.

2.5.56. Terremoto característico.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), terremoto de gran magnitud que ocurre aproximadamente periódicamente que define la sismicidad de una fuente sismogénica de acuerdo con el modelo del mismo nombre.

2.5.57. Terremoto de control.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), es el terremoto que presenta mayor contribución a la peligrosidad para un nivel de movimiento objeto determinado. En estudios probabilistas, se usa la técnica de la desagregación de la peligrosidad para conocer las características de dicho terremoto (típicamente, la magnitud y la intensidad).

2.5.58. Velocidad espectral (de período T) ($SV(T)$).

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), es la velocidad máxima de respuesta de un oscilador libre de un grado de libertad, ante un movimiento de entrada en su base y de período T . La velocidad espectral y la aceleración espectral se pueden relacionar mediante la expresión $SA(T) \times 2\pi * SV(T) / T$.

2.5.59. Velocidad pico del suelo (PGV).

Valor máximo que toma la velocidad en el registro o historia temporal de velocidades.

2.5.60. Zona sismogénica.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), zona extensa que representa la proyección en superficie de un volumen de litosfera con características sismotectónicas homogéneas. Se considera que la ocurrencia de un sismo en el interior de la zona es equiprobable en el espacio.

2.5.61. Zonificación.

Según el instituto geofísico del Perú (IGP, 2012), es una división del territorio en diferentes fuentes sismogénicas (zonas o fallas) de acuerdo con criterios sísmicos, tectónicos, geomorfológicos, etc.

2.5.62. Análisis de comportamiento sísmico de suelos.

A partir de la década de 1960 ha habido avances importantes en la comprensión de los efectos de sitio en sismos. Para ello ha contribuido particularmente la información obtenida en terremotos recientes, el desarrollo y perfeccionamiento de pruebas de campo y laboratorio para medir propiedades dinámicas de suelos y las nuevas herramientas para análisis sismogeotécnico. Como son los programas SHAKE (Schnabel et al., 1972), D-MOD (Matasovic, 2006), DEEPSOIL (Hashash et al., 2011) y muchos otros. Dependiendo del grado de complejidad y la importancia de un proyecto, para analizar el comportamiento sísmico de depósitos de suelos se puede recurrir desde herramientas sencillas como son la clasificación de suelos de acuerdo con criterios o reglamentos como el IBC (2006) y el Eurocódigo 8 (2004), hasta métodos analíticos con diferentes grados de complejidad, siendo uno de los más populares el programa

SHAKE (Schnabel et al., 1972) y sus variantes, entre ellas el Proshake (1998) (Lopez, 2017, pág. 5).

) **Clasificación según IBC.**

Podemos Observar en dicha Tabla la clasificación sísmica del terreno de acuerdo con el IBC (2012), donde se manifiesta que los promedio de velocidad de onda de corte en los 30 m superficiales (VS 30). Canadá (NBCC, 2005), la comunidad europea (Euro código 8, 2004) y varios países más tienen un sistema de clasificación igual o similar.

Tipo	V_{s30} (m/s)	Descripción
A	> 1,500	Roca dura
B	760 – 1,500	Roca
C	360 – 760	Roca blanda y suelo muy denso
D	180 – 360	Suelo rígido
E	< 180	Suelo blando
F	Suelos especiales (licuables, colapsables, arcillas muy plásticas, suelos orgánicos)	

Tabla N°2.1: Clasificación sísmica de suelos (IBC 2006).

Fuente: (Lazcano, 2012).

En la Tabla N°2.1 se presenta, los valores promedio de velocidad de onda de corte en los 30 m superficiales (VS 30), la clasificación sísmica del terreno de acuerdo al IBC (2006), la profundidad inferida de la roca (estrato con VS > 720 m/s) o determinada con sondeos directos y el período fundamental de vibración del suelo (TS), que se calculó con la ecuación: $TS = 4 H / VS \text{ prom}$, donde: H: espesor del

depósito de suelos; VS prom: velocidad promedio de onda de corte en el depósito de suelos. De esta Tabla N°2.2 se tiene que en promedio en la zona estudiada VS 30 es de 352 m/s, con valores extremos de 260 y 557 m/s. El suelo es tipo D en 12 sitios, tipo C en 5 y tipo F en uno (antigua biblioteca pública), debido al potencial de licuación en la zona, debido a la presencia de arenas, arenas limosas y limos blando bajo el nivel freático que se encontró a alrededor de 2.5 m abajo de la superficie. Los períodos fundamentales de vibración del suelo varían entre 0.16 y 0.80 s, con valor promedio de 0.47 s.

Tabla N°2.2: Clasificación IBC y períodos fundamentales de los suelos en diferentes sitios.

Sitio	V _{S30} (m/s)	IBC	Prof. roca (m)	Ts (s)
1	262	D	31	0.47
2	260	F	25	0.45
3	318	D	32	0.41
4	311	D	50	0.58
5	324	D	54	0.60
6	357	D	60	0.52
7	339	D	45	0.45
8	321	D	62	0.63
9	339	D	84	0.80
10	329	D	31	0.37
11	353	D	60	0.53
12	319	D	33	0.41
13	557	C	9	0.16
14	425	C	17	0.26
15	395	C	46	0.43
16	424	C	38	0.33
17	396	C	72	0.57
18	301	D	37	0.47
Prom	351.7	D	44.2	0.469

Fuente: (Lazcano, 2012).

2.5.63. Método de evaluación de la peligrosidad.

J **Métodos deterministas**

“Los métodos deterministas se basan en la hipótesis de que la sismicidad futura de una zona será exactamente igual a la del pasado. Si no se consideran zonas sismogénicas, se estudian los efectos de cada terremoto de la región sobre el emplazamiento” (D. Muñoz, 2004, pág. 209).

Por lo tanto , se puede contrastar con infinidad de estudios de diferentes regiones los supuestos hipotéticos que derivan de los sismos si lo comparamos con antecedentes ocurridos y por ende las causas que lo generaron, sin descartarse que pueda ocurrir en el tiempo bajo los mismos factores de medición, pudiendo considerarse en menor o alto grado de sismicidad.

J **Métodos probabilistas**

“Estos métodos se basan en que, conocida la sismicidad pasada, se pueden establecer las leyes estadísticas que rigen los fenómenos sísmicos de una zona. Con estos métodos, se obtiene la probabilidad de ocurrencia de distintos niveles de intensidad de movimiento del suelo en un lugar determinado en un período de tiempo dado” (D. Muñoz, 2004, pág. 210).

J **Método de valores extremos**

Los métodos probabilistas están basados en leyes estadísticas obtenidas a partir de la información contenida en los catálogos sísmicos. Dichos catálogos no son completos para todos los terremotos contenidos en él, ya que no contiene todos los terremotos pequeños e intermedios ocurridos en épocas antiguas. Para evitar

este problema, se ha aplicado a la evaluación de la peligrosidad la teoría de valores extremos desarrollada por Gumbel en 1954. Este método:

“consiste en dividir la muestra original en n intervalos de tiempo y tomar el máximo terremoto de cada intervalo; se pasa así de la muestra original a una muestra de u valores extremos, que, si se puede considerar completa, ya que es lógico que en los catálogos sísmicos se recojan los terremotos grandes ocurridos en el pasado” (D. Muñoz, 2004).

CAPITULO III: METODOLOGIA

3.1. Tipo y nivel de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación.

En el presente trabajo es de tipo básica o sustantiva ya que no se pudieron manejar ni manipular las variables.

) **No experimentales.**

Conducentemente este trabajo es no experimental el investigador observa los fenómenos tal y como ocurren naturalmente, sin intervenir en su desarrollo.

“criterios de clasificación”. Los criterios de clasificación de la investigación pedagógica no son mutuamente excluyentes; una misma investigación puede clasificarse en distintas categorías según el criterio de clasificación que se asuma. Los tipos de investigación, en general, se trata de matices a partir de dos grandes enfoques bien definidos: Enfoque Cuantitativo, Enfoque Cualitativo (Fiallo Rodríguez J.P. y otros, 2008).

) **Enfoque cuantitativo.**

Se empleará el tipo de investigación cuantitativa, En este tipo de investigación el objetivo es establecer relaciones causales que supongan una explicación del objeto de investigación, se basa sobre muestras grandes y representativas de una población determinada, utiliza la estadística como herramienta básica para el análisis de datos. Predomina el método hipotético - deductivo.

3.1.2. Nivel de investigación.

Sánchez Carlessi H. y Reyes Meza C. (2006) manifiestan que siguiendo a Sellitz, Jahoda y otros (1965) podemos identificar tres niveles o esquemas básicos de investigación (según la profundidad y objetivo):

) Nivel exploratorio.

-) Nivel descriptivo.
-) Nivel investigación explicativa o de comprobación de hipótesis causales.

El presente trabajo es de nivel descriptivo el cual se define a continuación:

-) **Investigación descriptiva**

Tiene como objetivo la descripción de los fenómenos a investigar, tal como es y cómo se manifiesta en el momento (presente) de realizarse el estudio y utiliza la observación como método descriptivo, buscando especificar las propiedades importantes para medir y evaluar aspectos, dimensiones o componentes. Pueden ofrecer la posibilidad de predicciones, aunque rudimentarias. Se sitúa en el primer nivel de conocimiento científico. Se incluyen en esta modalidad gran variedad de estudios (estudios correlacionales, de casos, de desarrollo, etc).

3.2. Diseño de investigación.

El diseño de la investigación es esencialmente de diseño transeccional.

-) **Diseño transeccional.**

Cuando la investigación se centra en analizar cuál es el nivel o estado de una o diversas variables en un momento dado o bien en cuál es la relación entre un conjunto de variables en un punto en el tiempo, se utiliza el diseño transeccional. En este tipo de diseño se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es

describir variables y analizar su influencia e interrelación en un momento dado. Pueden abarcar varios grupos o subgrupos de personas, objetos o indicadores y se pueden dividir en 3 tipos: Transeccionales Exploratorios, Transeccionales Descriptivos y Transeccionales Correlacionales casuales.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población.

La población de estudio es el área urbana del distrito de Abancay que tiene los siguientes límites:

-) Por el lado derecho: Una línea recta imaginaria por la quebrada del Condebamba.
-) Por el lado izquierdo: Una línea recta imaginaria por la cuenta José María Arguedas.
-) Por el frente: Una línea recta imaginaria que divide el distrito de Tamburco con el distrito de Abancay por toda la av. Tamburco.
-) Por abajo: Una línea recta imaginaria por todo el sector de Patibamba Baja.

3.3.2. Muestra.

La muestra de estudio es toda el área urbana de la localidad de Abancay con 9 puntos de refracción sísmica (ver plano N°07).

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

El análisis documental se desarrolla en cinco acciones, a estar al corriente (Avilez, 2003):

- J) Buscar e inventariar los documentos existentes y disponibles.
- J) Numerar los documentos identificados.
- J) Elegir los documentos más pertinentes para los propósitos de la exploración.
- J) Estudiar en profundidad el contenido de los documentos seleccionados, para extraer elementos de estudio y consignarlos en memos o notas marginales que registren los modelos, tendencias, convergencias y contradicciones que se vayan descubriendo.
- J) Estudiar en modo cruzada y comparativa los documentos en asunto, ya no sobre el conjunto del contenido de cada uno, sino sobre los hallazgos previamente realizados, a fin de construir una síntesis comprensiva total, sobre el contexto humano analizada (pág.1).

Observación.

Según (Alfonzo, 2012), la observación puede emplearse para comprobar los resultados de una entrevista, o bien como preparativo de esta. También es otra práctica valiosa para recopilar datos que implican relaciones. La observación tiende a lograr mayor sentido al horizonte técnico del procesamiento de datos, donde las tareas se cuantifican más expeditamente. Entre estas tareas encontramos la recopilación, acumulación y transformación de los datos (pág.1).

3.4.1. Descripción de instrumentos.

Equipo de refracción sísmica, guía de análisis documental y cartilla de Observación.

3.4.2. Validación de instrumentos.

El equipamiento informático de la investigación (software y hardware) que constituyen parte de la infraestructura de ejecución de la investigación. Un ordenador personal conectado a internet para la obtención de la base de datos geográficos espaciales, así como el funcionamiento de los programas que operan dentro del entorno de sistemas de información geográfica.

a. Hardware:

- J Ordenador personal CORE I7, 1 TB, 4 GB RAM.
- J Impresora a color HP Deskjet 1125C Series.
- J Memoria USB Kingston, 8 GB.
- J Cámara Digital HP CB350, SD 4GB, 12.0 Mega pixeles.

b. Software:

- J ArcGIS 9.3.
- J AutoCAD 2014.
- J Civil 3D 2014.
- J Crisis2007 v7.2.
- J Microsoft Excel 2010.
- J Microsoft Office 2010.

3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Las técnicas de procesamiento a utilizarse son:

- J Clasificación.
- J Validación de base datos.
- J Cálculos estadísticos.
- J Tablas.
- J Gráficos.
- J Planos.
- J Mapas.

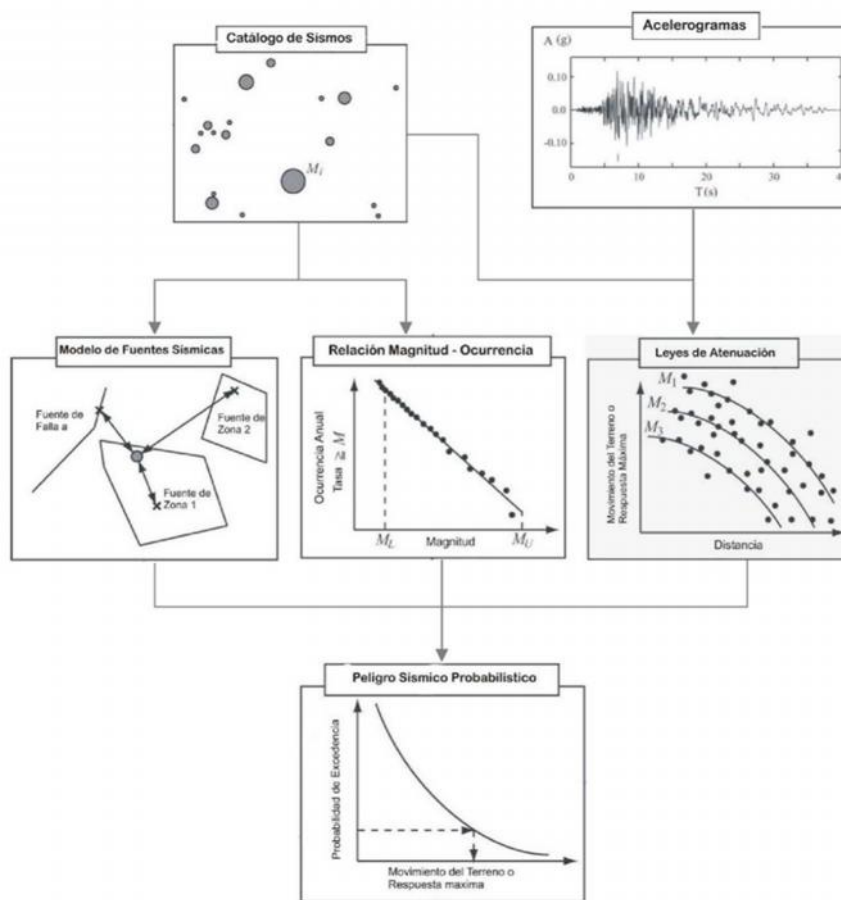
El análisis de datos se realizará mediante técnicas lógicas (inducción, deducción, análisis y síntesis), también se utilizarán técnicas estadísticas descriptivas mediante la colección, caracterización, tabulación, sumarización y presentación de datos.

CAPITULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Procesamiento de datos: Resultados

4.1.1. Análisis de riesgo sísmico en la ciudad de Abancay por el método probabilístico.

Figura N°4.1: Ilustración del procedimiento para determinar el peligro sísmico (modif. De Hong et al. 2006).



