REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL ASENTAMIENTO HUMANO SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO DE SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021

Tesis presentada por los Bachilleres:

Delgado Montesinos, Victor Leoneld

Gil Florez, Jeanette

para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**

Asesor (a):

Mg. Garcia Godos Peñaloza, Luz Matilde

Arequipa- Perú

2022

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 20 de Abril del 2022

Dictamen: 003607-C-EPIC-2022

Visto el borrador del expediente 003607, presentado por:

2010221832 - GIL FLOREZ JEANETTE
2011702851 - DELGADO MONTESINOS VICTOR LEONELD

Titulado:

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL ASENTAMIENTO HUMANO SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO DE SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

Nuestro dictamen es:

APROBADO

1888 - NEIRA ARENAS JULY LILIAM
DICTAMINADOR

3044 - GAMARRA TUCO RUBEN FRANCISCO
DICTAMINADOR

3045 - BUSTAMANTE MORA BORIS ANDRE
DICTAMINADOR

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Dedicatoria

Dedico este trabajo de Investigación a Dios por darme la vida y las oportunidades de lograr mis objetivos. A mis padres Edgard y Maritza; por su amor, confianza y amor incondicional a lo largo de mi vida. Les agradezco por permitirme concluir esta etapa de mi formación professional. A mi hermano Erick por su apoyo y ánimos durante estos años.

A mis hijos Thiago e Isabella, por ser el motor de mi vida y mi inspiración. Este trabajo es la culminación de un ciclo y el inicio de otro, uno mejor para nosotros.

Los amo.

Jeanette Gil Florez.

La presente investigación ha sido gracias al sacrificio de mis padres Víctor H. Delgado Regalado y A. Beatriz Montesinos Ávalos, los cuales me dieron atención, afecto y un alto entendimiento sobre la responsabilidad en mi vida. Por otro lado, agradezco la compañía de mi hermana Yésary y de mis hermanos mayores Rolando y Mayi, los cuales me demostraron día a día que valdría la pena el sacrificio de estudiar una Carrera professional.

Hago mención de mis mascotas Marcelo, Willy, Sasy, Dara, Suko y mis acuarios, los cuales me brindaron estabilidad emocional en momentos de incertidumbre.

Finalmente, hago mención a todos aquellos que sirvan de esta información, la cual ha sido elaborada con mucho esmero y dedicación.

Gracias.

Victor Leoneld Delgado Montesinos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Católica de Santa María, por la formación profesional inculcada en cada uno de nosotros, y por la accesibilidad del proceso de titulación durante la pandemia. A la orientación del Ing. Ruben F. Gamarra Tuco, en la elección del Proyecto de investigación. A la Mg. Ing. Luz Matilde Garcia Godos Peñaloza, por sus recomendaciones en el desarrollo del mismo. Al laboratorio Techlab de la ciudad de Arequipa, por brindarnos sus instalaciones para desarrollar los ensayos de laboratorio. A la Municipalidad Distrital de Socabaya por las facilidades de acceso a la Información. A los Sres. Rodolfo, Fernando, César, Jhon, Aníbal, residentes del A.H. Sor Ana de los Ángeles, quienes dieron las facilidades para ejecutar ensayos en campo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo general evaluar el potencial de licuefacción del suelo en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, distrito de Socabaya, provincia y departamento de Arequipa. Mediante el ensayo de penetración estándar (SPT), se extrajeron muestras para evaluar el potencial de licuefacción por el Método de Seed – Idriss, entre otros. Además de la evaluación previa del terreno, con la excavación de 03 calicatas; con el fin de ubicar estratégicamente los 03 puntos de perforación. Así mismo, se desarrolló 03 auscultaciones para conocer la condición del suelo en profundidades de hasta 30m, y así pretender cubrir toda el área en estudio.

El Potencial de licuefacción del suelo en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, en gran parte del área a profundidades de 1.00m y 2.30m resulta moderada; sim embrago, en algunos puntos con profundidades de 1.70 a 1.95m resulta alta.

Palabras claves:

Licuefacción, Suelo Arenoso, Nivel Freático, Potencial de Licuefacción, Capacidad portante, Velocidad de Onda de Corte, Magnitud momento

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ABSTRACT

The general objective of this research is to evaluate the potential for soil liquefaction in the Sor Ana de los Ángeles Human Settlement, Socabaya district, Arequipa province and department. Through the standard penetration test (SPT), samples were extracted to evaluate the potential for liquefaction by the Seed-Idriss Method, among others. In addition to the previous evaluation of the land, with the excavation of 03 pits; in order to strategically locate the 03 drilling points. Likewise, 03 auscultations were carried out to know the condition of the soil at depths of up to 30m, and thus intend to cover the entire area under study.

The potential for soil liquefaction in the Sor Ana de los Ángeles Human Settlement, in much of the area at depths of 1.00m and 2.30m, is moderate; However, at some points with depths of 1.70 to 1.95m it is high.

Key words:

Liquefaction, Sandy Soil, Water Table, Liquefaction Potential, Bearing Capacity, Shear Wave Velocity, Moment Magnitude.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

INDICE

DICTAMEN APROBATORIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 19

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 20

1.1 Planteamiento del Problema 21

1.2 Formulación del Problema 27

1.3 Hipótesis 28

1.4 Variables independiente y dependiente 29

1.5 Justificación de la investigación 29

1.5.1 Justificación Ambiental 29

1.5.2 Justificación Social 29

1.5.3 Justificación Económica 30

1.5.4 Justificación Tecnológica 30

1.6 Objetivos 30

1.6.1 Objetivo General 30

1.6.2 Objetivos Específicos 30

CAPÍTULO II FUNDAMENTO TEÓRICO 32

2.1. Marco Legal 33

2.2. Justificación del Área de Estudio 33

2.3. Marco Teórico 36

2.3.1. Definición de Licuefacción de Suelos 36

2.3.2. El proceso de Licuefacción de Suelos 37

2.3.3. Metodologías y criterios para la Zonificación de Suelos licuables 42

2.3.4. Cálculo del Potencial de Licuefacción de Suelos 63

2.3.5. Peligro Sísmico 89

2.3.6. Consecuencias de la licuación de Suelos 95

2.3.7. Prevención y reconstrucción frente al fenómeno de Licuefacción de Suelos 99

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.4. Marco Histórico 102

2.4.1. Introducción 102

2.4.2. Registro histórico Internacional 102

2.4.3. Resumen histórico de sismos con registro de Licuefacción de Suelos a nivel Internacional 150

2.4.4. Registro histórico Nacional 157

2.4.5. Resumen histórico de sismos con registro de Licuefacción de Suelos a nivel Nacional ... 172

2.5. Estado de Arte 176

2.5.1. Normativa Nacional sobre Licuefacción de Suelos 176

2.5.2. Normativa Internacional y pautas para el estudio de Licuefacción de Suelos 188

2.6. Antecedentes de la Investigación 192

2.6.1. Antecedentes Internacionales de estudios en Licuefacción de Suelos 192

2.6.2. Antecedentes nacionales de Investigación sobre suelos colapsables y potencial de licuefacción 210

CAPÍTULO III METODOLOGÍA 220

3.1. Tipo de Investigación 221

3.2. Campo de verificación 221

3.2.1. Ubicación espacial 221

3.2.2. Ubicación temporal 221

3.2.3. Unidades de estudio 221

3.3. Determinación de la población y los puntos de exploración 221

3.4. Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos 222

3.5. Procedimiento 223

CAPÍTULO IV RESULTADOS 226

4.1. Ubicación del área de estudio 227

4.2. Encuesta 227

4.3. Potencial de Licuefacción de Suelos 235

4.3.1. Grado 1: Zonificación General 235

4.3.2. Grado 2: Zonificación Detallada 237

4.3.3. Grado 3: Zonificación Rigurosa 242

CONCLUSIONES 282

RECOMENDACIONES 288

REFERENCIAS 291

ANEXOS 301

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variables Independiente y Dependiente 29
Tabla 2 Consideraciones generales para cada nivel de Zonificación..... 42
Tabla 3 Modelos matemáticos para determinar la distancia máxima epicentral R, con referencia a la magnitud del evento sísmico M 43
Tabla 4 Descripción de las intensidades de la escala de Mercalli Modificada (MM) 45
Tabla 5 Susceptibilidad a la licuefacción de unidades geomorfológicas..... 47
Tabla 6 Susceptibilidad a la licuefacción de depósitos sedimentarios durante fuertes movimientos sísmicos..... 51
Tabla 7 Unidades Geomorfológicas susceptibles a licuefacción sujeta a movimientos sísmicos de intensidad V (JMA) o VIII (MM) 52
Tabla 8 Modelos matemáticos para determinar el factor de reducción de esfuerzo, rd 65
Tabla 9 Modelos matemáticos para determinar el Factor de Magnitud de Escala MSF 66
Tabla 10 Modelos matemáticos para determinar el Factor de corrección de sobrecarga, CN 70
Tabla 11 Modelos matemáticos para determinar el Factor de Resistencia Cíclica, CRR 77
Tabla 12 Modelo matemático para determinar el Factor de Resistencia Cíclica, CRR..... 79
Tabla 13 Modelos matemáticos para determinar N1.60 en base a DR 81
Tabla 14 Modelos matemáticos para determinar FC..... 82
Tabla 15 Modelo matemático para determinar Kσ 84
Tabla 16 Modelo matemático para determinar Kσ 85
Tabla 17 Modelo matemático para determinar Kα 86
Tabla 18 Modelos matemáticos para determinar PL con datos Vs (Metodología) 87
Tabla 19 Escenarios de peligro sísmico..... 94
Tabla 20 Métodos seleccionados para mitigar el peligro de licuefacción del suelo sísmico..... 99
Tabla 21 Resumen de eventos sísmicos con registro de Licuación de Suelos a nivel internacional 150
Tabla 22 Resumen de eventos sísmicos con registro de Licuación de Suelos a nivel nacional 172
Tabla 23 Número de puntos de exploración 222
Tabla 24 Ensayos Mínimos de suelo..... 223
Tabla 25 Normas Técnicas Peruanas (NTP)..... 223

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 26 Niveles de Zonificación 224
Tabla 27 Métodos para evaluar el Potencial de Licuefacción 225
Tabla 28 Variables, dimensiones e indicadores de la encuesta..... 228
Tabla 29 Criterio Magnitud – Distancia máxima..... 236
Tabla 30 Susceptibilidad a la licuefacción..... 240
Tabla 31 Susceptibilidad a licuefacción sujeta a movimientos sísmicos de intensidad V (JMA) o VIII (MM)..... 241
Tabla 32 Resumen de las Condiciones de Cimentación 242
Tabla 33 Condiciones de Frontera 245
Tabla 34 Resultados de Ensayos de Laboratorio – Calicatas..... 252
Tabla 35 Resultados de Ensayos de Laboratorio – Perforación 01..... 253
Tabla 36 Resultados de Ensayos de Laboratorio – Perforación 02..... 254
Tabla 37 Resultados de Ensayos de Laboratorio – Perforación 03..... 255
Tabla 38 Resultados de la Curva de Probabilidad anual de excedencia para el área de estudio 257
Tabla 39 Valor de la aceleración para un periodo de retorno de 970 años (Probabilidad de excedencia 1/970) 257
Tabla 40 Cálculo del factor de reducción de esfuerzo para los estratos de la perforación P – 01 258
Tabla 41 Cálculo del factor de reducción de esfuerzo para los estratos de la perforación P – 02 258
Tabla 42 Cálculo del factor de reducción de esfuerzo para los estratos de la perforación P – 03 258
Tabla 43 Cálculo de la Relación de Estrés Cíclico (CSR) para la Perforación P – 01 259
Tabla 44 Cálculo de la Relación de Estrés Cíclico (CSR) para la Perforación P – 02 260
Tabla 45 Cálculo de la Relación de Estrés Cíclico (CSR) para la Perforación P – 03 261
Tabla 46 Corrección del Número de Golpes (N) a $(N_1)_{60}$ de la Perforación P - 01 262
Tabla 47 Corrección del Número de Golpes (N) a $(N_1)_{60}$ de la Perforación P - 02 262
Tabla 48 Corrección del Número de Golpes (N) a $(N_1)_{60}$ de la Perforación P - 03 263
Tabla 49 Corrección por Sobrecarga (C_N) del número de golpes corregido N_{60} de la perforación P – 01 263
Tabla 50 Corrección por Sobrecarga (C_N) del número de golpes corregido N_{60} de la perforación P – 02 264

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 51 Corrección por Sobrecarga (C_N) del número de golpes corregido N_{60} de la Perforación P – 03 264
Tabla 52 Corrección por Densidad Relativa (D_r) del número de golpes corregido N_{60} de la perforación P – 01 265
Tabla 53 Corrección por Densidad Relativa (D_r) del número de golpes corregido N_{60} de la perforación P – 02 265
Tabla 54 Corrección por Densidad Relativa (D_r) del número de golpes corregido N_{60} de la perforación P – 03 266
Tabla 55 Corrección por Contenido de Finos $(N_1)_{60,CS}$ del número de golpes corregido por sobrecarga $(N_1)_{60}$ de la perforación P – 01 266
Tabla 56 Corrección por Contenido de Finos $(N_1)_{60,CS}$ del número de golpes corregido por sobrecarga $(N_1)_{60}$ de la perforación P – 02 267
Tabla 57 Corrección por Contenido de Finos $(N_1)_{60,CS}$ del número de golpes corregido por sobrecarga $(N_1)_{60}$ de la perforación P – 03 267
Tabla 58 Valores de la Magnitud de Escala Sísmica para la perforación P – 01 268
Tabla 59 Valores de la Magnitud de Escala Sísmica para la perforación P – 02 268
Tabla 60 Valores de la Magnitud de Escala Sísmica para la perforación P – 03 269
Tabla 61 Valores del Factor de Resistencia Cíclica para la perforación P – 01 269
Tabla 62 Valores del Factor de Resistencia Cíclica para la perforación P – 02 270
Tabla 63 Valores del Factor de Resistencia Cíclica para la perforación P – 03 271
Tabla 64 Valores del Factor de Sobrecarga K_σ para la perforación P – 01 271
Tabla 65 Valores del Factor de Sobrecarga K_σ para la perforación P – 02 272
Tabla 66 Valores del Factor de Sobrecarga K_σ para la perforación P – 03 272
Tabla 67 Valores del Factor de Corrección por Esfuerzo Cortante para la perforación P – 01. 273
Tabla 68 Valores del Factor de Corrección por Esfuerzo Cortante para la perforación P – 02. 273
Tabla 69 Valores del Factor de Corrección por Esfuerzo Cortante para la perforación P – 03. 274
Tabla 70 Valores del Factor de Seguridad frente a la ocurrencia de Licuefacción de Suelos (FS_L) para la perforación P - 01 274
Tabla 71 Valores del Factor de Seguridad frente a la ocurrencia de Licuefacción de Suelos (FS_L) para la perforación P – 02 275
Tabla 72 Valores del Factor de Seguridad frente a la ocurrencia de Licuefacción de Suelos (FS_L) para la perforación P – 03 275

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 73 Potencial de Licuefacción para la perforación P – 01..... 277
Tabla 74 Potencial de Licuefacción para la perforación P – 02..... 277
Tabla 75 Potencial de Licuefacción para la perforación P – 03..... 278
Tabla 76 Valores de Potencial de Licuefacción de Suelos P_L a partir de las Velocidades de Ondas de Corte Sísmica (Vs) de la auscultación A – 01 279
Tabla 77 Valores de Potencial de Licuefacción de Suelos P_L a partir de las Velocidades de Ondas de Corte Sísmica (Vs) de la auscultación A – 01 (Detallado) 279
Tabla 78 Valores de Potencial de Licuefacción de Suelos P_L a partir de las Velocidades de Ondas de Corte Sísmica (Vs) de la auscultación A – 02 280
Tabla 79 Valores de Potencial de Licuefacción de Suelos P_L a partir de las Velocidades de Ondas de Corte Sísmica (Vs) de la auscultación A – 02 (Detallado) 280
Tabla 80 Valores de Potencial de Licuefacción de Suelos P_L a partir de las Velocidades de Ondas de Corte Sísmica (Vs) de la auscultación A – 03 281
Tabla 81 Valores de Potencial de Licuefacción de Suelos P_L a partir de las Velocidades de Ondas de Corte Sísmica (Vs) de la auscultación A – 03 (Detallado) 281

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Casa de bloques de concreto afectada por compactación diferencial y desplazamiento lateral de arena de playa licuada 21
Figura 2 Inundación de área residencial en el sureste de Chimbote debido al asentamiento y compactación del terreno 22
Figura 3 Asentamientos y fisuramientos de carretera asfaltada debido a compactación y desplazamiento lateral de depósitos lagunares y de playa 22
Figura 4 Inclinación de postes Urb. Las Magnolias, Lara, Socabaya 24
Figura 5 Inclinación de muro Urb. Las Magnolias, Lara, Socabaya 24
Figura 6 Grietas en el terreno Urb. Las Magnolias, Lara, Socabaya 25
Figura 7 Emanación de arena por las grietas superficiales. Anexo Huaranguillo, Sachaca 25
Figura 8 Volcanes de arena alineados en la ribera del Río Camaná 26
Figura 9 Desplazamiento lateral del terraplén del Golden Playa Discoteca 26
Figura 10 Distribución de esfuerzos en una masa de suelo 38
Figura 11 Resistencia al esfuerzo cortante de un suelo durante el proceso de licuación 39
Figura 12 Ilustración del proceso de licuación de suelos 40
Figura 13 Desarrollo del proceso de licuación de suelos 41
Figura 14 Correspondencia entre las escalas de intensidad sísmicas más populares 45
Figura 15 Mapa de Microzonificación por Potencial de Licuefacción, estimado de la información geomorfológica 48
Figura 16 Distancia horizontal desde la superficie de proyección de la fuente de energía 49
Figura 17 Contornos del Índice de Severidad de Licuefacción (LSI) del sur de California, con 90% de probabilidad de no excedencia en 50 años 50
Figura 18 Mapa de susceptibilidad a fallas de suelo inducidas por licuefacción para un área hipotética 54
Figura 19 Mapa de período de retorno de oportunidad de fallas en tierra para un área hipotética 55
Figura 20 Mapa de potencial de falla del suelo inducido por licuefacción para un área hipotética 56

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 21 Mapa de clasificación geomorfológica de los suelos en la llanura de Shonai, mostrando su susceptibilidad a la licuefacción 57
Figura 22 Curvas de contorno propuestas, para la manifestación superficial del daño inducido por licuefacción 59
Figura 23 Esquema de la capa superficial no licuable y de la arena licuable subyacente 59
Figura 24 Probabilidad de ocurrencia de licuefacción en el centro de la ciudad de Tokio 61
Figura 25 Mapa de zonificación del potencial de Licuefacción de suelos, para la zona hondonada de Tokio 62
Figura 26 Métodos Pre-definidos en Settle3D 68
Figura 27 Resumen de factores de corrección para valores de campo SPT-N 70
Figura 28 Resumen del factor eficiencia de energía de martillo 72
Figura 29 Resumen del factor de corrección del diámetro de pozo 72
Figura 30 Resumen del factor de corrección de longitud de varilla 73
Figura 31 Valores recomendados para CR 73
Figura 32 Valores recomendados para CS 74
Figura 33 Curvas límites de licuefacción. Correlación de valores de N160 y CRR (M=7.5) 75
Figura 34 Curva base simplificada recomendada para el cálculo de CRR de los resultados del SPT, con informaciòn empírica de licuefacción 76
Figura 35 Método probabilístico de Licuefacción basado en ensayo SPT 79
Figura 36 Método probabilístico de Licuefacción basado en ensayo SPT 80
Figura 37 Curvas recomendadas para estimar Kσ con propósitos ingenieriles 84
Figura 38 Valores de Kσ con las recomendaciones de NCEER (n=0.7 y DR<60%) 85
Figura 39 Fuentes Sismogénicas de Subducción de Interfase e Intraplaca 91
Figura 40 Fuentes Sismogénicas de Corteza Superficial o Continentales 92
Figura 41 Parámetros sismológicos de las fuentes sismogénicas 93
Figura 42 Daños observados en el túnel del Metropolitano de Lisboa, ocasionado por licuefacción estática 95
Figura 43 Asentamiento diferencial de una estructura provocada por la licuefacción de suelos durante el terremoto de Taiwan del 2018 96
Figura 44 Asentamiento absoluto de estructuras de concreto armado, terremoto de Darfield 2010 (a) y terremoto de Luzon 1990 (b) 97

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 45 Empuje de buzones provocado por licuefacción de suelos en la ciudad de Urayasu, prefectura de Chiba. Terremoto de Japón del 2011 97
Figura 46 Volcanes de arena en eyección hacia las calles cubiertas de limo, luego del terremoto de Canterbury de 2011 97
Figura 47 Colapso de rellenos sanitarios, ocasionado por fallas en su estructura de contención, ocurrido durante el derrumbe del vertedero de Hongao, China 98
Figura 48 Esquema constructivo del tratamiento de cimentación para construir un bloque de suelo reforzado 101
Figura 49 Esquema didáctico de falla de un edificio, luego del terremoto de 1906 103
Figura 50 Fotografía de falla del edificio en mención, luego del terremoto de 1906 104
Figura 51 Colapso de terraplén de la línea Tokaido, Nakajima - Japón 105
Figura 52 Desplazamientos permanentes de tierra en Morita-cho, Japón 107
Figura 53 Destrucción asociada al fenómeno de licuación de suelos, provocado por el terremoto de Valdivia de 1960, Chile 110
Figura 54 (a) Distribución del Cinturón de fuego, demarcando las zonas más sísmicas del mundo 110
Figura 55 (b) Subducción por la adaptación entre las placas de Nazca y Sudamericana 111
Figura 56 (c) Subducción de placa oceánica por debajo de la placa continental 111
Figura 57 Colapso del estrato superficial del suelo, ocasionado por estratos subyacientes licuables 114
Figura 58 Reducción del cauce del río Shinano, ocasionado por el terremoto de Niigata, 1964 115
Figura 59 Colapso del puente Showa, ocasionado por el terremoto de Niigata, 1964 117
Figura 60 Pandeo de tubería de gas enterrada 118
Figura 61 Parte inferior de la presa de San Fernando, luego del terremoto de 1971 119
Figura 62 Daño registrado en tuberías enterradas de línea de gas 121
Figura 63 Superficie ondulada del suelo, en la ladera norte de Maeyama, prefectura de Nagano - Japón 121
Figura 64 Depresión en la orilla del río Alamo, ocasionado por licuefacción durante el sismo de 1981, California 122

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 65 Colapso de un tramo del camino de acceso a State Park, Loma Prieta – San Francisco 124
Figura 66 Grietas ocasionadas por licuefacción, al borde del agua 125
Figura 67 Grietas a la entrada de State Park, ocasionados por los delizamientos laterales del suelo, producto de la licuación 126
Figura 68 Asentamientos puntuales en vias y edificaciones, deslizamientos laterales del suelo y fisuras con erupción de agua y arena, luego del terremoto de Luzon - 1990 128
Figura 69 Asentamiento total de una edificación, luego del terremoto de Luzon, 1990 129
Figura 70 Fisuras y generación de subsidenciaa de considerable medida, provocado por el terremoto 130
Figura 71 Deslizamiento de tierra en Las Colinas, Santa Tecla, El Salvador 131
Figura 72 Puente Tubul, luego del terremoto del 2010 en Chile 132
Figura 73 (a) Asentamiento parcial de vivienda, y (b) eyección de volcanes de arena al interior de vivienda 134
Figura 74 Daños inducidos por licuefacción, eyección de arenas y desplazamiento lateral de suelos, el Puerto del Coronel, Chile 135
Figura 75 Edificio alto Río desplomado por negligencia durante el estudio de mecánica de suelos 136
Figura 76 Colapso de vivienda construída con material noble al este del estado de Shan, Myanmar 138
Figura 77 Empuje de instalaciones enterradas, en el distrito de Tohoku, Japón 139
Figura 78 (a) Asentamientos de las calles y (b) edificios en Urayasu, prefectura de Chiba, Japón 140
Figura 79 (a) Línea de gas temporal y (b) líneas de agua temporales en Urayasu, prefectura de Chiba, Japón 141
Figura 80 Vehículos atascado en material fangoso, eyecto de estratos licuables sufyacientes en la ciudad de Urayasu, luego del terremoto del 2011, Japón 142
Figura 81 Eyección de arena en el distrito de Kanto, por el terremoto del de la costa del Pacífico de 2011 144
Figura 82 Vista desde el estribo izquierdo hacia la zona destruída de la presa de Fujinuma, ocasionado por el terremoto 146

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 83 Asentamiento total de vivienda, registrado en la ciudad Coatzacoalcos, Mexico 147
Figura 84 Vivienda asentada por licuación de suelos, registrado en la ciudad Coatzacoalcos, Mexico 149
Figura 85 Mapa de licuación de suelos en el Perú..... 157
Figura 86 Deslizamiento de suelos junto con agrietamientos, y daño estructural ocasionado por el simos del 24 de mayo de 1940, Lima & Callao 159
Figura 87 Colapso de vivienda y suelos inestables en la ciudad de Cusco, luego del terremoto de1950..... 160
Figura 88 Huacho luego del tsunami de 1966, Provincia de Huaura - Lima..... 161
Figura 89 Colapso total de estructuras de material noble en la ciudad de Ancash, 1970..... 163
Figura 90 Vivienda colapsada luego del terremoto de 1970 163
Figura 91 Colapso estructural de iglesia, luego del terremoto de 1974 en Lima 165
Figura 92 Trabajos de reforzamiento en puente del río Yauca, afectado por licuefacción en el lecho del río..... 166
Figura 93 Colapso de casas construídas con material noble en Arequipa, luego del terremoto de 2001..... 167
Figura 94 Balnerario de Camaná en Arequipa, luego del terremoto y tsunami de 2001..... 168
Figura 95 Subsidencia de vivienda en Camaná, luego del terremoto y tsunami de 2001 169
Figura 96 Edificación colapsada por licuefacción de suelos en Pisco, 2007..... 170
Figura 97 Area de viviendas colapsadas por licuefacción, Pisco 2007 170
Figura 98 Volcán de arena registrado en el Malecón del río Huallaga, Loreto..... 171
Figura 99 Sismos históricos de mayor magnitud con ocurrencia de Licuefacción de Suelos, ocurridos en el departamento de Arequipa 175
Figura 100 Tipos de muestra 178
Figura 101 Ensayos de Laboratorio..... 178
Figura 102 Clasificación del Índice de Colapso Ic..... 180
Figura 103 Ensayos a realizar de las muestras obtenidas del penetrómetro usado en la perforación SPT 181
Figura 104 Clasificación del Potencial de Licuación de Suelos..... 181
Figura 105 Categoría de la Edificación según Norma E.030 y FLs 182
Figura 106 Curvas simplificadas para el cálculo del CRR a partir del SPT N160 183

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 107 Curvas simplificadas para el cálculo del CRR a partir del CPT qc1N 183
Figura 108 Curvas simplificadas para el cálculo del CRR a partir de Velocidades de ondas de corte Vs1 184
Figura 109 Tabla de riesgo de colapso de un suelo de acuerdo a su potencial 193
Figura 110 Granulometría de suelos licuados 194
Figura 111 Comparación de los ensayos en campo para evaluar CRR 195
Figura 112 Factores de corrección para los valores de N del SPT 196
Figura 113 Factor de seguridad recomendado para evaluar la susceptibilidad a la licuefacción 197
Figura 114 Velocidades de ondas P 198
Figura 115 Resumen del cálculo de la licuefacción de suelos 199
Figura 116 Golpe de los sondeos del SPT 200
Figura 117 Ubicación geográfica de los perfiles sísmicos 204
Figura 118 Imagen del dominio Frecuencia – Velocidad de fase del perfil sísmico L5T1 205
Figura 119 Estructura de la velocidad de onda de corte estimada 207
Figura 120 Curvas para calcular CRR, con datos de N160 208
Figura 121 Curvas para calcular CRR, con datos de Vs1 209
Figura 122 Factores de Seguridad (FS) 210
Figura 123 Curva Límite de Colapsabilidad 211
Figura 124 Curva de Gibbs 212
Figura 125 Criterios de Colapsabilidad según el Peso específico seco y el potencial de colapso 213
Figura 126 Resumen susceptibilidad a la licuefacción grado 1 215
Figura 127 Susceptibilidad estimada para el suelo y las condiciones geomorfológicas presentes en el C.P. El Pasto 216
Figura 128 Evaluación del Potencial de Licuefacción para una magnitud sísmica Mw = 8.4 del ensayo N° 3 de SPT 217
Figura 129 Ubicación del área de investigación 227
Figura 130 Gráfico: Pregunta Nº 1 228
Figura 131 Gráfico: Pregunta Nº 2 230
Figura 132 Gráfico: Pregunta Nº 3 231

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 133 Gráfico: Pregunta Nº 4 232
Figura 134 Gráfico: Pregunta Nº 5 233
Figura 135 Gráfico: Pregunta Nº 6 234
Figura 136 Ubicación del área de estudio en el Mapa Geológico 238
Figura 137 Ubicación del área de estudio en el Mapa Geomorfológico 239
Figura 138 Elevaciones del área de estudio 241
Figura 139 Edificación de 03 niveles, cercana al punto de exploración P – 01 243
Figura 140 Edificación de 03 niveles cercana al punto de exploración P - 02 244
Figura 141 Edificación de 03 niveles cercana al punto de exploración P - 03 244
Figura 142 Perfil estratigráfico de la calicata C - 01 247
Figura 143 Perfil estratigráfico de la calicata C – 02 247
Figura 144 Perfil estratigráfico de la calicata C - 03 248
Figura 145 Perfil estratigráfico de la perforación P – 01 248
Figura 146 Perfil estratigráfico de la perforación P – 02 249
Figura 147 Perfil estratigráfico de la perforación P – 03 250
Figura 148 Perfil estratigráfico de la auscultación A – 01 250
Figura 149 Perfil estratigráfico de la auscultación A – 02 251
Figura 150 Perfil estratigráfico de la auscultación A – 03 251
Figura 151 Curva de Probabilidad anual de excedencia VS Aceleración espectral 256
Figura 152 Diagrama de esfuerzos totales, efectivos y presión de poros de la Perforación P - 01 259
Figura 153 Diagrama de esfuerzos totales, efectivos y presión de poros de la Perforación P - 02 260
Figura 154 Diagrama de esfuerzos totales, efectivos y presión de poros de la Perforación P - 03 261

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de situaciones y a lo largo de la historia de la humanidad, se ha requerido cimentar estructuras en diversas tipologías de suelos que existen en el planeta Tierra. Y en algún momento del tiempo, éstas se han visto afectadas por fuerzas sísmicas ocasionadas por movimientos de la corteza terrestre de tan elevada magnitud que; ocasionaron, desde la iniciación de actividad volcánica, tsunamis al largo de zonas costeras, desplazamientos masivos de suelos y casos peculiares en donde, diversos testigos narran su testimonio como: "se abrió la tierra y brotó agua y arena de color rosado e incluso color negro". Este fenómeno; conocido a nivel internacional como licuefacción de suelos, resulta incluso más catastrófico que la falla estructural de una edificación.

Por ello, es a partir del siglo XX que, las principales potencias económicas del mundo como Japón y Estados Unidos comenzaron a analizar este inusual comportamiento que ocurre en el suelo bajo actividad sísmica. Logrando así, metodologías que permiten identificar aquel tipo de suelo que es susceptible a generar un proceso de licuefacción. Gracias a esto, se ha logrado mitigar este fenómeno de suelos, mediante la ejecución de diversos proyectos civiles para mejorar las condiciones del suelo para cimentar una estructura.

Sin embargo, en países en desarrollo como Perú, estas metodologías son poco e inclusive no consideradas previamente a la ejecución de un proyecto civil. Por ende, es importante comenzar a desarrollar investigación para identificar las zonas donde es muy probable – o inclusive moderado – que se dé el proceso de licuefacción de suelos, para evitar catástrofes en post de un evento sísmico de alta magnitud.

.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.1 Planteamiento del Problema

La licuefacción del suelo es el fenómeno que se produce por la acción sísmica sobre los suelos arenosos saturados.

En los años sesenta, los terremotos de Niigata y Alaska evidenciaron la licuefacción del suelo, a partir de allí se inicia con la investigación del fenómeno tratando de identificar los factores que lo provocan y desarrollándose métodos empíricos para evaluar la ocurrencia. Posteriormente se mejoró, los procedimientos para determinar la susceptibilidad del suelo a la licuefacción y los métodos para reforzar el suelo protegiendo a las estructuras.

En el Perú, el terremoto de 1970 que afecto todo el departamento de Ancash y el sur de La Libertad evidenció licuación de suelos. Desplazamientos laterales, volcanes de arena a lo largo de los ríos, eyecciones de agua y asentamientos fueron las evidencias del fenómeno. (Hurtado J. A., 1983)

Figura 1 *Casa de bloques de concreto afectada por compactación diferencial y desplazamiento lateral de arena de playa licuada*



Fuente: Alva, J. (s.f.). Actualización de la ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos en el Perú. [Figura]. Recuperado de http://www.jorgealvahurtado.com

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 2 *Inundación de área residencial en el sureste de Chimbote debido al asentamiento y compactación del terreno*



Fuente: Alva, J. (s.f.). Actualización de la ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos en el Perú. [Figura]. Recuperado de http://www.jorgealvahurtado.com

Figura 3 *Asentamientos y fisuramientos de carretera asfaltada debido a compactación y desplazamiento lateral de depósitos lagunares y de playa*



Fuente: Alva, J. (s.f.). Actualización de la ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos en el Perú. [Figura]. Recuperado de http://www.jorgealvahurtado.com

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El 23 de junio del 2001, el sur del Perú fue golpeado por un terremoto de magnitud 8.2 (Mw) que causo muerte y destrucción principalmente en los departamentos de Arequipa, Ayacucho, Moquegua y Tacna. (Alva Hurtado & Ortiz Salas , 2020)

Yanqui (2001) indica que hubo licuefacción en las siguientes áreas: Urbanización Las Magnolias, distrito de Socabaya, en el área de Lara y Los Cristales se evidenció licuefacción. Distorsiones y fracturas del suelo, ebullición de agua con arena, desplazamientos laterales de pequeños taludes, inclinación y caída de postes son algunos de los efectos del fenómeno.

Huaranguillo en el distrito de Sachaca se observó un pequeño volcán de arena y otro grande que expulso arena rosada, también una grieta longitudinal en un talud de un metro de altura. En Semi Rural Pachacutec, distrito de Cerro Colorado, la licuefacción provoco alabeamiento y el colapso de algunos muros, taludes de pequeña altura se agrietaron y un muro de contención colapso.

Gómez, et al. (2002) observaron licuación de suelos en los valles de los ríos Yauca, Ocoña, Camaná, Tambo, Osmore, Locumba y Sama. La mayor evidencia fue a lo largo del río Camaná y la franja costera entre Mejía y la Punta de Bombón. Arenas finas e intermedias a lo largo del río licuaron en bancos de arena no muy potentes. Volcanes de arena de hasta 2 m de diámetro. Fracturas longitudinales a lo largo de los bancos con eyección de arena de pocos metros.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 4 *Inclinación de postes Urb. Las Magnolias, Lara, Socabaya*



Fuente: Aguilar, Z., Alva, J. (2002). III Curso Internacional Microzonificación y su aplicación en la Mitigación de Desastres. [Figura]. Recuperado de http://www.jorgealvahurtado.com

Figura 5 *Inclinación de muro Urb. Las Magnolias, Lara, Socabaya*



Fuente: Aguilar, Z., Alva, J. (2002). III Curso Internacional Microzonificación y su aplicación en la Mitigación de Desastres. [Figura]. Recuperado de http://www.jorgealvahurtado.com

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 6 *Grietas en el terreno Urb. Las Magnolias, Lara, Socabaya*



Fuente: Aguilar, Z., Alva, J. (2002). III Curso Internacional Microzonificación y su aplicación en la Mitigación de Desastres. [Figura]. Recuperado de http://www.jorgealvahurtado.com

Figura 7 *Emanación de arena por las grietas superficiales. Anexo Huaranguillo, Sachaca*



Fuente: Aguilar, Z., Alva, J. (2002). III Curso Internacional Microzonificación y su aplicación en la Mitigación de Desastres. [Figura]. Recuperado de http://www.jorgealvahurtado.com

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 8 *Volcanes de arena alineados en la ribera del Río Camaná*



Fuente: Alva, J. (s.f.). Actualización de la ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos en el Perú. [Figura]. Recuperado de http://www.jorgealvahurtado.com

Figura 9 *Desplazamiento lateral del terraplén del Golden Playa Discoteca*



Fuente: Alva, J. (s.f.). Actualización de la ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos en el Perú. [Figura]. Recuperado de http://www.jorgealvahurtado.com

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.2 Formulación del Problema

Problema General

¿Cuál es el potencial de licuefacción del suelo en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, distrito de Socabaya, provincia y departamento de Arequipa en el 2021?

Problemas Específicos

¿Cómo se podría estudiar información acerca de las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas acerca de su suelo de fundación?

¿Qué grado de conocimiento existe sobre la vulnerabilidad del suelo al licuarse por un fuerte sismo en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles?

¿De qué manera es posible conocer los puntos de exploración para un estudio de determinación de la susceptibilidad a la Licuefacción de suelos que se lleve a cabo en su área jurisdiccional?

¿Qué metodología es recomendable aplicar para determinar el Potencial de Licuefacción de suelos en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, ubicado en el distrito de Socabaya, de la provincia de Arequipa?

¿Se puede brindar a la población del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, alguna información acerca de la susceptibilidad de su suelo a ser licuado por un evento sísmico de gran escala?

¿Finalmente, el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles del distrito de Socabaya, es propenso a sufrir daños por Licuefacción de Suelos luego de un fuerte sismo?

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.3 Hipótesis

Hipótesis General

Existe susceptibilidad a la licuefacción de suelos en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, por lo cual es factible determinarlo mediante el Potencial de Licuefacción de Suelos.

Hipótesis Específicos

Es posible identificar las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del suelo del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, a través de su documentación en tablas, planos y/o mapas, según la información existente.

Es posible determinar mediante datos porcentuales el nivel de conocimiento e idiosincrasia por parte de los habitantes de las viviendas del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, sobre lo que acontece el fenómeno de Licuación de suelos ocasionado por fuertes movimientos sísmicos.

Existe la posibilidad de presentar documentación que permita conocer el detalle de la exploración al suelo existente, mediante documentación del tipo gráfica (planos).

Se puede determinar el Potencial de Licuefacción de Suelos mediante la metodología basada en los números de golpe del ensayo SPT, y cálculos basados en la velocidad de onda de corte sísmica obtenidos del ensayo MASW.

Se puede concretizar el estudio de susceptibilidad a la Licuefacción del suelo del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, mediante la confección de mapas, considerando los grados de análisis que se recomiendan para este caso.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Es factible determinar la susceptibilidad a la Licuefacción del suelo del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles mediante el cálculo de su Potencial de Licuefacción de Suelos.

1.4 Variables independiente y dependiente

Tabla 1 *Variables Independiente y Dependiente*

Variable	Indicador	Unidad	Tipo de Variable
Suelo del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles	Características geológicas	[--]	Independiente
	Características geomorfológicas	[--]	
	Características geotécnicas	[--]	
	Propiedades físicas y mecánicas del suelo	[Variable]	
Potencial de Licuefacción de Suelos	Relación de Estrés Cíclico (CSR)	[--]	Dependiente
	Factor de Resistencia Cíclica (CRR)	[--]	
	Factor de Seguridad frente a la ocurrencia de Licuefacción de Suelos (FS_L)	[--]	
	Potencial de Licuefacción de Suelos (P_L)	[%]	
	Factor de Magnitud de Escala (MSF)	[--]	
	Factor de Corrección por Sobrecarga (C_N)	[--]	
	Factor de Corrección de eficiencia energética del martillo (C_E)	[--]	
	Factor de Corrección del Diámetro del Pozo (C_B)	[--]	
	Factor de Corrección de la Longitud de la Varilla (C_R)	[--]	
	Factor de Corrección del Muestreador (C_S)	[--]	
	Número de golpes del Ensayo de Penetración Estándar (N)	[golpes]	
	Factor de corrección de tensión por sobrecarga (K_α)	[--]	
	Factor de corrección de la pendiente del terreno (K_σ)	[--]	

Fuente: Elaboración propia

1.5 Justificación de la investigación

1.5.1 Justificación Ambiental

La licuefacción provoca agrietamientos, desplazamientos laterales, asentamientos, entre otros efectos. Por lo tanto, las condiciones del suelo y la actividad sísmica influyen constantemente en el entorno, no sólo por el reflejo de daños, sino que además convierte esta zona en una de riesgo para el desarrollo sustentable.

1.5.2 Justificación Social

Esta investigación pretende identificar el riesgo al que se expone la población local, situándose sobre áreas potencialmente licuables, con información que evidencia la vulnerabilidad del suelo a sufrir variaciones producidas por fuerzas sísmicas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.5.3 Justificación Económica

El estudio sobre este fenómeno advierte el efecto sobre las estructuras, por esta razón, desarrollar proyectos para reducir el nivel freático permite el uso del suelo garantizando la estabilidad necesaria para la construcción de edificaciones y el planeamiento urbano futuro.

1.5.4 Justificación Tecnológica

La tecnología es importante para la evaluación de la licuefacción, así como la utilización de equipos modernos que permiten un estudio más preciso y eficaz contribuyendo con la obtención de resultados. Justificar su necesidad promueve el progreso lo cual facilitaría la investigación de este fenómeno.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Determinar el Potencial de Licuefacción del suelo en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, ubicado en el distrito de Socabaya, provincia y departamento de Arequipa

1.6.2 Objetivos Específicos

Documentar mediante mapas con base de la información existente, las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del suelo del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles

Identificar el nivel de conocimiento por parte de los habitantes de viviendas del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, acerca de la peligrosidad del evento de licuación de suelos en su sector y su mitigación, mediante una encuesta simple de preguntas dicotómicas y cerradas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Elaborar un plano de exploración del suelo mediante calicatas, perforaciones y auscultaciones, que se lleven a cabo en el suelo del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles

Aplicar la formulación de Seed – Idriss y Otros para determinar el Potencial de Licuefacción de Suelos en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, mediante el ensayo de Penetración Estándar (SPT) y cálculos basados en la Velocidad de Onda de Corte sísmica (V_S)

Elaborar mapas de grados de susceptibilidad de Licuefacción del suelo del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, en base a los resultados obtenidos en campo y gabinete.

Concluir de manera cuantitativa y cualitativa, acerca del Potencial de Licuefacción de Suelos en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.1. Marco Legal

Existe una Normativa Nacional para el caso de Suelos Potencialmente Licuables. Para este estudio, se consideran las recomendaciones planteadas en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Específicamente en las normas E.030 Diseño Sismorresistente y E.050 Suelos y Cimentaciones (SENCICO, 2020). Así mismo, se consideran aquellos lugares potencialmente licuables, estipuladas en el Manual de Carreteras, Suelos. Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Manuales, Abril 2014). Y el Manual de Puentes (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Manuales, Diciembre 2018). Ambos documentos publicados por el MTC del Gobierno Peruano.

Para las metodologías a utilizar en la presente investigación, se considera las mejores recomendaciones, según el NCEER, The Japanese Geotechnical Society, Soils and Foundations y diversos especialistas del tema, que llevaron a cabo sus investigaciones producto de catastróficos fenómenos sísmicos ocurridos en Estados Unidos, Japón, Chile, México, Tailandia y otros países.

2.2. Justificación del Área de Estudio

Diversas investigaciones y documentos justifican la importancia de la zonificación por licuefacción de suelos en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, Sector Lara - Socabaya. La documentación revisada es la que se presenta a continuación:

Nombre: Geología y Estratigrafía del Cuaternario y Zonificación Geotécnica – Sísmica del Área Urbana de Arequipa.