4.1.1.1. Cronología de los sismos más notables ocurridos en Abancay.

Tabla N°4.1: Listado de Sismos Localizados en la Región de Apurímac.

Período: 1500 - 2016 Magnitud 4.5 (IGP).

FECHA	HORA	LAT.	LON.	PROF.	MAGNITUDES			
					mb	ML	Ms	Mw
1650/03/31	16:10:00.0	-13.600	-72.200	70	7.4			
1744/11/19	11:30:00.0	-13.770	-72.100	20	4.8			
1861/04/13	22:30:00.0	-13.803	-73.419	20	4.5			
1875/12/06	02:30:00.0	-13.400	-72.700	20	4.9			
1925/01/05	13:45:46.0	-14.000	-73.500	200			6.5	
1950/05/21	18:37:40.0	-13.477	-72.102	15	5.6		6.0	
1957/12/15	22:18:25.0	-14.500	-73.000	200	5.2			
1960/04/01	13:18:23.0	-14.500	-73.500	100			5.9	

1962/03/12	01:52:37.0	-13.900	-72.600	91	4.6			
1963/05/17	14:11:05.0	-14.100	-73.900	94	5.1			
1964/07/01	22:49:19.5	-14.310	-73.256	84	5.3			
1965/12/19	20:10:24.8	-14.855	-73.509	94	5.0			
1969/01/12	14:12:52.7	-14.081	-72.739	93	5.1			
1969/08/01	19:32:13.8	-13.540	-72.580	47	4.5			
1969/08/30	16:06:53.9	-14.372	-73.459	88	4.8			
1970/03/02	03:30:24.9	-14.596	-73.810	82	4.5			
1971/03/21	14:31:38.7	-14.253	-72.277	87	5.3			
1971/05/23	08:58:31.9	-14.174	-72.865	87	5.3			
1971/10/15	10:33:50.3	-14.285	-73.439	80	5.7			
1973/05/30	12:39:55.1	-14.182	-72.904	83	5.1			
1973/07/29	16:15:51.8	-14.383	-72.205	92	5.5			
1973/08/11	22:08:54.1	-14.704	-72.720	90	4.5			
1973/10/25	14:49:51.8	-13.668	-72.412	99	5.0			
1975/04/12	15:33:11.7	-14.864	-72.649	98	5.9			
1975/04/19	13:13:39.5	-14.890	-72.902	99	4.7			
1976/02/09	09:39:08.6	-14.934	-73.753	109	4.6			
1976/05/06	13:00:49.7	-14.725	-72.232	103	4.7			
1977/01/19	16:09:26.9	-14.208	-72.920	98	5.0			
1978/12/26	18:16:47.1	-14.417	-73.880	95	4.5			
1980/01/16	15:49:16.7	-14.557	-73.376	95	5.7		6.1	
1980/06/03	19:17:40.0	-13.355	-72.487	19	4.9			
1980/12/17	09:44:14.2	-14.849	-72.393	99	4.8			
1981/03/21	11:45:27.4	-14.655	-73.474	91	4.9			
1981/04/20	14:30:43.5	-14.758	-73.946	93	4.6			
1982/10/16	00:12:45.0	-14.160	-73.000	87	4.9			
1983/09/24	06:05:10.0	-14.130	-72.720	112	4.6			
1983/12/20	11:37:15.6	-14.380	-73.670	94	4.7			
1985/03/07	21:08:15.8	-14.110	-73.150	134	5.5	5.5		
1985/07/25	05:16:00.3	-14.590	-73.840	128	4.6	4.6		
1986/01/22	07:31:13.2	-13.580	-73.300	54	4.5			
1986/04/05	20:13:28.0	-13.510	-72.030	7	5.3	5.2		
1986/07/22	18:20:11.1	-14.200	-73.880	86		4.6		
1986/09/11	23:30:16.4	-13.510	-73.660	52		4.8		
1986/11/25	05:35:14.5	-14.890	-73.820	52		4.5		
1986/11/29	09:52:51.0	-14.150	-72.620	79		4.5		
1987/02/08	19:06:31.6	-14.730	-72.830	105	4.8	4.7		
1987/07/05	04:53:43.4	-14.420	-73.790	28	5.0	4.8		
1989/11/11	15:04:47.7	-14.320	-72.010	108	5.2	5.2		
1989/12/18	04:42:33.7	-14.820	-73.640	77		4.9		
1990/04/09	07:22:33.4	-13.540	-72.730	40		4.8		
1990/11/18	13:13:47.3	-14.740	-72.950	75		4.5		
1991/07/06	12:19:45.9	-13.420	-72.470	110				7.0
1991/07/29	13:52:29.6	-14.290	-73.330	96	5.5	5.5		

1991/08/03	23:02:40.7	-14.930	-72.080	113		4.6		
1992/02/21	04:52:27.0	-14.240	-73.930	21	4.5	4.5		
1992/11/04	21:35:55.8	-14.920	-72.770	113		4.7		
1992/11/09	22:41:15.8	-14.350	-72.860	18		4.7		
1992/12/14	12:49:49.1	-14.710	-72.470	34	4.7	4.8		
1994/06/16	11:28:07.5	-14.720	-73.430	165	4.6	4.6		
1994/06/26	08:55:33.2	-14.750	-73.380	44		4.6		
1995/05/06	12:17:59.1	-14.290	-73.830	14		4.5		
1995/06/09	19:14:10.8	-14.930	-72.500	98		4.5		
1996/02/08	13:44:35.6	-14.013	-72.820	92	4.6	4.5		
1996/11/26	21:30:05.1	-13.350	-73.873	146	4.5			
1997/02/16	18:54:03.1	-14.775	-73.447	127	4.7	4.6		
1997/05/27	23:02:36.6	-14.316	-73.033	96	4.5	4.5		
1997/07/27	17:10:11.8	-14.223	-73.700	134		5.0		5.2
1998/01/13	17:01:37.3	-14.107	-73.923	43		4.9		5.3
1998/05/27	23:43:01.2	-13.955	-72.921	100		5.1		5.3
1998/09/12	10:58:04.9	-14.314	-72.850	85		5.2		5.6
1999/05/19	03:33:51.8	-14.825	-73.948	118		4.5		
1999/07/06	15:44:32.3	-14.197	-73.057	126		4.5		
1999/11/27	02:31:52.6	-14.620	-72.104	132		5.5		5.9
1999/12/26	18:37:20.9	-14.296	-72.942	98	4.9	4.8		5.1
2000/10/17	21:08:03.1	-14.802	-72.528	26		4.6		
2001/08/09	02:06:59.6	-14.450	-72.827	46	5.5	5.4		5.8
2001/08/10	17:39:45.0	-14.611	-73.069	12	5.0	5.1		5.4
2002/01/30	06:10:50.0	-14.259	-72.786	88	4.6			
2002/10/15	23:50:29.4	-14.287	-73.074	93		5.0		5.3
2003/05/25	18:54:07.4	-13.518	-72.004	79	4.5	4.6		
2003/06/10	08:07:43.5	-14.186	-72.391	84	4.5	4.6		
2004/01/02	14:49:09.9	-14.688	-72.444	112	4.5			
2004/03/26	11:57:46.8	-14.654	-72.754	32	4.7	4.7		
2005/10/18	08:42:18.3	-14.364	-73.243	93	5.0	4.9		5.0
2005/11/20	15:32:33.0	-14.236	-73.519	108	4.8	4.8		
2006/06/17	09:54:02.1	-14.477	-73.788	57	4.7	4.8		
2006/12/24	04:28:12.7	-14.728	-73.080	154	4.5			
2007/01/26	10:02:47.4	-14.453	-72.557	71	4.5			
2007/05/02	15:36:17.5	-14.194	-72.998	96	4.7			
2008/01/31	19:02:52.4	-14.254	-73.910	115	4.6			
2008/05/25	13:47:16.6	-14.338	-73.052	149	4.6	4.5		
2008/08/06	22:03:09.3	-14.226	-73.314	107	4.9	4.7		
2008/08/20	17:59:41.3	-14.861	-73.216	107	4.7	4.7		
2009/06/02	21:37:03.2	-14.752	-73.708	85		4.7		4.9
2009/06/20	04:00:19.2	-14.448	-72.903	79	4.8	4.8		
2010/02/28	04:31:53.4	-14.409	-73.653	63		4.5		
2010/08/10	04:52:40.2	-14.073	-73.086	60	5.0	4.9		
2010/08/11	21:36:20.5	-14.304	-73.327	102	4.8	4.8		

2010/11/24	22:08:28.7	-14.856	-72.003	8	5.0	5.0		
2011/04/26	16:07:09.5	-14.822	-72.545	110	4.6			
2011/11/22	23:02:11.4	-14.282	-72.977	125	4.9	4.6		
2011/11/30	03:23:01.4	-14.543	-73.694	127	5.0	5.0		
2012/01/11	18:58:33.8	-14.873	-72.988	123	4.9	4.7		
2012/04/19	23:02:43.9	-14.940	-72.008	146	4.9	4.6		
2012/07/16	03:33:38.3	-13.431	-72.839	18		4.5		
2012/09/20	06:08:04.1	-14.054	-73.064	115	4.9	4.6		
2013/05/21	23:02:41.0	-13.834	-72.630	127		5.7	5.8	
2013/05/21	23:02:42.6	-13.874	-72.703	107		5.7		
2013/07/06	02:02:51.2	-14.874	-72.052	6		4.6		
2014/01/23	15:41:21.2	-14.219	-73.582	120	4.6	4.5		
2014/07/17	11:43:19.4	-14.360	-73.756	91		4.5		
2014/08/24	23:21:42.8	-14.697	-73.745	108		6.6	6.9	
2014/08/27	02:41:53.4	-14.781	-73.858	113		4.5		
2015/03/15	00:21:47.5	-14.635	-73.716	109	4.6	4.5		
2015/04/26	21:10:31.9	-14.248	-73.701	101	4.6			
2015/12/25	05:32:59.7	-14.914	-73.610	110		4.6		
2016/01/19	02:04:31.9	-14.049	-73.014	115	4.8	5.3		
2016/01/19	22:12:43.6	-14.588	-73.589	112	4.7			
2016/03/03	06:31:53.5	-14.706	-73.854	105	4.5	4.5		
2016/05/16	00:51:08.1	-13.711	-73.102	16	4.5			
2016/11/10	17:43:15.8	-14.885	-73.684	108	4.9	4.7		

Fuente: Instituto geofísico del Perú - Dirección de sismología.

Tabla N°4.2: Sismos más notables ocurridos en Abancay.

Fuente: Recopilaciones.

FECHA	DESCRIPCION
1846	En el pueblo de Huancarama al oeste de Abancay, quedo asolado por un sismo, no tiene noticias de la fecha que ocurrió
1875	Fuerte sismo en Abancay a las 31:30 produciendo averías en muchas edificaciones con 27 réplicas hasta las 6:00 am del día siguiente, fue percibido en forma notoria en Curahuasi
1876	De grado 4 MM No se tiene noticias
1905	Terremoto ocasionado en Huancarama, al SW de Abancay, cuyo pueblo quedo desolado a consecuencia de este fenómeno
1925	De grado 6 MM sismo de gran intensidad ocasionando daños
20/09/2012	<p>Un sismo de 4,3 grados se registró esta madrugada en la ciudad de Abancay sin registrar heridos, ni daños materiales de consideración.</p> <p>Según reportó el Instituto Geofísico del Perú (IGP), el temblor se localizó a 67 kilómetros al suroeste de Abancay a la 1:08 a.m.</p> <p>El movimiento telúrico tuvo una profundidad de 100 kilómetros por lo que no fue advertido por la población ni causó daños materiales.</p>
21/05/2013	<p>Un sismo de 5.7 grados en la escala de Richter se registró esta tarde en la región Apurímac, informó el Instituto Geofísico del Perú (IGP).</p> <p>El epicentro del movimiento telúrico, que ocurrió a las 6:02 p.m., se ubicó a 32 kilómetros al sureste de Abancay, a una profundidad de 90 kilómetros.</p> <p>Hasta el momento, las autoridades locales de Defensa Civil no han reportado daños personales ni materiales. Pobladores de Lima, Ica y Cusco también sintieron el temblor.</p>
16/05/2016	<p>De acuerdo con el informe del IGP, el epicentro de este movimiento telúrico se ubicó a 22 kilómetros al suroeste de Abancay y a 20 kilómetros de profundidad.</p> <p>Hasta el momento, las autoridades locales y del Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci) no han reportado daños personales o materiales a causa de este sismo, que tuvo intensidad de nivel II y III en Abancay.</p> <p>En casos de un sismo, las autoridades de Defensa Civil recomiendan actuar con calma y tener identificadas las zonas seguras dentro y fuera del hogar, a fin de evitar daños personales que lamentar.</p>
19/09/2017	<p>El sismo alcanzó una magnitud de 3.4 grados y el epicentro tuvo una profundidad de 7 kilómetros.</p> <p>El temblor alcanzó una intensidad II en la zona de Pampamarca y fue percibido levemente por la población.</p>
08/04/2018	<p>Un sismo de magnitud 4,6 se registró esta mañana a 21 kilómetros al oeste del distrito de Chuquibambilla, provincia de Grau, en la región Apurímac, informó el Instituto Geofísico del Perú (IGP).</p> <p>El movimiento telúrico se produjo a las 09:24 horas y tuvo una profundidad de 139 kilómetros.</p> <p>Antes, a las 08:56 horas, un temblor de 3.7 de magnitud ocurrió a 105 kilómetros al suroeste de la provincia de Paita, región Piura, con una profundidad de 40 kilómetros.</p>

4.1.1.2. Evaluación de fuentes sismogénicas.

La distribución espacial de la actividad sísmica y las características neotectónicas en el Perú, han permitido definir 20 fuentes sismogénicas con características sismotectónicas particulares. Se presentan estas fuentes como áreas, ya que no existen suficientes datos como para modelar las fallas como fuentes lineales” (Alva Hurtado & Esca, 2005). El hecho que la actividad sísmica en el Perú es el resultado de la interacción de las placas Sudamericana y de Nazca y el proceso de reajuste tectónico del Aparato Andino, nos permite agrupar a las fuentes en:

a. Fuentes de subducción y fuentes continentales.

Las Fuentes de subducción modelan la interacción de las placas sudamericana y de Nazca.

Las fuentes 1, 2, 3, 4 y 5 están ubicadas a lo largo de la costa y representan la sismicidad superficial en la zona de Benioff (0-70 Km).

Las Fuentes 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19 representan la sismicidad intermedia (71 a 300 Km).

La Fuente 20 representa la sismicidad profunda en la superficie de Benioff (500 a 700 Km).

Las Fuentes Continentales 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 están relacionadas con la actividad sísmica superficial andina (Alva Hurtado & Esca, 2005).

Las fuentes ubicadas en la zona norte, frontera con el Ecuador y en el sur, frontera con Chile, fueron definidas considerando las fuentes propuestas por Bonilla y Ruiz (1992) y Aiquel (1990), respectivamente.

4.1.1.3. Determinación de los parámetros sismológicos.

Cada una de las fuentes sismogénicas tiene características propias definidas por sus parámetros sismológicos: magnitud mínima de homogeneidad (M_{min}), pendiente de la distribución Gutenberg-Richter (b), tasa media anual de actividad sísmica (m) y magnitud máxima (M_{max}). Las escalas de magnitud más utilizadas son m_b y M_s . Dependiendo de la escala utilizada, los sismos muestran valores asintóticos a partir de una cierta magnitud (Idriss, 1985). Para evitar este problema de saturación de la magnitud se utilizará la magnitud M definida como $\max \{m_b, M_s\}$.

Para determinar la sismicidad de cada zona sismogénica se utiliza la expresión de Gutenberg y Richter:

$$\log N = a - bM$$

Donde:

-) N = Número acumulativo de sismos de magnitud M o mayor por unidad de tiempo.
-) a, b = Parámetros que dependen de la sismicidad de la zona.

La expresión anterior se puede escribir como:

$$N = 10^a * e^{-bM}$$

Donde:

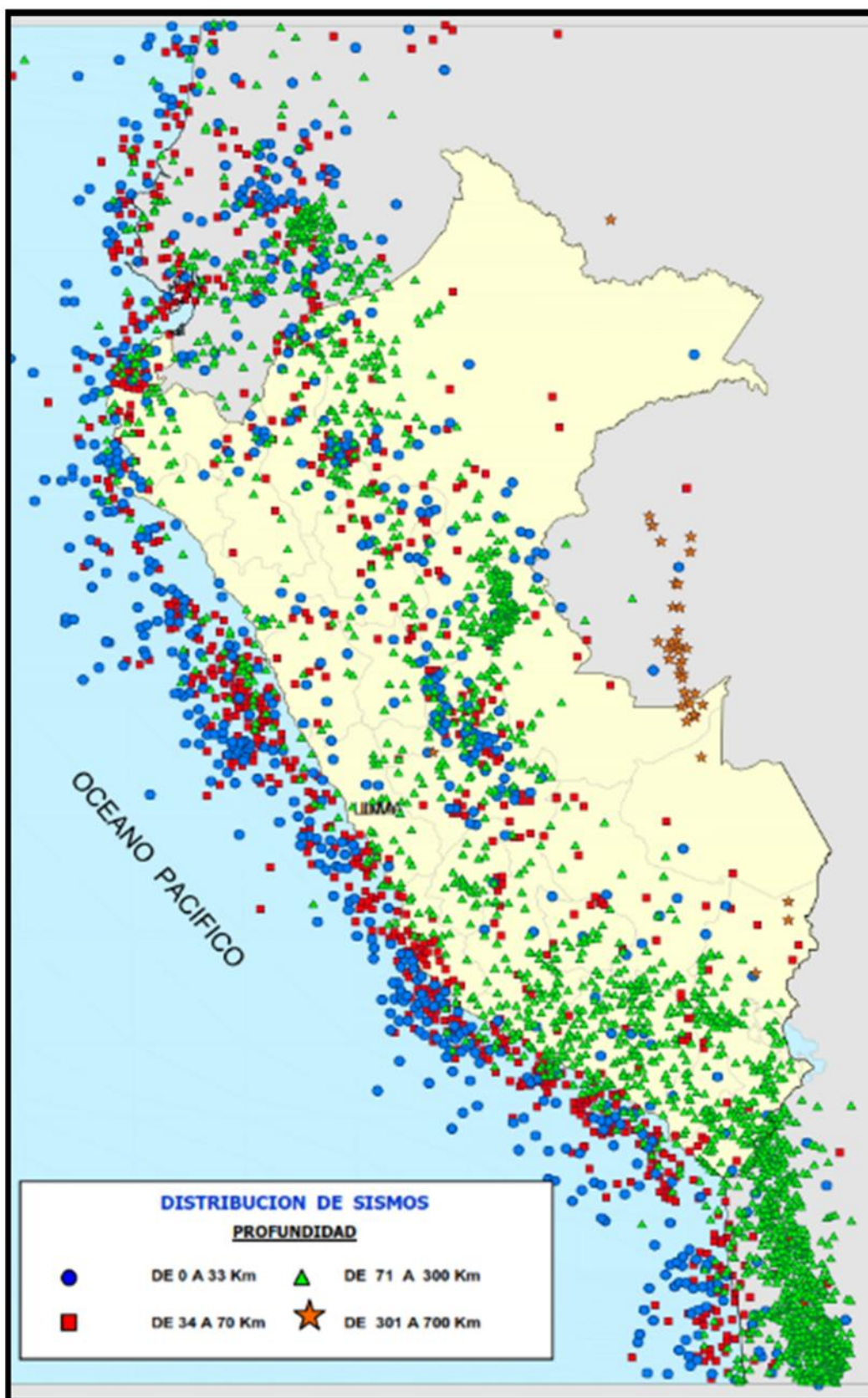
$$b = \frac{1}{\Delta M} \ln 10$$

Para determinar los valores de a y b se utilizó el método de la máxima verosimilitud que ajusta la recta al valor medio de los datos sobre la magnitud mínima de homogeneidad, incluida la máxima magnitud observada, normalizando el aporte que hacen los sismos de diferentes magnitudes. Esto hace que el valor de b refleje de mejor forma las características de la región (Bonilla y Ruiz, 1992).

La tasa μ es la tasa media anual de ocurrencia de eventos mayores o iguales que la magnitud mínima de homogeneidad. Para determinar la tasa μ se utiliza una variación del diagrama de Gutenberg y Richter, que consiste en dibujar un número acumulativo de eventos mayores a una determinada magnitud versus el tiempo. De estos gráficos se puede determinar la magnitud mínima de homogeneidad (M_{min}) y la tasa μ . La magnitud mínima de homogeneidad corresponderá al gráfico cuyo diagrama acumulativo versus tiempo muestre un comportamiento lineal y monotónicamente creciente, mostrando que a partir de esa magnitud el catálogo es homogéneo y completo. La tasa μ es la pendiente de la curva acumulativa de eventos mayores o iguales a M_{min} versus el tiempo. M_{max} es la magnitud máxima probable que puede ser liberada como energía sísmica (McGuire, 1976). Para determinar esta magnitud se utiliza el criterio de que el más grande evento que ha ocurrido en la fuente en el pasado, es el máximo sismo que se espera en el futuro. En la Tabla se presentan los parámetros sismológicos de las veinte fuentes sismogénicas. Para determinar las profundidades representativas de los

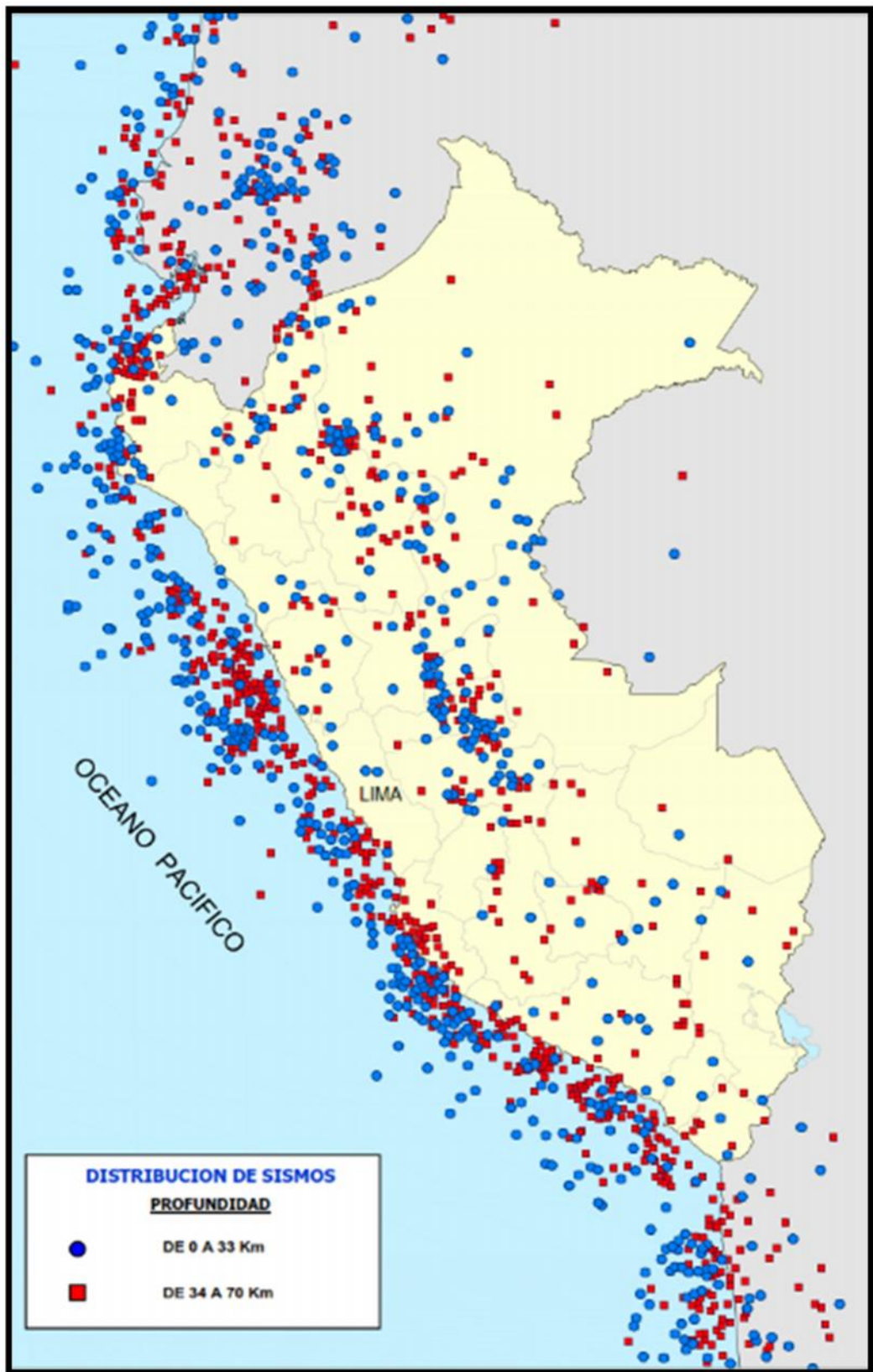
hipocentros en las zonas sismogénicas se realizó un análisis estadístico de cálculo de frecuencias de sismos versus profundidad.

Figura N°4.2: Mapa de distribución de hipocentros (castillo 1993).



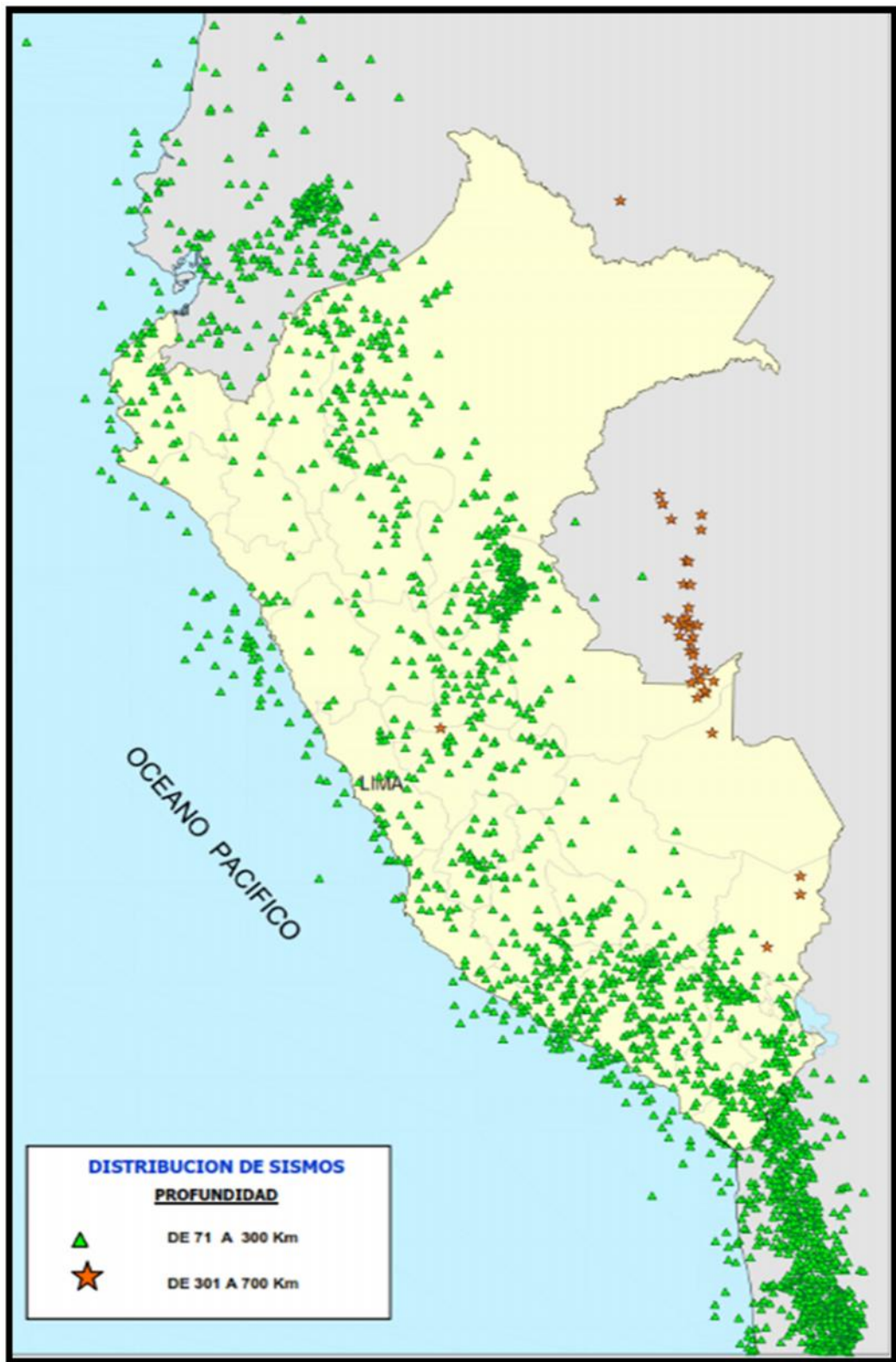
Fuente: XIX simposio internacional "últimos avances en la ingeniería sísmica y gestión del riesgo de los desastres". Actualización de los parámetros sísmológicos en la evaluación del peligro sísmico en el Perú.

Figura N°4.3: Sismicidad superficial 0-70km (castillo 1993).