Autor (es): Dr. Ing. Hernando Núñez de Prado S., Ing. Eduardo Farfán Bazán, Bach. Héctor Díaz Urquizo.

Fecha de publicación: Febrero 2001.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En el libro Geología y Estratigrafía del Cuaternario y Zonificación Geotécnica-Sísmica del Área Urbana de Arequipa, se califica como zona de Alto Riesgo con potencial a la licuefacción, a los sectores de Bellapampa, Lara y Chilpinilla (Núñez del Prado S., Farfán Bazán, & Díaz Urquizo, Febrero 2001).

Nombre: Microzonificación Sísmica de la ciudad de Arequipa.

Autor (es): Zenón Aguilar Bardales, Jorge E. Alva Hurtado.

Fecha de publicación: Noviembre 1991.

En el reporte Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Arequipa, elaborado por Zenón Aguilar Bardales y Jorge E. Alva Hurtado, se identifica en las urbanizaciones de Alto Cayma, Francisco Bolognesi y Bellapampa, suelos con condiciones geotécnicas desfavorables, y donde el nivel freático se encuentra cerca a la superficie (Hurtado Z. A., 2000).

Nombre: Mapa de peligros y lineamientos para el plan de usos del suelo de la ciudad de Arequipa.

Autor (es): Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), Universidad Nacional de San Agustín (UNSA).

Fecha de publicación: Junio 2001.

INDECI (2001) califica como zona de peligro de licuefacción de suelos, escorrentía de aguas subterráneas, compresibilidad de suelos por abundante material orgánico presente y con insuficiencia de drenaje al Sector Lara.

Nombre: Proyecto de Mitigación, sector Lara – Socabaya – Arequipa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Autor (es): Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), Universidad Nacional de San Agustín (UNSA).

Fecha de publicación: Enero 2002.

El Plan de Mitigación sector Lara - Socabaya, Arequipa, cataloga al fundo Lara como un sector crítico, destacando los anexos de: Urb. Lara, Las Magnolias, José Abelardo Quiñones, Villa Campo Ferial, Los Cristales y Sor Ana de Los Ángeles (Sistema Nacional de Defensa Civil, Enero 2002).

Nombre: Los suelos en la ciudad de Arequipa, por la Ing. Isabel Bernal.

Autor (es): Ing. Isabel Bernal, investigadora del Instituto Geofísico del Perú.

Fecha de publicación: Setiembre 2018.

La Ing. Isabel Bernal (2018) menciona en una columna publicada en el diario Correo Arequipa que, los suelos de la urb. Lara en el distrito de Socabaya, son blandos y con alto contenido de agua, lo que ante la ocurrencia de sismos provocaría agrietamientos y asentamientos de las estructuras por acción de su propio peso.

Nombre: Estudios de Microzonificación Geotécnica Sísmica y Evaluación del Riesgo en zonas ubicadas en los distritos de Carabayllo y El Agustino (provincia y departamento de Lima); distrito de Cusco (provincia y departamento de Cusco); y distrito de Alto Selva Alegre (provincia y departamento de Arequipa).

Autor (es): Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID).

Fecha de publicación: Noviembre 2013.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Los distritos de Alto Selva Alegre y Sachaca, no resultaron con varios antecedentes para llevar a cabo un estudio de licuefacción, lo cual se ve reflejado en el Informe llevado a cabo por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres en el que, como resultado del estudio de diagnóstico de riesgo se cataloga al distrito de Selva Alegre como uno asentado sobre un suelo tipo 2. Según el RNE con probabilidad de deslizamientos en pendientes, mas no por presencia de estratos licuables.

Nombre: Zonificación Sísmica – Geotécnica del distrito de Sachaca – Arequipa (Comportamiento dinámico del Suelo).

Autor (es): Lisbeth Bejarano, Hernando Tavera, Isabel Bernal, Juan Carlos Gomez, Henry Salas (Todos de la Dirección de Sismología del IGP).

Fecha de publicación: 2013.

En el Informe de Zonificación Sísmica – Geotécnica del distrito de Sachaca – Arequipa (Comportamiento Dinámico del Suelo) del Instituto Geofísico del Perú, se identificaron suelos tipo 1 y 2 en el distrito (según RNE), como 06 laderas con indicio de deslizamientos (FS inestable a precario) y 06 zonas susceptibles a inundación (en la cuenca del río Chili que limita con el distrito). No se identificó en el informe algún indicio de licuefacción de suelos, como estipula la normativa peruana.

2.3. Marco Teórico

2.3.1. Definición de Licuefacción de Suelos

El Reglamento Nacional de Edificaciones en la normativa E.050 Artículo 38, define el fenómeno de Licuación de Suelos, como aquel que ocurre en suelos granulares y aquellos con presencia de finos cohesivos ubicados bajo la capa freática; lo cual conlleva a producir el fenómeno

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

bajo efectos de vibración sísmica. Este fenómeno consiste en la pérdida momentánea de la resistencia al corte del suelo, como consecuencia de un incremento en la presión de poros, generada por el agua contenida en los vacíos de la estructura del suelo. Esta pérdida de resistencia al corte, genera una falla por asentamiento en cualquier edificación apoyada sobre estos tipos de suelos y también ocurre por el desplazamiento lateral de taludes y terraplenes (SENCICO, 2020).

Así mismo, el acápite 38.2 de la norma, establece que un suelo granular también es susceptible a licuarse cuando presenta las siguientes características en conjunto: Esta constituido de arena, arena limosa, arena arcillosa, limo arenoso no plástico o grava confinada por alguno de los materiales expuestos anteriormente. Así también de que pudiera encontrarse este tipo de suelo en estado sumergido.

Finalmente, la norma establece que el Profesional Responsable (PR) deberá incluir en el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS), un análisis determinístico y probabilístico del Potencial de Licuación de la zona de acción. Para posteriormente, indicar la probabilidad de ocurrencia del fenómeno de licuefacción.

2.3.2. El proceso de Licuefacción de Suelos

a. Condición Inicial del Suelo.

Como menciona el RNE, este fenómeno ocurre en suelos granulares y aquellos con presencia de material fino; que se encuentren bajo el nivel freático y bajo acción de esfuerzos cíclicos (sismos, oleaje, vibraciones de origen antrópico, etc.).

Mario Cifuentes Jacobs (2020) menciona que un suelo potencialmente licuable deberá encontrarse por debajo del nivel freático (saturado) y compuesto por material granular mal graduado, lo cual evita una densificación del suelo por su composición granulométrica uniforme.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

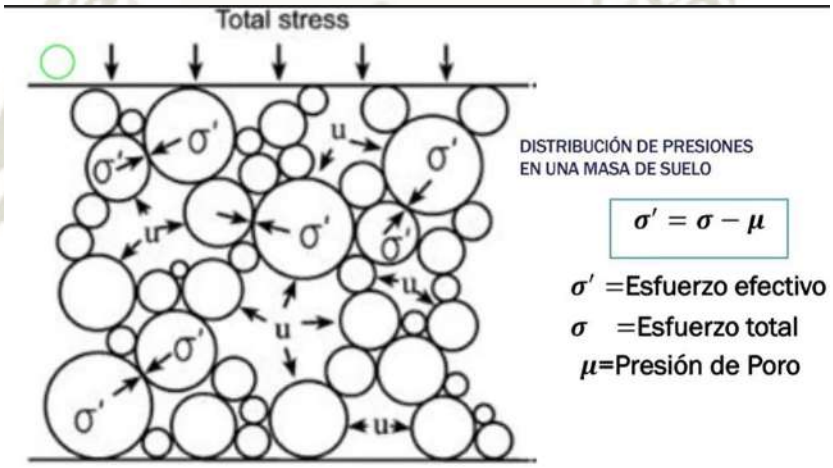
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Por otra parte, se ha visto que los suelos compuestos por arenas y limos, también aquellos conformados por materia orgánica o turba han registrado licuefacción durante eventos sísmicos (Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de Andalucía, 2020).

Adicionalmente, autores como Jefferies, M, & Been, K y Youd, T.L. & Idriss, I.M. (2006) establecen que el fenómeno de licuación ocurre en aquellos suelos granulados saturados o moderadamente saturados con presencia de bajo drenaje, ocasionado por estratos de arenas sedimentadas o vetas de sedimentos impermeables.

b. Mecanismo de falla.

Figura 10 *Distribución de esfuerzos en una masa de suelo*



Fuente: Cifuentes M. (2020). Mecánica de Suelos: Licuefacción. [Figura]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=jUsrZosR65U

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 11 *Resistencia al esfuerzo cortante de un suelo durante el proceso de licuación*

Ec. De la resistencia al cortante de los suelos.

$\tau = c + \sigma' \cdot tan\emptyset$

$\tau = c + (\sigma - \mu) \cdot tan\emptyset$

- Para un suelo Granular: $c = 0$

$\tau = (\sigma - \mu) \cdot tan\emptyset$

- Durante un movimiento cíclico, la presión de poros μ se incrementa, hasta igualar el esfuerzo total o vertical $(\sigma = \sigma_v)$

$\tau = (\sigma - \sigma_v) \cdot tan\emptyset$

$\tau = 0 \quad \rightarrow$ Licuación de suelos



Fuente: Gonzales, D. (2008). Terremotos y sus consecuencias. [Figura]. Recuperado de https://ryokoo.wordpress.com/2008/02/07/terremotos-y-sus-consecuencias/

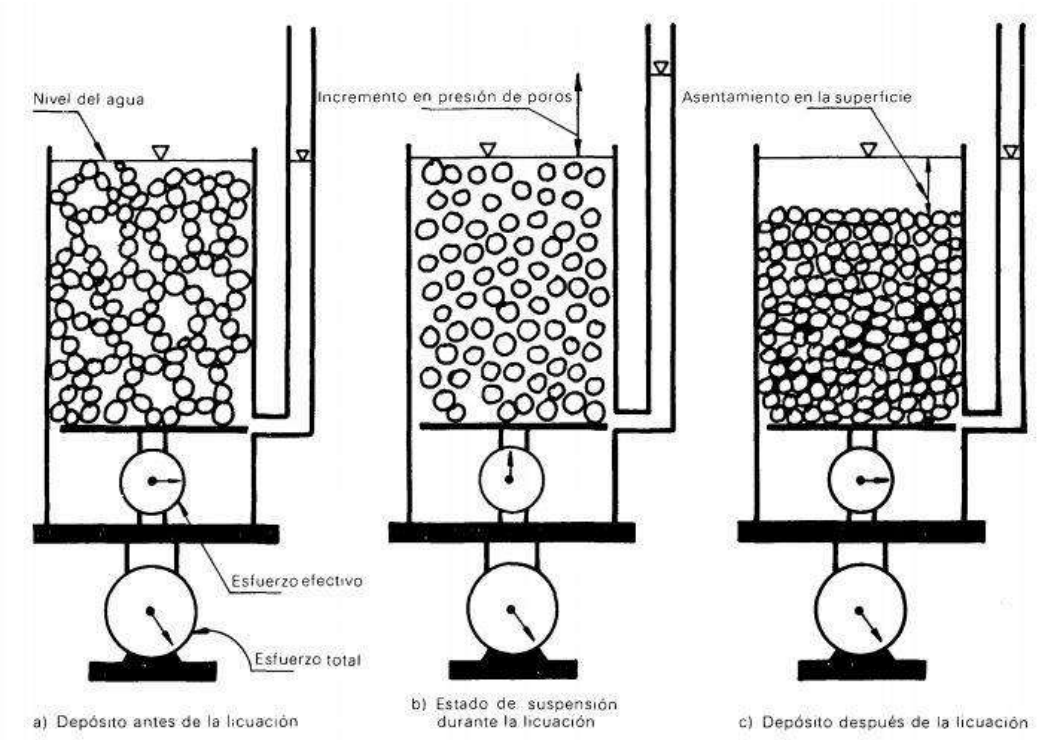
El reporte "Mecanismos de Licuación y flujo de suelos granulares durante sismos", establece que vibraciones de pequeña amplitud producen disminución progresiva del volumen en suelos granulares, e incluso en arenas densas. Por lo cual, cuando un depósito de arena saturada se somete a ondas de corte provocadas por un sismo, la arena tiende a densificarse. Sin embargo, ya que el periodo de duración de los esfuerzos cíclicos del sismo es corto en comparación al tiempo necesario para el drenaje del suelo, en lugar de que la arena disminuya su volumen por ciclo de esfuerzo, se incrementa su presión de poros. Ocasionando una disminución del esfuerzo efectivo, consecuentemente la disminución de su resistencia al corte, desencadenando fallas por corte que pueden llegar a ser catastróficas (Alarcón G. Adolfo, 1987).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 12 *Ilustración del proceso de licuación de suelos*



Fuente: Alarcon, A. (1987). Mecanismos de licuación y flujo de suelos granulares durante sismos. [Figura]. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4902737.pdf

Alarcón (1987) deduce que al incrementar el valor de presión de poros, se alcanza un valor igual al esfuerzo de confinamiento inicial, el esfuerzo efectivo (intergranular) se reduce a cero y la arena pierde su resistencia al corte, logrando alcanzar el estado de licuación. En este estado, los granos se encuentran suspendidos en el agua.

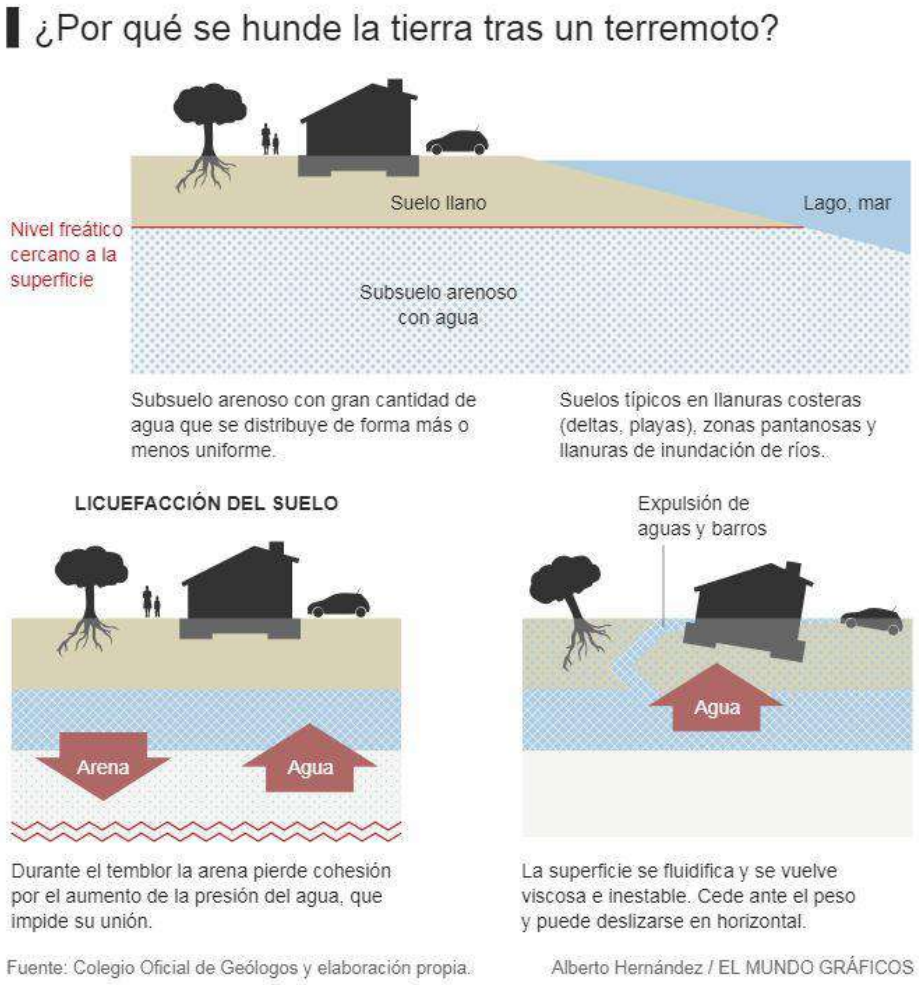
Seguidamente, se inicia un proceso de flujo de agua hacia zonas de mayor permeabilidad o donde la presión de poros tenga valores menores a los alcanzados; lo cual conduce a una reorganización de sus granos, adquiriendo una consistencia densa. La duración del estado de licuación, dependerá de la capacidad de drenaje del depósito y de la cantidad de aplicaciones de esfuerzo cíclico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 13 *Desarrollo del proceso de licuación de suelos*



Fuente: Hernández, A. (2018). Licuefacción: cuando el suelo se hunde bajo tus pies. [Figura]. Recuperado de https://twitter.com/elmundograficos/status/1047074344034324484

Sin embargo, no solamente la densidad relativa y el estado inicial de esfuerzos garantizan conocer el comportamiento mecánico de los suelos granulares. Sino también otros criterios o factores como: Composición, gradación, forma de los granos, consistencia, historia de esfuerzos y deformaciones y la edad del depósito, influyen de manera significativa en el comportamiento esfuerzo-deformación del suelo (Alarcón G. Adolfo, 1987).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.3. Metodologías y criterios para la Zonificación de Suelos licuables

El Manual para la Zonificación de Riesgos Geotécnicos Sísmicos, preparado por el Comité Técnico de Ingeniería Geotécnica Sísmica (TC4) de la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica (ISSMGE), publicado y revisado por la Sociedad Geotécnica Japonesa en Marzo de 1999, establece los criterios de zonificación de riesgos frente a deslizamientos de tierra, inestabilidad de taludes y licuefacción de suelos.

Tabla 2 *Consideraciones generales para cada nivel de Zonificación*

	Grado 1	Grado 2	Grado 3
Licuefacción	-Terremotos históricos e información existente -Mapas geológicos y geomorfológicos	-Fotos aéreas y teledetección -Estudios de campo -Entrevista a residentes locales	- Investigación Geotécnica - Análisis
Escala de mapeo	1:1,000,000 – 1:50,000	1:100,000 – 1:10,000	1:25,000 – 1:5,000

Fuente: Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, ISSMGE (1999). Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

Para cada caso, le corresponden tres niveles de zonificación. En este estudio, se describen los niveles de zonificación por Licuefacción de Suelos:

a. Grado 1, Zonificación General.

Contempla información disponible en documentos históricos, informes publicados u otro tipo de data. Esta información es de fácil acceso y cubre fácilmente la zona a estudiar. La información se basa en terremotos históricos ocurridos en la zona, mapas geológicos y geomorfológicos (Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMGE, 1999).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Evaluación de la máxima extensión de un área susceptible a licuefacción.

- **Criterios de Magnitud y Distancia Máxima**

Si se conoce el registro histórico de sismos, la máxima área de extensión susceptible a licuar se estima a partir del terremoto previsto. Muchos investigadores han comparado la distancia desde el epicentro al punto licuado más lejano R, con la magnitud del evento sísmico M. Los modelos matemáticos se presentan a continuación:

Tabla 3 *Modelos matemáticos para determinar la distancia máxima epicentral R, con referencia a la magnitud del evento sísmico M*

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Comentario
1975	Kuribayashi & Tatsuoka	$logR = 0.77M_j - 3.6$	M_j se encuentra definido como la magnitud sísmica usando la escala de Japan Meteorological Agency (JMA)
1984	Liu & Xie	$R = 0.82 \cdot 10^{0.862(M_L - 5)}$	M_L definido como la magnitud sísmica del sismo, en la escala de Richter y R la distancia epicentral más lejana a un punto licuable, en km
1988	Ambraseys	$M_w = 4.64 + 2.65x10^{-3}R_e + 0.99logR_e$	M_w Corresponde a la magnitud del momento sísmico e indico que los terremotos a profundidades intermedias generan licuefacción en un área mucho más amplia, en comparación a los más superficiales.
1991	Wakamatsu	$logR = 2.22log(4.22M_j - 19.0)$	Modelo matemático que asimiló todos los terremotos con los cuales Kuribayashi & Tatsuoka generaron su modelo. Modelo matemático más conservador
1993	Wakamatsu	$logR = 3.5log(1.4M_j - 6.0)$	Modelo matemático menos conservador al anterior (1991)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Comentario
1991	Youd	$M_w = 4.68 + 9.2x10^{-3}R_f + 0.90logR_f$	Modelo recomendado para eventos sísmicos poco profundos, basados en el trabajo de Ambraseys (1988).

Fuente: Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering (TC4), ISSMGE (1999). Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

- **Criterios de Intensidad**

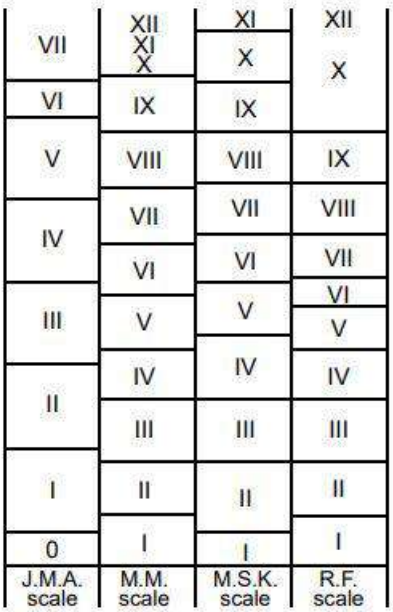
La extensión susceptible a licuarse puede ser estimada en base a la intensidad sísmica. Kuribayashi & Tatsuoka (1975) y Wakamatsu (1991) definen que la licuefacción es inducida en áreas subyacentes a sedimentos licuables del Holoceno, mediante eventos sísmicos con una intensidad mayor a VII en la escala de Mercalli Modificada (MM). A continuación, se presenta la correlación entre las escalas de intensidades sísmicas más populares por la comunidad de investigadores de eventos sísmicos, y las definiciones de la escala de intensidad de Mercalli Modificada (Richter, 1958).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 14 *Correspondencia entre las escalas de intensidad sísmicas más populares*



Fuente: División de Sismología del JMA (1971). Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). [Figura]. Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

Tabla 4 *Descripción de las intensidades de la escala de Mercalli Modificada (MM)*

Intensidad	Definición/ Descripción
I	Imperceptible. Originado por los efectos a largo plazo de los grandes terremotos
II	Sentido por personas en reposo o ubicadas en pisos superiores de una edificación
III	Sentido en ambientes interiores. Los objetos colgantes se balancean. Vibración similar al paso de camiones ligeros. No es reconocido como terremoto.
IV	Balanceo de objetos colgantes. Vibración similar al paso de camiones pesados, o sacudida generada por el golpe de una bola pesada a las paredes. Balanceo ligero de automóviles. Traqueteo de ventanas, cerámicos y puertas. Tintineo y choque de vajillas y vasos. Las paredes de madera crujen.
V	Se siente en ambientes abiertos. Percibido por personas durmiendo. Los líquidos se alteran o derraman. Pequeños objetos desplazados. Las puertas se abren y cierran. Las personas y cuadros se mueven. Variación en el movimiento de los relojes con péndulo.
VI	Sentido por todos. Muchos se resguardan al aire libre. Inestabilidad al caminar. Ventanas, cristalería y vajillas rotas. Utensilios de cocina, libros y otros ubicados en estantes, saltan. Volcadura de mobiliario. Mampostería débil y yeso se agrieta. Las campanas suenan. Sacudida de árboles y arbustos (visiblemente o se escuchan sus susurros)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Intensidad	Definición/ Descripción
VII	Difícil mantenerse en pie. Percibido por los conductores de automóviles. Los objetos colgantes tiemblan. Daño a mampostería. Ruptura de chimeneas. Caída de yeso, ladrillos sueltos, piedras, tejas, cornisas, parapetos sin arriostramiento y ornamentos arquitectónicos. Grietas y olas en estanques de agua. Canales de regadío de hormigón dañados
VIII	Dirección alterada de automóviles. Colapso parcial o total de mampostería. Caída de estuque y muros de mampostería. Caída de chimeneas, monumentos, torres, tanques elevados. Movimientos de los cimientos de viviendas. Quebradura de pilotes. Ruptura de ramas en los árboles. Cambio de flujo y temperatura en manantiales y pozos. Grietas en suelo húmedo.
IX	Pánico generalizado. Albañilería y mampostería muy dañada, e incluso con colapso completo. Daños en los cimientos. Daño en embalses. Tuberías enterradas rotas. Grietas de gran espesor en el suelo. Licuefacción asegurada.
X	Construcciones de madera y puentes destruidos. Graves daños en presas, diques y terraplenes. Deslizamientos de tierras. Agua arrojada en orillas de canales, ríos, lagos u otro cuerpo de agua. Desplazamiento horizontal de arena y barro en playas y terrenos planos. Daño en rieles.
XI	Destrucción de rieles, tuberías e instalaciones enterradas.
XII	Daño casi total. Desplazamiento de grandes macizos rocosos. Cambios en la visión y nivel del terreno. Objetos lanzados al aire.

Fuente: Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMGE (1999). Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

Estimación de susceptibilidad a la licuefacción de suelos basado en los datos existentes.

- **Criterios de Información Geológica y Geomorfológica**

Kuribayashi & Tatsuoka (1975), Youd (1984), Yasuda & Tohno (1988) y Wakamatsu (1991) establecen que un suelo licuado en un evento sísmico pasado, podría volver a licuarse en otro evento sísmico. Por lo que, la información que identifica sectores anteriormente licuados, se pueden considerar como áreas potencialmente licuables en futuros eventos sísmicos potentes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Iwasaki et al. (1982) luego de analizar varios terremotos ocurridos en Japón, definió rangos para identificar suelos potencialmente licuables, en razón a sus unidades geomorfológicas.

Tabla 5 *Susceptibilidad a la licuefacción de unidades geomorfológicas*

Rango	Unidades Geomorfológicas	Potencial de Licuefacción
A	Lechos de ríos antiguos o del presente. Pantanos, suelos recuperados, rellenos e interdunas de tierras bajas.	Licuefacción Probable
B	Abanico afluvial, diques naturales, dunas de arena, llanuras expuestas a inundación, playa y planicies	Licuefacción Posible
C	Andenes (terrazas de suelos), colinas y montañas	Licuefacción No Probable

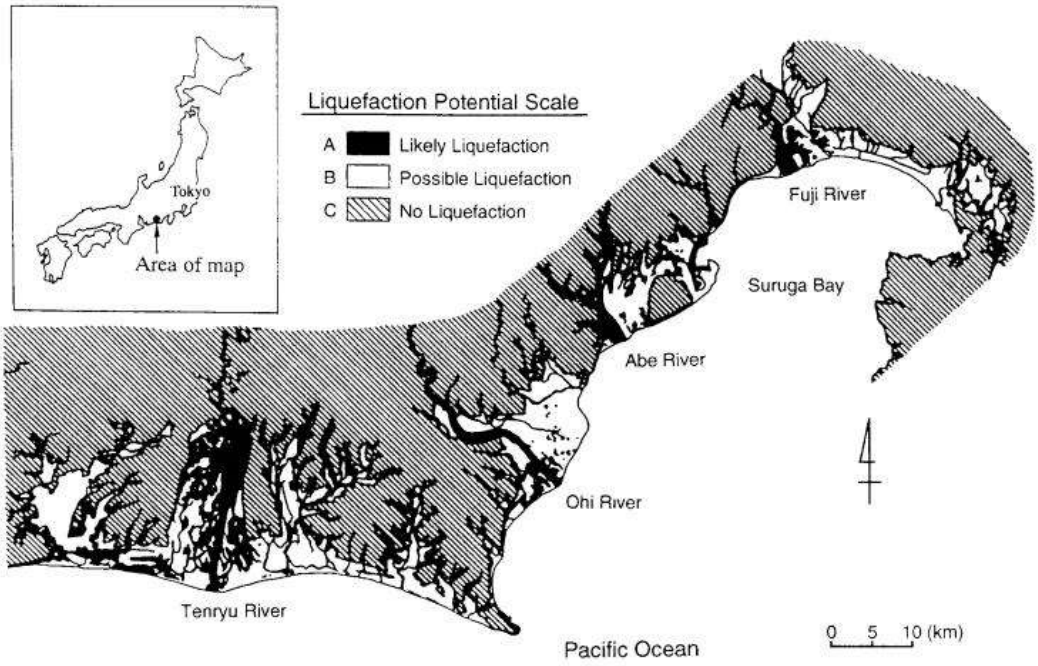
Fuente: Iwasaki et al., 1982 (Traducción propia). Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

Se estipula realizar una correlación entre el registro histórico de sucesos de licuefacción pasada, con los criterios geológicos y geomorfológicos, para definir un área probable susceptible a ser licuada. Considerando como pronóstico la magnitud del sismo pasado que generó licuefacción (Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMGE, 1999).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 15 *Mapa de Microzonificación por Potencial de Licuefacción, estimado de la información geomorfológica*



Fuente: Iwasaki et al., 1982. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). [Figura]. Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

- **Índice de Severidad de Licuefacción (Liquefaction Severity Index, LSI)**

Término introducido por Youd & Perkins (1987), el cual se define como el máximo desplazamiento general del suelo en extensiones fluviales licuables, con pendiente suave y origen del Holoceno tardío y depósitos deltaicos. Así también, es conocido como el desplazamiento horizontal máximo de conformaciones laterales de suelo, medido en pulgadas (mm/25 explica el autor). Desplazamientos mayores a un $LSI > 100$ no se consideran dentro de la definición de este parámetro.

Este concepto proviene del análisis que los autores Youd & Perkins (1987) llevaron a cabo al estudiar varios terremotos del oeste de Estados Unidos, graficando LSI registrados versus

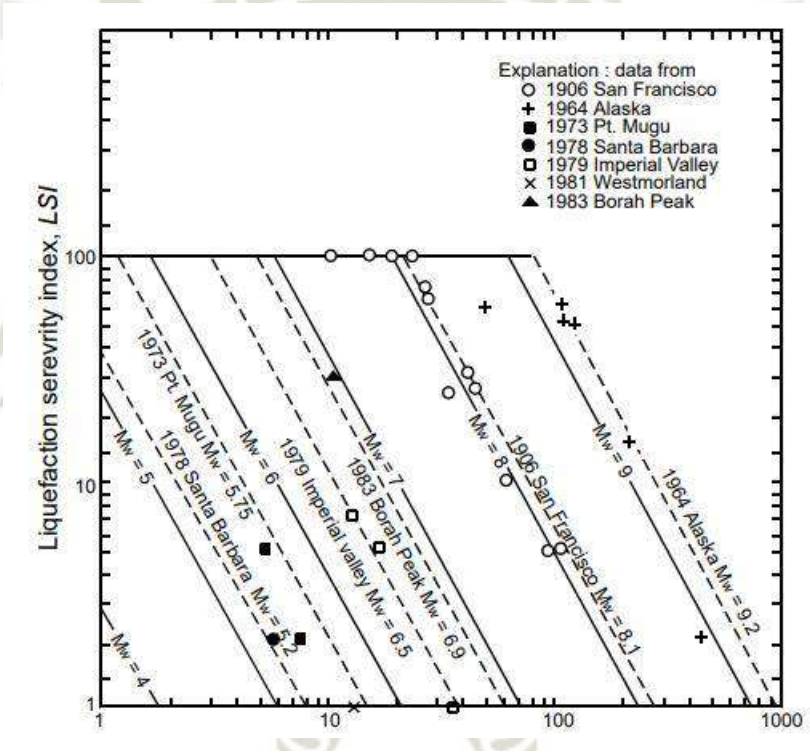
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

distancia horizontal desde la fuente de energía del terremoto (falla o zona de elevación en la corteza), definiéndose límites para posteriormente mediante una regresión desarrollar una ecuación. Los límites son considerados como funciones de atenuación del LSI, para generar mapas probabilísticos de LSI esperado, en base a modelos analíticos de riesgo. Los valores de LSI, son representados con un porcentaje de probabilidad para no exceder en un periodo de retorno, y se grafican en áreas sustentadas por sedimentos altamente licuables.

Figura 16 *Distancia horizontal desde la superficie de proyección de la fuente de energía*



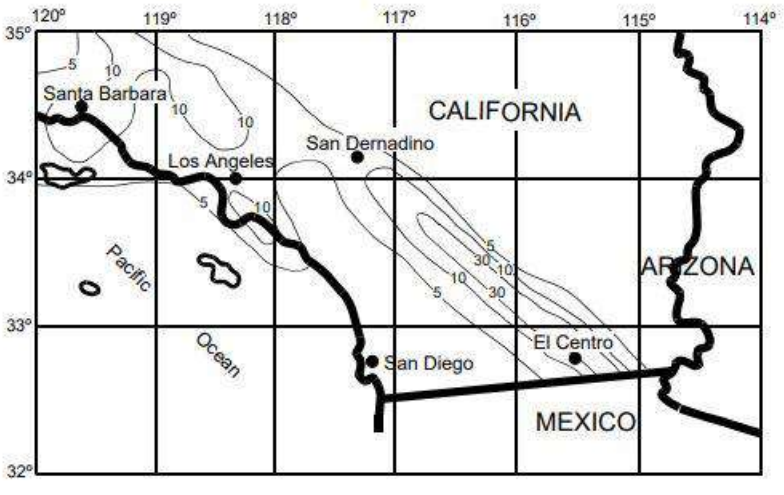
Fuente: Youd & Perkins, 1987. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). [Figura]. Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 17 *Contornos del Índice de Severidad de Licuefacción (LSI) del sur de California, con 90% de probabilidad de no excedencia en 50 años*



Fuente: Youd & Perkins, 1987. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). [Figura]. Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

b. Grado 2, Zonificación Detallada. Metodologías.

Mejora la información obtenida de la zonificación en grado 1, gracias a fotografías aéreas recientes o antiguas, para conocer las unidades geológicas antes del desarrollo urbano. En este grado, se aprovechan los informes de ingeniería geotécnica (pruebas de laboratorio y de campo) de los gobiernos locales y empresas privadas. Así mismo, la medición de microtremores para identificar la estratigrafía del suelo y características de amplificación de movimientos de tierra.

El Manual enfatiza en que la información y los resultados del grado 1 de zonificación, no brindan información definitiva sobre la evaluación del sitio. Por lo que, se deberá completar esta información con: Fotografías aéreas que detallan la geomorfología y unidades geológicas del área, estudios de campo que clasifiquen las unidades susceptibles a licuefacción, análisis de fotografías aéreas luego de grandes inundaciones las cuales acumulan sedimentos y entrevistas con residentes locales para recaudar información histórica de sucesos de licuefacción en terremotos pasados (Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMGE, 1999).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Criterios Geológicos y Geomorfológicos para la evaluación del Potencial de Licuefacción**

Los criterios se detallan en las tablas que se presentan a continuación:

Tabla 6 *Susceptibilidad a la licuefacción de depósitos sedimentarios durante fuertes movimientos sísmicos*

Tipo de Depósito	Distribución general de depósitos de sedimentos con baja cohesión	Probabilidad de susceptibilidad a la licuefacción de los sedimentos saturados con poca cohesión (Según la edad del depósito)			
		<500 años	Holoceno	Pleistoceno	Pre-Pleistoceno
		Depósitos Continentales			
Cauce de Río	Localmente Variable	Muy alto	Alto	Bajo	Muy Bajo
Llanura con probabilidad de inundación	Localmente Variable	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo
Abanico aluvial y llano	Generalizado	--	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo
Terrazas marinas y llanuras	Generalizado	Moderado	Bajo	Bajo	Muy Bajo
Depósito aluvial	Generalizado	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo
Playas y zonas lacustres	Variable	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo
Rellenos coluviales	Variable	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo
Depósitos de rellenos por gravedad (en taludes)	Generalizado	Bajo	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo
Dunas	Generalizado	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo
Sedimentos eólicos	Variable	Alto	Alto	Alto	Muy Bajo
Relleno glacial	Variable	Bajo	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo
Toba compuesta por calizas o ceniza volcánica	Raro	Bajo	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo
Depósitos piroclásticos o tefra	Generalizado	Alto	Alto	--	--
Suelos Residuales	Raro	Bajo	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo
Sebkha (Depósitos de arena)	Localmente Variable	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tipo de Depósito	Distribución general de depósitos de sedimentos con baja cohesión	Probabilidad de susceptibilidad a la licuefacción de los sedimentos saturados con poca cohesión (Según la edad del depósito)			
		<500 años	Holoceno	Pleistoceno	Pre-Pleistoceno
Depósitos Continentales					
Zonas Costeras					
Deltas	Generalizado	Muy Alto	Alto	Bajo	Muy Bajo
Estuario	Localmente Variable	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo
Playas					
Marea Alta	Generalizado	Moderado	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo
Marea Baja	Generalizado	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo
Lagunar	Localmente Variable	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo
Franja Costera	Localmente Variable	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo
Depósitos Artificiales					
Relleno no Compactado	Variable	Muy Alto	--	--	--
Relleno Compactado	Variable	Bajo	--	--	--

Fuente: Youd & Perkins, 1978 (Traducción propia). Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

Tabla 7 *Unidades Geomorfológicas susceptibles a licuefacción sujeta a movimientos sísmicos de intensidad V (JMA) o VIII (MM)*

Condiciones Geomorfológicas		Potencial de Licuefacción
Clasificación	Condiciones Específicas	
Llanura del Valle	Llanura del Valle formada por grava o canto rodado	No es probable
	Llanura del valle formada por suelo arenoso	Posible
Abanico Aluvial	Pendiente vertical de más del 0.5%	No es probable
	Pendiente vertical menor a 0.5%	Posible
Dique Natural	Parte superior del dique natural	Posible
	Borde del dique natural	Probable

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Condiciones Geomorfológicas		Potencial de
Clasificación	Condiciones Específicas	Licuefacción
Lagunilla		Posible
Rivera de río abandonado		Probable
Pozos, estanques o embalses antiguos		Probable
Lagunillas y Pantanos		Posible
Lecho seco del río	Lecho de río seco compuesto por gravas	No es probable
	Lecho del río seco formado por suelo arenoso	Probable
Delta		Posible
Bancos	Banco de arenas	Posible
	Banco de gravas	No es probable
Hondonada con formación de dunas	Cima de la duna	No es probable
	Pendiente inferior de la duna	Probable
Playas	Playas naturales	No es probable
	Playas artificiales	Probable
Tierras bajas de hondonada		Probable
Terreno ganado por drenajes		Posible
Terrenos ganados por otras técnicas naturales o antrópicas		Probable
Manantial		Probable
Rellenos	Relleno entre los bordes de arena y hondonada	Probable
	Relleno de acantilado contiguo (barranco)	Probable
	Relleno pantanoso en lagunilla o pantanos	Probable
	Relleno de tierras recuperadas por drenaje	Probable
	Otro tipo de relleno	Posible

Fuente: Wakamatsu, 1992 (Traducción propia). Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

En este grado de susceptibilidad a la licuefacción por unidades geológicas y geomorfológicas, es importante citar la compilación que llevó a cabo Youd & Perkins (1987). En

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

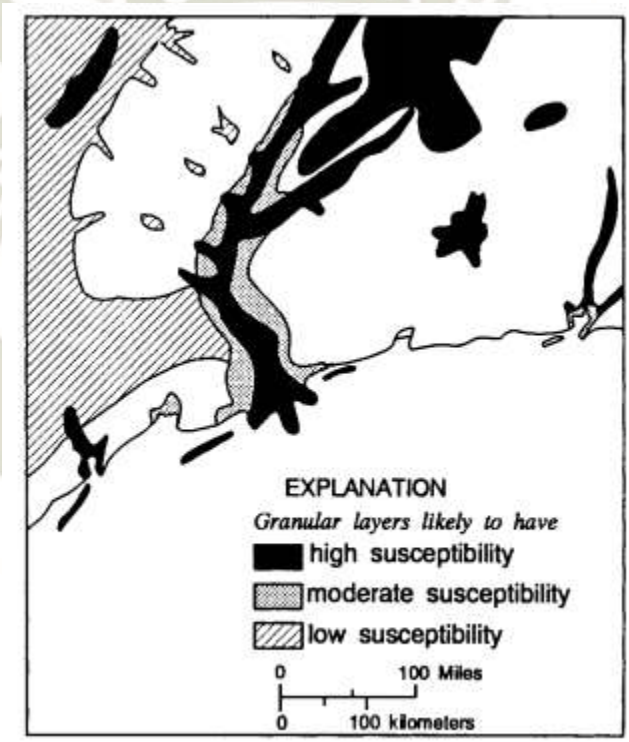
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

donde se fusionó dos mapas que son complementarios: El mapa de susceptibilidad a la licuefacción y el mapa de oportunidad de licuefacción.

El primer mapa, se elaboró a partir de la información de la tabla "Susceptibilidad a la Licuefacción de Depósitos Sedimentarios durante fuertes Movimientos Sísmicos". En el cual, se delimita el área donde es más probable la existencia de materiales licuables.

Figura 18 *Mapa de susceptibilidad a fallas de suelo inducidas por licuefacción para un área hipotética*



Fuente: Youd & Perkins, 1978. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). [Figura]. Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

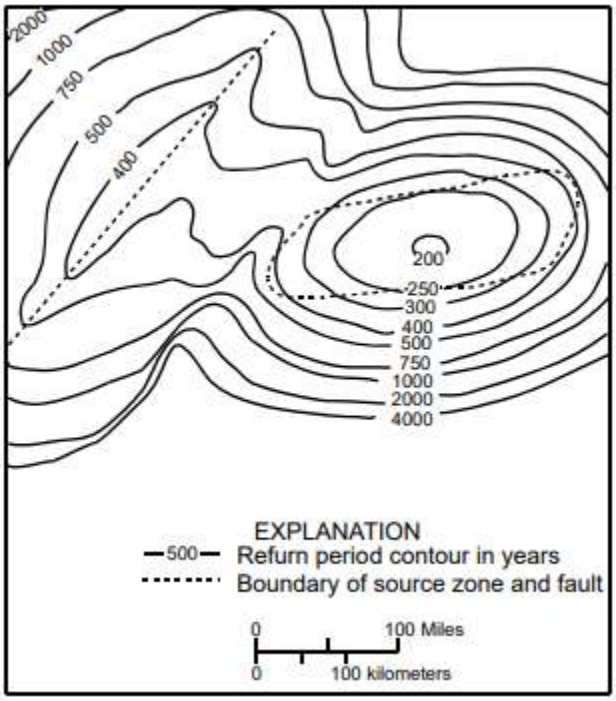
El segundo mapa, se elabora en función a los intervalos de repetición de terremotos, generando licuefacción en la zona. Como se muestra a continuación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 19 *Mapa de período de retorno de oportunidad de fallas en tierra para un área hipotética*



Fuente: Youd & Perkins, 1978. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). [Figura]. Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

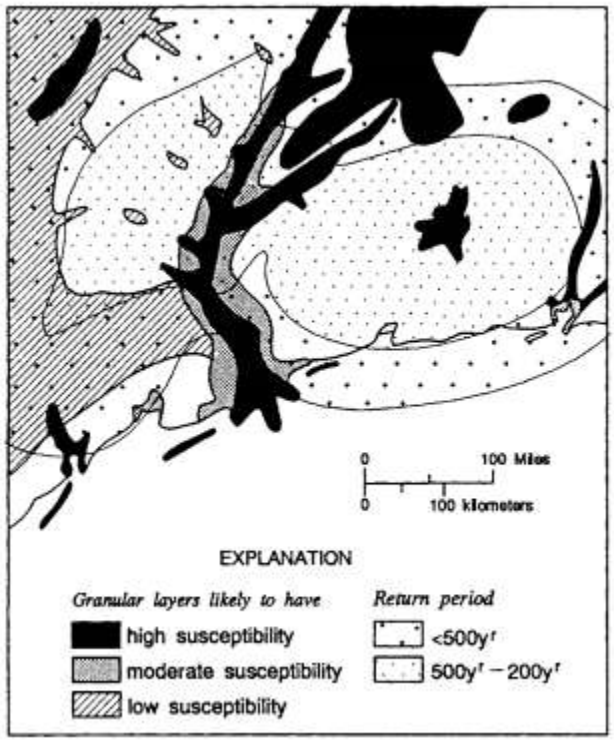
Finalmente, ambos mapas se superponen para formar un mapa que muestra el potencial de licuefacción de la zona.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 20 *Mapa de potencial de falla del suelo inducido por licuefacción para un área hipotética*



Fuente: Youd & Perkins, 1978. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). [Figura]. Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

Importante resaltar que estos trabajos de Youd & Perkins, se llevaron a cabo en zonas de las ciudades mexicanas de Monterrey y Santa Cruz. Y ocurrió la validación de las zonas demarcadas en el mapa, luego del sismo de Loma Prieta de 1989, en base al riesgo alto o muy alto de licuefacción.