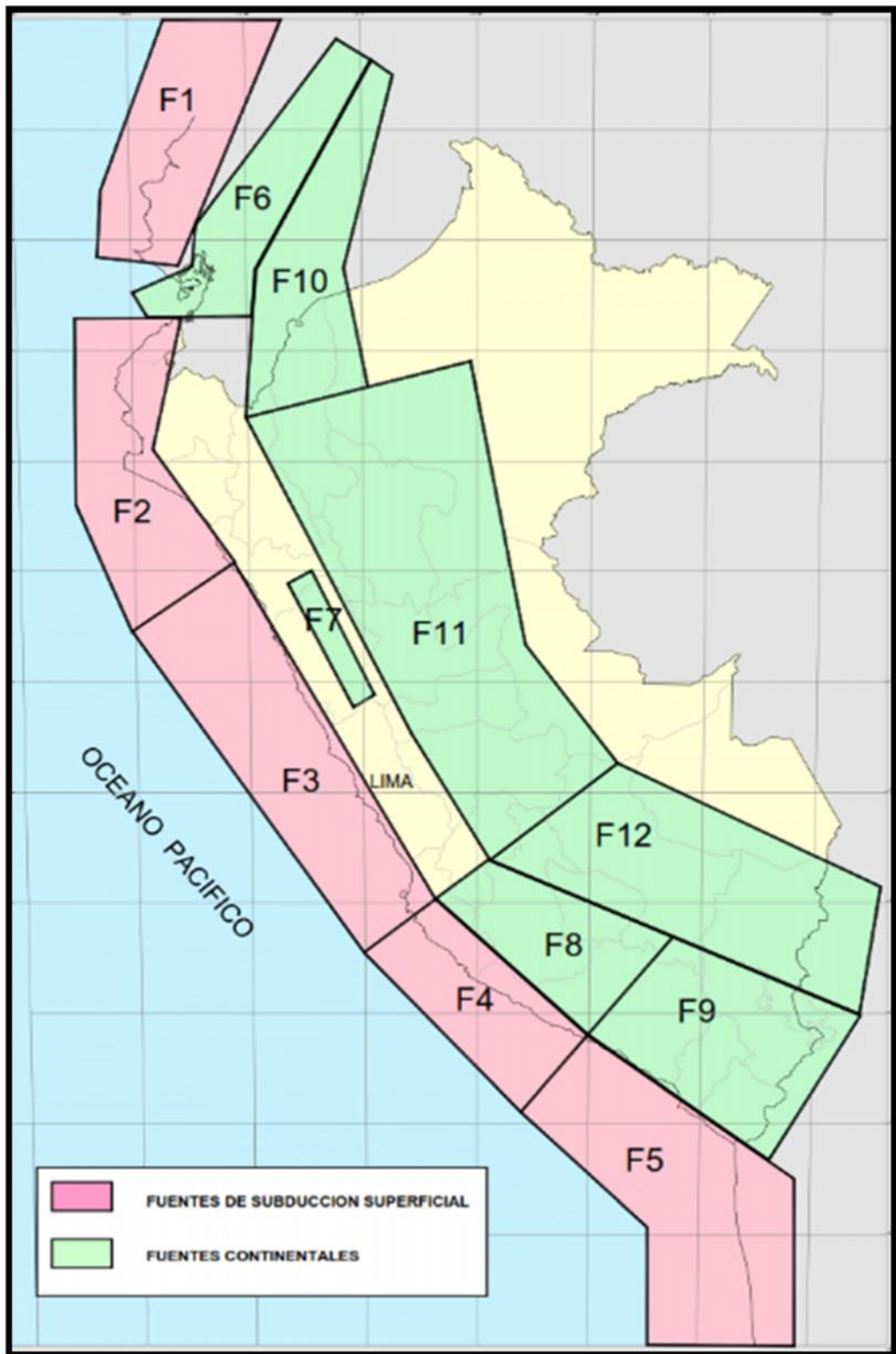
Fuente: XIX simposio internacional "últimos avances en la ingeniería sísmica y gestión del riesgo de los desastres". Actualización de los parámetros sísmológicos en la evaluación del peligro sísmico en el Perú.

Figura N°4.4: Sismicidad intermedia 71-300km y sismicidad profunda 301-700km (castillo 1993).



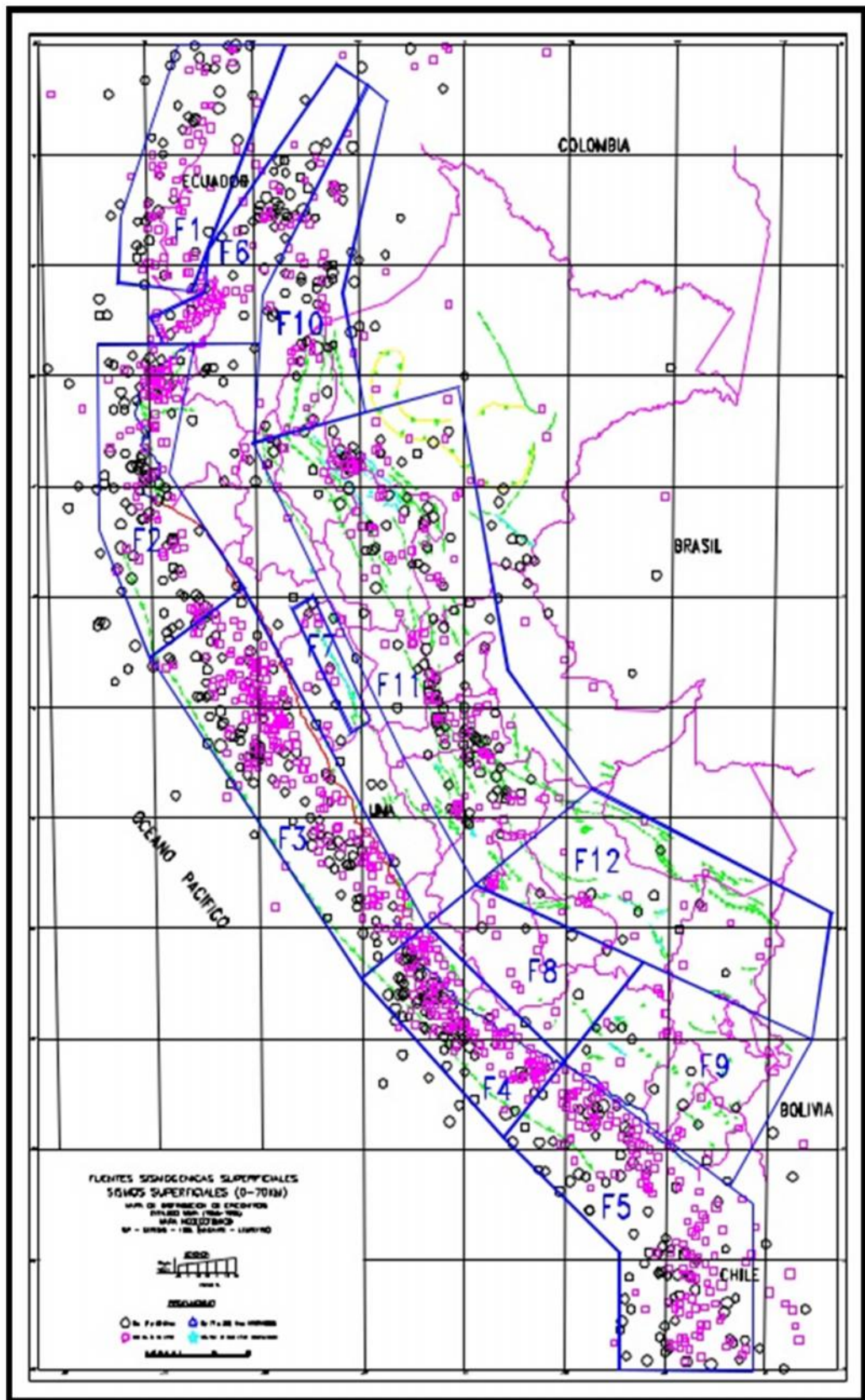
Fuente: XIX simposio internacional "últimos avances en la ingeniería sísmica y gestión del riesgo de los desastres". Actualización de los parámetros sismológicos en la evaluación del peligro sísmico en el Perú.

Figura N°4.5: Fuentes sísmogénicas de subducción superficiales y continentales (castillo 1993).



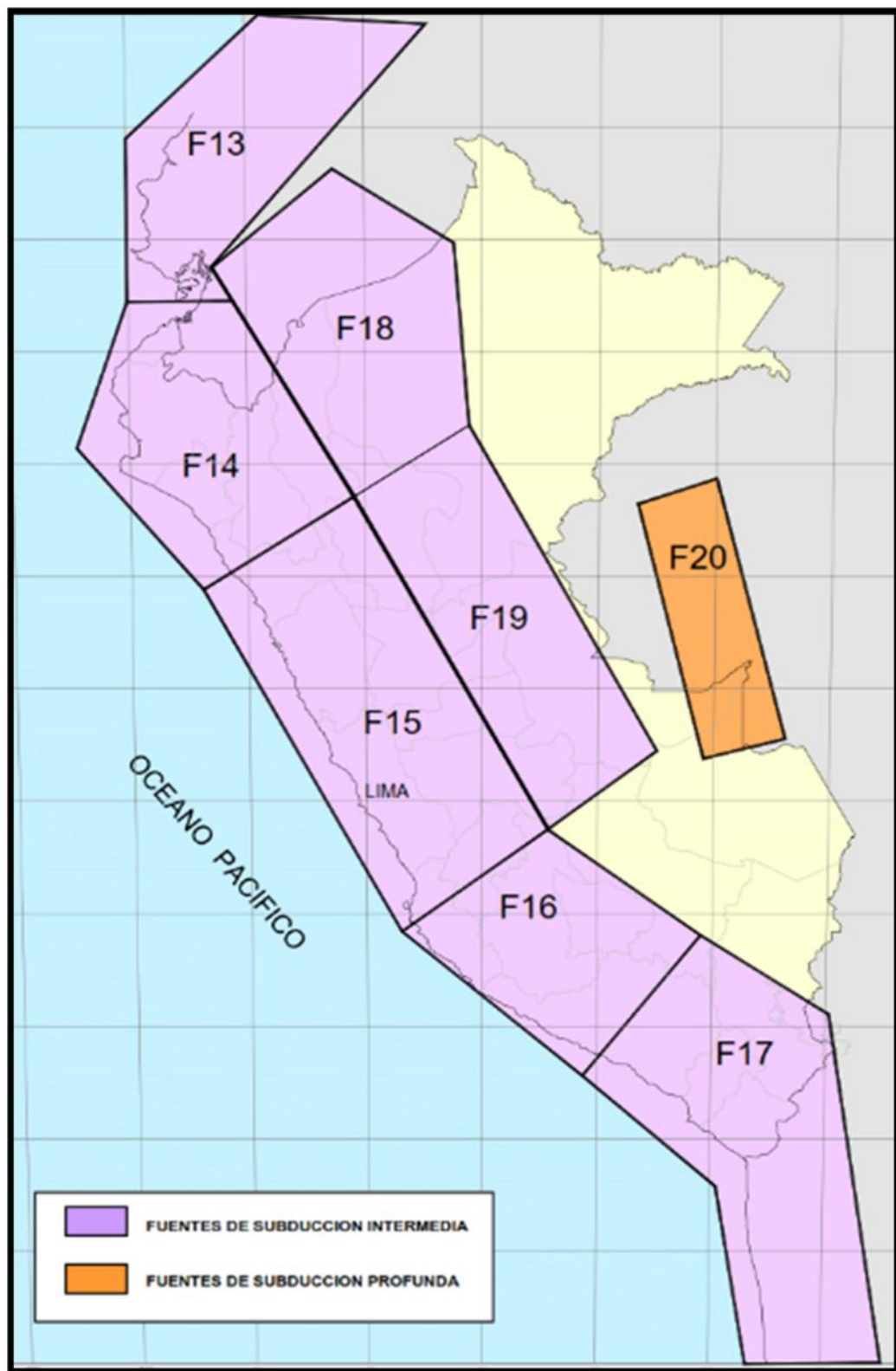
Fuente: XIX simposio internacional "últimos avances en la ingeniería sísmica y gestión del riesgo de los desastres". Actualización de los parámetros sísmológicos en la evaluación del peligro sísmico en el Perú.

Figura N°4.6: Fuentes sismogénicas superficiales.



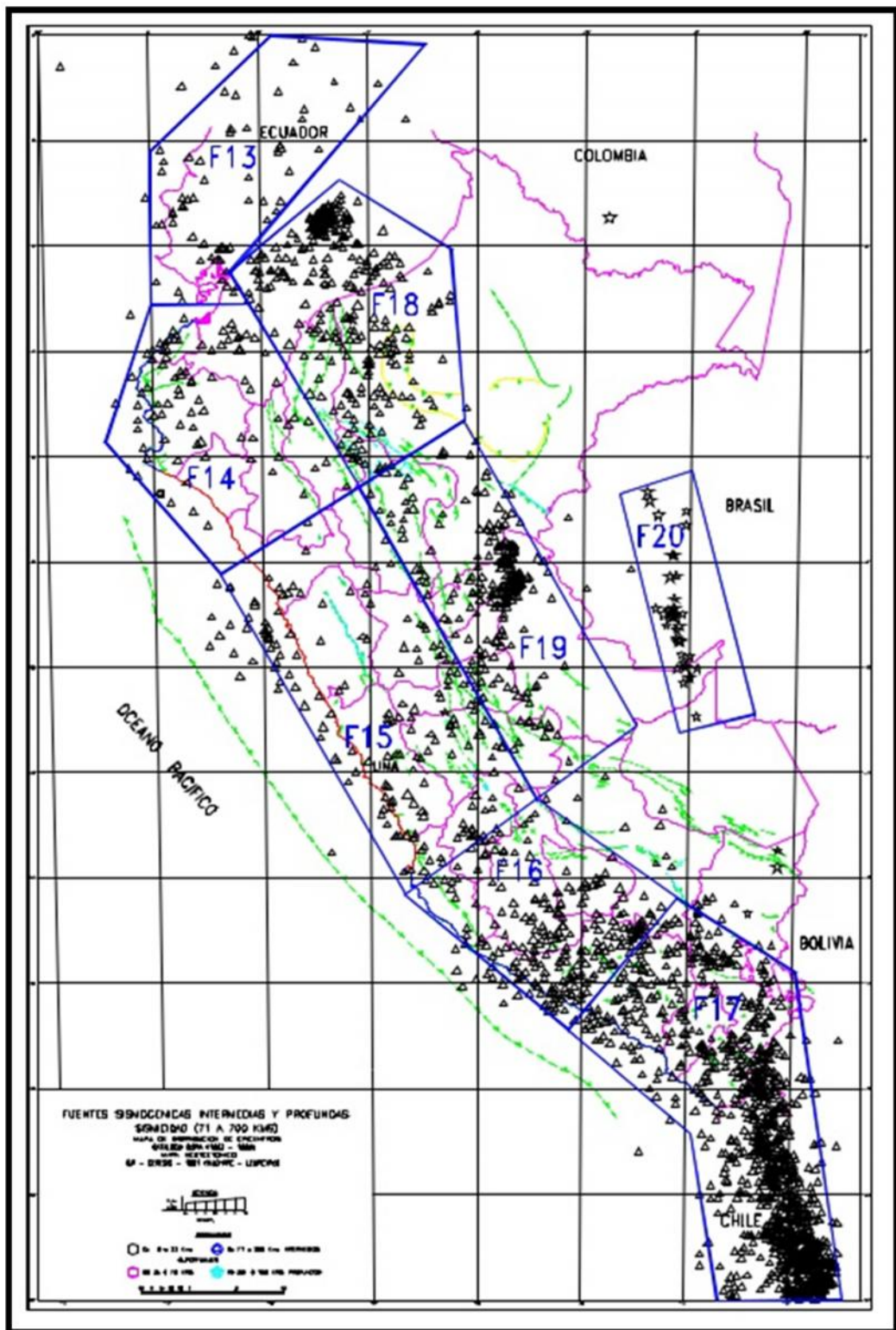
Fuente: XIX simposio internacional "últimos avances en la ingeniería sísmica y gestión del riesgo de los desastres". Actualización de los parámetros sismológicos en la evaluación del peligro sísmico en el Perú.

Figura N°4.7: Fuentes sísmogénicas de subducción superficiales y continentales (castillo 1993).



Fuente: XIX simposio internacional "últimos avances en la ingeniería sísmica y gestión del riesgo de los desastres". Actualización de los parámetros sísmológicos en la evaluación del peligro sísmico en el Perú.

Figura N°4.8: Fuentes sismogénicas intermedia profunda.



Fuente: XIX simposio internacional "últimos avances en la ingeniería sísmica y gestión del riesgo de los desastres". Actualización de los parámetros sísmológicos en la evaluación del peligro sísmico en el Perú.

Figura N°4.9: Coordenadas geográficas de las fuentes de subducción superficial y de las fuentes continentales.