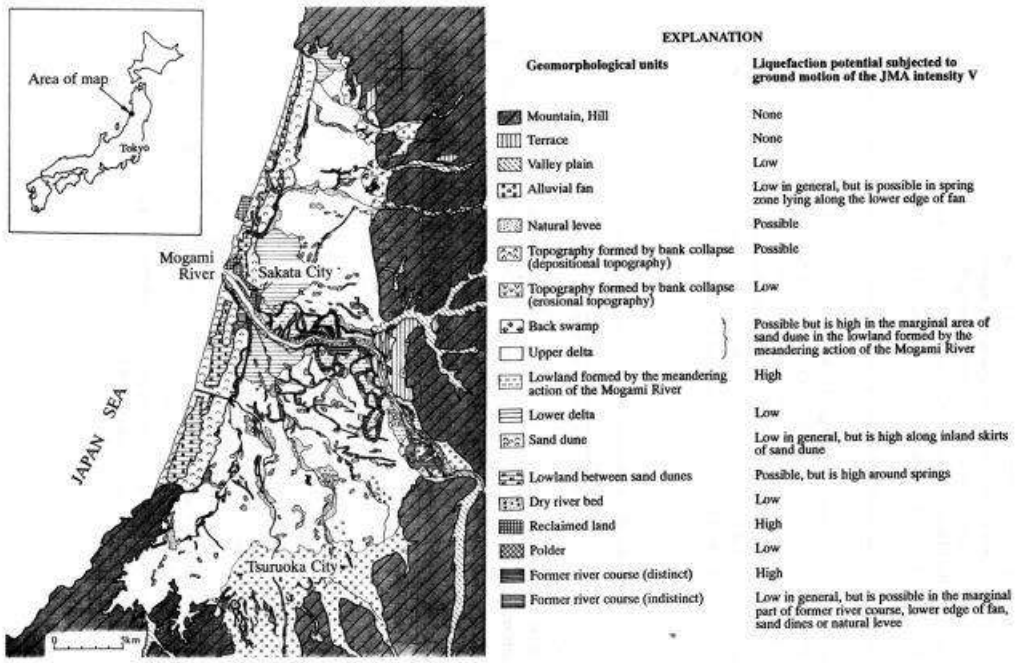
Por otro lado, Kotoda et al. (1988) definió la susceptibilidad a la licuefacción de cada unidad geomorfológica ubicada en cada área considerada de Japón, y de igual forma que los trabajos de Youd & Perkins, el mapeo se validó luego del sismo de Nihonkai Chubi de 1983.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 21 *Mapa de clasificación geomorfológica de los suelos en la llanura de Shonai, mostrando su susceptibilidad a la licuefacción*



Fuente: Modificado de Oya et al., 1982. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). [Figura]. Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

c. Grado 3, Zonificación rigurosa.

En este nivel de zonificación se considera los análisis asistidos por computadora, de respuesta sísmica del suelo y el estudio de potencial de licuefacción (naturaleza del evento sísmico y susceptibilidad del material a la licuefacción). Para lo cual, se deberá llevar a cabo investigaciones del subsuelo específicas en el sitio (pruebas de campo y laboratorio). El procedimiento recomendado es el siguiente: Estimación de resistencia a la licuefacción de suelos en el depósito en estudio, estimación del esfuerzo cortante cíclico máximo o equivalente que induzca un terremoto al depósito de suelo y estimación del potencial de licuefacción, según la resistencia del suelo y el esfuerzo cortante cíclico máximo inducido por el sismo (Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMGE, 1999).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Existen dos tipos de pruebas in situ para determinar la resistencia a la licuefacción del suelo: la prueba de penetración estándar SPT y la prueba de penetración del cono CPT.

Debido a que en la ciudad de Arequipa, solo se encuentra disponible el equipo de penetración estándar para llevar a cabo ensayos, es que sólo se abordará las metodologías predispuestas para este tipo de prueba in situ, las cuales son: Seed & Idriss (1971), Seed et al. (1985), Iwasaki et al. (1978), Tokimatsu & Yoshimi (1983) y Lai et al. (1989). Así mismo, el manual señala la metodología desarrollada por la Asociación de Carreteras de Japón (1980, 1991). Todas estas metodologías serán detalladas en el siguiente acápite.

- **Evaluación de los Efectos de la Licuefacción**

Para la ingeniería, lo más importante es estimar las consecuencias del daño al suelo en las estructuras adyacentes. Por lo cual, el Manual presenta dos enfoques para identificar los efectos de la licuefacción, a partir de datos de las investigaciones geotécnicas específicas del sitio.

- **Daño en presencia de una capa superficial o costra que no se puede licuar**

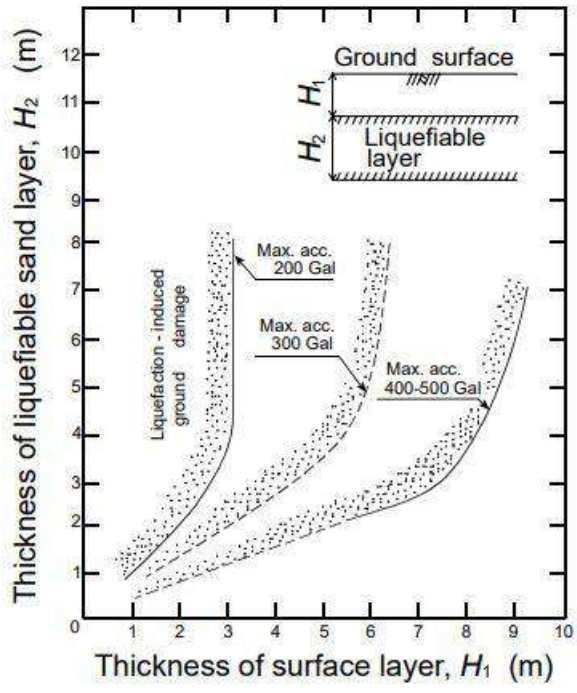
El daño en la superficie del suelo, luego del proceso de licuefacción, se estima a partir de la comparación del espesor de la capa licuable con el espesor de la capa superficial (o costra superficial). Se menciona que, si el espesor de la capa superficial H_1 es más grande que el espesor de la capa licuada adyacente, el daño resultante en la superficie del suelo resulta insignificante (Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMGE, 1999).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

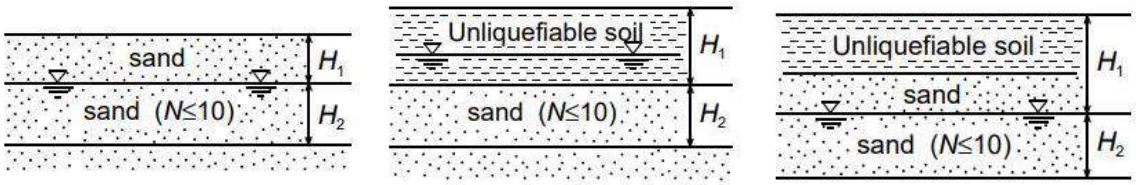
Figura 22 *Curvas de contorno propuestas, para la manifestación superficial del daño inducido por licuefacción*



Fuente: Ishihara, 1985. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). [Figura]. Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

Por otro lado, si el nivel freático se encuentra por debajo de la superficie del suelo, H_l dependerá de la naturaleza de los depósitos superficiales. Además, para depósitos de suelos arenosos, el espesor H_l se considera igual a la profundidad del nivel freático.

Figura 23 *Esquema de la capa superficial no licuable y de la arena licuable subyacente*



Fuente: Ishihara, 1985. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). [Figura]. Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- **Índice de Potencial de Licuefacción P_L**

Índice para cuantificar la severidad de la posible licuefacción, definido por Iwasaki et al. (1982) de la siguiente forma.

$$P_L = \int_0^{20} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

Donde z es la profundidad por debajo de la superficie del suelo. F (z) función en relación al factor de resistencia a la licuefacción F_L y toma las formas: $F(z) = 1 - F_L$; para $F_L > 1.0, F(z) = 0$ y para ambos casos, $w(z) = 10 - 0.5z$. Los valores que se pueden obtener de la ecuación descrita anteriormente, van de 0 a 100.

Luego de los análisis de terremotos en Japón por Iwasaki et al., concluyó que, sitios con valores de P_L mayores a 15, sufren graves efectos de licuefacción y aquellos sitios con P_L menor a 5, los efectos por licuefacción son menores.

- **Severidad de la licuefacción**

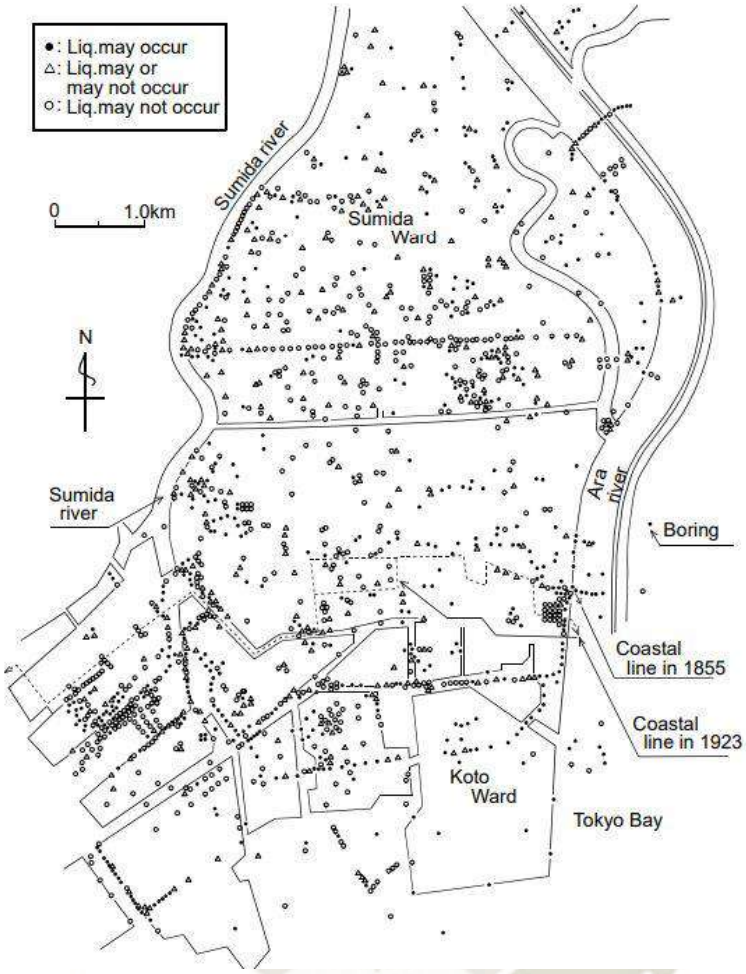
Ishihara & Ogawa (1978) elaboraron un mapa de potencial de licuefacción de la siguiente manera: Identificación de capas de arena potencialmente licuables en el suelo, auscultación del terreno para ver si los suelos arenosos se encontraban lo suficientemente sueltos para inducir una licuefacción bajo efecto de una aceleración horizontal máxima de 0.25g (basado en el N crítico del SPT) y finalmente, la comparación del espesor de capas superficiales no licuables con el espesor de la capa de arena licuable subyacente, para identificar si los efectos por la licuefacción de las arenas se manifestarías a nivel de superficie. Logrando clasificar 3 sitios en el área de estudio, como se muestra en el siguiente plano.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 24 *Probabilidad de ocurrencia de licuefacción en el centro de la ciudad de Tokio*



Fuente: Ishihara & Ogawa, 1978. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). [Figura]. Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

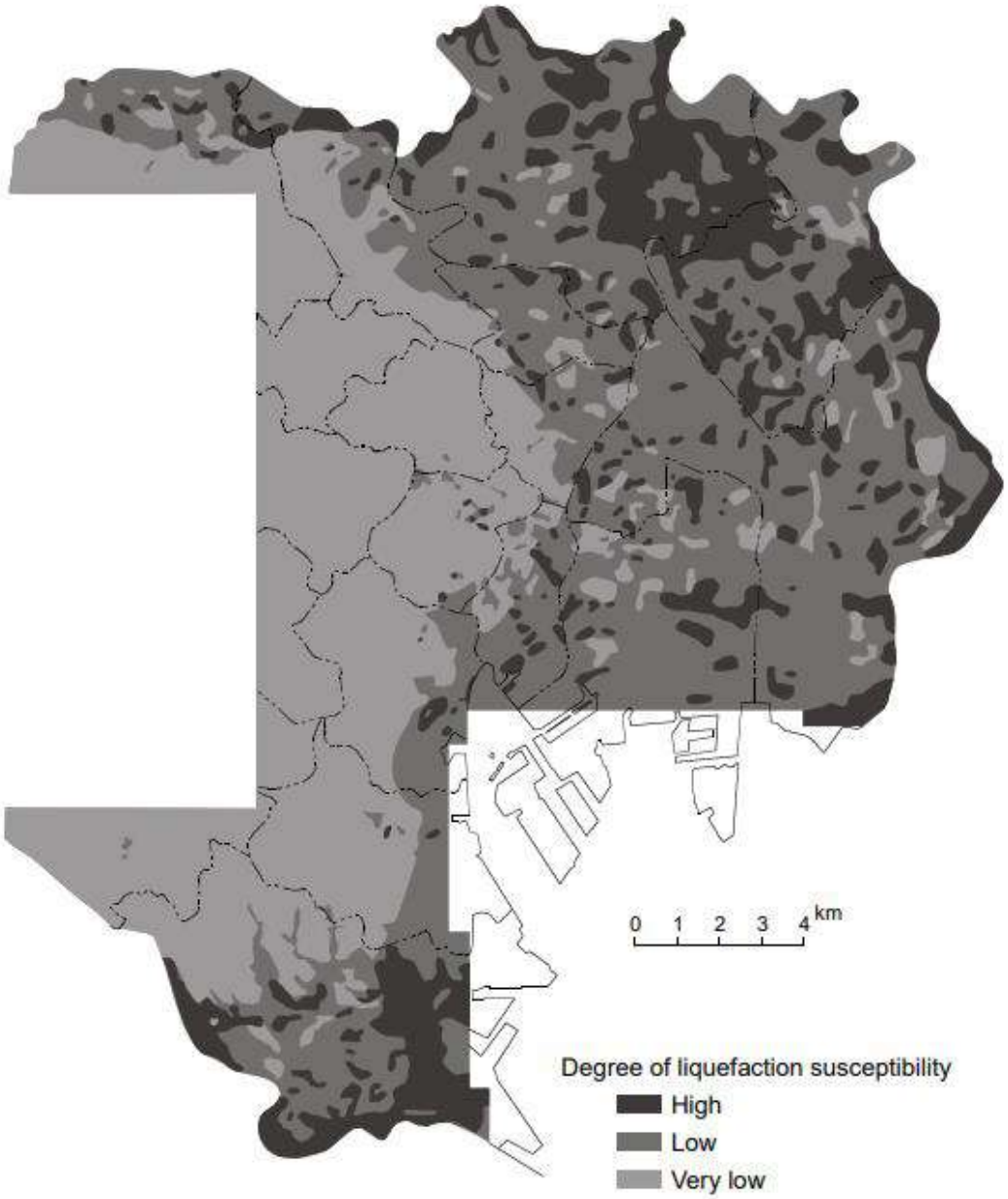
Al incorporar los resultados del análisis de licuefacción, los sucesos históricos de licuefacción, la geología y geografía de la zona estudiada, se obtienen mapas como el elaborado por el Instituto de Ingeniería Civil del Metropolitano de Tokio, el cual se muestra a continuación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 25 *Mapa de zonificación del potencial de Licuefacción de suelos, para la zona hondonada de Tokio*



Fuente: Kusano et al., 1987. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version). [Figura]. Recuperado de http://www.mkamalian.ir/Uploads/Codes/TC4-R-1999.pdf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.3.4. Cálculo del Potencial de Licuefacción de Suelos

Para llevar a cabo el Análisis de Potencial de Licuación, la Norma recomienda la utilización del método propuesto por Seed e Idriss (1971, 1982), el cual ha sido modificado por la NCEER (National Center for Earthquake Research) y la Earthquake Research Center (1997, 2003, 2004), como procedimiento estándar para este tipo de estudio. Sin embargo, el amplio uso de softwares aplicados a Geotecnia, como los de Rocscience, es que se considerará lo estipulado en el Manual de Teoría de Licuefacción de Suelos, aplicado en el software Settle3D.

El costo de derecho por uso del Software, de manera permanente es de $ 2495.00 dólares americanos (Rocscience Inc., 2021). Por esta razón, no podrá aplicarse directamente para esta investigación. Sin embargo, se revisará las metodologías teóricas que sirven para determinar la resistencia frente a licuefacción y la probabilidad de licuefacción.

Las metodologías para determinar la probabilidad de inicio del fenómeno de licuefacción, se basan acorde al tipo de ensayo in situ. Los ensayos son: Ensayo de Penetración Estándar (SPT), Ensayo de Penetración de Cono (CPT) y Velocidad de Ondas de Corte (VST) (Inc., 2016).

a. Teoría del Potencial de Licuefacción.

El potencial de licuefacción, es determinado a partir de la comparación de la carga sísmica del terremoto (CSR) y la resistencia del suelo a la licuefacción (CRR). Así, el Factor de Seguridad contra la licuefacción, queda expresado por: $FS = \frac{CRR_{7.5} * MSF}{CSR} * K_a * K_\sigma$. Donde: $CRR_{7.5}$ es la relación de resistencia cíclica para un terremoto de magnitud 7.5, CSR la relación de estrés cíclico, MSF el factor de magnitud de escala, K_a el factor de corrección de tensión de sobrecarga y K_σ factor de corrección de la pendiente del terreno.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

b. Relación de Estrés Cíclico (CSR).

La Relación de Estrés Cíclico (CSR), fue propuesta por Seed e Idriss (1971), la cual ha sido definida como el esfuerzo cortante cíclico promedio desarrollado en la superficie horizontal de la capa del suelo, provocado por las ondas de corte que se propagan verticalmente. Determinado por el esfuerzo vertical efectivo σ_v', el cual viene aumentando su resistencia al corte por el aumento del esfuerzo efectivo. Aproximadamente, los ciclos de estrés calculados en laboratorio, han demostrado una amplitud razonable para considerar en el promedio de tensiones equivalentes y uniformes τ_{av} de 65% del esfuerzo cortante máximo, lo cual concluye en la siguiente ecuación: $CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma_v'} = 0.65 * \left(\frac{a_{max}}{g}\right) * \left(\frac{\sigma_v}{\sigma_v'}\right) * r_d$, donde a_{max} es la aceleración horizontal máxima en la superficie del suelo (medido en g), g es la aceleración de la gravedad, σ_v la presión total de sobrecarga a una profundidad z, σ_v' la presión efectiva de sobrecarga a una profundidad z y r_d el factor de reducción de esfuerzo.

Cabe mencionar que la ecuación anterior aplica para los 3 tipos de análisis frente a licuefacción de suelos (SPT, CPT y VST) (Inc., 2016).

c. Factor de Reducción de esfuerzo, r_d.

Este factor se usa para determinar el esfuerzo cortante máximo a distintas profundidades del suelo. Los valores que contempla, oscilan entre 1 en la superficie del suelo y aumenta a mayores profundidades.

Los métodos basados en los ensayos SPT, CPT y VST utilizan las mismas formulaciones de r_d. Las formulaciones provistas en el Software Settle3D son:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 8 *Modelos matemáticos para determinar el factor de reducción de esfuerzo, r_d*

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
1997	NCEER	$r_d = 1.0 - 0.00765 \cdot z$ Valores de la formulación: z: Profundidad del estrato de arena (m) r_d: Factor de reducción de esfuerzo	Para $z \leq 9.15\ m$
1999	Idriss	$ln(r_d) = \alpha(z) + \beta(z) \cdot M_w$ $\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$ $\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$ Valores de la formulación: z: Profundidad del estrato de arena (m) M_w: Magnitud del terremoto	Para $z \leq 34\ m$ Para $z > 34\ m$, $r_d = 0.5$
1992	Kayen	$r_d = 1 - 0.012 \cdot z$	z = profundidad en metros
2004	Cetin et al.	$\mathbf{r_d(z, M_w, a_{max}, V^*_{s,12m}) = \frac{\left[1 + \frac{-23.013 - 2.949a_{max} + 0.999M_w + 0.0525V^*_{s,12m}}{16.258 + 0.201e^{0.341(-d+0.0785V^*_{s,12m}+7.586)}}\right]}{\left[1 + \frac{-23.013 - 2.949a_{max} + 0.999M_w + 0.0525V^*_{s,12m}}{16.258 + 0.201e^{0.341(0.0785V^*_{s,12m}+7.586)}}\right]} \pm \sigma_{\epsilon_{r_d}}}$	Para $z < 20m\ (65ft)$
		$\mathbf{r_d(z, M_w, a_{max}, V^*_{s,12m})} = \frac{\left[1 + \frac{-23.013 - 2.949a_{max} + 0.999M_w + 0.0525V^*_{s,12m}}{16.258 + 0.201e^{0.341(-20+0.0785V^*_{s,12m}+7.586)}}\right]}{\left[1 + \frac{-23.013 - 2.949a_{max} + 0.999M_w + 0.0525V^*_{s,12m}}{16.258 + 0.201e^{0.341(0.0785V^*_{s,12m}+7.586)}}\right]} - 0.0046(z - 20) \pm \sigma_{\epsilon_{r_d}}$	Para $z \geq 20m\ (65ft)$
		$\sigma_{\epsilon_{r_d}}(z) = z^{0.8500} x 0.0198$	Para $z < 12m\ (40ft)$
		$\sigma_{\epsilon_{r_d}}(z) = 12^{0.8500} x 0.0198$	Para $z \geq 12m\ (40ft)$
		Valores de las formulaciones: $\sigma_{\epsilon_{r_d}}$: Desviación estándar (asumible 0) z: Profundidad del estrato de arena (m) a_{max}: Aceleración de la gravedad (m/s2) $V^*_{s,12m}$: Velocidad de onda de corte, por encima de los 12 m superiores - Para sitios blandos: $V^*_{s,12m}$ entre 150-200 m/s	

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
		- Para sitios muy blandos: $V^*_{s,12m}$ = 120 m/s - Para sitios muy rígidos: $V^*_{s,12m}$ = 250 m/s	
1986b	Liao & Whitman	$r_d = 1.0 - 0.00765 \cdot z$	Para $z \leq 9.15\ m$
		$r_d = 1.174 - 0.0267 \cdot z$	Para $9.15 < z \leq 23\ m$
		Valores de las formulaciones: z: Profundidad bajo la superficie del suelo	

Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Formato de presentación propio]. Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual

d. Factor de Magnitud de Escala, MSF.

Si la magnitud del sismo no es 7.5, entonces los valores de CRR deben ser corregidos para la magnitud del terremoto. Por lo cual se presenta las siguientes correcciones:

Tabla 9 *Modelos matemáticos para determinar el Factor de Magnitud de Escala MSF*

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
1987	Tokimatsu & Seed	$MSF = 2.5 - 0.2M$ Valores de la formulación: M: Magnitud del evento sísmico MSF: Factor de Magnitud de Escala	
1999	Idriss	$MSF = 6.9exp\left(-\frac{M}{4}\right) - 0.058 \leq 1.8$ Valores de la formulación: M: Magnitud del evento sísmico MSF: Factor de Magnitud de Escala	Método aplicado en la formulación del cálculo del potencial de Licuefacción, por Idriss & Boulanger (2004 y 2008)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
2014	Idriss & Boulanger	$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1)\left(8.64exp\left(-\frac{M}{4}\right) - 1.325\right)$ $MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{q_{C1N_{CS}}}{180}\right)^3 \leq 2.2$ $MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{(N_1)_{60_{CS}}}{31.5}\right)^2 \leq 2.2$ Valores de la formulación: M: Magnitud del evento sísmico MSF: Factor de Magnitud de Escala MSF_{max}: Factor de Magnitud de Escala Máximo $q_{C1N_{CS}}$: $(N_1)_{60_{CS}}$:	Metodología aplicada para ensayos SPT y CPT
1997	Andrus & Stokoe	$MSF = \left(\frac{M_w}{7.5}\right)^{-3.3}$ Valores de la formulación: M_w: Escala de magnitud de Momento sísmico MSF: Factor de Magnitud de Escala	
1997	Youd & Noble	$\boldsymbol{Logit(P_L) = ln\left(\frac{P_L}{1 - P_L}\right)}$ $\boldsymbol{= -7.0351 + 2.1738M_w - 0.2678(N_1)_{60_{CS}} + 3.0265ln(CRR)}$ Para $\boldsymbol{P_L < 20\%, MSF = \frac{10^{3.81}}{M^{4.53}}, M_w < 7}$ Para $\boldsymbol{P_L < 32\%, MSF = \frac{10^{3.74}}{M^{4.33}}, M_w < 7}$ Para $\boldsymbol{P_L < 50\%, MSF = \frac{10^{4.21}}{M^{4.81}}, M_w < 7.75}$ Para $\boldsymbol{M_w \geq 7.75, MSF = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}}}$ Valores de la formulación: P_L: Potencial de Licuefacción de Suelos M_w, M: Escala de magnitud de Momento sísmico $(N_1)_{60_{CS}}$: CRR: MSF: Factor de Magnitud de Escala	Valores de MSF para potenciales de licuefacción ya calculados previamente

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
2004	Cetin	$MSF = \left(\frac{7.5}{M_w}\right)^{2.217}$ Valores de la formulación: MSF: Factor de Magnitud de Escala M_w: Escala de magnitud de Momento sísmico	
2001	Idriss	$MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}}$ Valores de la formulación: MSF: Factor de Magnitud de Escala M: Escala de magnitud de Momento sísmico	Obtenido del Informe de NCEER del 2001

Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Formato de presentación propio]. Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual

e. Procedimiento de cálculo basado en el Ensayo de Penetración Estándar (SPT).

En el software Settle3D, se desarrollan dos metodologías:

- **Métodos Pre-definidos**

Aplica los métodos de Youd et al. (2001), Idriss y Boulanger (2008), Cetin et al. - Deterministic (2004) y Cetin et al. – Probabilistic (2004).

La siguiente tabla, describe los métodos mencionados, considerando el Factor de Corrección de Profundidad, MSF, Factor de Reducción de Esfuerzo r_d, Densidad Relativa, Corrección del contenido de Finos, K_σ y K_a.

Figura 26 *Métodos Pre-definidos en Settle3D*

		Triggering Methods			
		Youd et al. (2001)	Idriss and Boulanger (2008)	Cetin et al. (2004) – Deterministic	Cetin et al. (2004) – Probabilistic
Triggering Method		NCEER (1997)	Idriss and Boulanger (2004)	Cetin et al. (2004) Deterministic	Cetin et al. (2004) Probabilistic
Depth Correction	Depth Correction	Liao & Whitman (1986)	Idriss and Boulanger (2004)	Liao & Whitman (1986)	Liao & Whitman (1986)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

	Sampling Method	Standard	Standard	Standard	Standard
Advanced Settings	MSF	Idriss (1999)	Idriss and Boulanger (2008)	None	None
	Stress Reduction Factor	Idriss (1999)	Idriss (1999)	Cetin et al. (2004)	Cetin et al. (2004)
	Relative Density	Skempton (1986)	Idriss and Boulanger (2003)	Skempton (1986)	Skempton (1986)
	Fines Content Correction	Youd et al. (2001)	Idriss and Boulanger (2008)	Cetin et al. (2004)	Cetin et al. (2004)
	K sigma	Hynes and Olsen (1999)	Idriss and Boulanger (2008)	Cetin et al. (2004)	Cetin et al. (2004)
	K alpha	None	None	None	None

Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Figura]. Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual.

- **Factores de corrección de SPT-N**

El manual del software Settle3D indica que antes de calcular CRR, el valor de N obtenido del SPT, debe corregirse con los siguientes factores: sobrecarga, longitud de la varilla, muestreador no estándar, diámetro del pozo y eficiencia de energía del martillo, resultando en $(N_1)_{60}$. La ecuación es:

$$N_{60} = NC_R C_S C_B C_E \text{ y } (N_1)_{60} = N_{60} C_N$$

A continuación, se presenta los valores de los factores de corrección.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 27 *Resumen de factores de corrección para valores de campo SPT-N*

Factor	Equipment Variable	Term	Correction
Overburden Pressure		C_N	Section 6.2.1
Energy Ratio	Donut hammer	C_E	0.5-1.0
	Safety hammer		0.7-1.2
	Automatic hammer		0.8-1.3
Borehole Diameter	65 mm -115 mm	C_B	1.0
	150 mm		1.05
	200 mm		1.12
Rod Length	<3 m	C_R	0.75
	3 m – 4 m		0.80
	4 m - 6 m		0.85
	6 m -10 m		0.95
	10 m – 30 m		1.00
Sampling Method	Standard Sampler	C_S	1.0
	Sampler without Liner		1.0-1.3

Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Formato de presentación propio]. Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual

- **Factor de corrección de sobrecarga, C_N**

Corrige los valores de N a N_1, considerando un esfuerzo efectivo de sobrecarga de 1 atm.

Las formulaciones son:

Tabla 10 *Modelos matemáticos para determinar el Factor de corrección de sobrecarga, C_N*

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
1986a	Liao & Whitman	$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v_0}}\right)^{0.5}$ Valores de la formulación: P_a: Presión atmosférica σ'_{v_0}: Esfuerzo de carga efectivo C_N: Factor de corrección de sobrecarga	
1967	Bazaraa	$C_N = \frac{4}{1 + 2\sigma'_{v_0}}$ $C_N = \frac{4}{3.25 + 0.5\sigma'_{v_0}}$ Valores de la formulación: C_N: Factor de corrección de sobrecarga σ'_{v_0}: Esfuerzo efectivo de carga	Para $\sigma'_{v_0} \leq 1.5\ [\sigma'_{v_0}] = ksf$ Para $\sigma'_{v_0} > 1.5\ [\sigma'_{v_0}] = ksf$ Recordar que: $1\frac{kip}{pie^2}(ksf) = 47.8802\ kPa =$ $4.8825x10^3 kgf/m^2$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
2004	Idriss & Boulanger	$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v_0}}\right)^{0.784-0.0768\sqrt{(N_1)_{60}}}$ Valores de la formulación: C_N: Factor de corrección de sobrecarga σ'_{v_0}: Esfuerzo efectivo de carga P_a: Presión atmosférica	Considerar que: $C_N \leq 2.0$ $C_N \leq 1.7$ $(N_1)_{60} \leq 46$
1974	Peck, Hansen & Thorburn	$C_N = 0.77log\left(\frac{2000}{\sigma'_{v_0}}\right)$ Valores de la formulación: σ'_{v_0}: Esfuerzo efectivo de carga C_N: Factor de corrección de sobrecarga	$[\sigma'_{v_0}] = kPa$ $\sigma'_{v_0} \leq 282kPa$
1992	Kayen et al.	$C_N = \frac{2.2}{1.2 + \frac{\sigma'_{v_0}}{P_a}}$ Valores de la formulación: σ'_{v_0}: Esfuerzo efectivo de carga P_a: Presión atmosférica C_N: Factor de corrección de sobrecarga	$C_N \leq 1.7$

Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Formato de presentación propio]. Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual

- **Factor de corrección eficiencia de energía de martillo, C_E**

Se calcula con la relación de energía, $C_E = \frac{ER_m}{60}$. Los valores oscilan de 0.5 a 1.3 (Skempton, 1986).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 28 *Resumen del factor eficiencia de energía de martillo*

Hammer Type	C_E
Automatic Trip	0.9-1.6
Europe Donut Free fall	1.0
China Donut Free Fall	1.0
China Donut Rope& Pulley	0.83
Japan Donut Free Fall	1.3
Japan Donut Rope& Pulley	1.12
United States Safety Rope& pulley	0.89
United States Donut Rope& pulley	0.72
United States Automatic Trip Rope& pulley	1.25

Hammer Type	C_E
Donut hammer	0.5-1.0
Safety hammer	0.7-1.2
Automatic hammer	0.8-1.3

Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Figura]. Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual

- **Factor de corrección del diámetro de pozo, C_B**

La siguiente tabla de Skempton (1986) resume los factores de corrección para varios diámetros de pozo.

Figura 29 *Resumen del factor de corrección del diámetro de pozo*

Borehole Diameter (mm)	C_B
65-115	1.0
150	1.05
200	1.15

Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Figura]. Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual

- **Factor de corrección de la longitud de varilla, C_R**

Este factor considera la energía transferida a la varilla de muestreo por la longitud de varilla.

Youd et al. (2001) considera un factor de corrección para varias longitudes de varilla. Además, a la longitud de varilla sobre el suelo se añade la profundidad, obteniendo el total de longitud.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

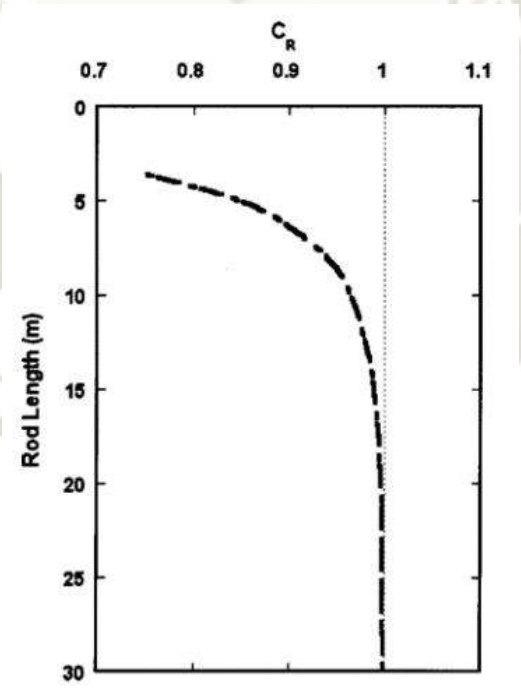
Figura 30 *Resumen del factor de corrección de longitud de varilla*

Rod Length (m)	C_R
<3	0.75
3-4	0.80
4-6	0.85
6-10	0.95
10-30	1.00

Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Figura]. Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual

Cetin et al. (2004) mediante una gráfica, considera la longitud de varilla desde el punto de impacto del martillo hasta la punta del muestreador. Además, una longitud de 1.2m de extensión de varilla, se agrega a la profundidad antes de calcular el factor de corrección.

Figura 31 V*alores recomendados para* C_R



Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Figura]. Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- **Factor de corrección del muestreador, C_S**

Este factor se aplica en casos donde el muestreador de cuchara partida presenta espacio para revestimiento de anillos, pero estos no se usan. Para un muestreador estándar, con revestimiento, el factor C_S es 1.0 (Inc., 2016).

Para muestreadores sin revestimiento, el rango del factor de corrección es 1.0 - 1.3 (NCEER, 1997). Los valores de C_S son los siguientes:

Figura 32 *Valores recomendados para C_S*

Cs	Condition	Reference
$C_S = 1.1$	$N_{1,60} \leq 10$	(Cetin et al, 2004)
$C_S = 1 + \frac{N_{1,60}}{100}$	$10 \leq N_{1,60} \leq 30$	(Cetin et al, 2004)
$C_S = 1.3$	$N_{1,60} \geq 30$	(Cetin et al, 2004)

Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Figura]. Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual

f. Relación de Resistencia Cíclica (CRR).

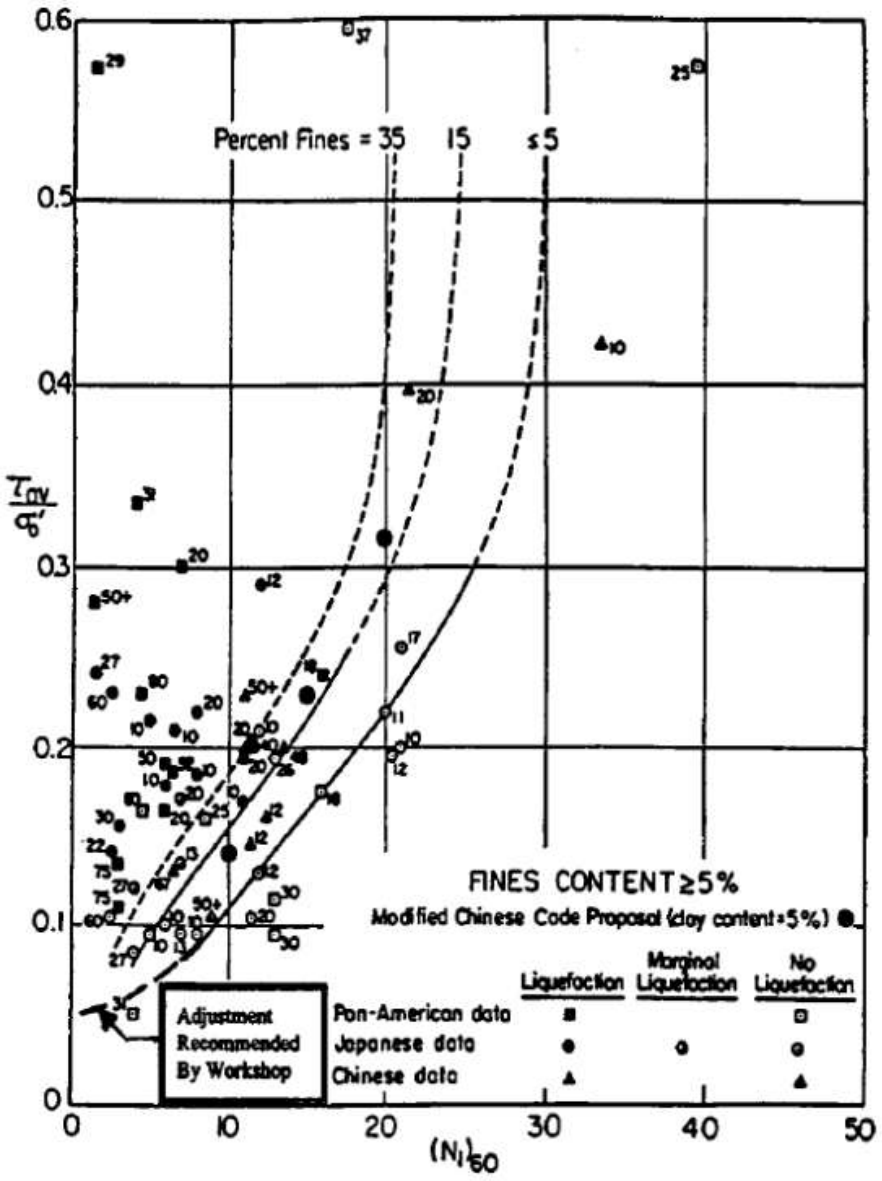
La relación de resistencia cíclica representa el máximo CSR, al cual un suelo puede resistir la licuefacción. Se calcula a partir de la ecuación, corregida por la magnitud: $CRR = CRR_{7.5}MSF$. Los métodos para determinar el CRR son los siguientes:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 33 *Curvas límites de licuefacción. Correlación de valores de* $(N_1)_{60}$ *y CRR (M=7.5)*



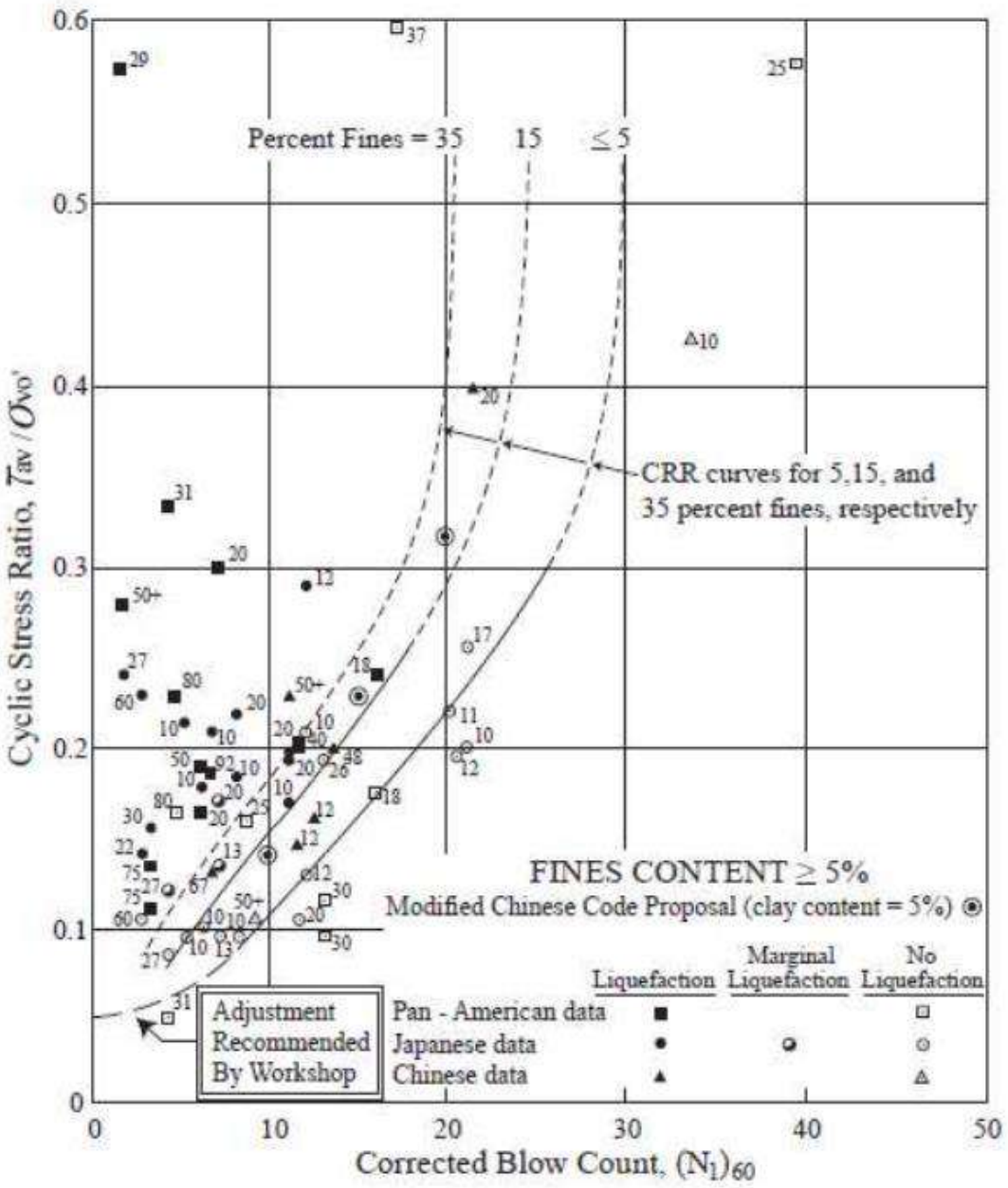
Fuente: Seed et al., 1984. [Figura]. Recuperado de ©Rocscience Inc., 2016. Settle3D Liquefaction Theory Manual

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 34 *Curva base simplificada recomendada para el cálculo de CRR de los resultados del SPT, con informaciòn empírica de licuefacción*



Fuente: Youd & Idriss (2001), NCEER (1997). [Figura]. Recuperado de ©Rocscience Inc., 2016. Settle3D Liquefaction Theory Manual.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 11 *Modelos matemáticos para determinar el Factor de Resistencia Cíclica, CRR*

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
2016	©Rocscience	$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60_{CS}}} + \frac{(N_1)_{60_{CS}}}{135} + \frac{50}{\left[10(N_1)_{60_{CS}} + 45\right]^2} - \frac{1}{200}$$ Valores de la formulación: CRR: Relación de Resistencia Cíclica $(N_1)_{60_{CS}}$: Número de golpes corregido por contenido de finos	Modelo matemático para calcular CRR, implementado en el software Settle3D.
2004	Idriss & Boulanger	$$CRR_{M=7.5,\sigma=1} = \exp\left(\frac{(N_1)_{60_{CS}}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60_{CS}}}{126}\right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60_{CS}}}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60_{CS}}}{25.4}\right)^4 - 2.8\right)$$ Valores de la formulación: CRR: Relación de Resistencia Cíclica $(N_1)_{60_{CS}}$: Número de golpes corregido por contenido de finos	
2004	Cetin et al. - Determinístico	$$CRR((N_1)_{60}, M_w, \sigma'_v, FC, P_L) = exp\left[\frac{(N_1)_{60}(1 + 0.004FC) - 29.53ln(M_w) - 3.70ln\left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right) + 0.05FC + 16.85 + 2.70\emptyset^{-1}(P_L)}{13.32}\right]$$ Valores de la formulación: CRR: Relación de Resistencia Cíclica FC: Corrección por Contenido de Finos M_w: Magnitud Momento σ'_{v_0}: Esfuerzo de Carga Efectivo P_a: Presión atmosférica $\emptyset^{-1}$: Distribución estadística inversa $(N_1)_{60}$: Número de golpes corregido por Factor de sobrecarga	La ecuación calcula CRR para una probabilidad de licuefacción dada. La corrección por contenido de finos se considera en la ecuación

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
		P_L: Potencial de Licuefacción	
1990	Código Japonés para Puentes (JRA)	$$CRR_{M=7.5,\sigma=1} = 0.0882\sqrt{\frac{(N_1)_{60_{CS}}}{\sigma'_v + 0.7}} + 0.255log\left(\frac{0.35}{D_{50}}\right) + R_3$$	Para $0.05mm \leq D_{50} < 0.6mm$
		$$CRR_{M=7.5,\sigma=1} = 0.0882\sqrt{\frac{(N_1)_{60_{CS}}}{\sigma'_v + 0.7}} - 0.05$$	Para $0.6mm \leq D_{50} < 2mm$
		$$R_3 = 0$$	Para $FC < 40\%$
		$$R_3 = 0.004FC - 0.16$$	Para $FC \geq 40\%$
		Valores de la formulación: CRR: Relación de Resistencia Cíclica $(N_1)_{60_{CS}}$: Número de golpes corregido por contenido de finos σ'_v: Esfuerzo de Carga Efectivo D_{50}: Decil al 50% de porcentaje pasante FC: Corrección por Contenido de Finos	
2004	Cetin et al. – Probabilístico	$$P_L\left((N_1)_{60}, CSR_{eq}, M_w, \sigma'_v, FC\right) = \emptyset\left(-\frac{(N_1)_{60}(1 + 0.004FC) - 13.32ln(CSR_{eq}) - 29.53ln(M_w) - 3.70ln\left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right) + 0.05FC + 16.85}{2.70}\right)$$	
		Valores de la formulación: $(N_1)_{60}$: Número de golpes corregido por sobrecarga FC: Corrección por Contenido de Finos CSR_{eq}: Relación de Estrés Cíclico M_w: Escala de magnitud de Momento sísmico σ'_v: Esfuerzo de Carga Efectivo P_a: Presión atmosférica	Similar al método determinístico de Cetin et al. (2004) En esta formulación, la corrección por contenido de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

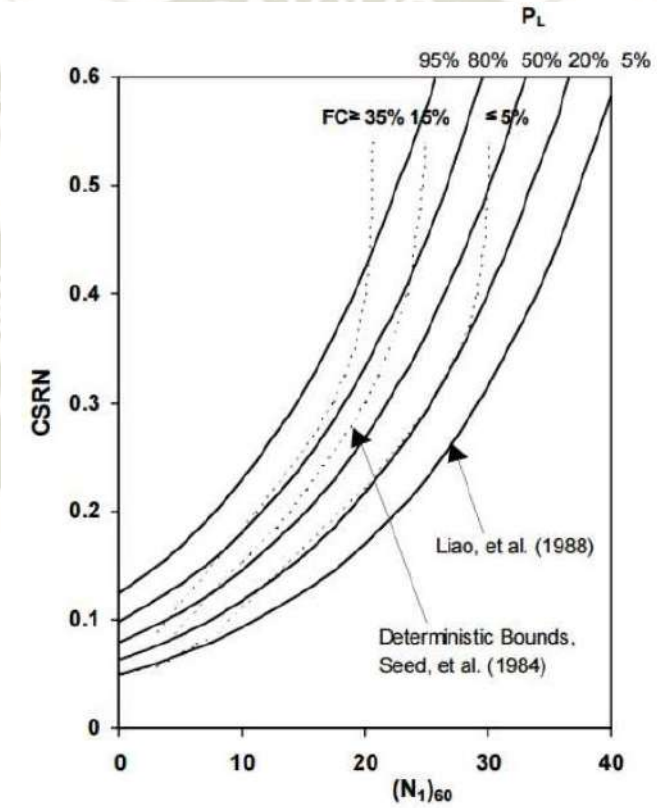
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
		Ø: Función estadística	finos FC, se considera en la ecuación de P_L

Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Formato de presentación propio]. Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual

Figura 35 *Método probabilístico de Licuefacción basado en ensayo SPT*



Fuente: Liao et al., 1988. [Figura]. Recuperado de ©Rocscience Inc., 2016. Settle3D Liquefaction Theory Manual

Tabla 12 *Modelo matemático para determinar el Factor de Resistencia Cíclica, CRR*

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
2001	Youd & Noble - Probabilístico		

$$\boldsymbol{Logit(P_L) = ln\left(\frac{P_L}{1-P_L}\right) = -7.0351 + 2.1738M_w - 0.2678(N_1)_{60_{CS}} + 3.0265ln(CRR)}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

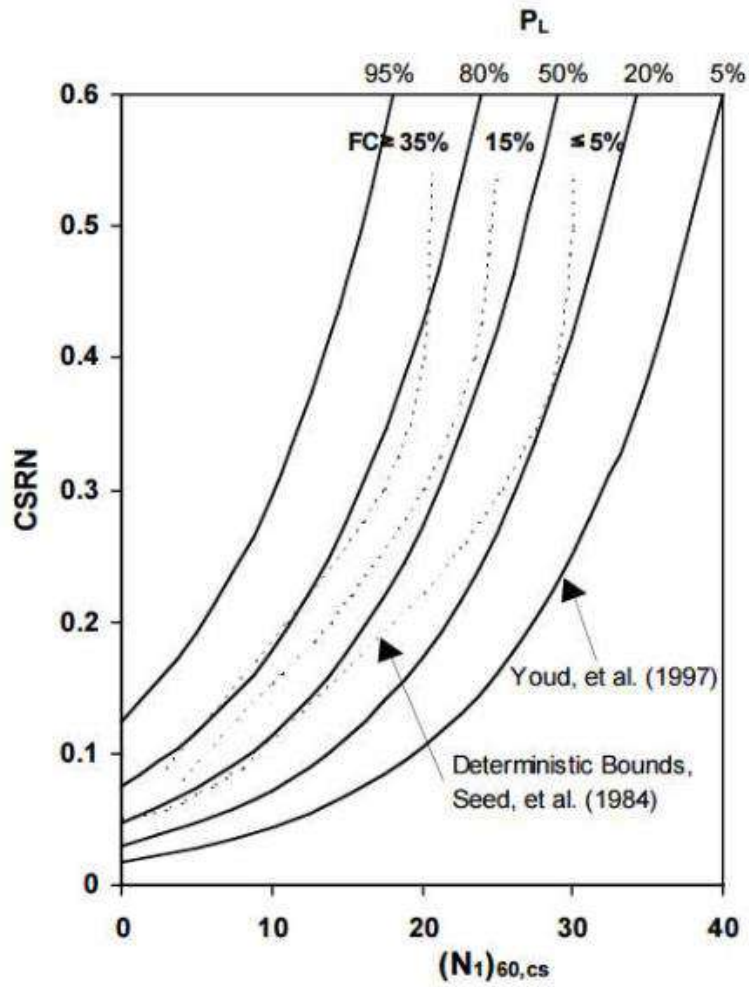
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Valores de la formulación: P_L: Potencial de Licuefacción M_w: Escala de magnitud de Momento sísmico $(N_1)_{60_{CS}}$: Número de golpes corregido por contenido de finos CRR: Factor de Resistencia Cíclica	Modelo que también sirve para calcular P_L Función Logit $Logit(P_L) = ln\left(\frac{P_L}{1-P_L}\right)$

Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Formato de presentación propio]. Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual

Figura 36 *Método probabilístico de Licuefacción basado en ensayo SPT*



Fuente: Youd & Noble, 1997. [Figura]. Recuperado de ©Rocscience Inc., 2016. Settle3D Liquefaction Theory Manual

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

g. Densidad Relativa, D_R.

Esta propiedad física del suelo, se usa para el cálculo del factor de corrección por sobrecarga C_N. Los métodos disponibles son los siguientes:

Tabla 13 *Modelos matemáticos para determinar $N_{1.60}$ en base a D_R*

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
1986	Skempton	$N_{1,60} = 41 * D_R^2$ Valores de la formulación: D_R: Densidad Relativa $N_{1,60}$: Número de golpes corregido por Factor de Sobrecarga	$N_{1,60} = (N_1)_{60}$
1979	Ishihara	$D_R = 0.9 * (N_{1,60} + 14 + 6.51 \log_{10} FC)$ Valores de la formulación: D_R: Densidad Relativa $N_{1,60}$: Número de golpes corregido por Factor de Sobrecarga FC: Corrección por Contenido de Finos	$N_{1,60} = (N_1)_{60}$
1980	Tatsuoka et al.	$D_R = 0.9 * (N_{1,60} + 14 + 6.51 \log_{10} FC)$ Valores de la formulación: D_R: Densidad Relativa $N_{1,60}$: Número de golpes corregido por Factor de Sobrecarga FC: Corrección por Contenido de Finos	$N_{1,60} = (N_1)_{60}$
2003	Idriss & Boulanger		

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
		$D_R = \sqrt{\frac{N_{1,60}}{46}}$ Valores de la formulación: D_R: Densidad Relativa $N_{1,60}$: Número de golpes corregido por Factor de Sobrecarga	$N_{1,60} = (N_1)_{60}$
1981	Ishihara, Yasuda & Yokota	$D_R = 0.0676\sqrt{N_{1,60}} + 0.085 \log_{10}\left(\frac{0.5}{D_{50}}\right)$ Valores de la formulación: D_R: Densidad Relativa $N_{1,60}$: Número de golpes corregido por Factor de Sobrecarga D_{50}: Decil al 50% de porcentaje pasante	$N_{1,60} = (N_1)_{60}$

Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Formato de presentación propio]. Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual

h. Corrección por Contenido de Finos, FC.

Los métodos son:

Tabla 14 *Modelos matemáticos para determinar FC*

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
2008	Idriss & Boulanger	$(N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}$ $\Delta(N_1)_{60} = exp\left(1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01}\right)^2\right)$ Valores de la formulación: $\Delta(N_1)_{60}$: Variación para corrección por Contenido de finos $(N_1)_{60}$: Número de golpes corregido por Factor de Sobrecarga	

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
		FC: Corrección por Contenido de Finos	
2001	Youd et al.	$(N_1)_{60_{CS}} = \alpha + \beta(N_1)_{60}$	
		$\alpha = 0$ y $\beta = 1.0$	Para $FC \leq 5\%$
		$\alpha = exp\left[1.76 - \left(\frac{190}{FC^2}\right)\right]$ y $\beta = \left[0.99 + \left(\frac{FC^{1.5}}{1000}\right)\right]$	Para $5\% < FC < 35\%$
		$\alpha = 5.0$ y $\beta = 1.2$	Para $FC \geq 35\%$
		Valores de la formulación: $(N_1)_{60_{CS}}$: Número de golpes corregido por Contenido de finos $(N_1)_{60}$: Número de golpes corregido por Factor de Sobrecarga FC: Corrección por Contenido de Finos	
2004	Cetin et al.	$(N_1)_{60_{CS}} = (N_1)_{60} C_{FINES}$ $C_{FINES} = (1 + 0.004FC) + 0.05\left(\frac{FC}{N_{1,60}}\right)$	para $5\% \leq FC \leq 35\%$
		Valores de la formulación: $(N_1)_{60_{CS}}$: Número de golpes corregido por contenido de finos $(N_1)_{60}$: Número de golpes corregido por Factor de Sobrecarga FC: Corrección por Contenido de Finos	

Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Formato de presentación propio]. Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual

i. Factor de Corrección por Sobrecarga, K_σ.

El Factor de Resistencia Cíclica (CRR) se corrige por sobrecarga. Dado que el CRR de arena depende de la tensión efectiva de sobrecarga; incrementa la resistencia a la licuefacción con aumento del esfuerzo de confinamiento.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

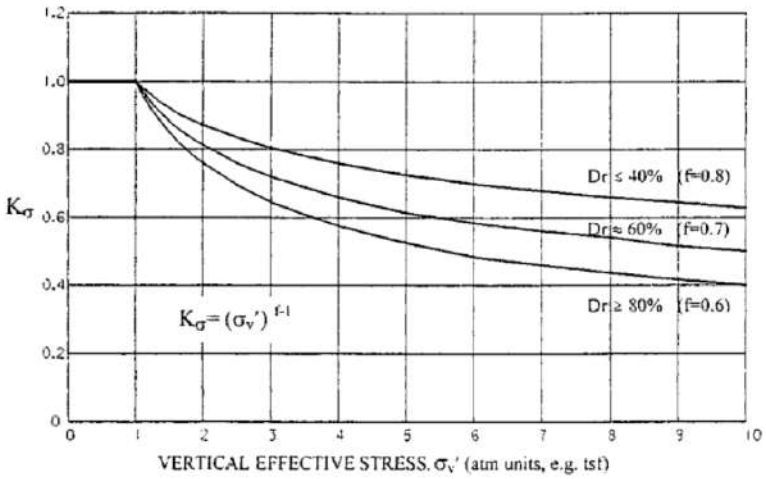
Tabla 15 *Modelo matemático para determinar* K_σ

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
1999	Hynes & Olsen	$K_\sigma = \left(\frac{\sigma'_{v_0}}{P_a}\right)^{(f-1)}$	
		$f = 0.7 - 0.8$	para $40\% < D_R < 60\%$
		$f = 0.6 - 0.7$	para $60\% < D_R < 80\%$
		Valores de la formulación:	
		P_a: Presión atmosférica	El parámetro f está en función a
		σ'_{v_0}: Esfuerzo Vertical Efectivo	las condiciones del sitio
		K_σ: Factor de Corrección por Sobrecarga	

Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Formato de presentación propio]. Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual

Las estimaciones de la siguiente gráfica son conservadoras y recomendadas para arenas y gravas limpias y limosas.

Figura 37 *Curvas recomendadas para estimar* K_σ *con propósitos ingenieriles*



Fuente: NCEER, 1996. [Figura]. Recuperado de ©Rocscience Inc., 2016. Settle3D Liquefaction Theory Manual

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

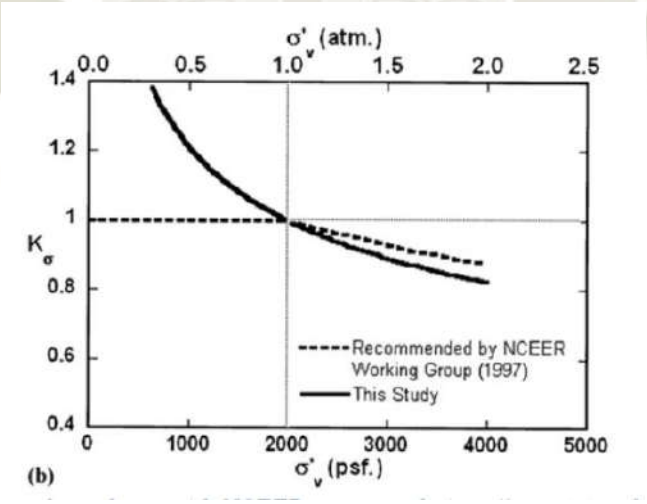
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 16 *Modelo matemático para determinar K_σ*

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
2008	Idriss & Boulanger	$K_\sigma = 1 - C_\sigma ln\left(\frac{\sigma'_{v_0}}{P_a}\right) \leq 1.1$ $C_\sigma = \frac{1}{(18.9 - 2.55\sqrt{(N_1)_{60}})}$ Valores de la formulación: P_a: Presión atmosférica σ'_{v_0}: Esfuerzo vertical efectivo K_σ: Factor de Corrección por Sobrecarga	Mismo modelo presentado por Idriss & Boulanger el año 2004. Con la diferencia que K_σ resulta mayor

Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Formato de presentación propio]. Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual

Figura 38 *Valores de K_σ con las recomendaciones de NCEER (n=0.7 y DR<60%)*



Fuente: Cetin et al., 2004. [Figura]. Recuperado de ©Rocscience Inc., 2016. Settle3D Liquefaction Theory Manual

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

j. Factor de Corrección del esfuerzo cortante, K_α.

K_α es el factor de corrección del esfuerzo cortante estático, usado para corregir los valores del Factor de Resistencia Cíclica (CRR) por efectos de los esfuerzos cortantes estáticos. El software Settle3D sólo considera lo propuesto por Idriss & Boulanger (2003).

Tabla 17 *Modelo matemático para determinar* K_α

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
2003	Idriss & Boulanger	$K_\alpha = a + b \cdot exp\left(\frac{\xi_R}{c}\right)$ $a = 1267 + 636\alpha^2 - 634exp(\alpha) - 632exp(-\alpha)$ $b = exp[-1.11 + 12.3\alpha^2 + 1.31ln(\alpha + 0.0001)]$ $c = 0.138 + 0.126\alpha + 2.52\alpha^3$ $\xi_R = \frac{1}{Q - ln\left(\frac{100p'}{P_a}\right)} - D_R$ Valores de la formulación: D_R: Densidad Relativa p': Esfuerzo Normal Efectivo Q: Constante empírica P_a: Presión Atmosférica α: Pendiente	$\alpha \leq 0.35$ $-0.6 \leq \xi_R \leq 0$ Para Q: - Q = 10 para cuarzos y feldespatos - Q = 8 para piedra caliza - Q = 7 para antracita - Q = 5.5 para tiza En Software Settle3D considera Q = 8

Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Formato de presentación propio]. Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual

k. Cálculos basados en la Velocidad de onda de corte, V_s.

Las ecuaciones del Factor de Magnitud de Escala (MSF) y el factor de reducción de esfuerzo (r_d) son las mismas para SPT y CPT.

Settle3D considera las siguientes ecuaciones para determinar licuefacción basada en ondas de corte sísmicas. Antes es necesario convertir V_s a V_{s_1}(Juang et al., 2001): $V_{s_1} = V_s \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^{0.25}$ (Inc., 2016)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 18 *Modelos matemáticos para determinar P_L con datos V_s (Metodología)*

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
2004	Andrus		
		$V_{s_{1cs}} = K_{fc} V_{s_1}$	Primero, calcular $V_{s_{1cs}}$ con la metodología de Juang et al. (2001)
		$K_{fc} = 1$	Para $FC \leq 5\%$
		$K_{fc} = 1 + T(FC - 5)$	Para $5 < FC < 35\%$
		$K_{fc} = 1 + 30T$	Para $FC \geq 35\%$
		$\mathrm{T} = 0.009 - 0.0109\left(\frac{V_{s_1}}{100}\right) + 0.0038\left(\frac{V_{s_1}}{100}\right)^2$	
		$CRR_{7.5} = 0.022\left[\frac{V_{s_{1CS}}}{100}\right]^2 + 2.8\left[\frac{1}{215 - V_{s_{1CS}}} - \frac{1}{215}\right]$	Cálculo de $CRR_{7.5}$ con la ecuación propuesta por Andrus
		$K_\sigma = 1 - C_\sigma ln\left(\frac{\sigma'_{v_0}}{P_a}\right) \leq 1.1$	Afectar $CRR_{7.5}$ calculado con el factor de sobrecarga K_σ (Idriss & Boulanger, 2004)
		$C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 3.1\left(\frac{V_{s_{1CS}}}{100}\right)^{1.976}} \leq 0.3$	
		Valores de la formulación: K_{fc}: Formulación de Juang et al. (2001) V_{s_1}: Velocidad de onda de corte sísmica FC: Corrección por Contenido de Finos $V_{s_{1cs}}$: Velocidad de onda de corte corregida por contenido de finos $CRR_{7.5}$: Factor de Resistencia Cíclica K_σ: Factor de Sobrecarga	
1997	NCEER		
		$CRR = a\left(\frac{V_{s_1}}{100}\right)^2 + \frac{b}{V_{s_{1cs}} - V_{s_1}} - \frac{b}{V_{s_{1cs}}}$	a = 0.03 b = 0.9
		$V_{s_{1cs}} = 220$	Para $FC < 5\%$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
		$V_{s_{1cs}} = 210$	Para FC $< 35\%$
		$V_{s_{1cs}} = 200$	Para otros valores de FC
		$V_{s_{1cs}} = K_{f_c} V_{s_1}$	NOTA: Es válido calcular $V_{s_{1cs}}$ con la metodología de Juang et al. (2001)
		$K_{f_c} = 1$	Para $FC \leq 5\%$
		$K_{f_c} = 1 + T(FC - 5)$	Para $5 < FC < 35\%$
		$K_{f_c} = 1 + 30T$	Para $FC \geq 35\%$
		$\mathrm{T} = 0.009 - 0.0109\left(\frac{V_{s_1}}{100}\right) + 0.0038\left(\frac{V_{s_1}}{100}\right)^2$	
		$K_\sigma = 1 - C_\sigma ln\left(\frac{\sigma'_{v_0}}{P_a}\right) \leq 1.1$	Si se aplica metodología de Juang et al. (2001), considerar la corrección por factor de sobrecarga K_σ (Idriss & Boulanger, 2004)
		$C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 3.1\left(\frac{V_{s_{1CS}}}{100}\right)^{1.976}} \leq 0.3$	
		Valores de la formulación: CRR: Factor de Resistencia Cíclica V_{s_1}: Velocidad de onda de corte sísmica $V_{s_{1cs}}$: Velocidad de onda de corte corregida por contenido de finos K_{f_c}: Formulación de Juang et al. (2001) FC: Corrección por Contenido de Finos K_σ: Factor de Sobrecarga	
2001	Juang et al. - Probabilístico		
		$V_{s_{1cs}} = K_{f_c} V_{s_1}$	Calcular $V_{s_{1cs}}$ con la metodología de Juang et al. (2001)
		$K_{f_c} = 1$	Para $FC \leq 5\%$
		$K_{f_c} = 1 + T(FC - 5)$	Para $5 < FC < 35\%$
		$K_{f_c} = 1 + 30T$	Para $FC \geq 35\%$
		$\mathrm{T} = 0.009 - 0.0109\left(\frac{V_{s_1}}{100}\right) + 0.0038\left(\frac{V_{s_1}}{100}\right)^2$	

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Año	Autor (es)	Modelo Matemático	Adicional
		$$ln\left[\frac{P_L}{1-P_L}\right] = 14.8967 - 0.0611V_{s_{1_{cs}}} + 2.6418ln(CRR)$$	Calcular P_L basado en un FS definido (TANTEO), o calcular CRR basado en la Probabilidad de Licuefacción definido (TANTEO).
		Valores de la formulación: K_{f_c}: Formulación de Juang et al. (2001) FC: Corrección por Contenido de Finos V_{s_1}: Velocidad de onda de corte sísmica $V_{s_{1_{cs}}}$: Velocidad de onda de corte corregida por contenido de finos P_L: Potencial de Licuefacción CRR: Factor de Resistencia Cíclica	
Cabe mencionar que si FS se calcula en base a CRR, se deberá calcular K_σ. Si se calcula P_L, queda demostrado la susceptibilidad a la licuefacción del suelo en estudio			

Fuente: ©Rocscience Inc., 2016. [Formato de presentación propio].
Recuperado de Settle3D Liquefaction Theory Manual

2.3.5. Peligro Sísmico

El peligro sísmico es una medida de la probabilidad que el sismo más fuerte que puede ocurrir en una zona, en un cierto número de años, exceda (o no exceda) un determinado nivel de intensidad sísmica (intensidad, aceleración, velocidad, etc.) (ZER Geosystem Perú SAC, 2014)

Factores como: modelos, técnicas de cálculo más cuantitativas y una mayor cantidad de registros de eventos sísmicos; más las leyes de atenuación de la aceleración que representan el esquema sismotectónico de las diversas regiones, permiten el estudio del peligro sísmico.

El análisis del peligro sísmico consiste en la determinación y caracterización de las fuentes sismogénicas que establecen la sismicidad de la región en estudio, para esto se revisa la actividad sísmica del pasado y analiza las características tectónicas de la región. Posteriormente se determinan los parámetros de sismicidad local de cada fuente o zona sismogénica y con las leyes

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

de atenuación sísmica definidas para cada fuente, se determinan las intensidades sísmicas probables que pueden esperarse en un determinado lugar.

La fuente sismogénica es la línea, área o volumen geográfico con similitudes geológicas, geofísicas y sísmicas; se puede decir que el potencial sísmico es homogéneo. Es importante definir la geometría de la fuente debido a que proporcionan los parámetros físicos que controlan la sismotectónica de la región en estudio, para evaluar el peligro sísmico. (Instituto Geofísico del Perú , 2014)

Las fuentes sismogénicas se agrupan en continentales y de subducción. Las fuentes continentales o corticales están relacionadas con la actividad sísmica superficial andina y las fuentes de subducción modelan la interacción de las placas Sudamericana y de Nazca. Ver Figura 39 y 40.

La recurrencia sísmica en una fuente, $\log N = a - bM$, cuantifica al número de eventos mayores o iguales a una determinada magnitud, definida por la pendiente (b) de la curva (Gutemberg y Richter, 1956). La relación permite conocer la tasa media anual de actividad sísmica (λ_0) y la magnitud mínima y máxima (M_0 y $M_{máx}$). La relación de recurrencia sísmica se expresa como:

$N = \Gamma_0 e^{-\beta M}$, donde

$\Gamma_0 = 10^a$, número de sismos por unidad de tiempo con M>0

$\beta = b \ln 10$

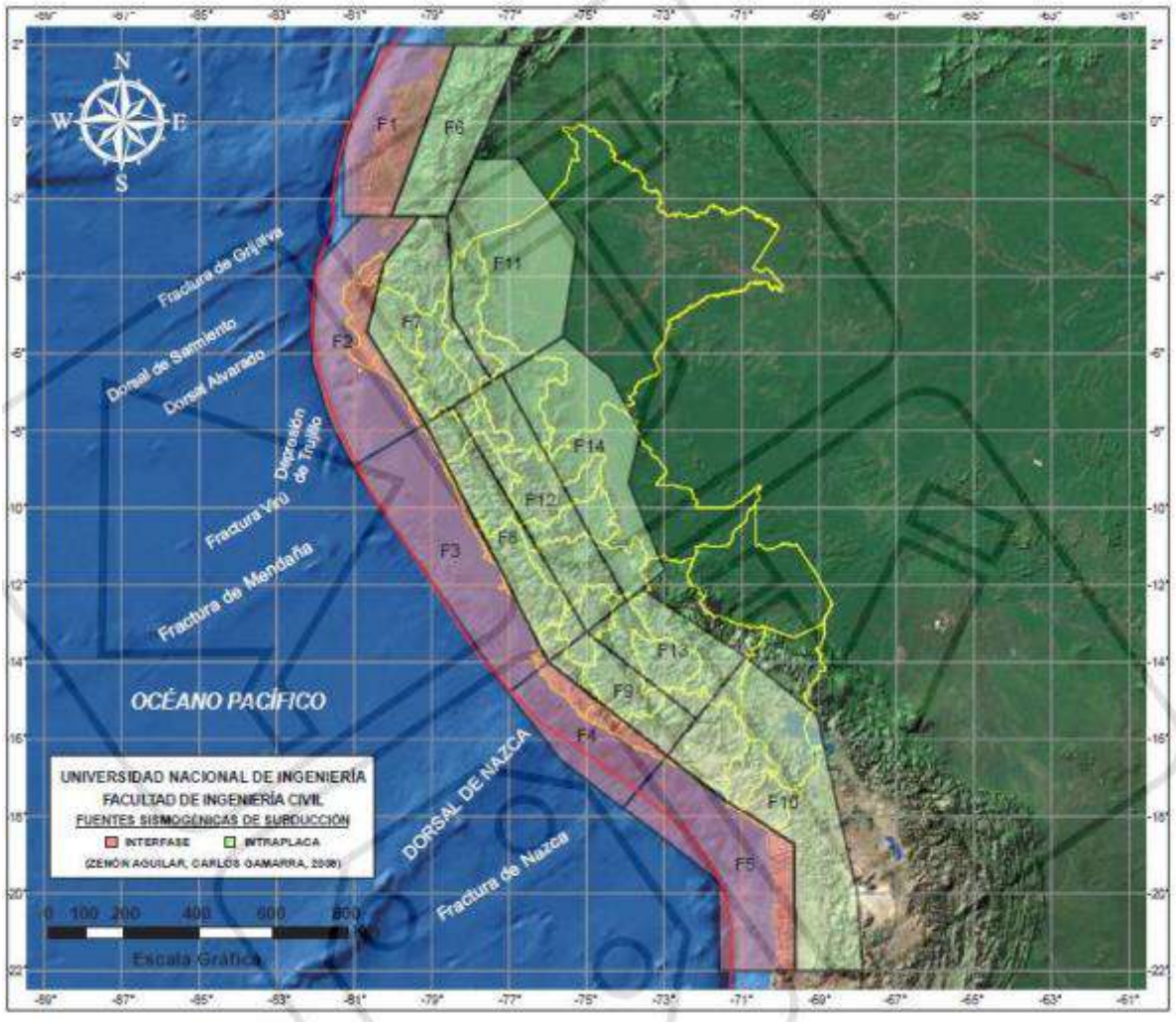
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Para las curvas de recurrencia sísmica, la base de datos para sismos históricos de magnitud menor, ha sido completada considerando el promedio estadístico anual de la sismicidad instrumental (Reiter, 1990; Kramer, 1996)

Figura 39 *Fuentes Sismogénicas de Subducción de Interfase e Intraplaca*



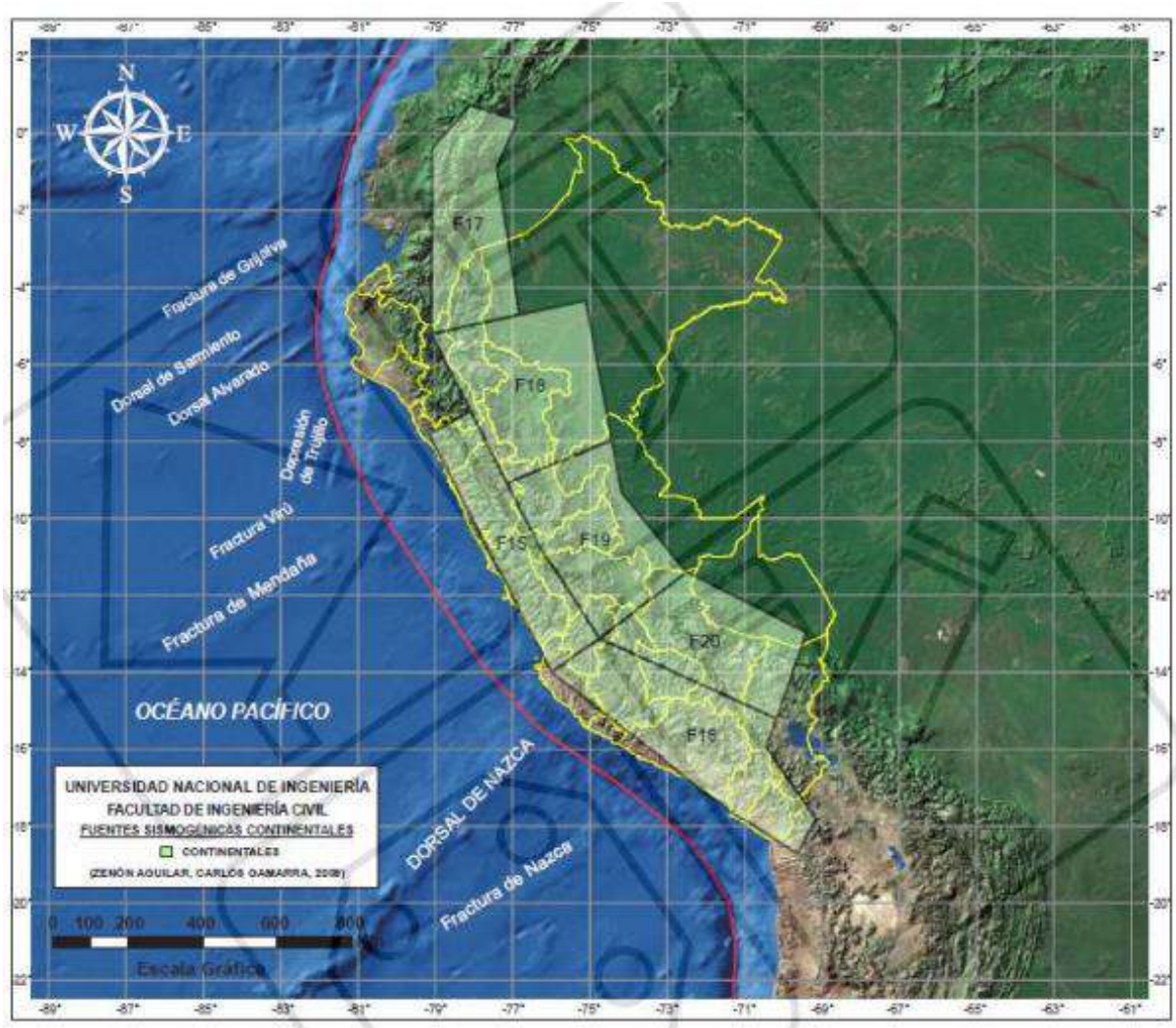
Fuente: ZER Geosystem Perú S.A., (2014). [Figura]. Determinación del Peligro Sísmico en el Territorio Nacional. Recuperado de DETERMINACIÓN_DEL_PELIGRO_SÍSMICO_EN_EL_TERRITORIO_NACIONAL_._INFORME_FINAL%20(1).pdf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 40 *Fuentes Sismogénicas de Corteza Superficial o Continentales*



Fuente: ZER Geosystem Perú S.A., (2014). [Figura]. Determinación del Peligro Sísmico en el Territorio Nacional. Recuperado de DETERMINACIÓN_DEL_PELIGRO_SÍSMICO_EN_EL_TERRITORIO_NACIONAL_._INFORME_FINAL%20(1).pdf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 41 *Parámetros sismológicos de las fuentes sismogénicas*

Fuente	Mw			
	$M_{mín}$	$M_{máx}$	β	Tasa
F1	4.2	8.3	1.1929	3.699
F2	4.4	7.8	1.2471	5.8562
F3	4.3	8.6	1.5957	14.0302
F4	4.3	8.5	1.544	9.7881
F5	4.2	8.8	1.3305	9.5505
F6	4.1	7.9	0.9541	2.0151
F7	4.2	6.6	1.3407	3.1144
F8	4.2	7.7	1.4477	3.7718
F9	4.4	7.5	1.575	4.5766
F10	5.0	8.0	2.3454	13.0837
F11	4.3	7.5	1.6183	9.0854
F12	4.2	8.5	1.6555	3.2898
F13	4.3	7.0	1.3216	3.4012
F14	4.7	7.8	2.0615	5.4152
F 15	4.0	7.3	0.6913	0.8147
F 16	4.2	7.6	1.2578	2.3338
F 17	4.2	7.0	1.0968	2.2363
F 18	4.7	7.2	1.5437	1.6851
F 19	4.2	7.1	1.2353	2.5516
F 20	4.4	6.9	0.5029	0.5084

Fuente: ZER Geosystem Perú S.A., (2014). [Figura]. Determinación del Peligro Sísmico en el Territorio Nacional. Recuperado de DETERMINACIÓN_DEL_PELIGRO_SÍSMICO_EN_EL_TERRITORIO_NACIONAL_._INFORME_FINAL%20(1).pdf

Las leyes de atenuación cuantifican la aceleración horizontal máxima del suelo en la base y también permiten estimar los niveles de demanda sísmica para diferentes periodos de vibración del suelo, denominados leyes de atenuación para ordenadas espectrales. Para el análisis del peligro sísmico sobre el territorio nacional, se ha empleado la ley de atenuación de Youngs et al. (1997) de ordenadas espectrales para aceleraciones, promediada con la ley de atenuación de Zhao et al. (2006) para la evaluación de las aceleraciones esperadas a nivel de roca (suelo tipo B) y la ley de atenuación de Sadigh et al. (1997) para sismos continentales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), ofrece el servicio de la determinación del peligro sísmico en el territorio nacional. El cual ha sido desarrollado en base a data del catálogo sísmico actualizado hasta octubre del 2013.

El resultado son las curvas de "Probabilidad anual de excedencia vs Aceleración espectral", sobre un punto de análisis específico dentro el territorio nacional expresado en coordenadas geográficas.

De acuerdo con Muñoz (2020), se establecen cuatro niveles de peligro sísmico que se definen por su periodo de retorno (o a su probabilidad de excedencia en 50 años) como se muestra:

Tabla 19 *Escenarios de peligro sísmico*

Sismo	Periodo de retorno (años)	Probabilidad de excedencia en 50 años
Frecuente	45	67%
Ocasional	75	50%
Raro	475	10%
Muy raro	970	5%

Además la Norma Peruana E.030 Diseño Sismorresistente indica que para edificaciones comunes, se considera un tiempo de vida útil efectivo de 50 años y acepta un 10 % de probabilidad de excedencia, lo que conlleva a la aceleración pico de los sismos con un periodo de retorno de 475 años. Pero para el análisis de licuefacción del suelo, será adecuado emplear el mismo tiempo de exposición (50 años) y una probabilidad de excedencia significativamente menor a la aceptada para el edificio (menos del 10%); la aceleración en este caso debería ser mayor al valor de Z. (Muñóz Peláez, 2020).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.3.6. Consecuencias de la licuación de Suelos

Figura 42 *Daños observados en el túnel del Metropolitano de Lisboa, ocasionado por licuefacción estática*



Fuente: Salgado F. Manuel, 2019. [Figura]. Liquefaction – Causes and effects Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/334107999_Liquefaction_-_Causes_and_effects

El daño estructural en edificaciones e instalaciones enterradas, provocado por el proceso de licuación de un suelo, puede llegar a ser catastrófico. Los efectos observados son: pérdida de apoyo de los cimientos de una estructura asentada sobre el suelo licuado, asentamientos totales o diferenciales de una estructura, ruptura de instalaciones enterradas, eyección de instalaciones y estructuras enterradas hacia la superficie, evacuación de arenas y agua subterránea a través de forúnculos de arena, colapso de plataformas y torres de alta – mediana – baja tensión, colapso de rellenos sanitarios (Jefferies, M. & Been, K. (Taylor & Francis), 2006).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 43 *Asentamiento diferencial de una estructura provocada por la licuefacción de suelos durante el terremoto de Taiwan del 2018*



Fuente: Rahman Khalera, 2018. [Figura]. "Taiwan is hit by 5.7 magnitude earthquake a day after 6.4 quake killed seven people and left scores unaccounted for". Recuperado de https://www.dailymail.co.uk/news/article-5363409/Taiwan-hit-5-7-magnitude-earthquake.html

Importante mencionar la publicación de F.M. Salgado – "Liquefaction – Causes and effects" llevada a cabo para analizar las causas estáticas provocadas por la licuefacción de suelos, en la estación subterránea del Metropolitano de Lisboa, Portugal. En el reporte, se menciona que el terreno en donde se construyó el túnel, estaba conformado por depósitos de arcilla generado por aluviones, intercalada por capas de arena limosa suelta. Y por efecto de cargas no drenadas (Maturano A. & Romanel, 2019) ocasionó daño a las paredes del túnel, las cuales se observaron durante la construcción de la estación subterránea del metro de Lisboa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 44 *Asentamiento absoluto de estructuras de concreto armado, terremoto de Darfield 2010 (a) y terremoto de Luzon 1990 (b)*



Fuente: University of Auckland, New Zeland 2011. [Figura]. "Soil liquefaction during the 2010 Darfield and 1990 Luzon Earthquakes: A comparative study". Recuperado de https://www.nzsee.org.nz/db/2011/043.pdf

Figura 45 *Empuje de buzones provocado por licuefacción de suelos en la ciudad de Urayasu, prefectura de Chiba. Terremoto de Japón del 2011*



Fuente: Inagaki, Kana 2011. [Figura]. "Quake Bogs Down a Tokyo Suburb" Recuperado de https://www.wsj.com/articles/SB10001424052748704336504576259631466697102

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

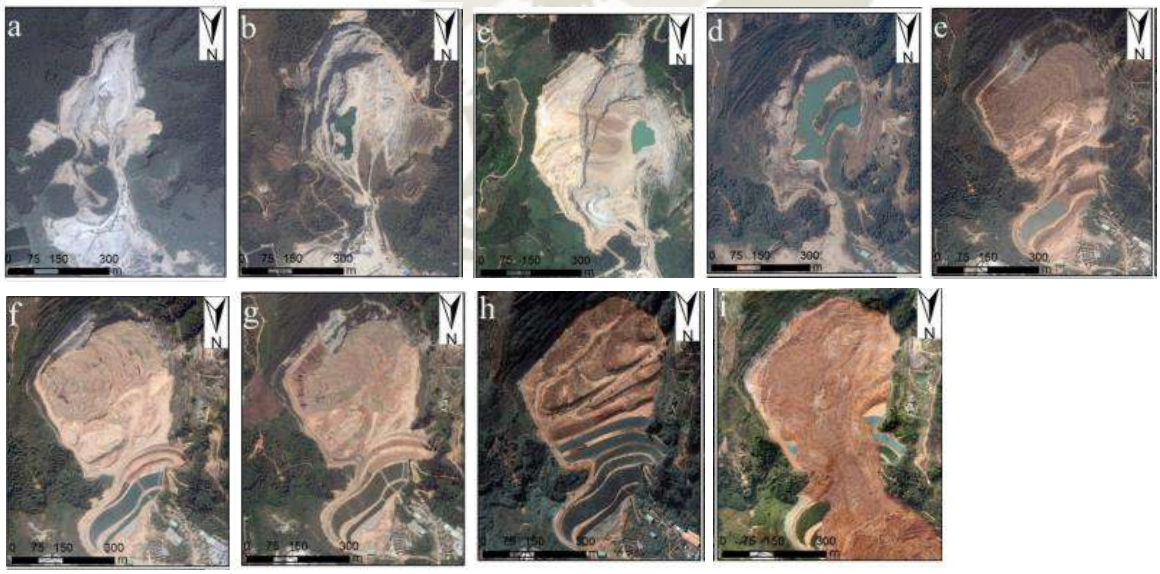
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 46 *Volcanes de arena en eyección hacia las calles cubiertas de limo, luego del terremoto de Canterbury de 2011*



Fuente: Wikiwand, s. f. [Figura]. "Sand boil" Recuperado de https://www.wikiwand.com/en/Sand_boil

Figura 47 *Colapso de rellenos sanitarios, ocasionado por fallas en su estructura de contención, ocurrido durante el derrumbe del vertedero de Hongao, China*



Fuente: Qiang Xu et al., 2017 [Figura]. "The catastrophic landfill flowslide at Hongao dumpsite on 20 December 2015 in Shenzhen, China". Recuperado de https://nhess.copernicus.org/articles/17/277/2017/nhess-17-277-2017.pdf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.7. Prevención y reconstrucción frente al fenómeno de Licuefacción de Suelos

a. Prevención ante susceptibilidad a licuefacción de suelos.