FUENTES	COORDENADAS GEOGRÁFICAS (°)			
FUENTE 1	-80.29	+02.00	-78.32	+02.00
	-81.39	-00.97	-79.65	-01.21
	-81.52	-02.39	-80.19	-02.50
FUENTE 2	-82.00	-03.39	-80.17	-03.45
	-82.00	-06.83	-80.67	-05.42
	-81.17	-09.00	-79.27	-07.90
FUENTE 3	-81.17	-09.00	-79.27	-07.90
	-77.00	-14.80	-75.84	-13.87
FUENTE 4	-77.00	-14.80	-75.84	-13.87
	-74.16	-17.87	-73.00	-16.53
FUENTE 5	-74.16	-17.87	-73.00	-16.53
	-71.85	-19.87	-69.21	-19.00
	-71.85	-22.00	-69.21	-22.00
FUENTE 6	-77.50	+01.58	-76.92	+01.19
	-79.83	-01.65	-78.90	-02.53
	-79.96	-02.46	-78.97	-03.43
	-80.92	-02.96	-80.79	-03.44
FUENTE 7	-78.28	-08.20	-77.86	-08.07
	-77.21	-10.47	-76.83	-10.23
FUENTE 8	-75.84	-13.87	-74.76	-13.13
	-73.00	-16.53	-71.41	-14.67
FUENTE 9	-73.00	-16.53	-71.41	-14.67
	-69.71	-18.67	-68.12	-16.13
FUENTE 10	-76.92	+01.19	-76.50	+ 01.00
	-78.90	-02.53	-77.35	-02.40
	-79.10	-05.20	-77.00	-04.77
FUENTE 11	-79.10	-05.20	-75.10	-04.33
	-76.34	-10.67	-74.17	-09.33
	-74.76	-13.13	-72.48	-11.40
FUENTE 12	-74.76	-13.13	-72.48	-11.40
	-68.12	-16.13	-67.76	-13.80

Fuente: XIX simposio internacional "últimos avances en la ingeniería sísmica y gestión del riesgo de los desastres". Actualización de los parámetros sísmológicos en la evaluación del peligro sísmico en el Perú.

Figura N°4.10: Coordenadas geográficas de las fuentes de subducción intermedias y profundas.

FUENTES	COORDENADAS GEOGRÁFICAS (°)			
FUENTE 13	-78.73 -81.00 -81.00	+02.00 -00.67 -03.07	-76.00 -79.59 -79.20	+01.82 -02.55 -03.07
FUENTE 14	-81.00 -81.93 -79.80	-03.07 -05.73 -08.13	-79.20 -78.60 -77.17	-03.07 -04.00 -06.53
FUENTE 15	-79.80 -76.38	-08.13 -14.30	-77.17 -73.86	-06.53 -12.46
FUENTE 16	-76.38 -73.28	-14.30 -16.87	-73.86 -71.21	-12.46 -14.40
FUENTE 17	-73.28 -70.86 -70.38	-16.87 -18.80 -22.00	-71.21 -68.93 -67.98	-14.40 -15.73 -22.00
FUENTE 18	-79.59 -78.60 -77.17	-02.55 -04.00 -06.53	-77.50 -75.51 -75.27	-00.73 -02.06 -05.33
FUENTE 19	-77.17 -73.86	-06.53 -12.46	-75.27 -72.03	-05.33 -11.13
FUENTE 20	-72.31 -71.14	-06.67 -11.30	-71.00 -69.69	-06.33 -10.93

Fuente: XIX simposio internacional "últimos avances en la ingeniería sísmica y gestión del riesgo de los desastres". Actualización de los parámetros sísmológicos en la evaluación del peligro sísmico en el Perú.

4.1.1.4. Leyes de atenuación.

Según (Chavez Obregón, 2013), es la capacidad del terreno para amortiguar el movimiento generado por las ondas sísmicas conforme éstas se alejan del foco sísmico.

Es entendible aceptar que cuando se produce un sismo, mientras más lejos se está del epicentro la intensidad del movimiento disminuye, a esto se denomina atenuación del movimiento del suelo, algo similar es de pensarse que mientras más grande sea la distancia hipocentral (sismos profundos), la amplitud del movimiento sísmico decaerá (Pág. 53).

Tabla N°4.3: Características de los diferentes modelos de movimiento fuerte analizados.

MODEL	ZONA FUENTE	MAGNITUD		DISTANCIA		CLASIFICACIONES	PARAMETRO PREDICHO
		TIPO	RANGO	TIPO	RANGO		
Ambrasey et al	Europa y Oriente Medio (422 a.c)	Ms	4.0-7.5	R	200 Km	Roca Suelo rígido Suelo blando Suelo muy blando	Sa (g) (0.5-10Hz)
Benito (1993)	Friulf (Italia) (62 a.c)	M _L	4.2-6.5	Rh	2-194 Km	Roca Aluvión superficial Aluvión profundo	Sa (g) (0.1-25Hz)
Sabetta y Pugliese (1996)	Italia (95 a.c)	M _L (5.5) Ms(5.5)	4.6-6.8	Rep Rjb	1-200 Km	Roca Aluvión superficial Aluvión profundo	PGA (g) PSV (cm/s) (0.25-25Hz)
Tento et al	Italia (137 a.c)	M _L	4.0-6.6	R	3.2-170 Km	Condiciones promedio del suelo	PGA (g) PSV (cm/s) (0.36-25Hz)
Dahie et al (1990)	Norte América, Europa, China y Australia (87 a.c)	Ms	3.0-7.0	Rh	10-1000 Km	Condiciones promedio del suelo	PGA (m/s ²) PSV (cm/s) (0.36-25Hz)
Atkinson y Bocre (1997)	Este de Norte América	M	4-7.25	Rh	10-500 Km	Roca	PGA (g) PSV (cm/s) Sa (g) (0.5-20Hz)
Toro et al (1996)	Centro y Este de Norte América	M m L ₀	5.0-8.0	R	1-500 Km	Roca	PGA (g) Sa (g) (1.0-35Hz)
Youngs et al (1997)	Zona de subducción: interface e intraplaca	M	5.0-8.1	Rrup O Rh	10-500 Km	Roca Suelo	PGA (g) Sa (g)

Fuente: Leyes de atenuación para aceleraciones espectrales en el Perú.

La ley de atenuación que se aplicará en el análisis de peligro sísmico para la tesis será:

Ley de atenuación de Young (1997)

Según (Chavez Obregón, 2013), la ley de atenuación que se aplicara en el análisis de peligro sísmico. La ley de atenuación para la aceleración horizontal de respuesta espectral con 5% de amortiguamiento para sismos de subducción para roca es:

$$L(y) = 0.2418 + 1.414M + C_1 + C_2(10M)^3 + C_3 h(r) + 1.7818e^{0.544M} + 0.7H + 0.3846Z$$

$$\dagger XC4\Gamma C5M$$

Donde:

-) y: Aceleración espectral (g) correspondiente a la media geométrica de las dos componentes horizontales.
-) M: Magnitud de momento.
-) rrup: Distancia más cercana a la rotura (Km).
-) H: Profundidad focal (Km).
-) ZT: Tipo de origen, 0 para interface, 1 para intraplaca.
-) : Desviación estándar (para M > 8, considerar M=8).

Estimación de movimientos fuertes en el Perú

Según (Chavez Obregón, 2013), la estimación del movimiento fuerte del suelo depende de la magnitud y la distancia desde el origen del sismo hasta el sitio de influencia del evento sísmico. Esta estimación se obtiene de las relaciones o leyes de atenuación, constituyendo un paso muy

importante en la determinación del peligro sísmico del lugar. Actualmente es posible desarrollar modelos de atenuación del movimiento del suelo para sismos con características regionales o tectónicas diferentes. Por ejemplo, sismos que se desarrollan en la corteza en regiones tectónicamente activas, sismos en la zona de subducción de interface y sismos que ocurren en la placa de subducción descendente (pág. 53).

4.1.2. Análisis con el programa crisis 2007.

Primero debemos contar con la información que Crisis 2007 necesita. Esta información se puede clasificar como:

-) Información de la región de estudio.
-) Mapa de la región de estudio (extensión shp).
-) Listado de ciudades (extensión asc).
-) Información de la sismicidad del lugar
-) Listado de sitios donde se calculará la amenaza sísmica.
-) Número de fuentes sísmicas que afectan al área en estudio.
-) Características de sismicidad de las fuentes sísmicas.

Una vez que el CRISIS 2007 está en ejecución, es necesario crear el archivo de datos que se empleará para hacer el cálculo del peligro sísmico. Para ello, CRISIS 2007 divide la definición de estos datos en las siguientes etapas:

-) Definición de mapas.
-) Definición de los sitios de cálculo.
-) Definición de la geometría de las fuentes sísmicas.
-) Definición de la sismicidad de las fuentes sísmicas.
-) Definición de las ordenadas espectrales.
-) Definición de los datos de atenuación de las ondas sísmicas.
-) Definición de los parámetros globales.
-) Definición de los archivos de resultados.

4.1.2.1. Resultados del periodo fundamental del suelo.

Tabla N°4.4: Periodo fundamental del suelo para años definidos según el programa crisis 2007.

AÑOS	PERIODO (seg)	INTENSIDAD (gales = 1 cm/s²)
75	0.334	109.158841
150	0.311	151.598571
300	0.312	181.586345
475	0.312	208.119236
975	0.322	261.716562

Los resultados y las curvas ipsoperiodos se encuentran en el plano N°06.

4.1.3. Medición de microtrepidaciones en la ciudad de Abancay.

4.1.3.1. Características del equipo de medición y análisis.

Los instrumentos utilizados son de alta tecnología y calidad cuyo formato de adquisición es digital. Para realizar los ensayos MASW y de medición

se contó con un equipo SISMÓGRAFO GEOMETRICS ES-3000, desarrollada por la empresa GEOMETRICS, se muestra el equipo que tiene las siguientes características:

Figura N°4.11: En la fotografía se muestra el equipo utilizado sismógrafo geometrics ES-3000 en el ensayo realizado.



- J Sismógrafo de marca GEOMETRICS, modelo ES-3000. Incluye accesorios.
- J Computadora personal con software de adquisición ESOS.
- J Cable sísmico de 24 canales con espaciamiento de 3, 5 y 8 metros entre geófonos.
- J 24 geófonos 4.5 Hz.
- J Cable de contacto entre percutor sísmico y sismógrafo (hammer switch).
- J Cable poder de 12 v.

- J Cable interface sismógrafo a laptop (ethernet).
- J Comba de 20 libras.
- J Placa metálica de 25*25 cm.
- J Batería de 12 voltios.
- J 100 metros de cable mellizo.
- J Caja de herramientas.
- J Equipo de protección personal (guantes, chalecos, cascos).

La unidad de registro es controlada a través de una computadora portátil usando el software ESOS, el cual incluye rutinas de lecturas interactivas de los primeros arribos de las ondas refractadas, que sirven para optimizar la toma de datos. Esta opción de lectura permite sumar datos de múltiples impactos, permitiendo mejorar la señal sísmica/ruido. Con ello se podrá definir mejor los cambios de velocidad en profundidad y así poder determinar el número de capas para cada estudio.

4.1.3.2. Descripción de la medición realizada en la ciudad de Abancay.

Esta técnica de medición de micro trepidaciones ha sido utilizada en el presente estudio para determinar las características dinámicas del terreno de cimentación en la ciudad de Abancay.

El procedimiento de campo está dado por las siguientes etapas:

J) **Reconocimiento de la zona de estudio.**

Consiste en hacer un análisis visual de las características del terreno, evaluando la accesibilidad y los riesgos/peligros que puedan suscitarse. El resultado de este proceso es mejorar y hasta replantear la ubicación y dirección de las líneas de planteadas en el proyecto, sin causar alguna variación en los objetivos trazados.

Se realizó la medición en 09 puntos distribuidos uniformemente en toda el área urbana (ver plano N°07). La distribución de puntos medidos, como se muestra en la tabla N°4.5.

Figura N°4.12: Reconocimiento de la zona en estudio.



Figura N°4.13: Ubicación de putos.



Tabla N°4.5: Distribución de puntos de micro tremores.

LUGAR	NÚMERO DE PUNTOS	COORDENADAS	DESCRIPCIÓN
Hospital II	01	E 727778 N 8490713 Z 2235	50 m (MASW 101)
Colegio Industrial	01	E 728560 N 8491353 Z 2354	50 m (MASW 102)
Olivo	01	E 728762 N 8491772 Z 2408	50 m (MASW 103)
Chinchichaca	01	E 729358 N 8492463 Z 2499	50 m (MASW 104)
Feria	01	E 729328 N 8491134 Z 2375	50 m (MASW 105)
I.E. Mercedes	01	E 728207 N 8491979 Z 2417	50 m (MASW 106)
I.E. Santa Rosa	01	E 729946 N 8491653 Z 2426	50 m (MASW 107)
4 de noviembre (José Olaya)	01	E 728895 N 8492537 Z 2517	75 m (MASW 108)
Fonavi	01	E 727516 N 8491632 Z 2361	75 m (MASW 109)

J) Instalación de equipos y cables.

Este proceso permite ubicar el equipo adecuado, según el número de tendidos previamente planificado. Asimismo, se procede a instalar los cables y los equipos de medición en campo. Cabe

señalar que los puntos de adquisición podrán modificarse conforme se adquiere los datos con la intención de mejorar la adquisición y lograr la mejor adquisición de datos.

En los trabajos de campo realizados, en cada ensayo MASW, primero, se definió el eje del sondaje sísmico, seguidamente, se procedió a instalar los geófonos y los cables de conexión al equipo de adquisición de datos. El espaciamiento entre geófonos es definido en función de la profundidad de exploración requerida. En el presente trabajo, en función a la topografía y a los requerimientos del estudio, se realizaron líneas MASW de 50m a 75m de longitud. La fuente de energía utilizada para generar las ondas sísmicas fue un martillo de 25 lbs.

Así mismo, se realizaron un total de 09 sondaje cuya longitud de separación entre sensores o geófonos fue de 3m. La ubicación de los sondajes MASW ejecutados en la ciudad de Abancay (solo parte urbana) se presentan en el plano P-02, los registros de las ondas sísmicas se presentan en el anexo I. además, en el anexo II se presenta el panel fotográfico que documenta las diferentes actividades realizadas en el trabajo de campo durante la realización de estos ensayos.

Figura N°4.14: Instalación de equipo.



Figura N°4.15: Instalación de equipo para lectura de ondas.



Figura N°4.16: Instalación de los geófonos.



Figura N°4.17: Tendido de línea de geófonos.



J) **Toma de datos.**

El operador del equipo (sismógrafo), geofísico de campo, define y califica los datos conforme se van adquiriendo, indicando repeticiones o cambio de fuentes de energía o posición del equipo, según sea conveniente o necesario para el levantamiento sobre superficie. Mientras que para el ensayo de pozo se debe reincidir el golpe más fuerte y compacto para la aceptable adquisición.

La fuente de energía utilizada para generar las ondas sísmicas fue una comba de 25lbs. El cual se golpea sobre un plato metálico generándose las ondas de corte en el terreno.

Figura N°4.18: Uso de comba para determinar la vibración del suelo.



Figura N°4.19: Toma de datos.



J) **Finalización de toma de datos.**

En este proceso, culminados todos los shots el operador del equipo comunica al personal el recojo de todos los equipos para la movilización a otro punto. Cabe señalar que al finalizar el levantamiento el responsable de grupo verifica y visualiza la zona de trabajo con la intención de cerciorarse si todo el equipo fue recogido y si no hay restos contaminantes. Caso se presentará, el personal tiene la obligación y responsabilidad ambiental de mitigar el efecto.

Figura N°4.20: Finalización del ensayo.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE ABANCAY.

FECHA DE ENSAYO: 15-02-17

PUNTO:

MASW 101

UBICACIÓN: Hospital II

SISTEMA DE COORDENADAS:

NORTE:	ESTE:	ELEVACION:
8490713	727778	2235

EQUIPO UTILIZADO:

Sismografo Geometrics ES-3000

PESO DE COMBA:

20 libras

NUMERO DE INSTALACION DE GEOFONOS:

17

LONGITUD:

50 metros

NUMERO DE GOLPES:

5

TIEMPO DE DURACION DEL ENSAYO:

1 hora 20 min. 00 seg.

OPERADOR:

Ing. Kellwi Tejada Perfecto

U
N
I
V
E
R
S
I
D
A
D

T
E
C
N
O
L
G
I
C
A

D
E

L
O
S

A
N
D
E
S

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE ABANCAY.