R.B. Seed, y otros detallan las siguientes metodologías para prevenir el fenómeno de licuefacción de suelos.

Tabla 20 *Métodos seleccionados para mitigar el peligro de licuefacción del suelo sísmico*

Actividad	Método de Prevención	Notas
Excavación y/o compactación	Excavación y eliminación de suelos licuables Excavación y re-compactación Compactación (para nuevo llenado)	
Densificación de suelo in situ	Compactación con sondas vibratorias (vibro-flotación, etc.) Consolidación dinámica (compactación pesada) Pilas de compactación Densificación profunda por voladura Inyección de compactación	Puede ser acoplado con la instalación de columnas de grava También puede proporcionar refuerzo
Otros tipos seleccionados de tratamiento de suelos	Inyección de permeación Jet Grouting Mezcla profunda Desagües - Drenajes de grava - Drenajes de arena - Drenajes de cinta prefabricados Precarga de recargo Rellenos estructurales	Muchos procesos de instalación de desagües también proporcionan densificación in situ
Bermas, diques, muros de contención y otras estructuras de	Estructuras de concreto y/o de tierra construidas para proporcionar contención de bordes y así evitar una gran expansión lateral	

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Actividad	Método de Prevención	Notas
contención de bordes		
Cimentaciones profundas	Pilotes (instalados por conducción o vibración) Anclajes (instalados por perforación o excavación)	Puede proveer también densificación del terreno
Cimentaciones superficiales reforzadas	Vigas conectadas Losa de cimentación reforzada Losa reforzada post-tensada Cimentación flotante	

Fuente: R. B. Seed & otros, 2003. [Formato de presentación propio]. Recuperado de Determinación del potencial de licuefacción de suelos del CP El Pasto, distrito de Socabaya, Arequipa

Por otro lado, si se pretende evitar la construcción en terrenos potencialmente licuables, Ishihara (1973) determinó para el caso de capas superficiales, compuestas por arcillas y arenas secas con un espesor mayor a tres metros, no se observan indicios de licuefacción a nivel de superficie. (H. Nishiyama, K. Yahagi. S. Nakagawa y K. Wada, 1977)

b. Recomendaciones para construir en suelo potencialmente licuable o con antecedentes de licuación por historia sísmica.

David Stay Coello y Enrique Herbozo Alvarado, recomiendan mejorar las propiedades del suelo para cimentar, que ha sido determinado como suelo potencialmente licuable. La metodología que proponen, consta de la instalación de micropilotes con inyección de lechada de cemento, para generar un bloque de suelo reforzado para una futura edificación. Importante considerar antes del mencionado tratamiento de suelos, las limitaciones del espacio de trabajo, la cercanía de las estructuras colindantes y el entorno urbano donde se ubicará el área de trabajo para el tratamiento (Stay Coello & Herbozo Alvarado, 2017)

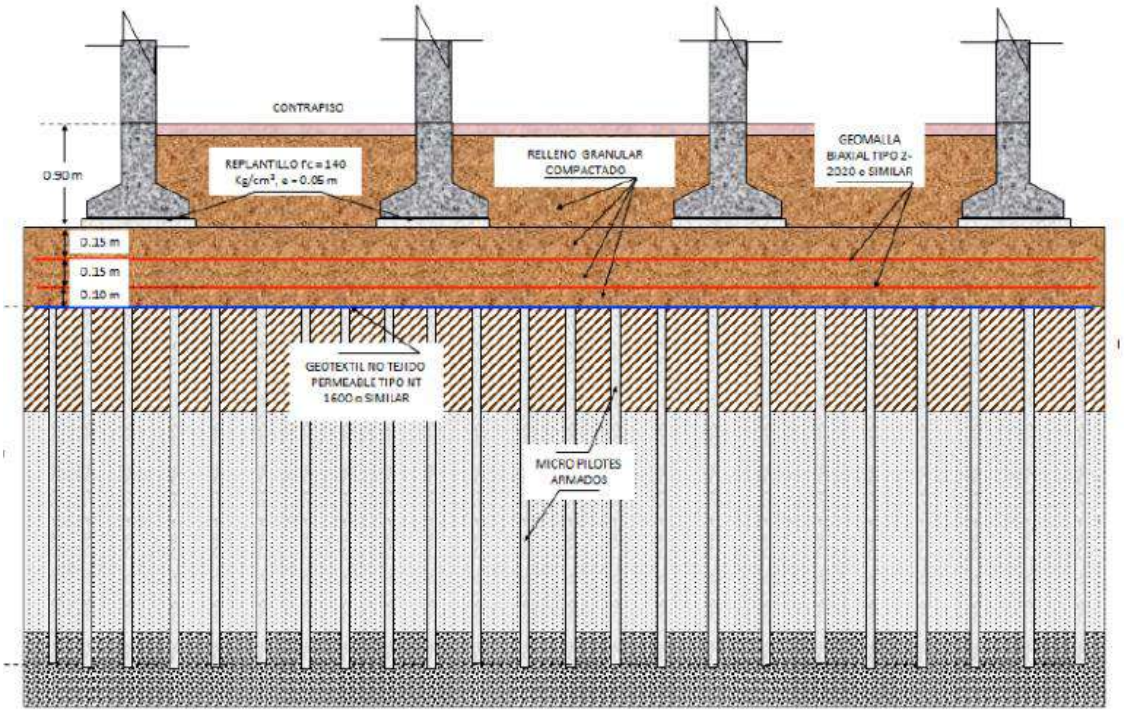
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El proceso constructivo consta de la instalación de micropilotes con inyecciones de lechada de cemento y la habilitación de un suelo reforzado con geomalla biaxial, para proseguir con la cimentación de la futura estructura. Para el tema del drenaje, se planteó en este caso, la habilitación de un sistema de tuberías perimetral que funcionarían como "Chimeneas drenantes", que interrumpirían el efecto de las ondas sísmicas con el incremento de la presión de poros (Stay Coello & Herbozo Alvarado, 2017).

Figura 48 *Esquema constructivo del tratamiento de cimentación para construir un bloque de suelo reforzado*



Fuente: David S. Coello, Enrique H. Alvarado, Guayaquil – Ecuador, 2017 [Figura]. "Cimentación en suelos potencialmente licuables mediante un bloque de suelo reforzado utilizando micropilotes con inyecciones cementicias" Recuperado de www.revistaespirales.com

Existen otros métodos, de los cuales resaltan para estructuras con baja esbeltez y área de cimentación reducida, losas de cimentación o zapatas en dos direcciones con vigas muy resistentes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Con respecto a técnicas de mejoramiento de suelos, destaca la construcción de drenes para disipación de presión de agua, reforzamiento del suelo con inyecciones de suelo – cemento, mezcla y compactación del suelo con material cohesivo y densificación del suelo mediante vibración (Santos, 2013).

2.4. Marco Histórico

2.4.1. Introducción

Dentro de todos los registros históricos de sismos a nivel internacional y nacional, se ha identificado que, los fenómenos por licuación se han detectado en asentamientos urbanos aledaños a cuerpos de agua como ríos, lagos, océanos. Junto con deslizamientos laterales de los suelos. Así mismo, para llevar a cabo el análisis de estos fenómenos, se ha realizado estudios e investigaciones antes y durante de un fuerte sismo. Por lo expuesto, es de menester importancia citar y describir a los siguientes fenómenos sísmicos por su importancia en la investigación sobre el presente fenómeno de licuefacción de suelos.

2.4.2. Registro histórico Internacional

- **Terremoto de San Francisco de 1906, Estados Unidos.**

Según la investigación llevada a cabo por M. Hamada y T. D. O'Rourke (1992) con el trabajo "Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes. Volume 2, United States Case Studies", se estima una magnitud de 7.9 en la escala de Richter. Este evento sísmico tuvo una duración de 45 a 60 segundos y es de gran interés por toda la comunidad ingenieril y de planificación. Así también, cabe mencionar que producto de este sismo, se registró la peor pérdida por incendios en la historia de Estados Unidos (52 incendios y/o explosiones).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

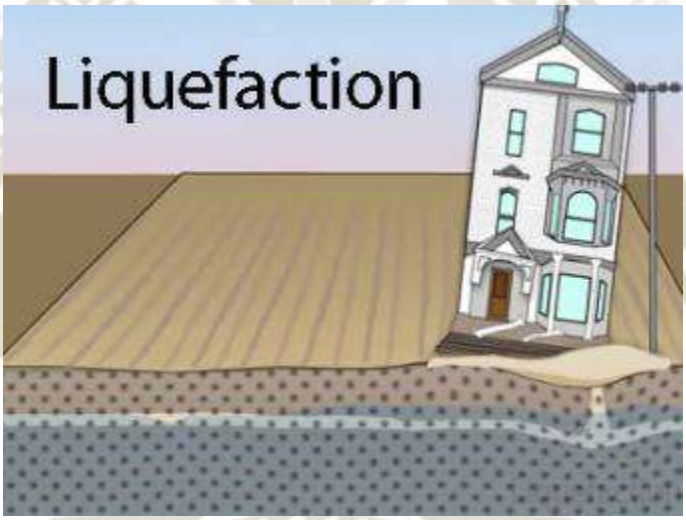
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Además, se cuenta con registro de profundidad focal de 11.7km, epicentro con coordenadas 37.750°N 122.550°W, intensidad IX en la escala de Mercalli Modificada y aceleración horizontal máxima de 1.5096g (U.S. Geological Survey, 2018).

Luego de los estudios en campo llevados a cabo, se identificaron asentamientos de hasta 1.50m en vías urbanas de San Francisco y desplazamientos de 0.6 a 2.1m (Youd & Hoose, May 1976), destrucción de líneas de tubería de agua, alcantarillas, líneas de gas, electricidad, conductos telefónicos y vías del teleférico de la ciudad.

Figura 49 *Esquema didáctico de falla de un edificio, luego del terremoto de 1906*



Fuente: Incorporated Research Institutions for Seismology – IRIS, 2020 [Figura]. “Why did building tipo ver during this eartgquake?” Recuperado de https://www.iris.edu/hq/inclass/animation/liquefaction_during_the_1906_san_francisco_earthquake

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 50 *Fotografía de falla del edificio en mención, luego del terremoto de 1906*



Fuente: temblor, 2016 [Figura]. "Houses that tiltted and sunk in the 1906 earthquake" Recuperado de https://temblor.net/earthquake-insights/living-with-liquefaction-part-1-514/attachment/liquefaction5-2/

Enseñanzas del terremoto de San Francisco, 1906

Este terremoto denominado "Gran terremoto e incendio de San Francisco de 1906", de magnitud 7.9 grados, comenzó por el amanecer del 18 de abril de 1906; a lo largo de la conocida falla de San Andrés. Luego de los movimientos sísmicos, se produjeron varios incendios, lo que ocasionó la muerte de 10000 habitantes y el 75% de habitantes con sus viviendas destruidas. Es importante recalcar que, la mayoría de desastres y pérdidas fueron ocasionados por los incendios provocados por el evento sísmico.

El terremoto fue desestimado por las autoridades de la época y no fue valorado en zonas donde se asentaban ciudadanos chinos; lo cual evidencia un desinterés e inclusive discriminación por parte de las autoridades de la época, hacia comunidades alejadas de los focos de desarrollo económico de San Francisco, EE.UU.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

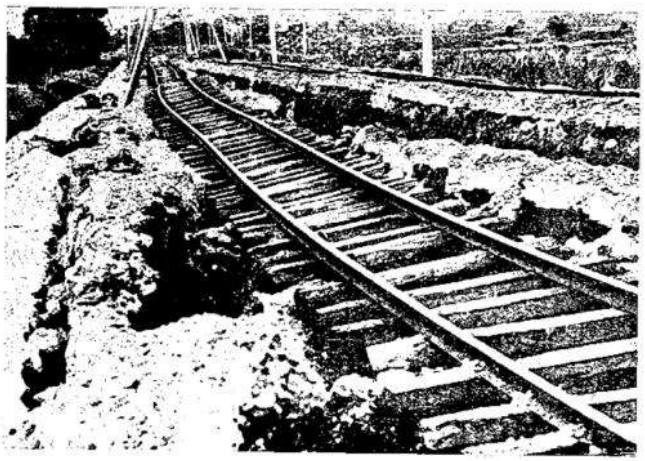
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El Ing. Herman Schüssler (National Archives - Pacific Region (San Francisco, EE.UU.), 2020), mencionó desplazamientos laterales de 4 pies y medio hacia la falla; que hubiera sido más catastrófico para San Francisco, si hubiera sido planificada la ciudad un tanto más cerca; o peor aún, encima de la falla.

Por otra parte, Samuel Fortier (National Archives - Pacific Region (San Francisco, EE.UU.), 2020), profesor de UC Berkeley destacó el notable resurgir de San Francisco, por parte de sus ciudadanos frente a las devastadoras pérdidas que ocasionó el terremoto.

- **Terremoto de Kanto de 1923, Japón.**

Figura 51 *Colapso de terraplén de la línea Tokaido, Nakajima - Japón*



Fuente: Japan Society of Civil Engineers, 1927 [Figura]. “Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes” Recuperado de https://nehrpsearch.nist.gov/static/files/NSF/PB92197243.pdf

Todas las deformaciones inducidas por licuefacción durante este terremoto, fueron analizadas en el trabajo de M. Hamada y T. D. O’Rourke (1992) “Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes. Volume 1, Japanese Case Studies”. El terremoto destaca por su magnitud de 7.8 en la escala de Richter y una aceleración horizontal máxima estimada de 0.30g. Así mismo, niveles de agua freática entre 0.50 y 2.00m, capas licuadas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

de espesor de 3.00m y un mínimo de 1.00m, desplazamientos laterales en taludes, disminución de anchos de río y la detección de forúnculos de arena, como prueba de la existencia de licuefacción en la prefectura de Kanto.

El origen del sismo fue producto de la colisión entre las placas Filipinas y Okhotsk, en la fosa de Sagami (National Geographic, 2011)

Enseñanzas del terremoto de Kanto de 1923

Terremoto catastrófico bautizado como "El Gran terremoto de Kanto", ocurrió a las 11:58 horas del 1 de setiembre del mencionado año. Profundidad focal de 15.0km, coordenadas epicentrales 35.007°N 139.926°E, intensidad de grado VII MM y magnitud de 7.8 en la escala de Richter (U.S. Geological Survey, 2015); destruyendo ciudades portuarias importantes como Yokohama, Chiba, Kanagawa, Shizouka y Tokio, prefecturas ubicadas dentro de la isla de Honshu (American Geophysical Union, Jan 13, 2005). El terremoto dejó innumerables muertes y desaparecidos, ocasionado por la sacudida sísmica y por la cantidad de incendios que avanzaron gracias a los vientos de un tifón que azotaba la zona afectada. El pánico ocasionó trifulcas en la población sobreviviente; los cuales, llevaron a cabo saqueos y otros actos vandálicos. Por ello, se menciona que la policía recurrió a la fuerza, provocando que miles de habitantes sean asesinados por policías y militares japoneses. Algunos líderes políticos como Hirasawa Keishichi e Osugi Sakae fueron asesinados (American Geophysical Union, Jan 13, 2005), para evitar que agiten a las masas en el caos provocado por el terremoto.

Luego del evento sísmico, se programaron actividades de reconstrucción de carreteras, trenes y servicios públicos como parques, para que sirvieran de refugio para damnificados. Así

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

mismo, edificios públicos fueron rediseñados con estrictos estándares internacionales, también para refugiar damnificados.

- **Terremoto de Fukui de 1948, Japón.**

Figura 52 *Desplazamientos permanentes de tierra en Morita-cho, Japón*



Fuente: M. Hamada, 1992 [Figura]. "Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes" Recuperado de https://nehrpsearch.nist.gov/static/files/NSF/PB92197243.pdf

Hamada y O'Rourke (1992) en el trabajo "Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes. Volume 1, Japanese Case Studies", describen el terremoto con magnitud de 7.1 en la escala de Richter (VI en la escala japonesa JMA y IX en la escala de Mercalli Modificada). Además, la profundidad focal de 10km, coordenada epicentral 36.16°N 136.22°E e intensidad IX MM (International Seismological Centre, 2015) y una aceleración horizontal máxima estimada de 0.25g a 0.40g. Por otra parte, desplazamientos registrados por la Central Meteorological Observatory in Tokyo de 4.90cm en dirección N-S y 2.40cm en dirección E-W. Se registró también el colapso de diversas estructuras como puentes, diques, abanicos aluviales, la detección de fisuras en los suelos y forúnculos de arena.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Enseñanzas del terremoto de Fukui de 1948

Este terremoto de magnitud 6.8, ocurrió en la tarde (5:13 p.m.) del 28 de junio del año en mención, azotando la prefectura de Fukui-Japón. El terremoto ocurrió producto del desplazamiento intraplaca de una falla, de la cual no se tenía conocimiento hasta el momento del desastre (International Seismological Centre, 2015); lo cual resulta de interés identificar las condiciones geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de cualquier zona vulnerable frente a un evento sísmico de gran escala.

El sismo se amplificó, debido a que Fukui se establecía en una llanura aluvial y los edificios se asentaron en suelos inestables.

Existe el reporte de que el edificio del banco de Fukui, no sufrió daños significativos; ya que estaba asentado mediante 500 pilotes con cimentación profunda, a 10 metros de la superficie del suelo.

Por otra parte, otras estructuras importantes como el teatro de Fukui, el almacén Daiwa colapsaron. Y los diques del río Kuzuryu, colapsaron por los daños del sismo y las lluvias torrenciales, ocasionando un desbordamiento del mencionado río.

- **Terremoto de Chile de 1960, Chile.**

El Abstract del artículo “Efectos previos y futuros del terremoto de Valdivia, Chile” publicado en Mayo de 2020 por Robb Eric S. Moss y Ricardo Moffat, describe el terremoto de subducción de Valdivia con Mw=9.5, con epicentro cercano a la ciudad de Valdivia. Hubo daño extendido debido al fuerte movimiento sísmico y al tsunami generado. Los efectos del terremoto son examinados desde una perspectiva moderna y el potencial de futuros efectos es discutido. Basados en recientes mediciones del ensayo de penetración de cono (sCPTu), la falla del terreno

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

observada a lo largo de la costanera y otras ubicaciones de Valdivia son atribuidas a la falla cíclica de “arcilla” sensitiva y/o licuefacción de “arenas” saturadas. Si un movimiento similar se produce, se observaría fallas del terreno similares a las observadas. La subsidencia regional en y alrededor de Valdivia luego del terremoto de 1960 es atribuida a la deformación tectónica y corroborada con el mismo mecanismo en el reciente terremoto con Mw=8.8 del 2010. Si un evento similar se genera en el futuro, similar hundimiento/levantamiento son esperados lo que parece seguir una función armónica. Investigar los efectos pasados de terremotos y el potencial efecto de futuros eventos, ayuda a minimizar el riesgo de terremotos en Valdivia y otras regiones bajo riesgos similares.

Enseñanzas del terremoto de Chile de 1960

Terremoto conocido como “El Gran terremoto de Chile”, registró una magnitud de 9.5 M_w, con una profundidad focal de 35km, coordenada epicentral 38°24’00’’S 73°05’00’’O, intensidad en escala de Mercalli Modificada XI hasta XII (United States Geological Survey - USGS, 2014) y aceleración máxima de 1.8110g registrada por el organismo de Sismología de Chile (SCH), y fue reconocido como el más potente registrado instrumentalmente por la humanidad (United States Geological Survey - USGS, 2014). El terremoto de Chile se originó por la actividad de subducción de la placa de Nazca, por debajo de las placas Sudamericanas y de Chiloé, conformando éstas el cinturón de fuego del pacífico. Véase las figuras (a), (b) y (c).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

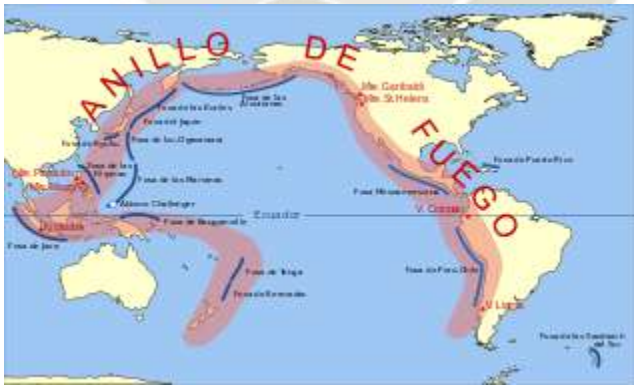
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 53 *Destrucción asociada al fenómeno de licuación de suelos, provocado por el terremoto de Valdivia de 1960, Chile*



Fuente: asta.edu.au, s.f. [Figura]. "1960 Valdivia Earthquake" Recuperado de https://www.sciencephoto.com/media/517273/view/1960-valdivia-earthquake-chile

Figura 54 *(a) Distribución del Cinturón de fuego, demarcando las zonas más sísmicas del mundo*



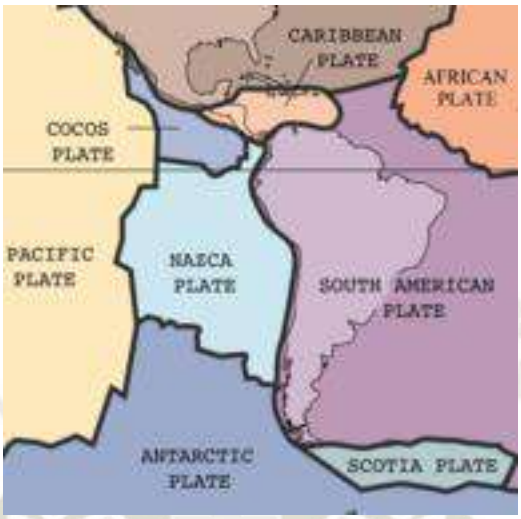
Fuente: Wikipedia, 2021 [Figura]. "Terremoto de Valdivia de 1960" Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_de_Valdivia_de_1960

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

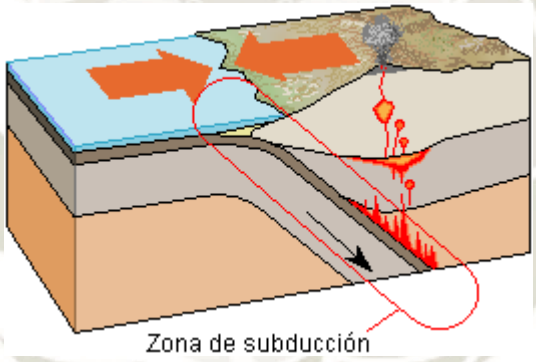
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 55 *(b) Subducción por la adaptación entre las placas de Nazca y Sudamericana*



Fuente: Wikipedia, 2021 [Figura]. "Terremoto de Valdivia de 1960" Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_de_Valdivia_de_1960

Figura 56 *(c) Subducción de placa oceánica por debajo de la placa continental*



Fuente: Wikipedia, 2021 [Figura]. "Terremoto de Valdivia de 1960" Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_de_Valdivia_de_1960

El desastre sismológico ocurrió en 3 etapas. La primera tuvo como protagonista un sismo entre 8.1 y 8.3 M_w, en la mañana del sábado 21 de mayo de 1960 (United States Geological Survey - USGS, 2014). La segunda, también por la mañana y al día siguiente del primero. Sin embargo, en éste ya no hubo una cantidad considerable de pérdidas humanas (United States Geological Survey - USGS, 2014), ya que los sobrevivientes al primer sismo lograron evacuar los edificios, asentándose en zonas seguras.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tercera etapa fue la más catastrófica, ocurriendo a las 15:11 horas del domingo 22 de mayo, registrándose un cataclismo de 9.5 M_w, con una duración de 10 minutos, ocasionando ruptura tectónica a lo largo de toda la costa meridional de Chile, y desplazando el eje terrestre 3 cm, y el acercamiento entre las placas de Nazca y de Chiloé por cerca de 40 metros (United States Geological Survey - USGS, 2014), lo que resulta absurdo al compararlo con el acercamiento natural de 8 a 9 cm anuales.

Minutos después de este último sismo, se produjo tsunamis con 03 retracciones de mareas de 4 m, 8 m y 10 m. Otros países que fueron afectados por pérdidas de ciudades portuarias y humanas, fueron Japón, Filipinas, California, Nueva Zelanda e Inclusive Hong Kong.

El gobierno chileno, aún tenía una potencial amenaza para los pueblos de Valdivia y Corral, el cual era el conocido "Riñihuazo", que consistía en la acumulación de agua del lago Riñihue, por el colapso del río San Pedró, el cual funcionaba como desguadero del lago en mención. Al alcanzar el nivel máximo de rebose del lago, el agua comenzaría a descargarse por el río San Pedro, con una brutalidad que destrozaría todos los pueblos aledaños a sus riberas, en menos de 5 horas. Sin embargo, el gobierno chileno, con apoyo de entidades públicas, privadas y militares logró la hazaña de descolmatar lentamente el lago, evitando la catástrofe inminente.

Es importante resaltar que, la mayor parte del daño ocasionado fue producto del maremoto, en comparación al sismo. Por ello, más del 60% de ciudades portuarias de Chile fueron devastadas por el mencionado evento catastrófico natural (United States Geological Survey - USGS, 2014). Así mismo, en otros puntos, por el colapso de líneas de comunicación y carreteras, solo se pudo recibir ayuda por vía aérea, siendo importante la habilitación de aeropuertos chilenos para este caso en estudio.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- **Terremoto de Alaska de 1964, Estados Unidos.**

Según la investigación llevada a cabo por M. Hamada y T.D. O'Rourke con el trabajo "Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes. Volume 2, Unite States Case Studies" New York 1992, se estima una magnitud de 9.2 en la escala de Richter e intensidad XI MM, lo que lo catalogo como el tercero más fuerte en la historia de la humanidad (United States Geological Survey, 1993)

Originado por ruptura de falla entre las Placas del Pacífico y norteamericana (cerca de fiordo College), coordenada epicentral 61°01'N 147°39'O, profundidad focal de 23 km (United States Geological Survey, 1993) y aceleración horizontal máxima registrada, de 0.40g (M Hamada, 1992). Se registraron asentamientos de 2 a 2.5m, hundimiento relativo de la superficie terrestre (subsidencia tectónica), colapso de edificios, daños en instalaciones portuarias y costeras, inundaciones, tsunamis, licuefacción de depósitos costeros y deslizamientos submarinos. Se contabilizaron 92 carreteras gravemente dañadas, 49 puentes con daños moderados a leves, 75 puentes ferroviarios con daños moderados a graves. Según McCulloch y Bonilla (1970) (Walsh, Combellick, & Black, Decembre 1995), el costo de reparación de todas las estructuras fue de: 35 millones de dólares en instalaciones ferroviarias, como terraplenes, puentes ferroviarios y alcantarillas; 46 millones de dólares para el sistema de carreteras; 25 millones de dólares incurridos por puentes y 21 millones de dólares para M&R de carreteras en puentes. Académicamente, gracias a este sismo se llevaron a cabo muchos avances en el estudio de la vulnerabilidad a la licuefacción, como la de Seed e Idriss (1971, 1983, 1985) al formular una ecuación para determinar el esfuerzo cortante promedio inducido por un terremoto en el suelo (: $0.65 * \left(\frac{a_{max}}{g}\right) * a_0 * r_d$), las relaciones empíricas para determinar r_d, propuestas por Liao (1986) o otras que sirvieron de base para la determinación del potencial de licuefacción de manera simplificada (M Hamada, 1992)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Enseñanzas del terremoto de Alaska de 1964

Figura 57 *Colapso del estrato superficial del suelo, ocasionado por estratos subyacientes licuables*



Fuente: The Editors of Encyclopaedia Britannica, s. f. [Figura]. “Alaska earthquake og 1964” Recuperado de https://www.britannica.com/event/Alaska-earthquake-of-1964

El terremoto en cuestión, conocido como “Gran terremoto de Alaska”, o “terremoto de Viernes Santo”, ocurrió por la tarde del 27 de marzo del año del sismo, con una magnitud registrada de 9.2 M_w, es considerado el terremoto màs poderoso registrado en Norteamérica, y el tercero en la historia de la humanidad, y el que generó el tsunami más devastador en la historia, con un registro pico en altura de ola de 67 metros (United States Geological Survey, 1993).

En este evento sísmico, 30 bloques de vivienda y edificios familiares ubicados en Anchorage, quedaron dañados o destruidos. La mayoría de escuelas quedaron devastadas y se registraron daños por deslizamientos de tierra.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ciudades localizadas en cauces aportantes ubicados en Anchorage, Alaska, sufrieron subsidencia e inundaciones por mareas, colapsando vías y emplazando poblaciones a otros puntos (National Research Council (U.S.), 1968).

- **Terremoto de Niigata de 1964, Japón.**

Figura 58 *Reducción del cauce del río Shinano, ocasionado por el terremoto de Niigata, 1964*



Fuente: M. Hamada, 1992 [Figura]. "Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes" Recuperado de https://nehrpsearch.nist.gov/static/files/NSF/PB92197243.pdf

Las deformaciones inducidas por licuefacción durante este terremoto, fueron analizadas Todas en el trabajo de M. Hamada y T.D. O'Rourke en el trabajo "Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes. Volume 1, Japanese Case Studies" New York 1992 (Hamada & O'Rourke, February 17, 1992). El terremoto destaca por su magnitud de 7.6 en la escala de Richter (V en la escala japonesa JMA), intensidad sísmica de VIII a IX MM (Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMGE, 1999), profundidad focal de 34 km, coordenada del epicentro 38°37'N 139°22'E (Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology, 2004) y una aceleración horizontal máxima estimada de 0.08g a 0.25g (M Hamada, 1992). Se llevaron a cabo 120 sondeos SPT y SWS. Desplazamientos en laderas de ríos de hasta 8m fueron registrados (Río Shinano) y asentamientos de 1 a 2m. Para la determinación del potencial de licuefacción, se consideró en el presente estudio una aceleración máxima

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

horizontal del suelo de 0.16g. De los ensayos en campo, también se registró capas de suelo licuado de 10m, lo cual produjo la caída de puentes como el de Showa.

Enseñanzas del terremoto de Niigata de 1964

Terremoto que ocurrió en la tarde del 16 de junio del mencionado año, con una magnitud entre 7.5 y 7.6, afectando a localidades dentro de la prefectura de Niigata, ocasionando licuefacción en la ciudad. Se cree que el terremoto fue provocado por un movimiento inverso en las estructuras anticlinales de la inversión de cuencas (levantamiento de cuenca como resultado del acortamiento de la corteza), ocurrida por el proceso de contracción de placas, lo que ocasionó un deslizamiento en la plataforma continental localizada frente a la costa de la isla de Honshu, Japón (Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology, 2004).

Todo el daño en estructuras de viviendas fue ocasionado por la mala calidad del subsuelo de Niigata, ya que este fue formado por depósitos deltaicos (deposición de sedimentos transportados por un cuerpo de agua) de los ríos Shinano y Agano, conformados por arena no consolidada. El sismo ocasionó licuefacción por compactación, y la formación de volcanes de arena. Se registró hundimientos de hasta 140 cm.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 59 *Colapso del puente Showa, ocasionado por el terremoto de Niigata, 1964*



Fuente: researchgate.net, s.f. [Figura]. "Collapse of the Showa Bridge, crossing the Shinano River as a result of the 1964 Niigata Earthquake" Recuperado de https://docplayer.net/82028629-Geotechnical-earthquake-engineering.html

Una falla estructural muy popular por los estudiosos en licuefacción de suelos, es el colapso del puente Showa en Niigata, el cual se produjo 70 segundos después de haber iniciado el sismo, lo cual concluye en que, el principal desencadenante fue el desplazamiento de los pilotes del puente, ocasionado por el esparcimiento lateral del suelo, producto de la licuefacción.

El aeropuerto de Niigata, ubicado cerca al hipocentro del sismo, se inundó por efecto de la licuefacción y el tsunami, ocasionando un incendio. Un tramo importante de tubería de gas, que conecta el aeropuerto y el puerto principal de la ciudad, resultó severamente dañado. La gasolina fue traída al mar por el tsunami y el agua subterránea liberada por la licuefacción, y se incendió durante 12 días para que logren extinguirla. El fuego fue distribuyéndose hasta alcanzar residenciales, y dejando miles de personas desplazadas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Por otro lado, en la ciudad afectada, comenzaron a extraer gas natural disuelto en las aguas subterráneas del lugar, mediante bombeo, ocasionando un hundimiento del suelo. Lo cual, ya en los años 50, la extracción del gas habría sido regulada y disminuida. Por lo que, debido a la licuefacción ocasionada por el sismo, algunos puentes como el puente Bandai, no resultaron destruídos; sin embargo, se asentaron 10 cm producto del terremoto. Pero, producto de la extracción del agua subterránea, se asentó un total de 1.20 m (Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology, 2004)

Figura 60 *Pandeo de tubería de gas enterrada*



Fuente: M. Hamada, 1992 [Figura]. "Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes" Recuperado de https://nehrpsearch.nist.gov/static/files/NSF/PB92197243.pdf

- **Terremoto de San Fernando de 1971, Estados Unidos.**

Según la investigación llevada a cabo por M. Hamada y T.D. O'Rourke con el trabajo "Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes. Volume 2, Unite States Case Studies" New York 1992 (M Hamada, 1992), es catalogado como un terremoto de gran importancia para los avances en ingeniería y sismología, ya que se registraron grandes

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

daños en estructuras asentadas sobre terreno sólido, y dañadas por licuefacción y falla de pendientes en la represa de San Fernando, por lo cual la comprensión para mejorar la resistencia y durabilidad de estructuras como presas han mejorado (GEO Consultants, Inc, 1988).

Figura 61 *Parte inferior de la presa de San Fernando, luego del terremoto de 1971*



Fuente: Querol L., Susana, 2009 [Figura]. "Lower San Fernando dam after the San Fernando earthquake (1971)" Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/Lower-San-Fernando-dam-after-the-San-Fernando-earthquake-1971-Courtesy-of-the_fig10_259466872

El terremoto ha sido registrado con una intensidad de 6.6 en magnitud escala de momento M_w, intensidad de XI (extrema) en MM, profundidad focal de 8.4 km, coordenada epicentral 34°16'N 118°25'W y un record de aceleración de 1.25g registrado en la presa Pacoima, provocado por empuje oblicuo de la falla de Sierra Madre (California Division of Mines and Geology, 1975), lo que lo hace uno de los registros más altos para un terremoto (Cloud y Hudson, 1975). Para este caso de estudio, se llevó a cabo 200 ensayos SPT y 72 ensayos CPT llevados a cabo por el Servicio Geológicos de Estados Unidos (USGC) (M Hamada, 1992)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Enseñanzas del terremoto de San Fernando de 1971

Terremoto con magnitud registrada de 6.6, que produjo gran daño a estructuras hidráulicas, embalses y sistemas de suministro del recurso hídrico. Se registraron grandes fluctuaciones en los niveles piezométricos de agua de los pozos; así como daños en el sistema de presas, reservorios, tanques de agua, tanques principales, tuberías y cloacas. (Organización Panamericana de la Salud OPS, 1998)

- **Terremoto de Nihonkai – Chubu de 1983, Japón.**

Todas las deformaciones inducidas por licuefacción durante este terremoto, fueron analizadas en el trabajo de M. Hamada y T.D. O'Rourke en el trabajo "Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes. Volume 1, Japanese Case Studies" New York 1992 (Hamada & O'Rourke, February 17, 1992). El terremoto ocurrido en el Mar de Japón, al oeste de la costa de Noshiro en la prefectura de Akita el 26 de mayo de 1983 (Kanamori, 1984), destaca por su magnitud de 7.7 en la escala de Richter (V en la escala japonesa JMA), intensidad VIII MM y una aceleración horizontal máxima estimada de 0.399g en la isla de Hokkaido, a 200km del epicentro, profundidad focal de 24 km, coordenada epicentral 40.462°N 139.102°E y originado por subducción intraplaca en el mar de Japón, precisamente en la placa de Okhotsk (Kanamori, 1984). En el estudio por M. Hamada, se registraron colapso de instalaciones enterradas como tuberías de gas, agua, telecomunicaciones y electricidad. Así también se registraron asentamientos de hasta 1m, desplazamientos horizontales de 5m. Para el caso de estudio, se llevaron a cabo 134 sondeos SWS y 60 ensayos SPT, de los que se identificó estratos de arena rellena, arena aluvial, arcilla aluvial y turba aluvial en mayores cantidades. Todos estos en espesores de 2 a 5m.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

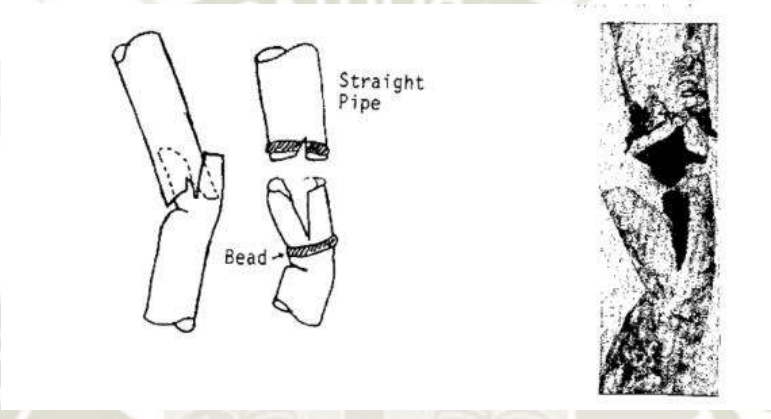
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Enseñanzas del terremoto de Nihonkai – Chubu de 1983

Terremoto ocurrido en el mar, a 100 km de la prefectura de Akita en Japón. Las víctimas se contabilizaron en 104, de las cuales sólo 4 resultaron producto del evento sísmico; las otras 100, producto del tsunami. El mencionado anteriormente, registró olas de hasta 10 metros (Kanamori, 1984).

Figura 62 *Daño registrado en tuberías enterradas de línea de gas*



Fuente: M. Hamada, 1992 [Figura]. "Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes" Recuperado de https://nehrpsearch.nist.gov/static/files/NSF/PB92197243.pdf

Figura 63 Superficie ondulada del suelo, en la ladera norte de Maeyama, prefectura de Nagano - Japón



Fuente: M. Hamada, 1992 [Figura]. "Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes". Recuperado de https://nehrpsearch.nist.gov/static/files/NSF/PB92197243.pdf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

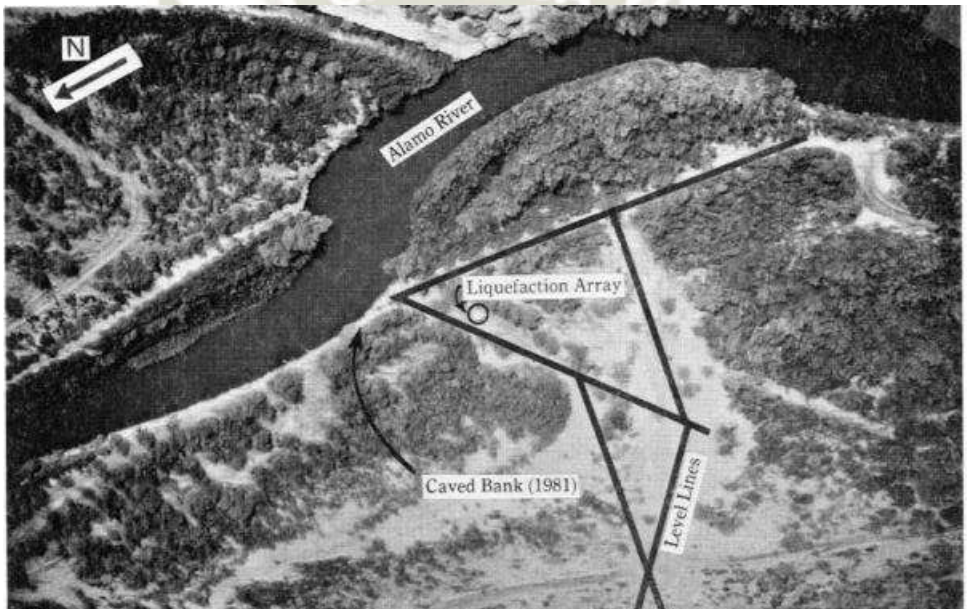
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El daño estructural en edificios, se vio afectado por la licuefacción de suelos, ocasionando derrumbe de viviendas y accidentes en carreteras y ferrocarriles. El mayor daño registrado, ocurrió en áreas sustentadas por arenas eólicas y fluviales sueltas del período Holoceno (Kanamori, 1984).

- **Terremotos en el Valle Imperial al Sur de California (1979, 1981, 1987), Estados Unidos.**

Figura 64 *Depresión en la orilla del río Alamo, ocasionado por licuefacción durante el sismo de 1981, California*



Fuente: T. D. O'Rourke, 1992 [Figura]. "Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes". Recuperado de http://hamada-lab.net/publishing_achievements_en.html

Según M. Hamada y T.D. O'Rourke , se registraron Mw=7.1, Mw= 5.9 y Mw=6.6 para los terremotos descritos en las fechas anteriores, respectivamente. Esta información se encuentra en el trabajo "Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes. Volume 2, United States Case Studies". Cabe mencionar que en el valle Imperial, ubicado al Sur de California, destaca la actividad agrícola, por lo que se registraron fallas en el suelo afectando a sistemas de riego, drenajes, carreteras, canales, terraplenes y puentes. El Valle Imperial de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

California, es el lugar de nacimiento de los sistemas de falla de San Andrés, postula el autor debido a la presencia de sedimentos marinos del terciario y cuaternario, y sedimentos lacustres y continentales (M Hamada, 1992). En la tabla resumen del ítem 2.4.3. Se presenta un registro generalizado de estos terremotos (Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2020)

Enseñanzas de los terremotos del Valle Imperial, Sur de California – Estados Unidos (1979, 1981 y 1987)

El Valle Imperial al Sur de California, es una tierra de terremotos, según el artículo publicado por scecinfo.usc.edu. No es raro la presencia de temblores cada año en el sur de California. Sin embargo, casi ninguno ocurre sobre la falla de San Andrés. El último terremoto registrado con epicentro en el tramo de esta falla, fue en 1857, por lo cual en ese tramo se está acumulando energía para un terremoto futuro. Por lo que, el autor del artículo, sostiene la peligrosidad de asentar viviendas cercanas a las fallas geológicas presentes en Estados Unidos, por la acumulación de energía sísmica que se viene dando en estos tramos (Southern California, 2011).

- **Terremoto de Loma Prieta de 1989, Estados Unidos.**

Las deformaciones inducidas por licuefacción durante este terremoto, fueron analizadas en el trabajo de M. Hamada y T.D. O'Rourke en el trabajo "Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes. Volume 2, United States Case Studies" New York 1992. Según la Junta de Investigación del Gobierno de Estados Unidos (1990), dejó 63 fallecidos, 3757 heridos y más de 12000 personas sin hogar, así como 3500 negocios severamente afectados y 400 perdidos. Se registraron incendios, desaparecidos en el viaducto de Cypress Ruta I-880 y deformaciones en el suelo a lo largo de toda el área de San Francisco (O'Rourke et al. 1990). La magnitud sísmica registrada en superficie fue de 7.1 e intensidad IX MM, y un pico e aceleración horizontal máxima de 0.64g. Ocurrido el 17 de octubre del mencionado año, afectando la costa

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

central de California, a una profundidad focal de 19 km y coordenada epicentral 37°02'N 121°53'W (Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2019) Y ocasionado por un deslizamiento en la falla de San Andrés (U.S. Geological Survey, 1999).

Figura 65 *Colapso de un tramo del camino de acceso a State Park, Loma Prieta – San Francisco*



Fuente: UCDAVIS, s.f. [Figura]. "Liquefaction at Moss Landing". Recuperado de https://research.engineering.ucdavis.edu/gpa/earthquake-hazards/liquefaction-at-moss-landing/

Se registraron grietas de 10 a 30mm en calles, con asentamientos de 300mm a 400mm en construcciones recientes. Algunos testigos informaron que los asentamientos continuaron ocurriendo durante 04 días después del impacto de la onda sísmica. Los asentamientos, fueron llevados a análisis con los cálculos llevados a cabo por O'Rourke et al. (1991). Así mismo, para el caso en estudio, se llevaron a cabo 75 perforaciones SPT y 14 sondeos CPT. El potencial de licuefacción llevado a cabo, para el relleno hidráulico del sitio, se realizó usando en método propuesto por Seed y DeAlba (1986). Es importante mencionar que, dentro de los planes de mitigación de incendios luego de sismos de gran magnitud, el autor sostiene la importancia de controlar los focos de incendio con mangueras portátiles y corrientes de aire, y fuente de agua como cisternas, barcos y vehículos de bomberos (M Hamada, 1992)

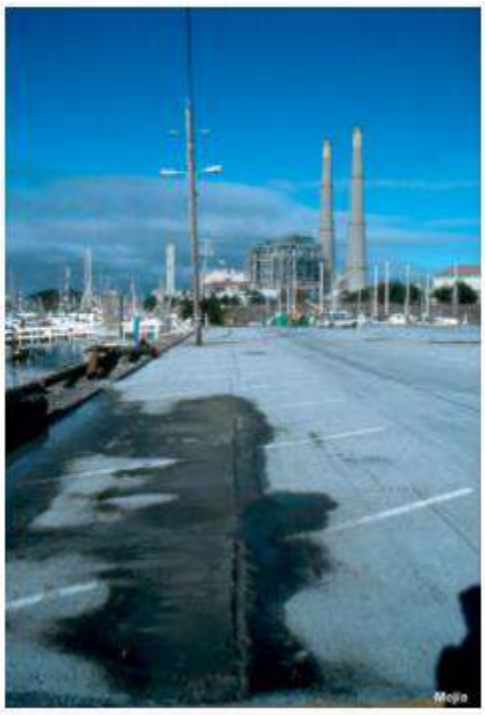
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Enseñanzas del terremoto de Loma Prieta de 1989

Figura 66 *Grietas ocasionadas por licuefacción, al borde del agua*



Fuente: UCDAVIS, s.f. [Figura]. "Liquefaction at Moss Landing". Recuperado de https://research.engineering.ucdavis.edu/gpa/earthquake-hazards/liquefaction-at-moss-landing/

Este terremoto de 7.1 grados de magnitud, ocasionó interrupciones del suministro eléctrico a plantas de tratamiento y estaciones de bombeo, por lo que tuvo que utilizar de emergencia plantas de energía eléctrica portátiles. Diversos ramales de tuberías de inclusive hierro fundido, sufrieron daños significativos. El daño a las tuberías en el mencionado evento sísmico, se debió a estas, que habían sido ubicadas en rellenos sin compactar y suelos aluviales. Los daños a tuberías asentadas en suelos compactados, fueron de menor cuantía (Organización Panamericana de la Salud OPS, 1998)

El CISMID, llevó a cabo un estudio de microzona, en el cual determina la relación del suelo, geología y topografía con la severidad de daños y su distribución por el sismo de Loma

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Prieta. En tal sentido, se identificaron suelos blandos en las cercanías al aeropuerto de San Francisco. Así mismo, en una residencial de clase media costera, conformada por edificios de departamentos de 2 a 5 pisos y viviendas unifamiliares en lotes de pequeña área, por el costo del terreno en San Francisco, se reportaron brotes de arena a partir de fisuras en el piso, como hundimientos y fallas del suelo notorias en calles y áreas abiertas (CISMID, 1990).

Por otro lado, la amplificación de ondas sísmicas por la presencia de estratos conformados por suelos finos, provocaron licuación de arena saturada cercana a la superficie del suelo. Por tal motivo, se registró daños severos en veredas, vías, edificios y puentes de la ciudad afectada. Además, estaciones portuarias fuera de servicio, e interconexiones por rieles suspendidas debido a los asentamientos diferenciales del suelo, ocasionando desnivelado de rieles (CISMID, 1990).

Figura 67 *Grietas a la entrada de State Park, ocasionados por los delizamientos laterales del suelo, producto de la licuación*



Fuente: UCDAVIS, s.f. [Figura]. “Liquefaction at Moss Landing”. Recuperado de https://research.engineering.ucdavis.edu/gpa/earthquake-hazards/liquefaction-at-moss-landing/

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- **Terremoto de Luzón y Filipinas de 1990.**

Todas las deformaciones inducidas por licuefacción durante este terremoto, fueron analizadas en el trabajo de M. Hamada y T.D. O'Rourke en el trabajo "Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes. Volume 1, Japanese Case Studies" New York 1992 (Hamada & O'Rourke, February 17, 1992). El terremoto destaca por su magnitud de 7.8 en la escala de Richter (V en la escala japonesa JMA), profundidad focal de 25.1km, coordenada epicentral 15°40'44''N 121°10'19''E e intensidad sísmica máxima de IX MM. Así como su origen por deslizamiento en la falla de Filipinas y la falla Digdig, perteneciente al sistema de fallas filipinas. La región más afectada fue Nueva Ecija en Filipinas (Instituto Filipino de Vulcanología y Sismología, 2008) y un registro de aceleración sísmica de 0.8102g (USGS, 2020). Así mismo, se cuenta con un registro estadístico de años a infraestructuras que contempla: 47 edificios colapsados, 1230 casas completamente destruidas, 6235 casas parcialmente destruidas, 80% de las carreteras dañadas, 2 puentes colapsados y 1 supermercado destruido. Así también se registró un tipo de falla por capacidad de carga y extensión lateral. Las formaciones geológicas más vulnerables constaron de depósitos aluviales recientes con un espesor licuado de 5 a 10m, a lo largo de ríos y playas, y rellenos de arena suelta. En este estudio, se llevaron a cabo 21 ensayos SPT y 12 sondeos SWS. Cabe mencionar además, que no se observaron efectos de licuefacción en áreas con capa licuada menor a 3m, y con cubierta superficial de material no licuado mayor de 3m de espesor (Hamada & O'Rourke, February 17, 1992).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 68 *Asentamientos puntuales en vias y edificaciones, deslizamientos laterales del suelo y fisuras con erupción de agua y arena, luego del terremoto de Luzon - 1990*



Fuente: FIU – Extreme Events Institute, 2016 [Figura]. "Luzon Earthquake". Recuperado de https://eei.fiu.edu/case_studies_gallery/1990-luzon-earthquake/luzon-earthquake/

Enseñanzas del terremoto de Luzón y Filipinas de 1990

Terremoto de 7.7 de magnitud ocurrido por la madrugada del 16 de Julio, en la isla más grande de Filipinas, Luzón (Instituto Filipino de Vulcanología y Sismología, 2008).

De este terremoto, se registró que la mayoría de víctimas, se ubicaban en el centro de la isla, y por la región montañosa de la misma (Miranda, 2012).

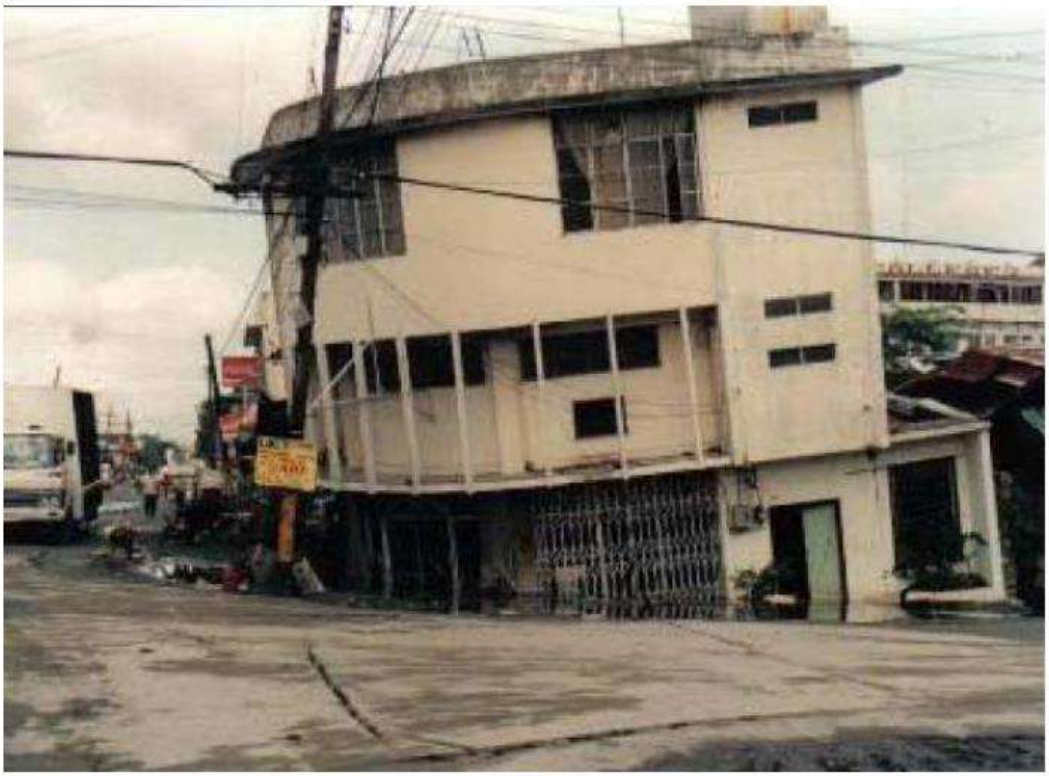
Se cuentan con registro de daños severos en vías, instalaciones enterradas de luz, agua y telecomunicaciones y daños en estructuras por deslizamientos de tierra. Así también, daños por hundimiento de hasta 1 metros (Jerremy E. Jiménez Miranda, 2012).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 69 *Asentamiento total de una edificación, luego del terremoto de Luzon, 1990*



Fuente: Rasouli R., 2014 [Figura]. "Examples of liquefaction – damaged buildings". Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/Examples-of-liquefaction-damaged-buildings-Left-Tilted-building-after-1990-Luzon_fig2_267395145

Este evento sísmico ocasionó el hundimiento permanente de la ciudad, y varias zonas inundadas. Las víctimas, se reporta que ocurrieron por estampidas de personas al intentar evacuar edificios como universidades y teatros. (Jerremy E. Jiménez Miranda, 2012).

- **Terremoto de El Salvador del 2001.**

En el documento "El terremoto del 13 de Enero de 2001 en El Salvador. Impacto socioeconómico y ambiental", llevado a cabo por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Sede Subregional en México, fecha de publicación febrero de 2001. Se identifican los daños en el sector Social, Productivo, Infraestructura, Medio Ambiente y sus efectos macroeconómicos (Comisión Económica para América Latina y el Caribe - Sede Subregional

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

México, 2001). Se registra al sismo con una magnitud de 7.7 grados en la escala de Richter, con epicentro en la costa Pacífica de El Salvador, de origen tectónico por la fractura interna de la placa de Cocos, por esfuerzos gravitacionales. Este sismo no generó tsunami.

Figura 70 Fisuras y generación de subsidenciaa de considerable medida, provocado por el terremoto



Fuente: Fernando R. B., 2012 [Figura]. "Earthquake of January 13, 2001". Recuperado de http://earthfernando.blogspot.com/2012/09/this-is-my-story-of-earthquake-of.html

Se destruyeron decenas de miles de viviendas y edificaciones de adobe, varios miles de viviendas de concreto dañadas en estructura. Así también se contó con registros de deslizamientos o derrumbes en laderas, lo cual produjo el tráfico interrumpido en la carretera Panamericana. Importante cinturón para el movimiento de vehículos dentro del país y sus vecinos fronterizos. Este sismo también generó licuefacción, lo cual interrumpió la producción en las plantaciones de café, el cual viene a ser el principal productor nacional de exportación (Comisión Económica para América Latina y el Caribe - Sede Subregional México, 2001).

Enseñanzas del terremoto de El Salvador del 2001

En El Salvador, se registraron dos movimientos telúricos fuertes, el 13 de enero y el 13 de febrero del año en mención. Ambos terremotos ocasionaron pérdidas humanas, económicas y

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

culturas por la pérdida de monumentos históricos de El Salvador. Así mismo, se registró un alud de tierra en La Colonia, que ocasionó la muerte de 500 personas.

Figura 71 *Deslizamiento de tierra en Las Colinas, Santa Tecla, El Salvador*



Fuente: P. Dutto, 2014 [Figura]. "Catastrophic landslide in Las Colinas, Santa Tecla (El Salvador)". Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/Catastrophic-landslide-in-Las-Colinas-Santa-Tecla-El-Salvador_fig1_274248548

El sismo de enero, fue de 7.7 grados de magnitud, y el más severo en comparación a su contraparte, de 6.6 grados de magnitud. Del primer sismo, se produjo el alud de tierra que sepultó 200 casas incluido sus habitantes. Por otra parte, este sismo causó un grave impacto ambiental al país, volviéndolo vulnerable a fenómenos como huracanes. Así mismo, degradación del suelo por la acumulación de sedimentos, afectando zonas agrícolas (ECLAC.CL, 2007)

Según el reporte del USGS, el sismo tuvo una magnitud de 7.7 M_w e intensidad VIII MM, coordenada epicentral 13.049°N 88.660°W, profundidad focal de 60.0 km afectando la ciudad de El Salvador y aceleración horizontal máxima de 0.8883g (U. S. Geological Survey, 2021)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- **Terremoto de Maule del 2010, Chile.**

Figura 72 *Puente Tubul, luego del terremoto del 2010 en Chile*



Fuente: Echaveguren N., Esteban 2021 [Figura]. "Tubul Bridge in Chile, after the M8.8 2010 Maule Earthqueake. Collapse due to liquefaction". Recuperado de https://mobile.twitter.com/OldClimber2/status/1397035932973469696/photo/1

En la tesis "Estudio del fenómeno de Licuefacción en Chile para el terremoto de Maule, 2010", publicado el 2015, se llevó a cabo un catastro de 180 sitios afectados por el fenómeno en mención, y se constata en el mismo fallas en terrenos planos, desplazamientos laterales, dañosa puentes y pasos a desnivel, puertos y muelles, terraplenes de acceso, fallas de taludes, terrenos ganados al mar, tranques de relaves y flotación de estructuras enterradas (Fuentealba, 2015). Se registró una aceleración pico del terreno PGA de 0.14g con una duración de movimiento fuerte de 30s. Sobre los componentes del suelo en el área de estudio, se identificó elevada cantidad de material fino (35 y 55%) y baja plasticidad, con un comportamiento contractivo de $\frac{S_u}{\sigma_v'} = 0.39\ y\ 0.23$. Para determinar el potencial de licuefacción, se aplicó el método simplificado, del cual se decanta un material potencialmente licuable en estratos de arena suelta y deslizamiento a través de fangos. De la presente tesis, se concluye que a pesar de encontrarse Chile en una zona sísmica (lo cual conlleva a pensar en la presencia de suelos en estado denso), es evidente la gran

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

cantidad de sitios potencialmente licuables. Así mismo, se decanta a afirmar que aquellos sitios con bajo nivel de aceleración y baja duración del sismo, pueden producir licuación (Fuentealba, 2015).

Enseñanzas del terremoto de Maule de 2010

El terremoto de Chile de 2010, ocurrido en la madrugada del sábado 27 de febrero de 2010, con una magnitud alcanzada de 8.8 M_w, Intensidad de IX MM, coordenada epicentral 36.122°S 72.898°W, profundidad focal de 22.9km y aceleración horizontal pico de 1.0908g registrado en la estación del puente Concepción Juan Pablo II en Chile (U.S. Geological Survey, 2020). Afectó severamente a regiones como Valparaíso, Metropolitana de Santiago, O'Higgins, Maule, Biobió entre otras ciudades importantes del país vecino Chile. Este evento sísmico fue la peor tragedia natural vivida por este país, desde el terremoto de 1960 (Diario la tercera, 2010).

Este evento sísmico fue ocasionado por la subducción de la placa de Nazca, por debajo de la placa Sudamericana. Y las ciudades afectadas, se encontraban en un período de laguna sísmica, por lo que expertos consideraban una alta probabilidad de ocurrencia sísmica. Así mismo, se determinó que este evento sísmico produjo un cambio en la rotación de la Tierra, haciendo que el día sea más corto (por 1.26 microsegundos), así como un desplazamiento de 8 cm del eje terrestre, y un desplazamiento lateral de la ciudad de Concepción por 3.04 metros. Adicionalmente, mencionar que en las siguientes 24 horas al terremoto, ocurrieron un centenar de réplicas. Las réplicas continuaron hasta marzo del 2012.

Luego del evento sísmico, por la localización submarina del epicentro, se originó tsunamis con olas de 8 a 10 metros, en tres oleajes hacia las costas chilenas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Producto al sismo y al golpe del tsunami, el 20% de la población chilena quedó damnificada (Diario la tercera, 2010).

Figura 73 (a) Asentamiento parcial de vivienda, y (b) eyección de volcanes de arena al interior de vivienda



Fuente: Ramón V., 2015 [Figura]. "Liquefaction observed During the 2010 Chile earthquake". Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-10786-8_14

Diversos monumentos nacionales sufrieron daños, se cerraron puentes por daños en los tramos de conexión vial, viviendas y edificios destruidos. Tuvo que evacuarse enfermos de hospitales con sus estructuras severamente dañadas. Luego de visitas a los lugares afectados, se diagnosticó que muchas viviendas no cumplieron con las normas antisísmicas impuestas, o que se encontraban asentadas sobre suelos no aptos para construcción. En el Aeropuerto de Valparaíso, se registraron colapso de cámaras de ventilación (Diario la tercera, 2010). Algunas pasarelas y cruces viales colapsaron, pero un gran grupo de autopistas resultaron con ligeros daños estructurales. Aquellas estructuras construidas con adobe, quedaron en escombros.

Luego del evento sísmico, se produjeron saqueos y hurtos, debido a los daños físicos de los centros comerciales, tiendas u otros. Así también, por la usencia de efectivos policiales, por el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

derrumbe de cuarteles y comisarías. Debido al caos, el gobierno dispuso que las fuerzas armadas salgan a las calles, e instauró un toque de queda de aprox. 18 horas por un mes, lo cual hizo que disminuye el caos en las ciudades afectadas (Diario la tercera, 2010).

Los servicios básicos como la energía, quedó colapsada por la caída de postes, torres de tensión y corte de cables. Luego de haber realizado labores de mantenimiento, la reposición del servicio, se dio en el orden de: principales urbes, sectores rurales y al final la zona costera afectada por el tsunami.

Figura 74 *Daños inducidos por licuefacción, eyección de arenas y desplazamiento lateral de suelos, el Puerto del Coronel, Chile*



Fuente: EERI Special Earthquake Report, 2010 [Figura]. "The M_w 8.8 Chile Earthquake of February 27, 2010". Recuperado de https://www.eeri.org/site/images/eeri_newsletter/2010_pdf/Chile10_insert.pdf

El agua y desagüe, de igual manera colapsó. Sin embargo, los bomberos se encargaron de abastecer de agua a la población. El sector agrícola no se vio severamente afectado, ya que la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

cosecha de trigo se había realizado antes del evento sísmico, y la producción de leche no se vio afectada, por ubicarse su producción en zonas no afectadas por el sismo. Estructuras como puentes y puertos, fueron los más afectados por el evento sísmico.

Con respecto al servicio de telecomunicaciones, colapso por la gran cantidad de llamadas telefónicas. Por lo que, compañías de telefonía brindaron servicios especiales y gratuito a sus usuarios.

Muchas personas optaron por dejar ciudades como Maule y del Biobió, para asentarse en los cerros cercanos a sus anteriores hogares antes del sismo (Diario la tercera, 2010).

Figura 75 Edificio alto Río desplomado por negligencia durante el estudio de mecánica de suelos



Fuente: Mid – America Earthquake Center, 2010 [Figura]. “The Maule (Chile) Earthquake of February, 2010”. Recuperado de https://core.ac.uk/download/pdf/4826647.pdf

Los grupos voluntarios fueron sustancias para la colecta y repartición de productos de primera necesidad en Chile. Así mismo, diversos centros comerciales realizaron campañas de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

donaciones para damnificados. Además diversos artistas realizaron eventos benéficos para recaudación de fondos.

- **Terremoto de Tarlay en Myanmar de 2011, Tailandia.**

Terremoto registrado con una magnitud de 6.8 y aceleración de 0.2g medida a 30km del epicentro del sismo (acelerómetro de Maesai). La gradación del suelo, investigado en el presente estudio, fue de un suelo licuable, conformado por capas de arena suelta a medio densa. Luego del análisis del potencial de licuefacción, se detectó una probabilidad del suelo a licuarse de 75% a 95% (Soralump & Feungaugsorn, 8-10 May 2013). Los daños registrados se ubicaron lejos de la ciudad de Maesai, por lo que los daños, señala el autor, fueron minimizados. En este estudio, se llevó a cabo un análisis de licuefacción por estrés cíclico aproximado, y se comparó las curvas granulométricas registradas con los rangos e gradación del suelo licuable, propuestas por Iwasaki (1986). Finalmente, se utilizó la clasificación de probabilidad introducida por Chen y Juang (2000) para comparar los resultados del análisis de licuefacción del presente análisis.

El autor concluye que la licuefacción podría darse al medio de la capa de arena suelta, a una profundidad de 3.5 a 22m. Sobre la gradación, esta se encuentra dentro de los límites de material licuable. Se propuso una relación del Potencial de Licuefacción y del Factor de Seguridad. La probabilidad de licuefacción del subsuelo de Maesai, se promedia a 82.62% (Soralump & Feungaugsorn, 8-10 May 2013); y recomienda el desarrollo de construcción de cimientos y procedimientos para su reparacion para resistir la licuefacción del subsuelo; todo esto dentro de una normativa, para evitar las catastrofes que pudieran llevarse a cabo en un futuro terremoto severo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Enseñanzas del terremoto de Tarlay de 2011

Figura 76 *Colapso de vivienda construída con material noble al este del estado de Shan, Myanmar*



Fuente: The Irrawaddy, 2011 [Figura]. "The powerful 6.8 magnitude earthquake hit in Tarlay, Easter Shan state, Burma". Recuperado de https://photo.irrawaddy.com/gallery/Disaster/image/155/The_powerful_68_magnitude_earthquake_hit_in_Tarlay_Easter_Shan_state_Burma

Terremoto ocurrido en marzo del mencionado año, con una magnitud de 6.9 M_w, intensidad máxima de IX MM, coordenada epicentral 20.687°N 99.822°E, profundidad focal de 8.0km y aceleración horizontal pico de 0.55g (U.S. Geological Survey, 2020), y un epicentro cercanos las ciudades tailandesas de Chiang Rai, Mae Sai y Kentung (en aprox. 110 km) (BBC News, 2011).

La geología del entorno al sismo es compleja y de continuas colisiones de las placas indoaustraliana y euroasiática, las cuales formaron las montañas Arakan Yoma (BBC News, 2011)

Los daños a infraestructuras fueron registrados en vías asfaltadas y casas de material noble y madera destruídas, ocasionando una cifra de muertos de aprox. 150. Así mismo, el colapso de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

puentes. Cabe mencionar que la mayor parte de infraestructura colapsada, se ubicaron en zonas distantes e inaxesibles (montañosas, producto de la actividad agrícola) (BBC News, 2011)

- **Terremoto de Tohoku de 2011, Japón.**

Figura 77 *Empuje de instalaciones enterradas, en el distrito de Tohoku, Japón*



Fuente: Yamaguchi A., Mori T., Kazama M., Yoshida N., 2012 [Figura]. "Liquefaction in Tohoku district during the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake". Recuperado de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038080612000960

En la investigación Liquefaction in Tohoku district during the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake" (The Japanese Geotechnical Society, December 2012) se identifica al terremoto de magnitud 9 En la escala de Richter (7 en escala JMAI) causado por una fosa oceánica, con un foco sísmico a 24km de profundidad. Este terremoto condujo a la ocurrencia de tsunami, en los distritos de Tohoku y Kanto. Se registraron forúnculos de arena sin daño estructural, levantamiento de estructuras e instalaciones subterráneas y daños a viviendas residenciales y otros. Cabe mencionar que algunos sitios con daños por licuefacción, no se pudieron registrar, ya que las evidencias fueron arrastradas por el tsunami consecuente al sismo, sostuvo el autor. Las fallas registradas fueron de levantamientos en alcantarillas de agua residual, con registro máximo de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

hasta 50cm y fallas extendidas a lo largo de hasta 100m en diques aledaños a puentes, como el caso del puente Takadawa, el cual cruza el río Tada.

Figura 78 (a) Asentamientos de las calles y (b) edificios en Urayasu, prefectura de Chiba, Japón



(a)



(b)

Fuente: Geotechnical Extreme Events Reconnaissance GEER, 2011 [Figura]. "Geotechnical Quick Report on the Kanto Plain Region during the March 11, 2011, Off Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Japan". Recuperado de http://learningfromearthquakes.org/2011-03-11-tohoku-japan/images/2011_03_11_tohoku_japan/pdfs/QR1_GEER_Quick_Report_April_5_2011.pdf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 79 (a) Línea de gas temporal y (b) líneas de agua temporales en Urayasu, prefectura de Chiba, Japón



Fuente: Geotechnical Extreme Events Reconnaissance GEER, 2011 [Figura]. "Geotechnical Quick Report on the Kanto Plain Region during the March 11, 2011, Off Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Japan". Recuperado de http://learningfromearthquakes.org/2011-03-11-tohoku-japan/images/2011_03_11_tohoku_japan/pdfs/QR1_GEER_Quick_Report_April_5_2011.pdf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Evento sísmico conocido como “Terremoto de la costa del Pacífico en la región de Tohoku de 2011”, o “Gran terremoto de Japón Oriental”, el cual ocurrió la mañana del 11 de marzo del año en mención, con una magnitd de 9.1 M_w y duración de 6 minutos según el portal asahi.com. Además que originó olas de maremoto de hasta 40 metros. Su epicentro se ubicó en el mar, a una profundidad de 32 km aprox. (US Geological Survey, 2016).

USGS establece la coordenada epicentral 38.297°N 142.373°E, profundidad focal de 29.0km, intensidad IX MM y magnitud de momento sísmico $M_w = 9.1$ y aceleración sísmica máxima registrada de 2.0083g (U.S. Geological Survey, 2020)

Figura 80 *Vehículos atascado en material fangoso, eyecto de estratos licuables sufyacientes en la ciudad de Urayasu, luego del terremoto del 2011, Japón*



Fuente: S. Yasuda, I. Towhata, 2013 [Figura]. “Liquefaction – Induced damage to structures during the 2011 Great East Japan Earthquake”. Recuperado de Yasuda, S. et al. “LIQUEFACTION-INDUCED DAMAGE TO STRUCTURES DURING THE 2011 GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE.” *Journal of JSCE* 1 (2013): 181-193.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Este evento sísmico generó tsunami y la erupción del volcán Karangetang, Indonesia. Así como el desplazamiento de la isla de Honshu en 2.4 m al este, la alteración del eje terrestre en 10 cm y acortó la duración de los días en 11.8 milisegundos (CBS News, 2011).

Es importante mencionar que, el terremoto en mención fue parte de una serie de sismos que azotaron a Japón desde el 9 de marzo del mencionado año. Así mismo que, el Sistema de Alerta de Terremotos Japonés, alertó a diversos medios de comunicación japoneses, 1 minuto antes del sismo, alertando un peligro inminente. Lo cual, salvo muchas vidas luego del evento sísmico. (US Geological Survey, 2016)

El terremoto se originó por la subducción de la Placa del pacífico, por debajo de la placa de Ojotsk. Es importante mencionar la estimación que diversos sismólogos determinan, en base a la geometría de la línea de falla entre las placas (a mayor rectitud, mayor magnitud del evento sísmico). Así mismo, la cantidad de energía liberada por el sismo (Momento Sísmico M_o) a nivel de superficie, podría haber abastecido a una ciudad del tamaño de Los Ángeles (EE.UU.) por todo un año (US Geological Survey, 2016)

El tsunami alcanzó alturas de ola de hasta 3 metros, inundando el aeropuerto de Sendai, y generó que coches y edificios sean barridos hacia dentro de la costa japonesa. Otros países como EE.UU. sufrieron inundaciones y destrozos de puertos, playas y embarcaciones (California y Hawái, específicamente). Por otro lado, en otros países Centroamericanos y sudamericanos, solo se registró un oleaje anormal. En Chile, los botes de pesca, fueros trasladados a sectores más altos, por la alerta de tsunami, pero al final solo se registraron trenes de olas de hasta 50 cm. (US Geological Survey, 2016).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Luego del evento sísmico, la Autoridad Geoespacial de Japón registró subsidencia (hundimiento del suelo) en diversos puntos geodésicos japoneses, con asentamientos permanentes de hasta 0.84 m, lo cual repercute en las comunidades implicadas, con vulnerabilidad a inundaciones durante mareas altas. (US Geological Survey, 2016).

Figura 81 *Eyección de arena en el distrito de Kanto, por el terremoto del de la costa del Pacífico de 2011*



Fuente: Geotechnical Extreme Events Reconnaissance (GEER), 2011 [Figura]. "Geotechnical Quick Report on the Kanto Plan Region during the March 11, 2011, Off Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Japan". Recuperado de http://learningfromearthquakes.org/2011-03-11-tohoku-japan/images/2011_03_11_tohoku_japan/pdfs/QR1_GEER_Quick_Report_April_5_2011.pdf

Sobre las muertes y damnificados, se contabilizó 15893 muertes y 2556 desaparecidos. De los cuales, el 92.5% de los fallecidos fue por condiciones de ahogamiento, y gran parte eran adultos mayores de más de 60 años. Es importante mencionar, que el horario del evento sísmico, coincidía con las actividades escolares de la nación japonesa, lo cual afecto a esta población vulnerable, de tal manera que los desarraigó de sus familiares, y en otros casos, los dejó huérfanos o desaparecidos, incluyendo a la plana docente que labora para este sector de la población (US Geological Survey, 2016).

Por otro lado, fue importante la labor de Google Person Finder y otros aplicativos web para producir una base de datos de los supervivientes, junto con su localización. Aquellos que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

fenecieron por la catástrofe, resultaron sin abastecimiento para llevar a cabo una ceremonia funeral digna. Por lo que, la milicia japonesa tuvo que enterrarlos en fosas comunes, con la promesa de que luego serían cremadas con una ceremonia honrosa. (US Geological Survey, 2016).

Por otro lado, los daños y pérdidas de infraestructura fueron inevitables a la llegada del tsunami. Incluso al construir Japón sus muros marinos anti-tsunami de 12 metros de altura. Simplemente el tsunami pasó por encima de estos, o los derrumbó a su paso (US Geological Survey, 2016).

Con respecto a la energía suministrada por Tokyo Electric Power Company (TEPCO), los reactores nucleares japoneses tuvieron que desconectarse luego del primer gran sismo, para evitar fugas radiactivas. Así mismo, algunas prefecturas como Kanto, no pudo ser abastecida de electricidad, ya que existe diferencias en el sistema eléctrico de 10 Hz, debido a la falta de un sistema de red unificado en Japón. Algunas empresas del rubro de aceros, apoyaron brindando energía conectando sus generadores a la red de TEPCO. Así también, se programó horarios de descansos por días a la semana, para empresas del rubro de automóviles, para aliviar la escasez eléctrica. Adicionalmente, ninguna turbina de viento sucumbió, a pesar de ser alcanzadas por el tsunami (US Geological Survey, 2016).

A pesar de la desconexión de los reactores en la zona afectada por el sismo, se registró fallas en el sistema de refrigeración, en la central de Fukushima, lo cual produjo una explosión en la central, liberando vapores con material radiactivo. Por ende, el gobierno japonés dispuso una evacuación de la población en un radio de hasta 20 km, luego de la explosión, y tuvo que distribuir yodo a las personas que se hayan encontrado en este radio de evacuación, para evitar el cáncer de tiroides por la radiación nuclear, y designar un nivel de alerta máximo en escala 7, de la Escala

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Internacional de Accidentes Nucleares (INES), alcanzando al mismo que se asignó a Chernóbil. (US Geological Survey, 2016).

Por otro lado, luego de llevar a cabo inspecciones a presas de agua, se registró rajaduras leves en las cimas de 6 presas de material suelto, y daños severos en la pesa de Irrigación, de la prefectura de Sukagawa, ocasionando inundaciones, arrastre de 5 viviendas y 8 desaparecidos (US Geological Survey, 2016).

Figura 82 *Vista desde el estribo izquierdo hacia la zona destruída de la presa de Fujinuma, ocasionado por el terremoto*



Fuente: Japan Commission on Large Dams, 2011 [Figura]. "The 2011 Tohoku Earthquake and Dams". Recuperado de http://www.jcold.or.jp/bk_e/activity/Tohokuswiss.pdf

En el rubro de transportes, diversos puertos japoneses y sistemas férretos tuvieron que suspender sus servicios luego del terremoto, y fueron afectados por el mismo y el tsunami, por el arrastre de estructuras o por licuefacción de suelo (US Geological Survey, 2016).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- **Terremoto de Tehuantepec de 2017, México.**

En el estudio "Fallas de licuación de Suelos inducidas por el sismo de Tehuantepec del 7 de septiembre de 2017 (Mw 8.2) en la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz, México" Jul 31 2020, se analizaron 21 viviendas dañadas por licuación de suelos, llevando a cabo 05 perforaciones SPT (Guzmán Ventura, 2020). Para el cálculo de la aceleración máxima del suelo, se llevó a cabo el uso de técnica EHVSR (Earthquake Horizontal to Vertical Spectral Ratio) y MHVRS (Microtremor Horizontal to Vertical Spectral Ratio) en 05 puntos del área en estudio. Se utilizó el método empírico simplificado propuesto por Seed e Idriss (1971) y modificado por Youd et al. (2001) para el cálculo de la vulnerabilidad a la licuación de estratos arenosos. Se identificaron las zonas geotécnicas del área en estudio, según las estipuladas por Astudilo et al. (2010). Así mismo, se observaron asentamientos en viviendas de 0.4m a 1.5m (Guzmán Ventura, 2020).

Figura 83 *Asentamiento total de vivienda, registrado en la ciudad Coatzacoalcos, Mexico*



a) Antes del sismo b) Después del sismo

Fuente: Guzmán V., Juan et al., 2020 [Figura]. "Fallas de licuación de suelos inducidas por el sismo de Tehuantepec del 7 de setiembre de 2017 ($M_w = 8.2$) en la Ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz, México". Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2020000100082

Enseñanzas del terremoto de Tehuantepec de 2017

Este terremoto, conocido como el Terremoto de Chiapas de 2017, provocado por un movimiento de placas, con una magnitud de 8.2 M_w y epicentro en el golfo de Tehuantepec y

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

cercano a Chiapas, se percibió por varios países centroamericanos y generó tsunami con olas de hasta 3 metros. Además, se considera el terremoto más fuerte ocurrido en México, luego del terremoto de Puebla de 1932 (Diario El País, 2017).

U.S. Geological Survey reportó: coordenada epicentral 15.022°N 93.899°W, profundidad focal de 47.4km, intensidad VII MM y magnitud de 8.2 M_w y aceleración horizontal máxima registrada de 0.4706g (U.S. Geological Survey, 2020)

La convergencia de las placas Norteamericana, de Cocos y del Caribe, ocurrente en el territorio mexicano, ocasiona que este país sea catalogado como un país de alta sismicidad.

Antes del sismo, el Sistema de Alerta Sísmica Mexicano, emitió alertas tempranas, con un tiempo de respuesta de hasta 191 segundos antes del evento sísmico en mención (Diario El País, 2017). Por otra parte, se suspendieron las actividades académicas en escuelas y universidades, para que se lleven a cabo inspecciones de protección civil en las escuelas en varias ciudades afectadas del Estado de México. Se registrados estructuras severamente a moderadamente dañadas en viviendas, construcciones educativas, hospitales, edificios públicos, monumentos históricos, iglesias, centro de comercio, puentes y carreteras con presencia de deslaves y asentamientos. Así mismo, daño en los servicios de electricidad, agua potable y alcantarillado (Diario El País, 2017).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 84 Vivienda asentada por licuación de suelos, registrado en la ciudad Coatzacoalcos, Mexico



a) Antes del sismo b) Después del sismo

Fuente: Guzmán V., Juan et al., 2020 [Figura]. "Fallas de licuación de suelos inducidas por el sismo de Tehuantepec del 7 de setiembre de 2017 ($M_w = 8.2$) en la Ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz, México". Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2020000100082

El estado mexicano, a través la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), puso a disposición una plataforma para contabilizar afectaciones a viviendas en las zonas afectadas, como Chiapas. Para posteriormente, asignar recursos para la reconstrucción de viviendas de los afectados, mediante tarjetas emitidas por el Banco de Ahorro Nacional y Servicios Financieros (BANSEFI). Sin embargo, no ocurrió una debida transparencia y rendición de cuentas en este proceso.

Adicionalmente, es importante mencionar el reporte de luces y destellos en el cielo antes y durante el terremoto (Diario El País, 2017). Este evento, es conocido como earthquake light (EQL). Se generaron diversas hipótesis sobre el origen de estos eventos lumínicos en el cielo, pero la más respaldada fue que fueron originados por cargas eléctricas derivadas de los deslizamientos del suelo, como lo estipula el EQL (National Geographic, 2014).