FECHA DE ENSAYO: 15-02-17 PUNTO: MASW 102

UBICACIÓN: Colegio Industrial

SISTEMA DE COORDENADAS:

NORTE:	ESTE:	ELEVACION:
8491353	728560	2354

EQUIPO UTILIZADO:

Sismografo Geometrics ES-3000

PESO DE COMBA:

20 Libras.

NUMERO DE INSTALACION DE GEOFONOS:

17

LONGITUD:

50 metros

NUMERO DE GOLPES:

4

TIEMPO DE DURACION DEL ENSAYO:

60 min. 00 seg.

OPERADOR: Ing. Kellwi Tejada Perfecto

U
N
I
V
E
R
S
I
D
A
D

T
E
C
N
O
L
O
G
I
C
A

D
E

L
O
S

A
N
D
E
S

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



U
N
I
V
E
R
S
I
D
A
D
T
E
C
N
O
L
O
G
I
C
A
D
E
L
O
S
A
N
D
E
S

TESIS: MICROZONIFICACION SÍSMICA DE LA CIUDAD DE ABANCAY.

FECHA DE ENSAYO: 15-02-17

PUNTO:

MPSW 103

UBICACIÓN: Estado El olivo

SISTEMA DE COORDENADAS:

NORTE:	ESTE:	ELEVACION:
8491772	728762	2408

EQUIPO UTILIZADO:

Sismografo Geometrics ES-3000

PESO DE COMBA:

20 Libras

NUMERO DE INSTALACION DE GEOFONOS:

17

LONGITUD:

50 metros

NUMERO DE GOLPES:

5

TIEMPO DE DURACION DEL ENSAYO:

55 min. 00 seg.

OPERADOR:

Ing. Kellwi Tejada Perfecto

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



U
N
I
V
E
R
S
I
D
A
D

T
E
C
N
O
L
O
G
I
C
A

D
E

L
O
S

A
N
D
E
S

TESIS: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE ABANCAY.

FECHA DE ENSAYO: 15-02-17

PUNTO:

MASW 104

UBICACIÓN: Chinchihaca

SISTEMA DE COORDENADAS:

NORTE:	ESTE:	ELEVACION:
8492463	729358	2499

EQUIPO UTILIZADO:

Sismografo Geometrics ES-3000

PESO DE COMBA:

20 Libras

NUMERO DE INSTALACION DE GEOFONOS:

17

LONGITUD:

50 metros

NUMERO DE GOLPES:

3

TIEMPO DE DURACION DEL ENSAYO:

50 min. 00 seg.

OPERADOR:

Ing. Kelli Tejada Perfecto

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE ABANCAY.

FECHA DE ENSAYO: 15-02-17

PUNTO:

MASW 105

UBICACIÓN: feria

SISTEMA DE COORDENADAS:

NORTE:	ESTE:	ELEVACION:
8491134	729328	2375

EQUIPO UTILIZADO:

Sismografo Geometrics ES-3000

PESO DE COMBA:

20 Libras

NUMERO DE INSTALACION DE GEOFONOS:

17

LONGITUD:

50 metros

NUMERO DE GOLPES:

4

TIEMPO DE DURACION DEL ENSAYO:

1 hora. 05 min. 00 seg.

OPERADOR:

Ing. Kellwi Tejada Perfecto

U
N
I
V
E
R
S
I
D
A
D

T
E
C
N
O
L
O
G
I
C
A

D
E

L
O
S

A
N
D
E
S

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



U
N
I
V
E
R
S
I
D
A
D
T
E
C
N
O
L
G
I
C
A
D
E
L
O
S
A
N
D
E
S

TESIS: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE ABANCAY.

FECHA DE ENSAYO: 16-02-17

PUNTO:

MASW 106

UBICACIÓN: I. E. Mercedes

SISTEMA DE COORDENADAS:

NORTE:	ESTE:	ELEVACION:
8491979	728207	2417

EQUIPO UTILIZADO:

Sismografo Geometrics ES-3000

PESO DE COMBA:

20 Libras

NUMERO DE INSTALACION DE GEOFONOS:

17

LONGITUD:

50 metros

NUMERO DE GOLPES:

2

TIEMPO DE DURACION DEL ENSAYO:

1 hora. 00 min. 00 seg.

OPERADOR:

Ing. Kellwi Tejada Perfecto

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE ABANCAY.

FECHA DE ENSAYO: 16-02-17

PUNTO:

MASW 107

UBICACIÓN: I.E. Santa Rosa

SISTEMA DE COORDENADAS:

NORTE:	ESTE:	ELEVACION:
8491653	729946	2426

EQUIPO UTILIZADO:

Sismografo Geometrics ES-3000

PESO DE COMBA:

20 Libras

NUMERO DE INSTALACION DE GEOFONOS:

17

LONGITUD:

50 metros

NUMERO DE GOLPES:

2

TIEMPO DE DURACION DEL ENSAYO:

50 min. 00 seg.

OPERADOR:

Ing. Kellwi Tejada Perfecto

U
N
I
V
E
R
S
I
D
A
D

T
E
C
N
O
L
O
G
I
C
A

D
E

L
O
S

A
N
D
E
S

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



U
N
I
V
E
R
S
I
D
A
D

T
E
C
N
O
L
O
G
I
C
A

D
E

L
O
S

A
N
D
E
S

TESIS: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE ABANCAY.

FECHA DE ENSAYO: 16-02-17

PUNTO:

MASW 108

UBICACIÓN: 4 de Noviembre (José Olaya)

SISTEMA DE COORDENADAS:

NORTE:	ESTE:	ELEVACION:
8492537	728895	2517

EQUIPO UTILIZADO:

Sismografo Geometrics ES-3000

PESO DE COMBA:

20 Libras

NUMERO DE INSTALACION DE GEOFONOS:

24

LONGITUD:

75 metros

NUMERO DE GOLPES:

2

TIEMPO DE DURACION DEL ENSAYO:

50 min. 00 seg.

OPERADOR:

Ing. Kellwi Tejada Perfecto

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE ABANCAY.

FECHA DE ENSAYO: 16-02-17

PUNTO: MASW 109

UBICACIÓN: Fonavi

SISTEMA DE COORDENADAS:

NORTE:	ESTE:	ELEVACION:
8491632	727516	2361

EQUIPO UTILIZADO:

Sismografo Geometrics ES-3000

PESO DE COMBA:

20 Libras

NUMERO DE INSTALACION DE GEOFONOS:

24

LONGITUD:

75 metros

NUMERO DE GOLPES:

3

TIEMPO DE DURACION DEL ENSAYO:

60 min . 00 seg.

OPERADOR:

Ing. Kellwi Tejada Perfecto

U
N
I
V
E
R
S
I
D
A
D

T
E
C
N
O
L
O
G
I
C
A

D
E

L
O
S

A
N
D
E
S

4.1.3.3. Procesamiento e interpretación de la información.

Con los registros de las ondas sísmicas obtenidas en cada una de las líneas de exploración realizada, y que representan las llegadas de las ondas superficiales a cada uno de los geófonos ubicadas a distancias especificadas, se determinan las curvas de dispersión. Con esta información se realizó la interpretación de los sondajes sísmicos del área investigada.

El procesamiento e interpretación para el método MASW se hace netamente en gabinete, empleando para ello software especializados.

A continuación, se menciona los criterios principales de procesamiento para este método.

) Análisis de registros y calificación de datos.

El análisis de registros se aplica a los métodos de Refracción Sísmica y MASW, antes de realizar el procesamiento.

En este proceso se verifica y analiza cada una de las señales obtenidas en campo, calificando cada uno de los registros y sus repeticiones a fin de obtener el registro de mejor calidad para el procesamiento final de datos. Dicho proceso se realiza tanto para la información obtenida por el método de refracción sísmica como para el de MASW.

La calificación de datos consiste en verificar la información obtenida en campo, con el fin de discriminar aquellas que muestren baja calidad.

J) **Procesamiento de datos.**

Para el caso del MASW, se emplea el paquete de software que corresponde al análisis de ondas superficiales llamado “Surface Wave AnalysisWizard”, y el “WaveEq (Surface Wave Analysis)”, con lo cual se determina primero un gráfico de Velocidad de fase vs. Frecuencia y la obtención de la curva de dispersión, para luego calcular mediante Inversión la variación en profundidad de la velocidad de onda de corte o “S”.

J) **Interpretación.**

Para el caso del MASW, definidos los estratos de velocidades de cada perfil sísmico y sus potencias, se hace un análisis cualitativo correlacionando dicha información con las observaciones hechas en campo (geología) y apoyándose con información adicional proporcionada por calcatas, perforaciones y artículos de geología regional o local, si lo hubiera. Esto permitirá dar un mayor alcance de lo obtenido con geofísica.

4.1.3.4. Presentación de resultados.

Los resultados e interpretación se muestran en las tablas que se muestran los perfiles de MASW. el perfil de velocidad final de la onda de corte para

cada uno de los puntos de MASW, en los que se aprecia la diferenciación de capas y subcapas de los perfiles en que se realizó este ensayo.

Los valores de velocidad de onda de corte, obtenidos en el presente estudio se indican hasta una profundidad de investigación de 30m. la cual corresponde a la arrojada por el algoritmo de Inversión del software de interpretación y los parámetros ingresados para el cálculo.

Tabla N°4.5: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-101.

Profundidad (m)	VS (m/s)
0.0	231.6
1.1	241.8
2.3	300.2
3.7	353.7
5.3	396.8
7.0	405.6
8.9	419.8
11.0	441.3
13.2	471.5
15.6	519.2
18.1	565.0
20.9	620.5
23.7	647.3
26.8	665.7
30.0	686.1

Tabla N°4.6: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-102.

Profundidad (m)	VS (m/s)
0.0	572.4
1.1	550.6
2.3	572.2
3.7	609.2
5.3	630.9
7.0	633.7
8.9	686.4
11.0	708.3
13.2	739.7
15.6	796.0
18.1	860.4
20.9	921.7
23.7	964.1
26.8	954.6
30.0	990.7

Tabla N°4.7: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-103.

Profundidad (m)	VS (m/s)
0.0	323.1
1.1	345.4
2.3	434.0
3.7	535.5
5.3	576.3
7.0	599.3
8.9	657.9
11.0	728.9
13.2	800.6
15.6	861.4
18.1	883.0
20.9	898.4
23.7	912.4
26.8	935.1
30.0	935.1

Tabla N°4.8: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-104

Profundidad (m)	VS (m/s)
0.0	344.4
1.1	336.4
2.3	343.2
3.7	380.5
5.3	406.7
7.0	424.6
8.9	417.3
11.0	431.3
13.2	453.9
15.6	481.6
18.1	531.8
20.9	577.1
23.7	587.8
26.8	613.5
30.0	624.9

Tabla N°4.9: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-105.

Profundidad (m)	VS (m/s)
0.0	500.3
1.1	492.8
2.3	520.6
3.7	626.8
5.3	618.9
7.0	587.3
8.9	582.8
11.0	594.9
13.2	623.3
15.6	683.5
18.1	758.7
20.9	826.3
23.7	886.7
26.8	909.2
30.0	933.3

Tabla N°4.10: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-106.

Profundidad (m)	VS (m/s)
0.0	221.5
1.1	210.6
2.3	216.8
3.7	261.5
5.3	320.6
7.0	391.2
8.9	422.7
11.0	459.6
13.2	451.2
15.6	511.8
18.1	622.6
20.9	647.3
23.7	767.4
26.8	811.5
30.0	829.2

Tabla N°4.11: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-107.

Profundidad (m)	VS (m/s)
0.0	339.7
1.1	353.7
2.3	373.1
3.7	438.8
5.3	520.0
7.0	596.8
8.9	655.4
11.0	699.5
13.2	723.0
15.6	734.0
18.1	750.3
20.9	755.9
23.7	773.7
26.8	809.1
30.0	823.1

Tabla N°4.12: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-108

Profundidad (m)	VS (m/s)
0.0	448.1
1.1	450.3
2.3	455.3
3.7	508.9
5.3	641.5
7.0	694.7
8.9	685.5
11.0	678.2
13.2	666.9
15.6	677.3
18.1	704.6
20.9	744.3
23.7	787.5
26.8	806.6
30.0	836.5

Tabla N°4.13: Velocidad obtenida de la onda de corte del MASW-109

Profundidad (m)	VS (m/s)
0.0	171.3
1.1	169.1
2.3	188.0
3.7	242.5
5.3	281.1
7.0	326.3
8.9	360.9
11.0	388.6
13.2	382.9
15.6	433.1
18.1	471.7
20.9	518.8
23.7	533.6
26.8	578.8
30.0	606.2

J) **Sondaje MASW-101.**

Este sondaje corresponde al ensayo MASW 101, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Sondaje 01 HOSPITAL II, de 50 m de longitud, ubicado en la zona de Tablada Alta. La interpretación de este ensayo generó un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 231.60 m/s y 300.20 m/s, hasta una profundidad de 2.30 m. Estratigráficamente está conformado por un suelo rígido.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 353.70 m/s a 565.00 m/s, con un espesor de 15.80 m. Dichas velocidades corresponderían a un suelo muy denso.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 620.50 m/s a 686.10 m/s, con un espesor de 11.90 m. Dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por roca blanda.

J) **Sondaje MASW-102.**

Este sondaje corresponde al ensayo MASW 102, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Sondaje 02 COLEGIO INDUSTRIAL, de 50 m de longitud, ubicado en la Av. 28 de julio con Av. Abancay de la ciudad de Abancay. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 572.40 m/s y 633.70 m/s, hasta una profundidad de 7 m. Estratigráficamente está conformado por un suelo muy denso.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 686.40 m/s a 739.70 m/s. con un espesor de 6.20 m. Estos valores de velocidad corresponderían a un suelo conformado por roca blanda.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 796.00 m/s a 990.70 m/s. con un espesor de 16.80 m. Dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por roca dura.

J) **Sondaje MASW-103.**

Este sondaje corresponde al ensayo MASW 103, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Sondaje 03 ESTADIO EL OLIVO, de 50 m de longitud, ubicado en la Av. Panamá con la Av. Perú de la ciudad de Abancay. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de cuatro estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 323.10 m/s y 345.40 m/s, hasta una profundidad de 1.10 m. Estratigráficamente está conformado por un suelo rígido.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 434.00 m/s a 599.30 m/s, con un espesor de 5.90 m. Estos valores de velocidades corresponderían a un suelo muy denso.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 657.90 m/s a 728.90 m/s, con un espesor de 4 m. Dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por roca blanda.

El cuarto estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 800.60 m/s a 935.10 m/s, con un espesor de 19 m. Dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por roca dura.

) **Sondaje MASW-104.**

Este sondaje corresponde al ensayo MASW 104, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Sondaje 04 CHINCHIHACA, de 50 m de longitud, de la ciudad de Abancay. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 344.40 m/s y 343.20 m/s, hasta una profundidad de 2.30 m. Estratigráficamente está conformado por un suelo rígido.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 380.50 m/s a 624.90 m/s, con un espesor de 27.70 m. Estos valores de velocidades corresponderían a un suelo muy denso.

J) **Sondaje MASW-105.**

Este sondaje corresponde al ensayo MASW 105, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Sondaje 05 FERIA, de 50 m de longitud, ubicado en la Av. Centenario de la ciudad de Abancay. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de cuatro estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 500.30 m/s y 520.60 m/s, hasta una profundidad de 2.30 m. Estratigráficamente está conformado por un suelo denso.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 626.80 m/s a 623.30 m/s, con un espesor de 10.90 m. Estos valores de velocidades corresponderían a un suelo muy denso.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 683.50 m/s a 758.70 m/s, con un espesor de 4.90 m. Dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por roca blanda.