Luego del sismo, se registraron 5245 réplicas. De las cuales, 36 con magnitud superior o igual a 5.0 en escala de Richter (Diario El País, 2017).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.4.3. Resumen histórico de sismos con registro de Licuefacción de Suelos a nivel Internacional

Tabla 21 *Resumen de eventos sísmicos con registro de Licuación de Suelos a nivel internacional*

Datos Generales		Ubicación		Causa del evento sísmico
Fecha	Nombre	País	Lugar	
18/04/1906	Gran Terremoto e Incendio de San Francisco	EE.UU.	San Francisco	Falla geológica de San Andrés (Placa Norteamericana y del Pacífico)
	Informe de Licuación y daños severos - Asentamientos en vías urbanas de San Francisco, de hasta 1.50m - Desplazamientos horizontales de 0.6 a 2.1 m - Destrucción de líneas de tubería de agua, gas, electricidad, conductos telefónicos y vías del teleférico de la ciudad - La mayor parte de pérdidas fueron provocadas por los incendios de la ciudad			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada - Profundidad focal: 11.7 km - Epicentro: 37.750°N 122.550°W - Magnitud: 7.9 escala de Richter - Intensidad: IX MM - Aceleración horizontal máxima estimada: 1.5096g
01/09/1923	Gran Terremoto de Kanto	Japón	Varias Prefecturas de la isla de Honshu	Colisión entre las placas Filipinas y Okhotsk, en la fosa de Sagami - Japón
	Informe de Licuación y daños severos - Niveles de agua freática liberadas a la superficie de 0.50 a 2.00m - Estratos licuados de espesor de 3.00 m, con un mínimo de 1.00 m - Desplazamiento lateral de taludes - Disminución de anchos de ríos - Detección de forúnculos de arena - Rediseño de edificios públicos con estrictos estándares internacionales - Incremento de incendios a causa de vientos del tifón que azotaba la zona			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada -Profundidad focal: 15 km -Epicentro: 35.007°N 139.926°E -Magnitud: 7.8 escala de Richter -Intensidad: VII MM -Aceleración horizontal máxima estimada: 0.30g
28/06/1948	Terremoto de Fukui	Japón	Fukui	Terremoto intraplaca, en la Placa tectónica Amur
	Informe de Licuación y daños severos - Desplazamientos en Central Meteorological Observatory in Tokyo, de 4.90cm N.S y 2.40cm E-W - Colapso de puentes, diques y abanicos fluviales - Detección de fisuras en el suelo y forúnculos de arena - Sismo amplificado por presencia de llanura aluvial, y edificios cimentados en suelos inestables - Colapso de diques en el río Kuzuryu, que generó su desbordamiento a la llegada de lluvias torrenciales			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada -Profundidad focal: 10 km -Epicentro: 36.16°N 136.22°E -Magnitud: 7.1 escala de Richter -Intensidad: IX MM -Aceleración horizontal máxima estimada: 0.40g
22/05/1960	Megaterremoto de Valdivia o Gran Terremoto de Chile	Chile	Región La Araucanía	Choque y subducción de la Placa de Nazca, hacia las Placas Sudamericana y de Chiloé

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Datos Generales		Ubicación		Causa del evento sísmico
Fecha	Nombre	País	Lugar	
	Informe de Licuación y daños severos - Generación de subsidencia por deformación tectónica - Desplazamiento del eje terrestre (3 cm), acercamiento entre las placa de Nazca y Chiloé de 40 metros aprox. - Tsunami con olas de hasta 10 m. - "Riñihuazo": Acumulación de aguas en el lago Riñihue, amenazando con una descarga masiva por el río San Pedro, amenazando pueblos aledaños a su ribera. - El 60% de los daños fue producto del tsunami (casi todas las ciudades portuarios de Chile quedaron destruidas)			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada -Profundidad focal: 35 km -Epicentro: 38°24'S 73°05'O -Magnitud: 9.5 M_w -Intensidad: XI - XII MM -Aceleración horizontal máxima estimada: 1.8110g
23/03/1964	Terremoto de Alaska, Gran terremoto de Alaska, Terremoto de Viernes Santo	EE.UU.	Alaska	Ruptura de falla entre placas de El Pacífico y Norteamericana
	Informe de Licuación y daños severos -Asentamientos registrados de 2.0 a 2.5 m -Subsidencia tectónica -Colapso de edificios, instalaciones portuarios y costeras -Licuefacción de depósitos costeros y deslizamientos submarinos -Obras de reparación en instalaciones ferroviarias, terraplenes, puentes ferroviarios, alcantarillas, carreteras, puentes. -Avances en el estudio de vulnerabilidad a la licuefacción de suelos (Seed & Idriss, 1971 a 1985)			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada -Profundidad focal: 23 km -Epicentro: 61°01'N 147°39'O -Magnitud: 9.2 escala de Richter -Intensidad: XI MM -Aceleración horizontal máxima estimada: 0.40g
16/06/1964	Terremoto de Niigata	Japón	Niigata	Deslizamiento en plataforma continental, frente a la costa noroeste de la isla de Honshu
	Informe de Licuación y daños severos -Gran parte de la ciudad de Niigata afectada por licuefacción de suelos -Desplazamientos en laderas de ríos de hasta 8 m -Asentamientos registrados de 1 a 2 m -Capas de suelo licuado de hasta 10 m -Mala calidad del subsuelo de Niigata (depósitos deltaicos de ríos), conformado por arena no consolidada -Colapso del puente Showa, por desplazamiento de sus pilares, producto de la licuación en el lecho del río -Extracción de gas provocó hundimiento del suelo, lo cual produjo mayor asentamiento en puentes			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada -Profundidad focal: 34 km -Epicentro: 38°37'N 139°22'E -Magnitud: 7.6 escala de Richter -Intensidad: VIII – IX MM -Aceleración horizontal máxima estimada: 0.25g
09/02/1971	Terremoto de San Fernando, terremoto de Sylmar	EE.UU.	California	Empuje oblicuo de la falla de Sierra Madre

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Datos Generales		Ubicación		Causa del evento sísmico
Fecha	Nombre	País	Lugar	
	Informe de Licuación y daños severos			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada
	- Daño registrado en estructuras hidráulicas como embalse y líneas de abastecimiento de agua - Grandes variaciones en los niveles piezométricos de agua en pozos - Daños en sistema de presas, reservorios, tanques de agua, tuberías y cloacas - Daños por licuación y falla de pendiente en la represa de San Fernando			- Profundidad focal: 8.4 km - Epicentro: 34°16'N 118°25'W - Magnitud: 6.6 M_w - Intensidad: XI MM - Aceleración horizontal máxima estimada: 1.25g
26/05/1983	Terremoto de Nihonkai – Chubu, terremoto del Mar de Japón	Japón	Prefectura de Akita	Subducción intraplaca en el mar de Japón, placa de Okhotsk
	Informe de Licuación y daños severos - Daño crítico en áreas conformadas por arenas eólicas y fluviales sueltas del período Holoceno - Colapso de instalaciones enterradas - Destrucción de instalaciones de gas, agua, telecomunicaciones y electricidad - Asentamientos registrados de hasta 1m, con desplazamientos horizontales de 5m - Se identificó estratos de arena rellena, arena aluvial, arcilla aluvial y turba aluvial en mayores cantidades, con espesores de 2 a 5 m - Generación de tsunami con olas de hasta 10 m			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada - Profundidad focal: 24 km - Epicentro: 40°27'43.20''N 139°6'7.20''E - Magnitud: 7.7 escala de Richter - Intensidad: VIII MM - Aceleración horizontal máxima estimada: 0.399g
15/10/1979	Terremoto del Valle Imperial de 1979	EE.UU.	Valle Imperial al Sur de California	Fallas por deslizamiento en Salton Trough
26/04/1981	Terremoto de Westmorland de 1981			
24/11/1987	Terremoto de Superstition Hills			
	Informe de Licuación y daños severos - Fallas en el suelo que afectó a sistemas de riego, drenajes, carreteras, canales, terraplenes y puentes - Presencia de sedimentos marinos del terciario y cuaternario, sedimentos lacustres y continentales - Carreteras onduladas o agrietadas por licuefacción - Registro de tuberías enterradas explotadas en Westmorland - Daños considerables en el Canal All-American que abastece al valle Imperial con agua del río Colorado (tramos del canal sin revestimiento y estructuras hidráulicas como vertederos y compuertas)			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada - Profundidad focal: 11.6 km, 10 km, 11.2 km - Epicentro: 32°37'N 115°19'W, 33°01'N 115°41'W, 33°05'24''N 115°47'31''O - Magnitud: 7.1 M_w, 5.9 M_w, 6.6 M_w - Intensidad: IX MM, VII MM, VII MM - Aceleración horizontal máxima estimada: 1.74g, sin datos, 0.36g
17/10/1989	Terremoto de Loma Prieta, terremoto de 89', terremoto de la Serie Mundial	EE.UU.	California	Deslizamiento en falla geológica de San Andrés

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Datos Generales		Ubicación		Causa del evento sísmico
Fecha	Nombre	País	Lugar	
	Informe de Licuación y daños severos - Grietas de 10 a 30 mm en calles - Asentamientos de 300mm a 400mm en construcciones recientes - Continuaron los asentamientos hasta 4 días después del impacto de la onda sísmica - Control de incendios con mangueras portátiles, corrientes de aire, fuentes de agua (cisterna, barcos y vehículos de bomberos) - Apoyo del sector privado para el reabastecimiento de energía eléctrica - Tuberías enterradas dañadas por su ubicación en rellenos sin compactar y suelos aluviales. El daño en tubería asentadas en suelos compactados, fue menor - Detección de suelos blandos en residenciales y aeropuerto de San Francisco			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada - Profundidad focal: 19 km - Epicentro: 37°02'N 121°53'W - Magnitud: 7.1 M_w - Intensidad: IX MM - Aceleración horizontal máxima estimada: 0.64g
16/07/1990	Terremoto de Luzón	Filipinas	Isla de Luzón, Nueva Eija	Deslizamiento entre la falla de Filipinas y la falla Digdid
	Informe de Licuación y daños severos - Registro de hundimientos de hasta 1 metro - Edificios y casas colapsadas, puentes y supermercados destruidos - Tipo de falla habitual: por capacidad de carga y extensión lateral - Regiones más vulnerables, conformadas por depósitos aluviales de espesores de 5 a 10 m en ríos, playas y rellenos de arena suelta - No se observó efecto de licuación a nivel de superficie, en áreas con capas licuadas menor a 3m y con estrato superficial no licuado mayor a 3 m - La mayoría de las víctimas se encontraban en el centro de la isla, por su región montañosa			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada - Profundidad focal: 25.1 km - Epicentro: 15°40'44''N 121°10'19''E - Magnitud: 7.8 escala de Richter - Intensidad: IX MM - Aceleración horizontal máxima estimada: 0.8102g
13/01/2001	Terremoto de El Salvador	El Salvador	El Salvador	Fractura interna de la placa de Cocos por esfuerzos gravitacionales

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Datos Generales		Ubicación		Causa del evento sísmico
Fecha	Nombre	País	Lugar	
	Informe de Licuación y daños severos - No generó tsunami, a pesar de tener un origen en el Pacífico - Destrucción de edificios de material noble - Deslizamientos y derrumbes en laderas - La licuefacción frenó la producción de las plantaciones de café, lo cual viene a ser el primer producto exportado de El Salvador - Alud de tierra en La Colonia, que generó 500 víctimas y sepultó 200 casas - Impacto ambiental provocado por el evento sísmico, volviendo al país vulnerable a huracanes - Acumulación de sedimentos, afectando zonas agrícolas			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada - Profundidad focal: 60 km - Epicentro:13.049°N 88.660°W - Magnitud: 7.7 M_w - Intensidad: VIII MM - Aceleración horizontal máxima estimada: 0.8883g
27/02/2010	Terremoto de Maule	Chile	Región de Biobío y otros	Subducción de la Placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana
	Informe de Licuación y daños severos - Del estudio en mención, se decantó que sitios con baja aceleración sísmica y baja duración del siniestro, son susceptibles a licuarse; a pesar de suelos en estado denso que pudiera encontrarse - Las ciudades afectadas se encontraban en periodo de laguna sísmica, por lo cual era certero la ocurrencia de un evento sísmico de gran magnitud - Cambio en la rotación de la Tierra (el día más corto por 1.26ms - Desplazamiento de 8cm del eje terrestre - Desplazamiento de la ciudad de Concepción por 3.04 metros - Las réplicas del terremoto continuaron hasta marzo de 2010 - Tsunami con ola de hasta 10 metros registrados en Chile - 20% de la población chilena quedó damnificada - Daños en monumentos nacionales, tramos de conexión vial, viviendas y edificios destruidos - Luego de inspecciones, se determinó que muchas estructuras no cumplían con las normas antisísmicas impuestas por el estado chileno - Asentamiento de estructuras en suelos no aptos para construcción - Estructuras de adobe en escombros - Puentes y puertos afectados por el sismo y tsunami			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada - Profundidad focal: 22.9 km - Epicentro: 36.122°N 72.898°W - Magnitud: 8.8 M_w - Intensidad: IX MM - Aceleración horizontal máxima estimada: 1.0908g
24/03/2011	Terremoto de Myanmar Terremoto de Birmania	Birmania (Myanmar)	Estado de Shan	Colisión entre placas indoaustraliana y euroasiática

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Datos Generales		Ubicación		Causa del evento sísmico
Fecha	Nombre	País	Lugar	
	Informe de Licuación y daños severos - Daños en vías asfaltadas y viviendas de material noble - Colapso de puentes - La mayor cantidad de infraestructura colapsada, se localizó en zonas distantes o inaccesibles (montañosas, producto de la actividad agrícola) - Licuación probable al medio de capas de arena suelta, a una profundidad de 3.5 a 22m - Recomienda construcción de cimientos para futuras infraestructuras, siguiendo las recomendaciones de una normativa actualizada, para evitar catástrofes. Así también recomienda técnicas para construcción sobre suelos licuables			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada - Profundidad focal: 8.0 km - Epicentro: 20.687°N 99.822°E - Magnitud: 6.9 M_w - Intensidad: IX MM - Aceleración horizontal máxima estimada: 0.55g
11/03/2011	Terremoto y tsunami de Tohoku, Terremoto de la costa del Pacífico en la región de Tohoku, Gran terremoto de Japón Oriental	Japón	Región de Tohoku	Subducción de placa del Pacífico por debajo de la placa de Okhotsk
	Informe de Licuación y daños severos - Tsunami destructivo en los distritos de Tohoku y Kanto (olas de 3 metros) - Forúnculos de arena, levantamiento de estructuras e instalaciones subterráneas - Muchos sitios con daños por licuefacción no se pudieron constatar, ya que las evidencias fueron arrastradas por el tsunami - Levantamiento de alcantarillas de agua residual, de hasta 50 cm - Fallas en diques aledaños a puentes - Generó erupción del volcán Karangetang, Indonesia - Desplazamiento de la isla Honshu a 2.4m al este - Alteración del eje terrestre en 10cm - Reducción de la duración del día en 11.8ms - Subsidencia en diversos puntos geodésicos japoneses, lo que genera la vulnerabilidad a inundaciones durante marea alta para varias comunidades implicadas - Rajaduras y daños severos en presas de material suelto para irrigación			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada - Profundidad focal: 29.0 km - Epicentro: 38.297°N 142.373°E - Magnitud: 9.1 M_w - Intensidad: IX MM - Aceleración horizontal máxima estimada: 2.0083g
08/07/2017	Terremoto de Chiapas Terremoto de Tehuantepec	México	Chiapas	Contacto convergente entre placas Norteamericana, Cocos y del Caribe

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Datos Generales		Ubicación		Causa del evento sísmico
Fecha	Nombre	País	Lugar	
	Informe de Licuación y daños severos - Viviendas dañadas por licuación de suelos, en la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz - México - Asentamientos en viviendas de 0.4 a 1.5m - Sismo percibido en varios países centroamericanos, con llegada de tsunami - Daño en viviendas, construcciones educativas, hospitales, edificios públicos, monumentos históricos, iglesias, centros de comercio, puentes y carreteras con presencia de deslaves y asentamientos - Daños en instalaciones de electricidad, agua potable y alcantarillado - Reportes de Earthquake light (EQL) antes y durante el sismo			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada - Profundidad focal: 47.4 km - Epicentro: 15.022°N 93.899°W - Magnitud: 8.2 M_w - Intensidad: VII MM - Aceleración horizontal máxima estimada: 0.4706g

Fuente: Información de ítem 2.4.2. Registro histórico internacional de la presente investigación. [Formato de presentación propio].

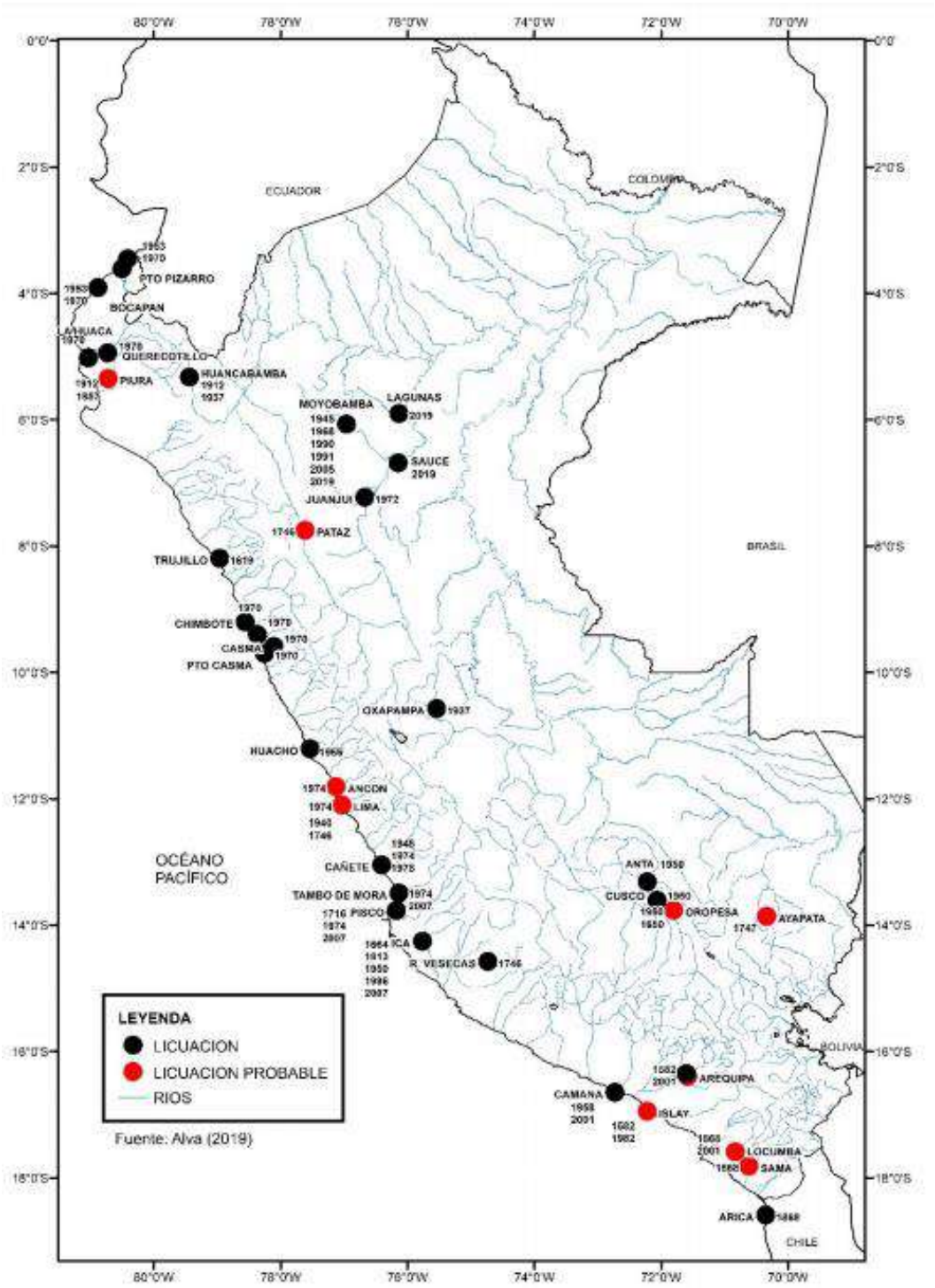
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.4.4. Registro histórico Nacional

Figura 85 *Mapa de licuación de suelos en el Perú*



Fuente: Alva H., Jorge, 2019 [Figura]. “Actualización de la ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos en el Perú”. Recuperado de http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis05_a.pdf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El Ph. D. Jorge Elías Alva Hurtado, Ing. Civil graduado de la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú y con grado de Máster y Doctor en geotecnia, en su página http://www.jorgealvahurtado.com/about.html (Alva Hurtado J. E., Website del Dr. Ing. Jorge Elías Alva Hurtado, 2021) se tiene registrados diversos estudios plasmados en artículos y publicaciones científicas sobre Microzonificación sísmica y Evaluación de Potencial de Licuefacción en nuestro país. Por lo cual, se renombran los sismos más importantes y recientes ocurridos en nuestro territorio nacional, en base a los detallados en el artículo "Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de Suelos en el Perú" del mencionado autor.

- **Terremotos ocurridos entre los siglos XVI al XIX en Perú.**

En el artículo mencionado (Alva Hurtado & Ortiz Salas, Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú, 2019), se citan los siguientes eventos sísmicos:

Terremoto con intensidad de X MM, del 22 de Enero de 1582, ocurrido en la ciudad de Arequipa.

Terremoto con intensidad IX MM, del 14 de febrero de 1619, ocurrido en la ciudad de Trujillo.

Terremoto con intensidad X MM, del 14 de mayo de 1664, ocurrido en la ciudad de Ica.

Terremoto con intensidad IX MM, del 10 de febrero de 1716, ocurrido en la ciudad de Pisco.

Terremoto con intensidad VIII MM de 1747 (sin fecha exacta), ocurrido en la ciudad de Puno.

Terremoto con intensidad VIII MM, del 30 de Marzo de 1813, ocurrido en Ica – Perú.

Terremoto con intensidad VIII MM, del 20 de Agosto de 1857, ocurrido en Piura – Perú.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Terremoto con intensidad de XI MM y posterior tsunami, del 13 de Agosto de 1868, ocurrido en la actual Arica y Locumba - Chile.

- **Terremotos del siglo XX ocurridos en Perú, hasta la actualidad**

Terremoto de intensidad VIII MM, del 24 de julio de 1912, ocurrido en Piura y Huancabamba.

Terremoto de intensidad IX MM y magnitud $M_s = 6.3$, coordenada epicentral 10.664°S 75.597°W, aceleración horizontal máxima registrada de 0.20g, profundidad focal de 15.0 km (U.S. Geological Survey, 2020). Conocido como el terremoto de las vertientes orientales de la Cordillera Central. Ocurrió el 24 de diciembre de 1937, afectando los pueblos de Huancabamba y Oxapampa (Alva Hurtado & Ortiz Salas, Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú, 2019).

Terremoto de intensidad IX MM y magnitud $M_w = 8.2$ profundidad focal de 45.0 km, coordenada epicentral 11.094°S 77.487°W y aceleración máxima del suelo estimada de 0.25g (U.S. Geological Survey, 2020), del 24 de mayo de 1940, ocurrido en Lima y Callao.

Figura 86 *Deslizamiento de suelos junto con agrietamientos, y daño estructural ocasionado por el simos del 24 de mayo de 1940, Lima & Callao*



Fuente: LimaEasy, 2021 [Figura]. “20th Century Earthquakes. Records about Historical Earthquakes in Peru”. Recuperado de https://www.limaeasy.com/peru-guide/earthquakes-lima-peru/20th-century-earthquakes

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Terremoto de intensidad VII MM, del 6 de agosto de 1945, que afectó la ciudad de Moyobamba y alrededores. Importante resaltar que, producto de las grietas que formó el movimiento sísmico, se generaron manantiales (Alva Hurtado & Ortiz Salas, Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú, 2019).

Terremoto de intensidad VII MM y magnitud $M_s = 7.0$, del 28 de Mayo de 1948 ocurrido en Cañete – Lima.

Terremoto de intensidad VII MM y magnitud $M_s = 6.0$, del 21 de mayo de 1950, ocurrido en Cuzco. Importante mencionar que se generaron fisuras, elevación del nivel freático generando capas de 10 a 40 cm de agua en sectores normalmente secos y elevación de la altura piezométrica en pozos ubicados en la hacienda San Antonio (Alva Hurtado & Ortiz Salas, Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú, 2019).

Figura 87 Colapso de vivienda y suelos inestables en la ciudad de Cusco, luego del terremoto de1950



Fuente: LimaEasy, 2021 [Figura]. "20th Century Earthquakes. Records about Historical Earthquakes in Peru". Recuperado de https://www.limaeasy.com/peru-guide/earthquakes-lima-peru/20th-century-earthquakes

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Terremoto de intensidad VII MM y magnitud $M_w = 6.3$, profundidad focal 61.5 km, aceleración horizontal máxima del suelo estimada de 0.15g y coordenada epicentral 14.305°S 75.472°W (U.S. Geological Survey, 2020) del 10 de diciembre de 1950, ocurrido en Ica.

Terremoto de intensidad VII MM y magnitud $M_w = 7.3$, profundidad focal de 25.0 km, coordenada epicentral 3.552°S 80.636°W y aceleración máxima estimada de 0.25g (U.S. Geological Survey, 2020), del 12 de diciembre de 1953, afectando gran parte del noroeste del Perú y territorio ecuatoriano.

Terremoto de intensidad VII MM y magnitud $M_w = 7.0$, coordenada epicentral 16.625°S 72.242°W, profundidad focal de 64.0 km ubicada dentro de la placa sudamericana y aceleración horizontal máxima estimada de 0.25g (U.S. Geological Survey, 2020), del 15 de enero de 1958, ocurrido en Arequipa. Generó agrietamientos en suelo de Camaná, y eyección de aguas negras de los mismos.

Terremoto de intensidad VIII MM y magnitud $M_w = 8.1$ coordenada epicentral 10.665°S 78.228°W, profundidad focal de 40.0 km y aceleración máxima del suelo estimada en 0.28g (U.S. Geological Survey, 2020), del 17 de octubre de 1966, ocurrido en Lima.

Figura 88 *Huacho luego del tsunami de 1966, Provincia de Huaura - Lima*



Fuente: LimaEasy, 2021 [Figura]. "20th Century Earthquakes. Records about Historical Earthquakes in Peru". Recuperado de https://www.limaeasy.com/peru-guide/earthquakes-lima-peru/20th-century-earthquakes

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Terremoto de intensidad VIII MM y magnitud $M_w = 6.8$, del 29 de junio de 1968, profundidad focal de 15.0km, coordenada epicentral 5.610°S 77.086°W y aceleración horizontal máxima extimada de 0.23g (U.S. Geological Survey, 2020), ocurrido en Moyobamba. Este sismo generó agrietamientos a lo largo del río Mayo, junto con afloramientos de arenas en forma de cono, con diámetros de 10 a 20 cm producto de la licuefacción de suelos (Alva Hurtado & Ortiz Salas, Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú, 2019).

Terremoto con intensidad máxima de IX MM y magnitud $M_s = 7.8$, $M_w = 7.9$, profundidad focal de 45.0km, coordenada epicentral de 9.183°S 78.737°W y aceleración horizontal máxima estimada de 0.8516g en la estación de Casma (U.S. Geological Survey, 2020) del 31 de Mayo de 1970, ocurrido en Ancash y zona sur de La Libertad. Este sismo generó desplazamientos laterales de terreno y compactación diferencial de cimentación, producto de la licuefacción de depósitos deltaicos y de playa, en Chimbote. Así mismo, puentes como el puente de Casma dañado y la zona residencial de Puerto Casma; además de la carretera Panamericana con presencia de subsidencia ocasionada por licuefacción (Alva Hurtado & Ortiz Salas, Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú, 2019). Este evento sísmico es conocido por el aluvión provocado por el desprendimiento del pico del nevado Huascarán, lo cual generó un alud que sepultó a la ciudad de Santo Domingo de Yungay (ScienceDirect, 2009).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 89 *Colapso total de estructuras de material noble en la ciudad de Ancash, 1970*



Fuente: CISMID, 2020 [Figura]. "#EfeméridesSísmica El gran terremoto de Ancash 31/05/1970". Recuperado de http://www.cismid.uni.edu.pe/efemeridessismica-el-gran-terremoto-de-ancash-31-05-1970/

Figura 90 *Vivienda colapsada luego del terremoto de 1970*



Fuente: Andina, Agencia Peruana de Noticias, 2015 [Figura]. Recordando la tragedia de Yungay en 1970". Recuperado de https://andina.pe/agencia/video-recordando-tragedia-yungay-1970-35083.aspx

Terremoto con intensidad máxima IX MM y magnitud $M_s = 7.1$ $M_w = 7.2$, coordenada epicentral 4.026°S 80.542°W, profundidad focal de 25.0 km y aceleración horizontal máxima

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

estimada de 0.5926g (U.S. Geologicl Survey, 2020) del 9 de Diciembre de 1970, ocurrido en Tumbes. Se registraron grietas de echelón en terrazas formadas por suelos fluviales y aluviales, efusión de arena y aguas negras a través de grietas formadas por el evento sísmico (Alva Hurtado & Ortiz Salas, Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú, 2019).

Terremoto con intensidad máxima de VIII MM y magnitud $M_s = 6.9$ $M_w = 6.4$, del 20 de Marzo de 1972 coordenada epicentral 6.855°S 76.726°W, profundidad focal de 55.0km y aceleración máxima horizontal estimada de 0.20g (U.S. Geological Survey, 2020), afectando la zona nororiente del Perú, conocido como el terremoto de Juanjuí y Saposoa de 1972 (United States Geological Survey (USGS), EE.UU, 2021). En este evento sísmico se registraron pozos de agua secos y taponeados con arena, y la variación del nivel estático del agua subterránea por más de un metro (Alva Hurtado & Ortiz Salas, Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú, 2019).

Terremoto con intensidad máxima de VIII MM y magnitud de $M_s = 7.5$ coordenada epicentral 12.265°S 77.795°W, profundidad focal de 13.0 km y aceleración horizontal máxima estimada en 0.4957g en la estación acelerográfica de Pisco (U.S. Geological Survey, 2020), del 3 de octubre de 1974, ocurrido en Lima. Se registró licuefacción asociada a subsidencia con densificación en zona paralela a la línea de la playa, eyecciones de agua y arena por volcanes de arena y asentamientos diferenciales. Gran parte de estos eventos se registraron en el Callao, Cañete y Ancón (Alva Hurtado & Ortiz Salas, Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú, 2019).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 91 *Colapso estructural de iglesia, luego del terremoto de 1974 en Lima*



Fuente: LimaEasy, 2021 [Figura]. "20th Century Earthquakes. Records about Historical Earthquakes in Peru". Recuperado de https://www.limaeasy.com/peru-guide/earthquakes-lima-peru/20th-century-earthquakes

Terremotos de magnitud $M_s = 6.0$ y $M_s = 6.5$, del 29 de mayo de 1990 y 4 de abril de 1991, respectivamente. Siendo el más potente de estos registrado en las coordenadas epicentrales 6.038°S 77.130°W, Intensidad VII MM, profundidad focal de 20.7 km y aceleración horizontal máxima estimada en 0.25g (U.S. Geological Survey, 2020) Ambos ocurridos en Moyobamba, el más potente conocido como el terremoto del Nororiente del Perú (United States Geological Survey (USGS), EE.UU, 2021). Se registró fisuras en colegios, de 10 cm de ancho y 50 cm de profundidad, destrucción de pisos en sus aulas, eyección de volcanes de arena, daños en carreteras y desplazamientos laterales de suelos. La mayor cantidad de casas asentadas sobre taludes se desplomaron; así mismo, como aquellas construidas con material de tapial o albañilería sobre suelos blandos, fallas en la estación de bombeo y cañerías del alcantarillado (Alva Hurtado & Ortiz Salas, Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú, 2019).

Terremoto de intensidad VIII MM y magnitud $M_s = 6.4$ $M_w = 7.7$ coordenada epicentral 14.993°S 75.675°W, profundidad focal de 33.0 km y aceleración horizontal máxima estimada en 0.50g (U.S. Geological Survey, 2020), del 12 de noviembre de 1996, ocurrido en Nazca y Acarí. Evento sísmico ocasionado por la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Sudamericana. Se registró volcanes de arena, eyección de lodo y agrietamientos en el lecho del río Yauca. Fallas estructurales en el puente Yauca, generando interrupción del flujo vial luego del sismo (Alva Hurtado & Ortiz Salas, Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú, 2019).

Figura 92 *Trabajos de reforzamiento en puente del río Yauca, afectado por licuefacción en el lecho del río*



Fuente: Alva H., Jorge E., s.f. [Figura]. "Sismo de Nasca, Noviembre 12, 1996, Perú". Recuperado de http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis21_p.pdf

Terremoto con intensidades máximas de VII – VIII y magnitud $M_w = 8.2$, profundidad focal 33.0 km, coordenada epicentral 16.265°S 73.641°W, y aceleración horizontal máxima registrada en 0.60g en la estación Ocoña (U.S. Geological Survey, 2020), ocurrido el 23 de junio de 2001, afectando los departamentos de Arequipa, Ayacucho, Moquegua y Tacna. Por otro lado, las ciudades de Arica e Iquique en Chile; además de la Paz en Bolivia (Alva Hurtado & Ortiz Salas, Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú, 2019).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 93 *Colapso de casas construídas con material noble en Arequipa, luego del terremoto de 2001*



Fuente: Liendo S., Ruben, 2021 [Figura]. "Terremoto de Arequipa 2001: Fotos. 20 años después del sismo de magnitud 8.4 que azotó el sur". Recuperado de https://trome.pe/actualidad/terremoto-arequipa-2001-fotos-a-20-anos-del-movimiento-telurico-de-magnitud-84-que-azoto-el-sur-del-peru-nnsp-noticia/

Conocido como el terremoto el sur del Perú del 2001, o terremoto de Arequipa de 2001 (Jürd Hammer, Carlos Z. Toledo y Roberto S. Recuay, 2001). Producto de este evento sísmico, se registró hechos relacionados al proceso de licuefacción de suelos, en las áreas de la Urbanización las Magnolias (distrito de Socabaya – Lara), Huranguillo (distrito de Sachaca) y Semirural Pachacútec (distrito de Cerro Colorado). Luego de la inspección, se observaron en estos puntos: asentamientos de veredas, agrietamientos del suelo, desplazamiento lateral de pequeños taludes, inclinación y caída de postes, agrietamientos de muros portantes y colapsos de muros no estructurales, ebullideros que despidieron agua con arena del color rosado y colapso de muros de contención (Alva Hurtado & Ortiz Salas, Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú, 2019).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 94 *Balnerario de Camaná en Arequipa, luego del terremoto y tsunami de 2001*



Fuente: Córdiva T., Lilia, 2021 [Figura]. "Terremoto en Arequipa: Cuando el fin del mundo duró 90 segundos". Recuperado de https://elcomercio.pe/archivo-elcomercio/terremoto-en-arequipa-cuando-el-fin-del-mundo-duro-90-segundos-sismos-nnsp-noticia/

En las provincias de Arequipa, en los puntos como Yauca, Ocoña, Camaná, Tambo, Osmone, Locumba y Sama también se registró licuefacción de suelos. Otros puntos ubicados a lo largo del río Camaná, del río Tambo y de la franja costera de Mejía y la Punta de Bombón, de igual manera. Otros sectores más al sur, ubicados en las desembocaduras de los ríos Osmore, Locumba y Sama también presentaron evidencias de licuación de suelos, pero a menor escala, en comparación a los puntos de Camaná y El Tambo (Alva Hurtado & Ortiz Salas, Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú, 2019).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 95 *Subsidencia de vivienda en Camaná, luego del terremoto y tsunami de 2001*



Fuente: Istituto Italiano di Cultura, 2010 [Figura]. "Sección Histórica: 8. Camaná, Perú (2001)". Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=X1KQa-elFSA

Terremoto de magnitud $M_w = 7.5$, del 25 de setiembre del 2005 en las coordenadas epicentrales 5.678°S 76.398°W, profundidad focal 115.0 km, intensidad VII-VIII MM y una aceleración horizontal máxima registrada de 0.2916g en la estación de Moyobamba (U.S. Geologial Survey, 2020) ocurrido en la ciudad de Moyobamba y conocido como el terremoto de Lamas (United States Geological Survey (USGS), EE.UU, 2021), con ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos, registrado por el CISMID (Alva Hurtado & Ortiz Salas, Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú, 2019).

Terremoto de magnitud $M_w = 8.0 \pm 0.1$, conocido como el Terremoto de Pisco (US Geological Survey, 2009), coordenada epicentral 13.386°S 76.603°W, profundidad focal de 39.0 km intensidad sísmica máxima registrada de VIII-IX MM y aceleración horizontal máxima registrada de 0.8123g (U.S. Geological Survey, 2020). Ocurrido el 15 de agosto del 2007, en el departamento de Ica, conocido como el terremoto de Pisco e Ica, o terremoto de Pisco (United

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

States Geological Survey (USGS), EE.UU, 2021). Se registró daños en las cimentaciones de estructuras, desplazamientos de suelos y deslizamientos de taludes, generando daños en infraestructuras como carreteras, puentes, postes de energía, colapso por ruptura de línea de agua y alcantarillado, avería en las instalaciones portuarias, entre otros.

Figura 96 *Edificación colapsada por licuefacción de suelos en Pisco, 2007*



Fuente: Arm S., Elnashai et al., s.f. [Figura]. "Informe del MID-America Earthquake Center sobre el sismo de Pisco – Chincha, 15/08/2007". Recuperado de http://www.jorgealvahurtado.com/files/Informe%20Especial_junio07.pdf

Figura 97 *Area de viviendas colapsadas por licuefacción, Pisco 2007*



Fuente: Arm S., Elnashai et al., s.f. [Figura]. "Informe del MID-America Earthquake Center sobre el sismo de Pisco – Chincha, 15/08/2007". Recuperado de http://www.jorgealvahurtado.com/files/Informe%20Especial_junio07.pdf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Las fallas más importantes, ocasionadas por la licuación del suelo son: Falla de talud en Jahuay, Desplazamiento lateral en Canchamaná, Fallas de fundaciones superficiales en Tambo de Mora, Asentamientos en el complejo Las Lagunas y las fallas estructurales por inclinación de pilotes en el puerto General San Martín – Pisco (Alva Hurtado & Ortiz Salas, Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú, 2019).

Terremoto de intensidad máxima de VIII – IX MM y magnitud $M_w = 8.0$, del 26 de mayo del 2019, ocurrido en Loreto (US Geological Survey, 2020), coordenada epicentral 5.812°S 75.270°W, profundidad focal de 122.6 km y aceleración horizontal máxima registrada de 0.1189g en estación (U.S. Geological Survey, 2020). Producto del evento sísmico, se registró conos de arena y desplazamientos laterales con grietas a lo largo del río Huallaga (Alva Hurtado & Ortiz Salas, Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú, 2019). (United States Geological Survey - USGS, 2014)

Figura 98 *Volcán de arena registrado en el Malecón del río Huallaga, Loreto*



Fuente: Peru21, 2019 [Figura]. "VOLCANCITOS DE ARENA: ¿Qué eran las erupciones registradas en el Malecón del río Huallaga durante el sismo?". Recuperado de https://elmilenio.cl/volcancitos-de-arena-que-eran-las-erupciones-registradas-en-el-malecon-del-rio-huallaga-durante-el-sismo/

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.4.5. Resumen histórico de sismos con registro de Licuefacción de Suelos a nivel Nacional

Tabla 22 *Resumen de eventos sísmicos con registro de Licuación de Suelos a nivel nacional*

Datos Generales		Ubicación		Causa del evento sísmico
Fecha	Nombre	País	Lugar	
15/01/1958	Terremoto de Arequipa Informe de Licuación y daños severos - Agrietamientos en suelos de Camaná - Eyección de aguas negras de los agrietamientos	Perú	Región Arequipa	Terremoto intraplaca de Sudamerica Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada - Profundidad focal: 64.0 km - Epicentro: 16°37’30’’S 72°14’31.20’’O - Magnitud: 7.0 M_w - Intensidad: VII MM - Aceleración horizontal máxima estimada: 0.25g
29/06/1968	Terremoto de Moyobamba Informe de Licuación y daños severos - Agrietamientos a lo largo del río Mayo - Registro de afloraciones de arenas en forma de cono, con diámetros de 10 a 20 cm ocasionadas por suelos licuados	Perú	Región de San Martín	Terremoto intraplaca de Sudamerica Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada -Profundidad focal: 15 km -Epicentro: 5°36’36’’S 77°5’9.60’’O -Magnitud: 6.8 M_w -Intensidad: VIII MM -Aceleración horizontal máxima estimada: 0.23g
31/05/1970	Terremoto de Chimbote Terremoto de Ancash Informe de Licuación y daños severos - Desplazamientos laterales de terreno - Compactación diferencial de cimentaciones, por licuefacción de depósitos deltaicos y de playa en Chimbote - El puerto y la residencial de Casma, junto con la carretera Panamericana registraron subsidencia ocasionada por licuefacción - Terremoto que ocasionó el aluvión provocado por el desprendimiento del pico del nevado Huascarán, generando un alud que sepultó a la ciudad de Santo Domingo de Yungay - Licuación de suelos registrada en el Callao (volcanes de arena, eyección de agua y asentamientos diferenciales)	Perú	Región de Ancash y parte de La Libertad	Colisión entre placas de Nazca y Sudamericana en el Océano Pacífico Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada -Profundidad focal: 45.0 km -Epicentro: 9°10’58.80’’S 78°44’13.20’’O -Magnitud: 7.8 M_s, 7.9 M_w -Intensidad: IX MM -Aceleración horizontal máxima estimada: 0.8516g
09/12/1970	Terremoto de Tumbes Terremoto del Noroeste el Perú	Perú	Región de Tumbes	Terremoto intraplaca de Sudamerica

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Datos Generales		Ubicación		Causa del evento sísmico
Fecha	Nombre	País	Lugar	
	Informe de Licuación y daños severos - Registro de grietas de echelón en terrazas conformadas por suelos fluviales y aluviales - Efusión de arena y aguas negras a través de grietas formadas por el evento sísmico			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada -Profundidad focal: 25.0 km -Epicentro: 4°1’33.60’’S 80°32’31.20’’O -Magnitud: 7.1 M_s , 7.2 M_w -Intensidad: IX MM -Aceleración horizontal máxima estimada: 0.5926g
03/10/1974	Terremoto de Lima	Perú	Lima	Colisión entre placa de Nazca y Sudamericana
	Informe de Licuación y daños severos - Licuación local en el valle de Cañete, donde el nivel freático es muy superficial - Licuación significativa en la Cooperativa La Quebrada, en un área de 30000m2 - Licuación generalizada en Tambo de Mora, asociada a una subsidencia o hundimiento - Eyecciones de agua en la zona norte con arena a través de volcanes de arena - Asentamientos registrados en el Callao, Cañete y Ancón			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada -Profundidad focal: 13.0 km -Epicentro: 12°15’54.00’’S 77°47’42.00’’O -Magnitud: 7.5 M_s -Intensidad: VIII MM -Aceleración horizontal máxima registrada: 0.4957g
04/01/1991	Terremoto del Nororiente del Perú Terremoto de Moyobamba	Perú	Noreste de Perú	Terremoto intraplaca de Sudamerica
	Informe de Licuación y daños severos -Fisuras en colegios de 10 cm de ancho y 50 cm de profundidad - Destrucción de pisos en aulas - Eyección de volcanes de arena - Daños en carreteras y desplazamientos laterales de suelos - Desplome de casas asentadas sobre taludes - Construcciones de material noble cimentadas sobre terrenos blandos, colapsaron - Fallas en la estación de bombeo y cañerías de alcantarillado de la ciudad			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada -Profundidad focal: 20.7 km -Epicentro: 6°2’16.80’’S 77°7’48.00’’O -Magnitud: 6.5 M_s -Intensidad: VII MM -Aceleración horizontal máxima estimada: 0.25g
12/11/1996	Terremoto de Nazca	Perú	Departamentos de Ica y Arequipa	Subducción de placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana
	Informe de Licuación y daños severos - Registro de volcanes de arena - Registro de eyecciones de lodo - Registros de agrietamientos en el lecho del río Yauca - Fallas estructurales en el puente Yauca, generando interrupción de flujo vial luego del sismo			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada - Profundidad focal: 33.0 km - Epicentro: 14.993°S 75.675°W - Magnitud: 7.7 M_w, 6.4 M_s - Intensidad: VIII MM - Aceleración horizontal máxima estimada: 0.50g

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Datos Generales		Ubicación		Causa del evento sísmico
Fecha	Nombre	País	Lugar	
23/06/2001	Terremoto del Sur del Perú Terremoto de Arequipa	Perú	Arequipa y otras regiones del sur de Perú	Subducción de placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana
	Informe de Licuación y daños severos - Licuación de suelos en Arequipa. Urb. Las Magnolias en el distrito de Socabaya – Lara, Huaranguillo en el distrito de Sachaca y Semirural Pachacútec del distrito de Cerro Colorado - Registro de asentamientos en veredas, agrietamientos del suelo, desplazamiento lateral de pequeños taludes, inclinación y caída de postes - Agrietamientos de muros portantes, colapsos de muros no estructurales - Ebullideros que despidieron agua con arena del color rosa propio de la ignimbrita rosada existente en Arequipa - Colapso de muros de contención Registro de licuefacción de suelos en Yauca, Ocoña, Camaná, Tambo, Osmone, Locumba y Sama - Registro de licuación a lo largo del río Camaná, Tambo, franja costera de Mejía y Punta de Bombón - Registro de suelos licuados en las desembocaduras de los ríos Osmore, Locumba y Sama			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada - Profundidad focal: 33.0 km - Epicentro: 16.265°S 73.641°W - Magnitud: 8.2 M_w - Intensidad: VII - VIII MM - Aceleración horizontal máxima registrada: 0.60g
25/09/2005	Terremoto de Lamas Terremoto de Moyobamba	Perú	Amazonía Nororiental de Perú	Terremoto intraplaca de Sudamerica
	Informe de Licuación y daños severos - Ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos en los sectores de Shango y Azungue - En la parte baja de la ciudad de Moyobamba, se observó volcanes de arena y agrietamientos del suelo por deslizamientos - Observación de la ocurrencia de licuefacción de suelos, llevada a cabo por CISMID			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada - Profundidad focal: 115.0 km - Epicentro: 5.678°S 76.398°W - Magnitud: 7.5 M_w - Intensidad: VII – VIII MM - Aceleración horizontal máxima registrada: 0.2916g
15/08/2007	Terremoto de Pisco e Ica Terremoto de Pisco	Perú	Ica	Subdución de Placa de Nazca, por debajo de placa Sudamericana
	Informe de Licuación y daños severos - Registro de daños en cimentaciones de estructuras, desplazamiento de suelos y deslizamientos de taludes - Daños en infraestructura como carreteras, puentes, postes de energía, colapsos por ruptura de línea de agua y alcantarillado, averías en instalaciones portuarios, entre otros - Falla por licuefacción del talud en Jahuay, desplazamientos laterales en Canchamaná, fallas de fundaciones superficiales en Tambo de Mora, asentamientos en complejo Las Lagunas y fallas estructurales por inclinación de pilotes en el puerto General San Martín - Pisco			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada - Profundidad focal: 39.0 km - Epicentro: 13.386°S 76.603°W - Magnitud: 8.0 ± 0.1 M_w - Intensidad: VIII - IX MM - Aceleración horizontal máxima estimada: 0.8123g

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

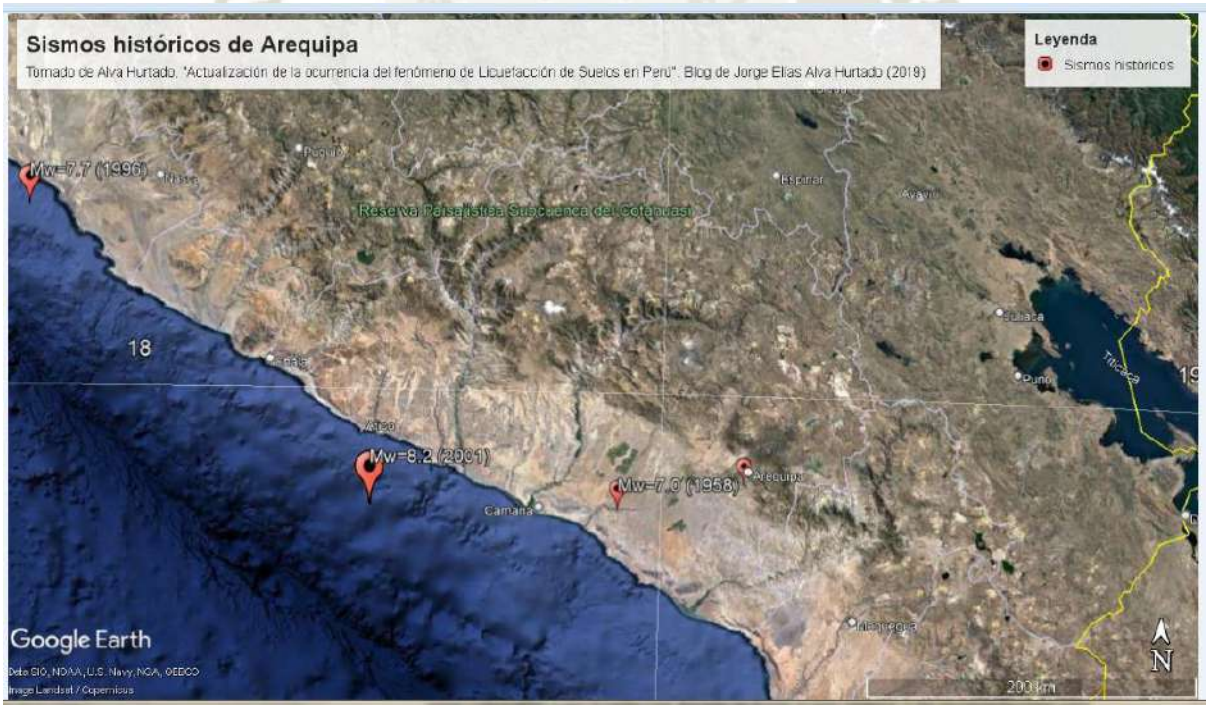
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Datos Generales		Ubicación		Causa del evento sísmico
Fecha	Nombre	País	Lugar	
26/05/2019	Terremoto de Loreto	Perú	Departamento de Loreto	Terremoto intraplaca Sudamericana
	Informe de Licuación y daños severos - Registro de conos de arena y desplazamientos laterales con grietas, a lo largo del río Huallaga (Malecón del río Huallaga) - Evidencias de licuación en El Sauce Resort (San Martín), centro poblado Tamarate, aledaños al distrito de Lagunas y en el Caserío 2 de Mayo en San Martín			Datos hipocentrales, epicentrales y aceleración máxima registrada - Profundidad focal: 122.6 km - Epicentro: 5.812°S 75.270°W - Magnitud: 8.0 M_w - Intensidad: VIII - IX MM - Aceleración horizontal máxima registrada: 0.1189g

Fuente: Información de ítem 2.4.2. Registro histórico nacional de la presente investigación. [Formato de presentación propio].