El cuarto estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 826.30 m/s a 933.30 m/s, con un espesor de 11.90 m. Dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por roca dura.

) **Sondaje MASW-106.**

Este sondaje corresponde al ensayo MASW 106, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Sondaje 06 IE MERCEDES, de 50 m de longitud, ubicado en la Av. Perú de la ciudad de Abancay. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de cuatro estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 221.50 m/s y 320.60 m/s, hasta una profundidad de 5.30 m. Estratigráficamente está conformado por un suelo rígido.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 391.20 m/s a 511.80 m/s, con un espesor de 10.30 m. Estos valores de velocidades corresponderían a un suelo muy denso.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 622.60 m/s a 767.40 m/s, con un espesor de 8.10 m. Dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por roca blanda.

El cuarto estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 811.50 m/s a 829.20 m/s, con un espesor de 6.30 m. Dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por roca dura.

J) **sondaje MASW-107.**

Este sondaje corresponde al ensayo MASW 107, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Sondaje 07 IE SANTA ROSA, de 50 m de longitud, ubicado en la CALLE GARCILAZO de la ciudad de Abancay. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de cuatro estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 339.70 m/s y 353.70 m/s, hasta una profundidad de 1.10 m. Estratigráficamente está conformado por un suelo rígido.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 373.10 m/s a 596.80 m/s, con un espesor de 5.90 m. Estos valores de velocidades corresponderían a un suelo muy denso.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 655.40 m/s a 755.90 m/s, con un espesor de 13.90 m. Dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por roca blanda.

El cuarto estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 773.70 m/s a 823.10 m/s, con un espesor de 9.10 m. Dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por roca dura.

) **Sondaje MASW-108.**

Este sondaje corresponde al ensayo MASW 108, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Sondaje 08, ubicado en 4 DE NOVIEMBRE (JOSÉ OLAYA), de 75 m de longitud, ubicado en la calle 4 de noviembre en el pasaje José Olaya de la ciudad de Abancay. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 448.10 m/s y 508.90 m/s, hasta una profundidad de 3.70 m. Estratigráficamente está conformado por un suelo muy denso.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 641.50 m/s a 704.60 m/s, con un espesor de 17.20 m. Estos valores de velocidades corresponderían a un suelo de roca blanda.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 787.50 m/s a 836.50 m/s, con un espesor de 9.10 m. Dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por roca dura.

) **Sondaje MASW-109.**

Este sondaje corresponde al ensayo MASW 109, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Sondaje 09 FONAVI, de 75 m de longitud, ubicado en el sector Fonavi de la ciudad de Abancay. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 171.30 m/s y 169.10 m/s, hasta una profundidad de 1.10 m. Estratigráficamente está conformado por un suelo blando.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 188.0 m/s a 326.30 m/s, con un espesor de 5.90 m. Estos valores de velocidades corresponderían a un suelo rígido.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 360.90 m/s a 606.20 m/s, con un espesor de 23 m. Dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por suelo muy denso.

Tabla N°4.14: Resumen de los sondajes sísmicos definidos.

SONDAJE	ESTRATO	V_s	ESPESOR	DESCRIPCION
		M/S	M	
MASW-101	1	231.6-300.2	2.3	Suelo rígido
	2	353.7-565.0	15.8	Suelo muy denso
	3	620.5-686.1	11.9	Roca blanda
MASW-102	1	572.4-633.7	7.0	Suelo muy denso
	2	686.4-739.7	6.2	Roca blanda
	3	793.0-990.7	16.8	Roca dura
MASW-103	1	323.1-345.4	1.1	Suelo rígido
	2	434.0-599.3	5.9	Suelo muy denso
	3	657.9-728.9	4.0	Roca blanda
	4	800.6-935.1	19.0	Roca dura
MASW-104	1	344.4-343.2	2.3	Suelo rígido
	2	380.5-624.9	27.7	Suelo muy denso

MASW-105	1	500.3-520.6	2.3	Suelo denso
	2	626.8-623.3	10.9	Suelo muy denso
	3	683.5-758.7	4.9	Roca blanda
	4	826.3-933.3	11.9	Roca dura
MASW-106	1	221.5-320.6	5.3	Suelo rígido
	2	391.2-511.8	10.3	Suelo muy denso
	3	622.6-767.4	8.1	Roca blanda
	4	811.5-829.2	6.3	Roca dura
MASW-107	1	339.7-353.7	1.1	Suelo rígido
	2	373.1-596.8	5.9	Suelo muy denso
	3	655.4-755.9	13.9	Roca blanda
	4	773.7-823.1	9.1	Roca dura
MASW-108	1	448.1-508.9	3.7	Suelo muy denso
	2	641.5-744.3	17.2	Roca blanda
	3	787.5-836.5	9.1	Roca dura
MASW-109	1	171.3-169.1	1.1	Suelo blando
	2	188.0-326.3	5.9	Suelo rígido
	3	360.9-606.2	23.0	Suelo muy denso

4.2. Discusión de resultados.

4.2.1. Microzonificación de la ciudad de Abancay.

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

El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad. Periodo fundamental del suelo calculado mediante ondas de corte para los primeros 30 m de profundidad.

Tabla N°4.15 FACTORES DE ZONA “Z”		
SEGÚN ENSAYO DE REFRACCION SISMICA		
ZONA	Z	
1.SECTOR DE BELLA VISTA	0,31	
2. SECTOR LAS AMERICAS	0,20	
3. CENTRO DE LA CIUDAD DE ABANCAY	0,17	
4.SECTOR DE PATIBAMBA BAJA	0,20	
5.SECTOR DE PATIBAMBA ALTA	0.15	
6.SECTOR DE PUEBLO JOVEN	0.25	
PERIODO FUNDAMENTAL DEL SUELO PARA AÑOS DEFINIDOS SEGÚN EL PROGRAMA CRISIS 2007.		
AÑOS	PERIODO (seg)	INTENSIDAD (gales = 1 cm/s²)
75	0.334	109.158841
150	0.311	151.598571
300	0.312	181.586345
475	0.312	208.119236
975	0.322	261.716562

Son estudios multidisciplinarios que investigan los efectos de sismos y fenómenos asociados como licuación de suelos, deslizamientos, tsunamis y otros, sobre el área de interés. Los estudios suministran información sobre la posible modificación de las acciones sísmicas por causa de las condiciones locales y otros fenómenos naturales, así como las limitaciones y exigencias que como consecuencia de los estudios se considere para el diseño, construcción de edificaciones y otras obras.

Para los siguientes casos podrán ser considerados los resultados de los estudios de microzonificación correspondientes:

- j) Áreas de expansión de ciudades.

- J) Reconstrucción de áreas urbanas destruidas por sismos y fenómenos asociados.

4.2.2. Estudios de sitio.

Son estudios similares a los de microzonificación, aunque no necesariamente en toda su extensión. Estos estudios están limitados al lugar del proyecto y suministran información sobre la posible modificación de las acciones sísmicas y otros fenómenos naturales por las condiciones locales. Su objetivo principal es determinar los parámetros de diseño.

Los estudios de sitio deberán realizarse, entre otros casos, en grandes complejos industriales, industria de explosivos, productos químicos inflamables y contaminantes. No se considerarán parámetros de diseño inferiores a los indicados en esta norma.

4.2.3. Condiciones geotécnicas.

a. Perfiles de suelo.

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 alternativamente, para suelos granulares, el promedio ponderado de los obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada para suelos cohesivos. Estas propiedades deben determinarse para los 30 m superiores del perfil de suelo medidos desde

el nivel del fondo de cimentación, como se indica en el numeral. Para los suelos predominantemente granulares, se calcula considerando solamente los espesores de cada uno de los estratos granulares. Para los suelos predominantemente cohesivos, la resistencia al corte en condición no drenada se calcula como el promedio ponderado de los valores correspondientes a cada estrato cohesivo.

Este método también es aplicable si se encuentran suelos heterogéneos (cohesivos y granulares). En tal caso, si a partir de para los estratos con suelos granulares y de para los estratos con suelos cohesivos se obtienen clasificaciones de sitio distintas, se toma la que corresponde al tipo de perfil más flexible. Los tipos de perfiles de suelos son cinco:

)] **Perfil tipo S0: roca dura**

A este tipo corresponden las rocas sanas con velocidad de propagación de ondas de corte V_s mayor que 1500 m/s. Las mediciones deberán corresponder al sitio del proyecto o a perfiles de la misma roca en la misma formación con igual o mayor intemperismo o fracturas. Cuando se conoce que la roca dura es continua hasta una profundidad de 30 m, las mediciones de la velocidad de las ondas de corte superficiales.

)] **Perfil tipo S1: Roca o suelos muy rígidos**

A este tipo corresponden las rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte V_s , entre 500 m/s y 1500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre: Roca fracturada, con una resistencia a la compresión no confinada mayor o igual que 500 kPa (5 kg/cm²); Arena muy densa o grava arenosa densa, con N_{60} mayor que 50; Arcilla muy compacta (de espesor menor que 20 m), con una resistencia al corte en condición no drenada mayor que 100 kPa (1 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

J) **Perfil tipo S2: Suelos intermedios**

A este tipo corresponden los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte V_s , entre 180 m/s y 500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre: Arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medianamente densa, con valores del SPT N_{60} , entre 15 y 50; Suelo cohesivo compacto, con una resistencia al corte en condiciones no drenada, entre 50 kPa (0,5 kg/cm²) y 100 kPa (1 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

J) **Perfil tipo S3: Suelos blandos**

Corresponden a este tipo los suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte V_s , menor o igual a 180 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre: Arena media a fina, o grava arenosa, con valores del SPT N menor que 15; Suelo cohesivo blando, con una resistencia al corte en condición no drenada, entre 25 kPa (0,25 kg/cm²) y 50 kPa (0,5 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad; Cualquier perfil que no correspondan al tipo S4 y que tenga más de 3 m de suelo con las siguientes características: índice de plasticidad PI mayor que 20, contenido de humedad mayor que 40%, resistencia al corte en condición no drenada menor que 25 kPa.

J) **Perfil tipo S4: Condiciones excepcionales**

A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Sólo será necesario considerar un perfil tipo S4 cuando el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) así lo determine.

Tabla N°4.16			
CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	V_s	N_{60}	s_u
S0	> 1500 m/s	-	-
S1	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa

S3	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S4	Clasificación basada en el EMS		

b. Clasificación de zonas

-) **Zona I:** Esta zona ubicada en el sector de Bellavista, está conformada por suelo blando materiales superficiales arenosos finos y/o alternancias de suelos finos cohesivos y no cohesivos, además de depósitos puntuales de relleno. La profundidad a la que se encuentra el suelo rígido es mayor a 7 m, pudiéndose encontrar velocidades de onda de corte promedio de 257.15 m/s y por último suelo muy denso a profundidad mayor de 30 m con una onda de corte promedio 483.55 m/s En general, el terreno de cimentación está conformado por suelos finos de consistencia media de alto contenido de humedad. Considerando una cimentación corrida de 2.30 m de profundidad se obtienen un valor de capacidad portante de 3.88 kg/cm a la profundidad de cimentación de 3.50 a 4 m.

En esta zona se espera un incremento alto del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del

suelo. Los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0.31 g.

- J) **Zona II:** Esta zona ubicada en el sector de las Américas, está conformada por suelo rígido materiales superficiales arenosos finos y/o alternancias de suelos finos cohesivos y no cohesivos, además de depósitos puntuales de relleno. La profundidad a la que se encuentra el suelo muy denso es mayor a 5 m, pudiéndose encontrar velocidades de onda de corte promedio de 271.05m/s, encontramos roca blanda a una profundidad promedio de 18 m con velocidad de onda de corte promedio 695 m/s y por ultimo roca dura a profundidad mayor de 22 m con una onda de corte promedio 483.55 m/s En general, el terreno de cimentación está conformado por suelos finos de consistencia bueno de regular contenido de humedad. Considerando una cimentación corrida de 1.50 m de profundidad se obtiene el valor de capacidad portante de 3.63 kg/cm a la profundidad de cimentación de 2.50 a 3 m.

En esta zona se espera un incremento medio del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0.16 g a 0.25 g.

- J) **Zona III:** Esta zona ubicada en el sector del centro de la ciudad de Abancay, está conformada por suelo denso materiales

superficiales arenosos finos y/o alternancias de suelos finos cohesivos y no cohesivos, además de depósitos puntuales de relleno. La profundidad a la que se encuentra el suelo muy denso es mayor a 5 m, pudiéndose encontrar velocidades de onda de corte promedio de 271.05m/s, encontramos roca blanda a una profundidad promedio de 18 m con velocidad de onda de corte promedio 695 m/s y por ultimo roca dura a profundidad mayor de 22 m con una onda de corte promedio 483.55 m/s. En general, el terreno de cimentación está conformado por suelos finos de consistencia bueno de regular contenido de humedad. Considerando una cimentación corrida de 1.50 m de profundidad se obtiene el valor de capacidad portante de 3.35 kg/cm a la profundidad de cimentación de 2.50 a 3 m.

En esta zona se espera un incremento medio del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0.16 g a 0.25 g.

- J) **Zona IV:** Esta zona ubicada en el sector de Patibamba baja de la ciudad de Abancay, está conformada por suelo rígido materiales superficiales arenosos finos y/o alternancias de suelos finos cohesivos y no cohesivos, además de depósitos puntuales de relleno. La profundidad a la que se encuentra el suelo muy denso es mayor a 18 m, pudiéndose encontrar velocidades de onda de

corte promedio de 419.80 m/s y encontramos roca blanda a una profundidad promedio de 20 m con velocidad de onda de corte promedio 695.00 m/s. En general, el terreno de cimentación está conformado por suelos finos de consistencia bueno de regular contenido de humedad. Considerando una cimentación corrida de 1.50 m de profundidad se obtiene el valor de capacidad portante de 3.71 kg/cm a la profundidad de cimentación de 2.50 a 3 m.

En esta zona se espera un incremento medio del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0.25g.

- J) **Zona V:** Esta zona ubicada en el sector de Patibamba Alta de la ciudad de Abancay, está conformada por suelo muy denso materiales superficiales arenosos finos y/o alternancias de suelos finos cohesivos y no cohesivos, además de depósitos puntuales de relleno. La profundidad a la que se encuentra la Roca blanda es mayor a 8 m, pudiéndose encontrar velocidades de onda de corte promedio de 706.30 m/s y encontramos Roca dura a una profundidad promedio de 15 m con velocidad de onda de corte promedio 964.10 m/s. En general, el terreno de cimentación está conformado por suelos finos de consistencia bueno de regular contenido de humedad. Considerando una cimentación corrida de 1.50 m de profundidad se obtiene el valor de capacidad portante de 3.71 kg/cm a la profundidad de cimentación de 2 a 2.50 m.

En esta zona se espera un incremento medio del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0.15g.

- J) **Zona VI:** Esta zona ubicada en el sector de Pueblo Joven de la ciudad de Abancay, está conformada por suelo muy denso materiales superficiales arenosos finos y/o alternancias de suelos finos cohesivos y no cohesivos, además de depósitos puntuales de relleno. La profundidad a la que se encuentra la Roca blanda es mayor a 5 m, pudiéndose encontrar velocidades de onda de corte promedio de 678.20 m/s y encontramos Roca dura a una profundidad promedio de 23 m con velocidad de onda de corte promedio 806.60 m/s. En general, el terreno de cimentación está conformado por suelos finos de consistencia bueno de regular contenido de humedad. Considerando una cimentación corrida de 1.50 m de profundidad se obtiene el valor de capacidad portante de 1.96 kg/cm a la profundidad de cimentación de 2 a 2.50 m.

En esta zona se espera un incremento medio del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0.18g.

4.3. Prueba de hipótesis

- J) Se demostró que en la ciudad de Abancay el tipo de suelo es homogéneo en casi todas las zonas de la ciudad.

- J El estudio se realizó a una profundidad de 30 metros de profundidad donde se conoce las fuerzas de corte y el tipo de estrato que es conformado el suelo.
- J Se conoce el periodo fundamental del suelo a una profundidad de 30 metros de profundidad que nos podrá ayudar en los análisis estructurales para las edificaciones en la ciudad de Abancay.
- J Se obtuvo el peligro sísmico en años de la ciudad de Abancay con la ayuda de un modelamiento estadístico del programa CRISIS 2007.

4.3.1. Condiciones dinámicas del suelo.

En comparación a los estudios anteriores en que se utilizó el método MASW, una técnica nueva conocida generalmente como el método de análisis espectral F-K está siendo introducida en este estudio, método geofísico que de forma indirecta determina el perfil de velocidad de onda de corte (V_s), propiedad importante para conocer las características dinámicas del suelo.

El método F-K consiste en la medición de la componente vertical de los microtremores utilizando un arreglo de sensores. Posteriormente basado en el análisis espectral frecuencia número de onda de alta resolución, la curva de dispersión es determinada a partir de los registros de microtremores, finalmente, el perfil de velocidad de onda de corte (V_s) es calculado a partir de la inversión de las velocidades de fase de las ondas de Rayleigh (curva de dispersión).

Los nuevos valores de periodos dominantes de oscilación del suelo se correlacionan adecuadamente con los obtenidos anteriormente en anteriores estudios, dando valores similares a los que existen alrededor del punto medido.

La ubicación de estos puntos ayudó a identificar y limitar con mayor detalle las zonas de suelo de similar periodo de oscilación, distribuidos en el área de estudio.

Los valores reflejan la presencia de suelos con valores de 0.10 s y 0.30 s distribuidos tanto en las zonas bajas como altas del distrito. Esta zonificación de periodos es con base en los valores de periodo recopilados como ejecutados en este estudio.

Estos valores se correlacionan aceptablemente con los perfiles de velocidades sísmicas del suelo; valores de periodos cortos corresponden a los suelos con velocidades mayores a 350 m/s.

Los resultados e interpretación se muestran:

-) Los perfiles de MASW. el perfil de velocidad final de la onda de corte para cada uno de los puntos de MASW, en los que se aprecia la diferenciación de capas y subcapas de los perfiles en que se realizó este ensayo.
-) Clasificación sísmica del suelo según onda de corte

Tabla N°4.17: Clasificación sísmica de suelos (IBC 2006).

TIPO	V_{s30} (m/s)	DESCRIPCIÓN
A	>1,500	Roca dura
B	760 – 1,500	Roca
C	360 – 760	Roca blanda y suelo muy denso
D	180 – 360	Suelo rígido
E	< 180	Suelo blando
F	Suelos especiales (licuables, colapsables, arcillas muy plásticas, suelos orgánicos)	

-)] Periodo fundamental del suelo calculado mediante ondas de corte para los primeros 30 m de profundidad.
-)] Velocidad promedio de ondas de corte en los primeros 30 m de profundidad.
-)] Mapas de microzonificación sísmica.

SECTOR	ESTUDIO SUPERFICIAL (CALICATAS)		ESTUDIO PROFUNDO 30M (REFRACCION SISMICA)		
	CAPACIDAD PORTANTE	ESTATIGRAFIA	ESTATIGRAFIA	FUERZAS CORTANTES DEL SUELO	PERIODO FUNDAMENTAL DEL SUELO
BELLAVISTA	3.88	GRAVAS (G): Los suelos gravosos presentan casi siempre abundante piedra grande y bolonería conformada por fragmentos de roca caliza de color superficial blanco pero negro en su interior (negro en fractura fresca).	SUELO BLANDO	388.75	0.31
			SUELO RIGIDO		
			SUELO MUY DENSO		
AMERICAS	3.63	ARENA (S): el área del proyecto abunda los materiales arenosos finos de color rojizo que en estado húmedo pueden confundirse con arcillas puesto que tienen textura fina y permiten excavaciones verticales	SUELO RIGIDO	525.35	0.2
			SUELO MUY DENSO		
			ROCA BLANDA		
			ROCA DURA		
CENTRO DE ABANCAY	3.35	GRAVAS (G): Los suelos gravosos presentan casi siempre abundante piedra grande y bolonería conformada por fragmentos de roca caliza de color superficial blanco pero negro en su interior (negro en fractura fresca).	SUELO DENSO	716.8	0.17
			SUELO MUY DENSO		
			ROCA BLANDA		
			ROCA DURA		
PATIBAMBA BAJA	3.71	GRAVAS (G): Los suelos gravosos presentan casi siempre abundante piedra grande y bolonería conformada por fragmentos de roca caliza de color superficial blanco pero negro en su interior (negro en fractura fresca).	SUELO RIGIDO	459.85	0.2
			SUELO MUY DENSO		
			ROCA BLANDA		
PATIBAMBA ALTA	3.71	GRAVAS (G): Los suelos gravosos presentan casi siempre abundante piedra grande y bolonería conformada por fragmentos de roca caliza de color superficial blanco pero negro en su interior (negro en fractura fresca).	SUELO MUY DENSO	781.55	0.15
			ROCA BLANDA		
			ROCA DURA		
PUEBLO JOVEN	1.96	GRAVAS (G): Los suelos gravosos presentan casi siempre abundante piedra grande y bolonería conformada por fragmentos de roca caliza de color superficial blanco pero negro en su interior (negro en fractura fresca).	SUELO MUY DENSO	642.3	0.25
			ROCA BLANDA		
			ROCA DURA		

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones:

-) La zonificación geotécnica ha sido delimitada en base a la información obtenida de los estudios de suelos realizados en el pasado y recopilados; pero debido a que éstos son escasos, se ha apoyado en el tipo de unidad geológica para cubrir toda el área urbana. En consecuencia, esta delimitación podrá ser afinada con la incorporación de nuevos estudios geotécnicos.

-) Mediante la técnica de medición de micro trepidaciones se obtuvo resultados concordantes con la geología de la zona, encontrándose períodos predominantes con valores bajos en los afloramientos rocosos y con valores relativamente altos en las zonas conformadas por suelos aluviales con distintos grados de compacidad. Estos valores han sido verificados en algunas zonas mediante el análisis de amplificación sísmica.

-) La microzonificación sísmica que se propone corresponde básicamente a la interpretación de los resultados obtenidos del estudio de medición de micro trepidaciones y de los estudios de

geología y geotecnia. Los límites de las zonas han sido determinados en base a las curvas isoperíodos y al tipo de suelo que ellas encierran.

- J Como puede concluirse del análisis de los resultados obtenidos, la técnica de medición de micro trepidaciones permite determinar con bastante precisión el comportamiento dinámico de los suelos, por lo cual es muy conveniente utilizarla en este tipo de estudio.

- J Para el distrito de Abancay se han elaborado los siguientes mapas: Microzonificación Geotécnica, Peligro Geológico y Zona de Isoperíodos. Los resultados obtenidos de estos mapas son superpuestos en el área de estudio permitiendo determinar el mapa de microzonificación sísmica para el distrito de Abancay. Se han determinado seis zonas con diferentes características que reflejarían el comportamiento dinámico en estas zonas ante la ocurrencia de un sismo severo que afectaría a la ciudad de Abancay.

5.2. Recomendaciones.

- J Al ser este trabajo el primero sobre la microzonificación realizado en esta zona y teniendo en cuenta que la información geotécnica actualmente disponible es escasa, los resultados obtenidos deben considerarse como una primera aproximación de gran interés y utilidad, pero que deben ser completados en los próximos años.

- J Continuar el presente estudio mediante la realización de medidas de ruido sísmico complementarias, instalación de acelerógrafos en roca

y suelo en los cuales pueden registrarse sismos reales de magnitud débil a moderada. De esta forma se podrán comparar las funciones de transferencia simuladas en este estudio con las estimadas con sismos reales.

- J Realizar trabajos de prospección geofísica, sondeos y ensayos de laboratorio con propósito de caracterizar experimentales las propiedades dinámicas de los materiales y llegar a un conocimiento de la conformación del suelo en la profundidad.
- J Elaborar propuestas de normas de construcción sismorresistentes teniendo como base los resultados que obtengan en otros estudios mediante el cálculo de espectros normativos.
- J Aprovechar la información digital de elevaciones del terreno que se dispone con lo cual, aunada a una campaña de geofísica y estudios geotécnicos, se podrá lograr una microzonificación sísmica más detallada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfonzo, N. (26 de Julio de 2012). Obtenido de Técnicas e instrumentos de recolección de datos cualitativos: <https://www.monografias.com/trabajos93/tecnicas-e-instrumentos-recoleccion-datos-cualitativos/tecnicas-e-instrumentos-recoleccion-datos-cualitativos.shtml>
- Alva Hurtado , J., & Esca, M. (17 de 06 de 2005). *XIX simposio internacional-ultimos avances en la ingenieria sismica y gestion del riesgo de los desastres*. Obtenido de Actualizacion de los parametros sismologicos en la evaluacion del peligro sismico en el peru: www.jorgealvahurtado.com/files/redacis02_p.pdf
- Avilez, J. (30 de Abril de 2003). Obtenido de Recolección de datos: <https://www.monografias.com/trabajos12/recoldat/recoldat.shtml>
- Bardales , Z. A., & Hurtado, J. A. (01 de 07 de 2002). *Microzonificacion sismica de la ciudad de Arequipa*. Obtenido de Mirozonificación Sismica-Arequipa: http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis19_a.pdf
- Chavez Obregón, J. A. (2013). *Leyes de atenuación para aceleraciones espectrales en el Peru*.
- contreras G., R. (18 de 05 de 2015). *Ciencia tecnologia e historia*. Obtenido de El sensor sísmico: geófono: <http://ciencia.digital.info.ve/2015/05/el-sensor-sismico-geofono.html>
- D. Muñoz. (02 de Enero de 2004). *Coceptos basicos en riesgo sismico*. Obtenido de Cátedra de Geofisica-Facultad de Ciencias Físicas-universidad complutense Madrid: <https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/download/FITE8989110199A/12605>
- Ecoestrategia foro economico y ambiental. (28 de 12 de 2004). *TERREMOTOS Y MAREMOTOS: ¿SE PUEDEN PREVENIR?* Obtenido de TERREMOTOS Y MAREMOTOS: <http://www.ecoestrategia.com/articulos/hemeroteca/tsunami.pdf>
- Espinoza, M. S., Murrugarra, D. P., & Uribe, D. K. (20 de 04 de 2011). *Microzonificacion de la ciudad de Pisco*. Obtenido de PLD-0041: https://guzlop-editoras.com/web_des/ing01/ingsismica/pld0041.pdf
- Falconi, R. A. (18 de 11 de 2013). *Microzonificacion sismica de Quito*. Obtenido de Capitulo 8 del libro micro: http://ugi.espe.edu.ec/ugi/wp-content/uploads/2013/11/2013_lib_raguiar_1.pdf
- Galvez Vega, C. A. (24 de 04 de 2012). *Microzonificacion sismica en los sectores de Lampa y Batuco, region Metropolitana, Chile*. Obtenido de Universidad de

Chile-Facultad de ciencias físicas y matemáticas:
<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/111546>

García, J. M. (23 de 12 de 2004). *Microzonificación de la ciudad de Cusco*. Obtenido de
<http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Noviembre2004/pdf/spa/doc42/doc42-contenido.pdf>

Geoinstruments international S.A.C. (2013). *Estudio Geofísico por los métodos de refracción sísmica y masw*. Lima.

GEORYS INGENIEROS S.A.C. . (29 de 03 de 2016). *Análisis multicanal de ondas superficiales*. Obtenido de MAWS: <http://www.georys.com/papers-presentaciones/>

Indeci. (09 de 08 de 2007). *Mapa de Peligros de la Ciudad de Abancay*. Obtenido de Proyecto INDECI: PNUD PER/02/051 00014426 - ciudades sostenibles: http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Apurimac/abancay/abancay_mp.pdf

K. O. (30 de 06 de 2016). *Fundaciones*. Obtenido de Definiciones: <http://fundaciongrupo3sena.blogspot.pe/2016/06/fundaciones-definiciones.html>

Lazcano, S. (14 de 11 de 2012). *XXVI Reunión nacional de mecánica de suelos e ingeniería geotécnica*. Obtenido de Perfiles de velocidad de ondas de corte y análisis del comportamiento sísmico del suelo : www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1_Reunion...sismica/E5LADS_1.doc

Lopez, F. (02 de abril de 2017). *Zonificación integral por amenazas naturales para la ciudad de Villavicencio-meta*. Obtenido de Microzonificación sísmica por microtemores: <https://es.scribd.com/document/135250996/Mzs-Microtemores-Villavicencio>

Ordaz, M., & Pérez Rocha, L. E. (05 de 09 de 1993). *MICROZONIFICACIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO CON FINES DE DISEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS*. Obtenido de MICROZONIFICACIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO: <http://www.funvisis.gob.ve/archivos/www/terremoto/Papers/Doc024/doc024.htm#TopOfPage>

Pardave, M. D. (02 de 02 de 2012). *Microzonificación sísmica de la ciudad de pisco*. Obtenido de tesis: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/464>

Ramon Chung, A. (07 de 08 de 2014). *Las escalas de medición y su importancia en una tesis o investigación en general*. Obtenido de Posted by ramonalfonso in Sin categoría: <https://ramonchung.wordpress.com/2014/08/07/las->

escalas-de-medicion-y-su-importancia-en-una-tesis-o-investigacion-en-general/

Reinoso, E. (21 de 06 de 2007). *microonificaicon*. Obtenido de ai.org.m: <http://www.ai.org.mx/ai/archivos/coloquios/2/Riesgo%20sismico%20de%20la%20Ciudad%20de%20Mexico.pdf>

Rivera Zeta, M., Piedra Rubio, R., & Paripanca García, Y. (2016). Ensayos Geofísicos de Refracción Sísmica y de Medición de Ondas de Corte (MASW y MAM) para usos de cimentación en obras de edificaciones. *Revista CIVILIZATE*, 8.

Zer Geosystem Peru s.a.c. (14 de 04 de 2010). *ENSAYOS GEOFÍSICOS POR Los metodos MASW Y MAM para el area de emplazamiento del puente Quilca*. Obtenido de MASW Y MAM: gis.proviasnac.gob.pe

Roberto Hernández Sampieri (2006). *Metodología de la investigación*. Mexico. McGraw-Hili.

Carmen Ortiz, *Aplicación del programa crisis 2007*. Recuperado en: <http://bvpad.indeci.gob.pe/>

Decreto supremo que modifica la norma técnica E.030 “diseño sismo resistente” del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por decreto supremo N° 011-2006-vivienda, modificada con decreto supremo N° 002-2014-vivienda. Ley N° 30156 de 24 de enero. Boletín Oficial El Peruano (24-01-2016).

Instructivo general sobre investigación pregrado y post grado. Resolución de Vicerrectorado de investigación N° 014-2016- UTEA-VRI. Diciembre 2016.

Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Disponible en: <http://www.indeci.gob.pe>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Disponible en: <http://www.inei.gob.pe>

Instituto Geofísico del Perú (IGP). Disponible en: <http://www.igp.gob.pe>

ANEXO

Anexo 1: Matriz de consistencia.

Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables.

Anexo 3: Instrumentos

- Plano De Capacidad Portante Del Suelo
- Plano De ubicación De Puntos De Estudio
- Plano De Ubicación De Calicatas
- Plano De Ubicación Del Proyecto
- Plano Estratigráfico Y Fc 0.00 - 10.00
- Plano Estratigráfico Y Fc 10.00 – 20.00
- Plano Estratigráfico Y Fc 20.00 – 30.00
- Plano De Curvas Isoperiodo

Los anexos y los planos se encuentran resguardados en el archivo de la Biblioteca Central de La Universidad.