Figura 99 *Sismos históricos de mayor magnitud con ocurrencia de Licuefacción de Suelos, ocurridos en el departamento de Arequipa*



Fuente: Elaboración Propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.5. Estado de Arte

En esta sección, se describe la bibliografía existente y al alcance, de los artículos y publicaciones científicas para identificar los procedimientos comúnmente usados y recomendados para la evaluación del potencial de licuefacción de suelos. Así mismo, para definir el riesgo de licuefacción de un sector, las recomendaciones para llevar a cabo un proyecto de edificación en zonas vulnerables a una licuefacción durante un fuerte evento sísmico, y las recomendaciones para alterar la rigidez del suelo en favor a la disminución de su vulnerabilidad a la licuefacción. Por lo expuesto, se clasifica el estado del arte en: Recomendaciones Generales y Normativa nacional e Internacional sobre Licuefacción de Suelos; Antecedentes Internacionales y Antecedentes Nacionales de Investigación.

2.5.1. Normativa Nacional sobre Licuefacción de Suelos

Nombre: Normativa Técnica Peruana (NTP)

Autor: SENCICO

Contenido: El Reglamento Nacional de Edificaciones, con la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (SENCICO, 2020), establece en el Capítulo II Peligro Sísmico, la Zonificación Sísmica del Territorio Nacional, considerando un factor de zona Z interpretado como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido, como estipula la Norma. Debido a la existencia de fenómenos de licuefacción de suelos, deslizamientos, tsunamis y otros, recomienda la norma seguir los lineamientos llevados a cabo en estudios de Microzonificación Sísmica, para considerar la expansión urbana actualizada y la reconstrucción de los mismos, por fenómenos naturales como sismos, tsunamis y otros.

Por otra parte, la Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones (SENCICO, 2020), en el Artículo 5 Definiciones, establece el cálculo de los valores de CRR (esfuerzo cortante cíclico),

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CRR_M (CRR Modificado por el valor e Magnitud momento M_w) y CSR (Esfuerzo cortante promedio T_{av} que actúa en un estrato durante un sismo, FSM (Factor de corrección del CRR), La definición de licuación. Estos valores, son básicos para determinar el Potencial de Licuefacción de un estrato arenoso, como se identificó en estudios de licuefacción llevados a cabo a nivel nacional e Internacional.

Seguidamente, establece cuándo se llevará a cabo un ITS (Informe técnico de Suelos, y cuando un EMS (estudio de Mecánica de Suelos), junto con un cuadro sobre el número de exploraciones para llevar a cabo, según el tipo de edificación a ejecutar.

Para el presente estudio de Mecánica de Suelos, se llevará a cabo el Método de ensayo de penetración estándar SPT, el cual se explica de manera detallada en el documento NTP 339.133. Para la Clasificación de Suelos y determinación de sus propiedades físico mecánicas, se llevarán a cabo las normativas de las NTP 339.134 (Método para la Clasificación de suelos con propósitos de ingeniería, Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS), NTP 339.150 (Descripción e identificación de suelos. Procedimiento visual – manual), NTP 339.163 (Método de ensayo normalizado para la medición del potencial de colapso de suelos).

En el acápite 14.4, la Norma E.050 (SENCICO, 2020) establece una clasificación del tipo de muestras a considerarse un ensayo, lo cual presenta una sustancial importancia para el desarrollo de la presente investigación. La clasificación estipulada se detalla en la siguiente tabla:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 100 *Tipos de muestra*

TABLA 4				
TIPO DE MUESTRA	**NORMA APLICABLE**	**FORMAS DE OBTENER Y TRANSPORTAR**	**ESTADO DE LA MUESTRA**	**CARACTERÍSTICAS**
Muestra inalterada en bloque (Mib)	NTP 339.151 SUELOS. Prácticas normalizadas para la preservación y transporte de suelos	Bloques	Inalterada	Debe mantener inalteradas las propiedades físicas y mecánicas del suelo en su estado natural al momento del muestreo (Aplicable solamente a suelos cohesivos, rocas blandas o suelos granulares finos suficientemente cementados para permitir su obtención).
Muestra inalterada en tubo de pared delgada (Mit)	NTP 339.169 SUELOS. Muestreo geotécnico de suelos con tubo de pared delgada	Tubos de pared delgada		
Muestra alterada en bolsa de plástico (Mab)	NTP 339.151 SUELOS. Prácticas normalizadas para la preservación y transporte de suelos	Con bolsas de plástico	Alterada	Debe mantener inalterada la granulometría del suelo en su estado natural al momento del muestreo.
Muestra alterada para humedad en lata sellada (Mah)	NTP 339.151 SUELOS. Prácticas normalizadas para la preservación y transporte de suelos	En lata sellada	Alterada	Debe mantener inalterado el contenido de agua.

Fuente: Norma Técnica Peruana [Figura]. Norma E.050 Suelos y Cimentaciones. Recuperado de https://cdn-web.construccion.org

Por otra parte, la norma expone los ensayos de laboratorio los cuales se detallan en procedimiento, en los respectivos NTP. Esta información, se presenta en la siguiente tabla:

Figura 101 *Ensayos de Laboratorio*

TABLA 5 ENSAYOS DE LABORATORIO	
DESCRIPCIÓN	**NORMA APLICABLE ***
SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo	NTP 339.127
SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico	NTP 339.128
SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite Plástico e índice de plasticidad de suelos	NTP 339.129
SUELOS. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo	NTP 339.131
SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).	NTP 339.134
SUELOS. Determinación del peso volumétrico de suelo cohesivo	NTP 339.139
SUELOS. Determinación de los factores de contracción de suelos mediante el método del mercurio	NTP 339.140
SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en Laboratorio utilizando una energía modificada ** (2700 kN-m/m3(56000 pie-lbf/ pie3))	NTP 339.141
SUELOS. Descripción e identificación de suelos. Procedimiento visual - manual	NTP 339.150
SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y agua subterránea	NTP 339.152
SUELOS. Método normalizado de ensayo para propiedades de consolidación unidimensional de suelos.	NTP 339.154
SUELOS. Método de ensayo normalizado para la medición del potencial de colapso de suelos	NTP 339.163
SUELOS. Método de ensayo normalizado de compresión triaxial no consolidado no drenado para suelos cohesivos	NTP 339.164
SUELOS. Método de ensayo normalizado de compresión triaxial consolidado no drenado para suelos cohesivos	NTP 339.166
SUELOS. Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos	NTP 339.167
SUELOS. Método de ensayo para la determinación cuantitativa de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea.	NTP 339.169
SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del hinchamiento unidimensional o potencial de asentamiento de suelos cohesivos.	NTP 339.170
SUELOS. Método de ensayo normalizado para el ensayo de corte directo en suelos bajo condiciones consolidadas drenadas ***	NTP 339.171
SUELOS. Método de ensayo para la determinación cuantitativa de cloruros solubles en suelos y agua subterránea.	NTP 339.177

Fuente: Norma Técnica Peruana [Figura]. Norma E.050 Suelos y Cimentaciones. Recuperado de https://cdn-web.construccion.org

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En el artículo 15 (SENCICO, 2020), la norma estable la característica que debe contener un programa de exploración de campo y ensayos de laboratorio, lo cual es importante a considerar dentro de la presente tesis. El programa establece: Condiciones de frontera, Número n de punto de exploración, Profundidad p a alcanzar en cada punto, Distribución de los puntos en la superficie del terreno, Número y tipo de muestras a extraer y la lista de ensayos a realizar "in situ" y en laboratorio. Es necesario presentar un Programa Mínimo de exploración de Suelos (RNE, E0.50) (SENCICO, 2020). Cada uno de los anteriores puntos a considerar dentro de un programa de exploración de Suelos, está explicado en la presente Normativa, y será de conocimiento y consideración para llevar a cabo esta presente investigación.

Seguidamente, la Norma establece el contenido de un Informe del Estudio de Mecánica de Suelos presentado, el cual consta de: Memoria Descriptiva, Planos de Ubicación de las Obras y de Distribución de los Puntos de Exploración, Perfiles Estratigráficos del Suelos y los Resultados en los ensayos (ya sean "in situ", o en el laboratorio) (SENCICO, 2020).

El capítulo VI "Problemas Especiales de Cimentación" (SENCICO, 2020) constata una parte muy importante para la presente investigación. La cual viene a ser la Evaluación del Índice de Colapso (I_c) expresada por: $I_c(\%) = \frac{\Delta e}{1+e_0}$ ó $\frac{\Delta h}{h_0}$ donde; Δe es el cambio en la relación de vacíos debido al colapso bajo humedecimiento, e_0 relación de vacíos inicial, Δh cambio de altura de la muestra y h_0 altura inicial de la muestra. Así mismo, la norma establece la importancia de presentar dentro del EMS, el análisis de la plasticidad del suelo (NTP 339.129), la determinación del peso volumétrico (NTP 339.139) y el ensayo de humedad (NTP 339.127). Seguidamente, se deberá establecer el grado de colapso del suelo, según la siguiente clasificación:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 102 Clasificación del Índice de Colapso I_c

TABLA 10	
Clasificación del Índice de colapso Ic	
Grado de Colapso	Índice de colapso Ic (%)
Ninguno	0
Leve	0,1 a 2,0
Moderado	2,1 a 6,0
Moderadamente severo	6,1 a 10,0
Severo	> 10,0

Fuente: Norma Técnica Peruana [Figura]. Norma E.050 Suelos y Cimentaciones. Recuperado de https://cdn-web.construccion.org

La Norma E.050 (SENCICO, 2020)establece las recomendaciones si llegara a darse un suelo con Ic mayor a 6.

Es importante saber identificar la presencia de suelos expansivos, y las recomendaciones que plantea la E.050, si se llegara a dar el caso de la existencia de dicho suelo.

Seguidamente, la Norma, en el Artículo 38 explica el fenómeno de Licuación de Suelos, y la importancia de presentar dentro del EMS, el análisis determinístico y probabilística del potencial de licuación de la zona en estudio.

Dentro el acápite 38.4, la presente norma otorga las pautas a considerar cuando exista una ocurrencia histórica de licuación de suelos en un área de estudio. De las perforaciones SPT llevadas a cabo (NTP 339.133), se deberán llevar a cabo los siguientes ensayos:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 103 *Ensayos a realizar de las muestras obtenidas del penetrómetro usado en la perforación SPT*

TABLA 10	
Clasificación del Índice de colapso Ic	
Grado de Colapso	Índice de colapso Ic (%)
Ninguno	0
Leve	0,1 a 2,0
Moderado	2,1 a 6,0
Moderadamente severo	6,1 a 10,0
Severo	> 10,0

Fuente: Norma Técnica Peruana [Figura]. Norma E.050 Suelos y Cimentaciones. Recuperado de https://cdn-web.construccion.org

La Norma (SENCICO, 2020) estipula, que para llevar a cabo un Análisis de Potencial de Licuación, se deberá utilizar el método propuesto por Seed e Idriss (1971, 1982), actualizado por el NCEER (National Center for Earthquake Research, 1997) y por el EERC (Earthquake Engineering Research Center, 2003-2004).

Para usar una aceleración máxima en el presente análisis, la norma recomienda utilizar mapas oficiales de aceleraciones horizontales máximas superficiales del territorio nacional. Una vez llevado a cabo el cálculo de la PL (Probabilidad de Licuación), se establece la severidad del problema de licuación (SENCICO, 2020), según la clasificación de la tabla siguiente:

Figura 104 *Clasificación del Potencial de Licuación de Suelos*

TABLA 10	
Clasificación del Índice de colapso Ic	
Grado de Colapso	Índice de colapso Ic (%)
Ninguno	0
Leve	0,1 a 2,0
Moderado	2,1 a 6,0
Moderadamente severo	6,1 a 10,0

Fuente: Norma Técnica Peruana, Referencia de Iwasaki, 1984 [Figura]. Norma E.050 Suelos y Cimentaciones. Recuperado de https://cdn-web.construccion.org

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Seguidamente, aplicando la metodología determinística, es que se obtendrá el Factor de Seguridad frente a la ocurrencia de licuación (FS_L), siendo: $FS_L = \frac{CRR_M}{CSR}$ donde; CRR_M esfuerzo cortante cíclico normalizado resistente mínimo que produce licuación y CSR el esfuerzo cortante cíclico normalizado inducido por el sismo. Finalmente, se determina los FS_L con respecto al valor mínimo recomendado para un tipo de obra y su importancia, según su Norma predecesora E.030 (SENCICO, 2020).

Finalmente, la norma establece los criterios de cimentación sobre suelos licuables, y las recomendaciones para mejorar las condiciones de suelo licuable, para lograr que el PL (Potencial de Licuación) sea menor a 10%. Adicionalmente, se comparte en la norma las Curvas simplificadas para el cálculo del CRR a partir del SPT $(N_1)_{60}$ (Ref. NCEER 1997), las curvas simplificadas para el cálculo del CRR a partir del CPT (q_{c1n}) (Ref. NCEER 1997) y la curva simplificada para el cálculo del CRR a partir de velocidades de ondas de corte (V_{s1}) (Ref. NCEER 1997) (SENCICO, 2020).

Figura 105 *Categoría de la Edificación según Norma E.030 y* FL_s

TABLA 13A	
CATEGORIA DE LAS EDIFICACIONES (E.030)	FSL mínimo
A	1.25
B	1.15
C	1.00

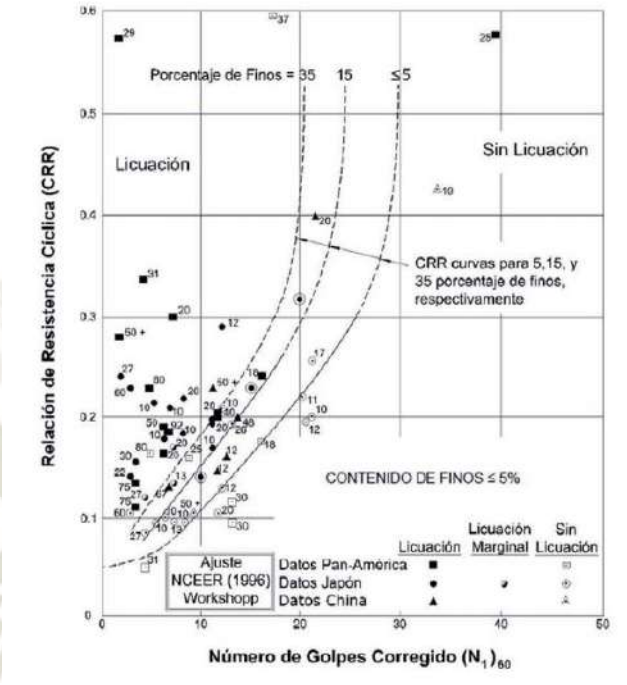
Fuente: Norma Técnica Peruana [Figura]. Norma E.050 Suelos y Cimentaciones. Recuperado de https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E050_RM-406-2018-VIVIENDA.pdf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

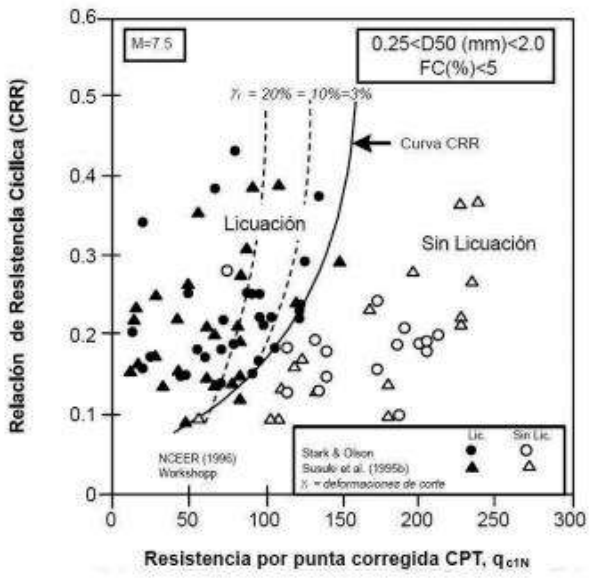
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 106 *Curvas simplificadas para el cálculo del CRR a partir del SPT* $(N_1)_{60}$



Fuente: Norma Técnica Peruana, referencia NCEER, 1997 [Figura]. Norma E.050 Suelos y Cimentaciones. Recuperado de https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E050_RM-406-2018-VIVIENDA.pdf

Figura 107 *Curvas simplificadas para el cálculo del CRR a partir del CPT* (q_{c1N})



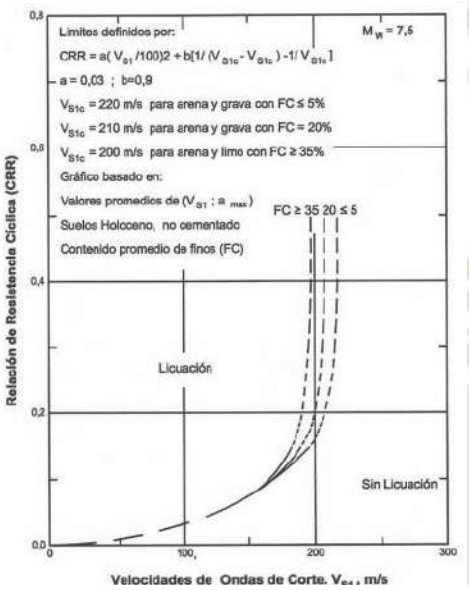
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Fuente: Norma Técnica Peruana, referencia NCEER, 1997 [Figura]. Norma E.050 Suelos y Cimentaciones. Recuperado de https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E050_RM-406-2018-VIVIENDA.pdf

Figura 108 *Curvas simplificadas para el cálculo del CRR a partir de Velocidades de ondas de corte* (V_{s1})



Fuente: Norma Técnica Peruana, referencia NCEER, 1997 [Figura]. Norma E.050 Suelos y Cimentaciones. Recuperado de https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E050_RM-406-2018-VIVIENDA.pdf

Conclusiones: La Norma Técnica Peruana (NTP) E.030 Diseño Sismorresistente, estipula identificar el nivel de peligro sísmico para el proyecto a llevar a cabo, conocido como factor Z, el cual considera una aceleración máxima horizontal incluída dentro de la citada norma. Así mismo, recomienda considerar estudios de Microzonificación Sísmica llevados a cabo dentro del área en estudio para un proyecto.

Por otra parte, la NTP E.050 Suelos y Cimentaciones, desarrolla de manera ordenada el procedimiento para llevar a cabo un estudio de Licuefacción de Suelos. En la citada norma, se comienza definiendo el fenómeno de licuefacción de suelos, y diversas variables que ayudan a su

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

determinación, como: CRR, CRR_M, M_w, CSR y FSM. Seguidamente, determina las diferencias para considerar cuando hacer un ITS o un EMS, según sea el caso y el número de puntos de exploración a llevar a cabo según el tipo de proyecto a realizar. Como ha sido de conocimiento en normas anteriormente citadas en este estudio del arte, para llevar a cabo un estudio SPT, la norma indica llevar a cabo una serie de ensayos para clasificar el suelo y determinar sus propiedades físicas mecánicas, que son: NTP 339.133, NTP 339.134, NTP 339.150 y NTP 339.163.

Seguidamente, la norma indica el tipo de muestra a considerar y su nomenclatura a tomar en cuenta para su clasificación. Esta información se detalla dentro del Programa de Exploración de Campo y Ensayo de Laboratorio que se presenta para llevar a cabo un EMS. Así mismo, dentro del programa en mención, la norma citada recomienda la presentación de un Informe de Estudio de Mecánica de Suelos (el contenido de este Informe se encuentra desarrollado de manera concisa en la mencionada norma E.050).

Posteriormente, como un problema Especial de Cimentación, la norma establece el Índice de Colapso (I_c), el cual deberá ser determinado y presentado en el EMS (la clasificación se encuentra citada en la Tabla 3, dentro del contenido de la presente norma a considerar en el estado del arte). Luego, se deberá identificar si existe presencia o no de suelos expansivos, para llevar a cabo su análisis dentro del EMS.

Continúa la norma con el análisis de licuación de suelos, citando los ensayos que deberán llevarse a cabo de las muestras obtenidas del ensayo SPT. Para llevar a cabo este análisis, se deberá considerar el método propuesto por Seed e Idriss (1971, 1982) actualizado por el NCEER (1997) y EERC (2003, 2004) recomienda la norma. Con respecto a la aceleración máxima horizontal del suelo, la norma recomienda usar mapas oficiales de aceleraciones horizontales máximas superficiales del territorio nacional. Una vez considerado todos los alcances anteriores, se deberá

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

clasificar el potencial de licuación según la Tabla 5 mencionada líneas arriba del presente análisis de la norma, como parte de la metodología probabilística.

Dentro de la metodología determinística, la norma considera calcular un FS_L y comparar el resultado acorde a una categoría de Edificación, estipulada en la Norma E.030.

Nombre: Manual de Carreteras, Suelos. Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos, 2014.

Autor: SENCICO.

Contenido: En el presente Manual (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Manuales, Abril 2014), se recomienda llevar a cabo el ensayo SPT de acuerdo a la metodología expuesta en las normas internacionales ASTM o AASHTO, o en el Manual de Ensayos de Materiales del MTC vigente. Así mismo, se establece los signos convencionales para el perfil de calicatas, según clasificación AASHTO o SUCS.

Así también, estipula pautas para el mejoramiento de suelos blandos, mediante cal cemento, capas de arena, productos químicos, entre otras metodologías de estabilización de suelos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Manuales, Abril 2014).

Conclusiones: El presente Manual recomienda llevar a cabo los estudios y exploración de suelo, en base al ensayo SPT. Y estipula recomendaciones para el mejoramiento de suelos cuando se encuentren en circunstancias significativamente desfavorables para la ejecución de un proyecto civil.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Nombre: Manual de Puentes, diciembre del 2018.

Autor: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO).

Contenido: El presente Manual, publicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Manuales, Diciembre 2018), establece todos los criterios y conceptos que se deberán desarrollar para la construcción. Con respecto a nuestro ámbito en estudio, establece la importancia de llevar a cabo una exploración geotécnica del suelo, con base en la cantidad de ensayos realizados, las normas aplicadas para los ensayos llevados a cabo, los resultados por estrato de suelo, la clasificación y descripción de las propiedades físico mecánicas del suelo y la ubicación del nivel freático. Así también, establece la importancia de determinar los siguientes parámetros, según el tipo de suelo encontrado: Peso volumétrico, resistencia al Corte, Compresibilidad, potencial de expansión o de colapso y potencial de licuación.

Es de menester citar las indicaciones propuestas en el acápite 2.4.3.11.2 sobre el Peligro sísmico para una estructura como un puente. En esta parte del presente Manual (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Manuales, Diciembre 2018) se establecen todas las indicaciones para determinar la Clase y Efecto de sitio para distintos tipos de espectros de aceleración sísmica. Lo cual es importante para calcular el coeficiente de aceleración pico del suelo (PGA).

Conclusiones: El Manual de Puentes publicado en diciembre de 2018, dentro de la normativa vigente del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, establece todo el contenido que deberá considerarse dentro de una exploración geotécnica del suelo. Así mismo, las consideraciones para tomar en cuenta sobre el peligro sísmico en una estructura tipo puente.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.5.2. Normativa Internacional y pautas para el estudio de Licuefacción de Suelos

Nombre: Settle3D Liquefaction Theory Manual.

Autor: Rocscience Inc., Settle3D.

Contenido: El presente manual presenta diversos métodos internacionales de cálculos asociados a los factores de seguridad en licuefacción de suelos. Así mismo, considera procedimiento de cálculo de desplazamientos laterales de suelos y asentamientos verticales provocados por licuefacción. El manual establece el procedimiento de cálculo cuando se considere ensayos de penetración estándar (SPT), ensayos de penetración de cono (CPT) y velocidad de onda de corte del suelo (VST). En esta investigación, se considera el procedimiento aplicado con ensayos SPT. Así también, establece el cálculo del FS asociado a la licuefacción, según el modelo de Seed & Idriss (1971), modificado por Robertson & White (1997) e Idriss (2001) el cual depende de los siguientes factores:

CSR: El esfuerzo tangencial cíclico es calculado con la propuesta de Seed & Idriss (1971).

rd (Factor de reducción de esfuerzo): Calculado según los modelos propuestos por NCEER (1997), Idriss (1999), Kayen (1992), Cetin et al. (2004) y Liao and Whitman (1986b).

MSF: El factor de Magnitud de escala, calculado por las metodología de: Tokimatsu & Seed (1987), Idriss (1999), Idriss & Boulanger (2014), Andrus & Stokoe (1997), Youd & Noble (1997), Cetin (2004) e Idriss (NCEER, 1997).

El software, considera aplicar las metodologías pre definidas con sus factores, según los autores: Youd et al (2001), Idriss & Boulanger (2008), Cetin et al. – Determinístico (2004) y Cetin et al. – Probabilístico (2004).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Sin embargo, si se llevara a cabo la metodología con enfoque conservador, optimista o pesimista se deberá considerar los factores Cn, Cr, Cs, Cb y Ce.

C_N: El factor de corrección por sobrecarga puede estimarse según formulaciones de Liao & Whitman (1986a), Bazaraa (1967), Idriss & Boulanger (2004), Peck (1974) o Kayen et al. (1992).

C_E: El factor de eficiencia energética del martillo del ensayo SPT, considera los valores definidos por Skempton (1986) o valores admisibles para el tipo de martillo a usarse (ver tabla 12 del mencionado perfil, marco teórico).

C_B: Factor de corrección del diámetro de la perforación, considera los parámetros de Skempton (1986).

C_R: Factor de corrección de longitud de varilla, consiera los postulados por Youd et al. (2001) e Cetin et al. (2004).

C_S: El factor de corrección de la muestra, considera los postulados por Cetin et al. (2004).

Seguidamente, el cálculo del factor de esfuerzo cíclico (CRR), se puede llevar a cabo por diversos métodos propuestos por: Seed et al. (1984), NCEER (1997), Idriss & Boulanger (2004), Cetin et al. (2004) Determinístico, Japanese Brodge Code (JRA 1990), Cetin et al. (2004) Probabilístico, Liao et al. (1988) Probabilístico y Youd & Noble (2001) Probabilístico.

Para la densidad relativa (D_R), el software plantea los siguientes postulados: Skempton (1986), Ishihara (1979), Tatsuoka et al. (1980), Idriss & Boulanger (2003) e Ishihara, Yasuda & Yokota (1981).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La corrección por contenido de finos $(N_1)_{60_{CS}}$, se puede llevar a cabo considerando los modelos de: Idriss & Boulanger (2008), Youd et al. (2001) y Cetin et al. (2004)

El factor de corrección por sobrecarga (K_σ), el cual corrige el factor CRR, considera los postulados de: Hynes & Olsen (1999) (NCEER), Idriss & Boulanger (2008) y Cetin et al. (2004).

Finalmente, el factor de corrección del esfuerzo cortante (K_α), considera admisible el software, la propuesta de Idriss & Boulanger (2003).

Con respecto a los cálculos basados en la velocidad de onda de corte (V_s), determinante para la activación del proceso de licuefacción, el software emplea los criterios formulados por: Andrus (2004), NCEER (1997) y Juang et al. (2001) Probabilístico.

Complementariamente, el software realiza el cálculo de desplazamientos laterales del suelo post- licuefacción (LDI), considerando los métodos:

Perfil de Suelo (LD): Considera el modelo de Zhang et al. (2004)

Métodos basados en la deformación cortante máxima cuando se utiliza el ensayo SPT ($SPT_{\gamma_{max}}$): Zhang, Robertson & Brachman (2004); Tokimatsu & Yoshimi (1983), Shamato et al. (1998), Wu et al. (1993) y Cetin et al. (2009).

Métodos basados en la velocidad de onda de corte ($VST_{\gamma_{max}}$): Esta metodología considera los factores de F_α propuesto por Yoshimine et al. (2006) y γ_{lim}, propuesto por Idriss & Boulanger (2008). Estos factores se adaptaron al factor de velocidad de onda de corte propuesta por Yi (2010).

Por último, el software analiza el asentamiento posterior a la licuefacción (ϵ_v) si se considera la aplicación de ensayo SPT, CPT y VST. Para nuestro caso de estudio, se considerará las metodologías propuestas para la realización de ensayos SPT, y con enfoque a VST.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Métodos propuestos para SPT_{ϵ_v}: Cotempla las metodología propuestas por: Ishihara & Yoshimine (1992), Tokimatsu & Seed (1984), Shamato (1984), Wu et al. (2003) y el propuesto por Cetin et al. (2009).

Método considerando velocidad de onda de corte (V_s): Considera el método de Yi (2010) el cual adapta la metodología de Ishihara & Yoshimine (1992) para la variable V_s.

Conclusión: Debido a la amplia información teórica sobre el cálculo del potencial de licuefacción, a partir del modelo propuesto por Seed & Idriss (1971), el cálculo de desplazamientos laterales del suelo posterior al fenómeno de licuefacción ($LDI_{\gamma_{max}}$). Así mismo, de los asentamientos post-licuefacción (ϵ_v), y por la relevante importancia del uso de software de la marca Rocscience Inc. En diversos proyectos mineros a nivel mundial, se considera válido los criterios formulados dentro del cálculo propuesto usando el software Settle3D.

Nombre: Manual de Zonificación para riesgos sísmicos y geotécnicos (Versión Revisada).

Autor: Comité Técnico de Ingeniería Sísmica y Geotécnica, TC4, ISSMGE.

Contenido: El presente manual formaliza un enfoque estándar para la identificación de riesgos geotécnicos relacionados con deslizamientos de tierra, corrientes de lodo, licuefacción y fallas de diversos tipos en el suelo. Además por el llamado de emergencia de muchas ciudades emergentes que se encuentran asentadas en zonas con un alto nivel de riesgo geotécnico en caso de futuros eventos sísmicos. Por lo cual, en base a la presentación de mapas en donde se muestra el nivel de riesgo potencial de diversos sitios, se pretende mitigar riesgos sísmicos y geotécnicos. El manual menciona la importancia de la planificación del uso del suelo, a través de mapas que detalla los riesgos geológicos existentes en una zona de estudio, para limitar el uso del suelo. Por otra parte, tomar medidas mitigadores para la seguridad sísmica de estructuras e instalaciones,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

como primera medida frente a los peligros geotécnicos, para reducir el nivel de riesgo en futuros eventos sísmicos.

El manual menciona la importancia en países como Japón y China, para identificar las zonas potencialmente licuables antes de comenzar con alguna actividad de construcción. Y esto, se encuentra establecido en el código de diseño de estos países. Sin embargo, en países americanos como Canadá y Estados Unidos, se deja a juicio el identificar, mediante un mapa de zonificación, los peligros geotécnicos y sísmicos de un área en estudio.

Por lo expuesto, el manual plantea ser un importante apoyo para el desarrollo de la mitigación de peligros sísmicos.

Conclusiones: El manual es completo, y plantea enfoques para evaluar tres tipos de fenómenos geotécnicos: Respuesta local frente al terremoto, inestabilidad de taludes y licuefacción. Para este caso en estudio, se destaca lo descrito para cada grado de zonificación de suelos potencialmente licuables.

2.6. Antecedentes de la Investigación

2.6.1. Antecedentes Internacionales de estudios en Licuefacción de Suelos

Nombre: Determinación del Potencial de Colapso.

Autor: Universidad Católica de Valparaíso - Chile, Escuela de Ingeniería en Construcción, Laboratorio de Mecánica de Suelos.

Contenido: El informe (Escuela de Ingenierìa en Construcción, 1984) detalla procedimientos para determinar o evaluar la susceptibilidad al colapso de una muestra de suelo, considerando muestras inalteradas como muestras alteradas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Para muestras inalteradas, el informe determina necesariamente el uso de un consolidómetro o célula de consolidación. Seguidamente, se detalla el procedimiento a usar y el cálculo junto con las gráficas que se realizan al utilizar esta metodología para muestras inalteradas.

Para muestras alteradas, recomienda utilizar como célula de consolidación, el edómetro Rowe. De la misma manera que la metodología para muestras inalteradas, se detalla el procedimiento para este caso en mención.

Seguidamente, se aplica la escala de estimación del peligro de colapso (Jennings y Knight, 1975) en función al potencial calculado.

Figura 109 *Tabla de riesgo de colapso de un suelo de acuerdo a su potencial*

Potencial de colapso (CP) (%)	Riesgo de colapso
0 - 1	No hay problemas
1 - 5	Problemas moderados
5 - 10	Problemas
10 - 20	Problemas graves
> 20	Problemas muy graves

Fuente: Aravena R., Kramer p., 1984 [Figura]. Determinación del potencial de colapso de suelos. Recuperado de https://docplayer.es/21641248-4-2-determinacion-del-potencial-de-colapso.html

Finalmente, el informe explica la metodología in situ para determinar la susceptibilidad al colapso de suelos, con ayuda de un equipo placa de carga.

Conclusiones: El informe recomienda llevar a cabo la evaluación de colapsabilidad de suelos in situ, con apoyo de la placa de carga mencionada líneas arriba. Sin embargo, el procedimiento es costoso. Por lo expuesto, si llegara a detectarse durante la exploración de suelos, como parte del EMS, suelos limosos, arenas o gravas redondeadas, se elaborará el estudio de colapsabilidad de suelos, considerando la metodología que se encuentra más al alcance para la ejecución de este proyecto de investigación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Nombre: Susceptibilidad a la Licuefacción por medio del Sondeo de Penetración Estándar: Las Lisas, Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala.

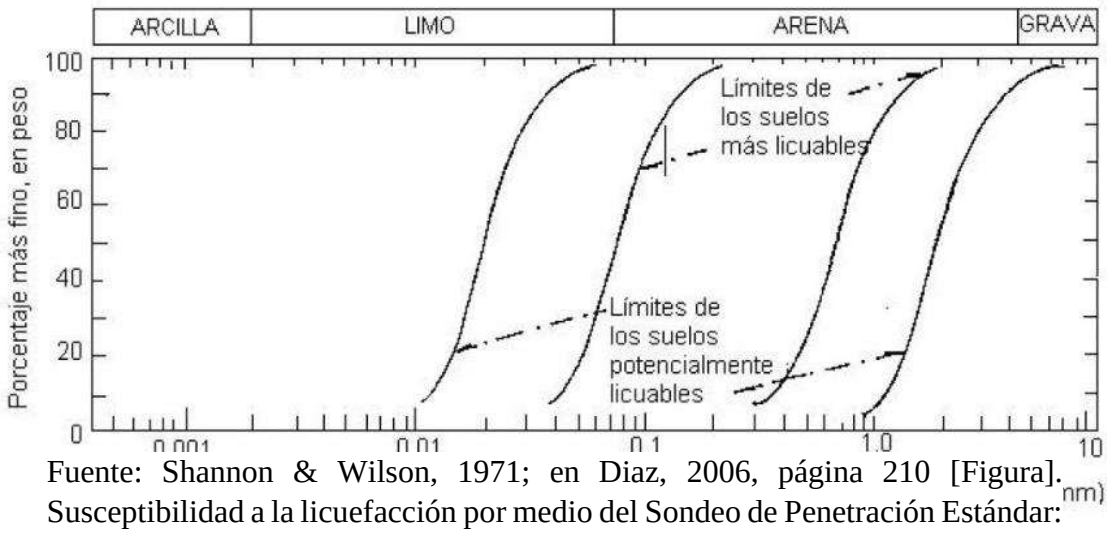
Autor: M.Sc. Ing. Erick José Rodas Aldana.

Contenido: En la presente investigación, se determinó el potencial de licuefacción en la comunidad Las Lisas, por medio del ensayo de penetración estándar (SPT), aplicando el método simplificado desarrollado por Seed e Idriss (1971) (Aldana, 2011).

El sector Las Lisas, se encuentra en la costa, al sur de la capital Guatemalteca, en donde da lugar el proceso de subducción de la Placa de Cocos, cercana a la Placa del Caribe. Para este caso en estudio, se aplicó el ensayo SPT, siguiendo las normas ASTM 1586-64T, ensayos de clasificación de suelos por granulometría y límites de Atterberg.

En la mencionada tesis, se menciona las envolventes de curva propuesto por Shannon y Wilson (1971) para suelos licuados.

Figura 110 *Granulometría de suelos licuados*



Fuente: Shannon & Wilson, 1971; en Diaz, 2006, página 210 [Figura]. Susceptibilidad a la licuefacción por medio del Sondeo de Penetración Estándar: Las Lisas, Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala. Recuperado de http://www.repositorio.usac.edu.gt/2768/1/Erick%20Jos%C3%A9%20Rodas%20Aldana.pdf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Para determinar el suelo licuable, se consideró los criterios propuestos por Kramer y Stewart (2004) que considera: Criterios históricos, geológicos, estado del suelo y composición del suelo.

Para considerar el tipo de ensayo para determinar CRR en campo, se consideró el siguiente cuadro:

Figura 111 *Comparación de los ensayos en campo para evaluar CRR*

Características	Ensayo			
	SPT	CPT	Vs	BPT
Número de mediciones en casos de licuefacción	Abundante	Abundante	Limitado	Escaso
Tipo de comportamiento tensión- deformación inducido por el ensayo	Parcialmente drenado, grandes deformaciones	Drenado, grandes deformaciones	Pequeñas deformaciones	Parcialmente drenado, grandes deformaciones
Control de calidad y repetitividad	Bueno	Muy Bueno	Bueno	Bueno
Detección de variabilidad en los depósitos de suelos	Bueno	Muy Bueno	Mala	Mala
Tipo de suelos en los cuales el ensayo se recomienda	No en gravas	No en gravas	Todos	Gravas
El ensayo permite obtener muestras de suelo	Sí	No	No	No
Propiedades medidas por el ensayo	Índices	Índices	Mediciones	Índices

Fuente: Youd T. & Idriss, 1997 [Figura]. Susceptibilidad a la licuefacción por medio del Sondeo de Penetración Estándar: Las Lisas, Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala. Recuperado de http://www.repositorio.usac.edu.gt/2768/1/Erick%20Jos%C3%A9%20Rodas%20Aldana.pdf

La presente tesis utilizó la fórmula para la calcular CRR, propuesta por Kramer & Stewart (2004), y considera la corrección del valor N, para considerar $(N_1)_{60_{CS}}$, mediante la fórmula de Skempton (1986). El factor C_N considerado fue el propuesto por Liao & Whitman (1986). Los demás factores fueron considerados según lo estipulado por Youd (1997).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 112 Factores de corrección para los valores de N del SPT

Factor	Variable	Símbolo	Corrección
Presión de sobrecarga		C_N	$(P_a/\sigma'_{v0})^{0.5}$ $C_N \leq 2$
Relación de energía	Martillo cilíndrico	C_E	0,5 - 1,0
	Martillo de seguridad		0,7 - 1,2
	Martillo automático cilíndrico		0,8 - 1,3
Diámetro de la perforación	65 - 115 mm	C_B	1,00
	150 mm		1,05
	200 mm		1,15
Longitud de varilla	3 - 4 m	C_R	0,75
	4 - 6 m		0,85
	6 - 10 m		0,95
	10 - 30 m		1,00
	> 30 m		< 1,00
Tipo de muestreador	Cuchara estándar	C_S	1,0
	Cuchara sin liners		1,1 - 1,3

Fuente: Youd, 1997 [Figura]. Susceptibilidad a la licuefacción por medio del Sondeo de Penetración Estándar: Las Lisas, Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala. Recuperado de http://www.repositorio.usac.edu.gt/2768/1/Erick%20Jos%C3%A9%20Rodas%20Aldana.pdf

Para corregir la escala e magnitud de CRR diferente de 7.5 grados, se aplicó el factor de escala de Magnitud MSF propuesto por Kramer & Stewart (2004). Así mismo, considera el factor por sobrecargas altas K_σ y el factor por condición de terreno en pendiente K_α. Ambos propuestos por Youd (1997).

El factor de seguridad FS, utiliza el modelo de Green (2001), modificado por relaciones cíclicas (Day, 2002) y para un CRR corregido (Idriss, 2001). El autor menciona la siguiente guía de factores de seguridad mínimos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 113 *Factor de seguridad recomendado para evaluar la susceptibilidad a la licuefacción*

Consecuencia de la licuefacción	(N1)60	FS
Asentamientos	≤ 15	1.10
	≥ 30	1.00
Manifestación superficial	≤ 15	1.20
	≥ 30	1.00
Deslizamiento lateral	≤ 15	1.30
	≥ 30	1.00

Fuente: State Minning and Geology Board, 1997 [Figura]. Susceptibilidad a la licuefacción por medio del Sondeo de Penetración Estándar: Las Lisas, Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala. Recuperado de http://www.repositorio.usac.edu.gt/2768/1/Erick%20Jos%C3%A9%20Rodas%20Aldana.pdf

Seguidamente, se definen técnicas para la estabilización para arenas susceptibles a la licuefacción, los cuales considera: Cimentaciones profundas, técnicas de densificación del suelo, técnicas de drenaje y modificación del grado de saturación.

La magnitud de un sismo o magnitud local (M_L) se determinó considerando la magnitud de Richter (USGS, 2003). La magnitud de ondas superficiales de Rayleigh M_S (USGC, 2003) y la magnitud de ondas internas m_b mediante la ecuación de Gutenberg y Richter en 1956 (USGS, 2003), la magnitud momento M_W mediante la ecuación de Hanks y Kanamori (USGS, 2003).

Por otra parte, la energía sísmica se obtuvo por la ecuación de Gutenberg & Ritcher en 1958 (Diaz, 2006).

Posteriormente, se definen los terremotos con mayor magnitud desde los años 1900 hasta 2011. Seguidamente, se identifican aquellos sismos con mayor tasa de destrucción para la ciudad de Guatemala.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Posteriormente, se realiza un análisis de la dinámica de suelos, en el cual se enfatiza las ondas longitudinales u ondas P, las ondas transversales u ondas S y las ondas Rayleigh. Seguidamente, se analiza las velocidades de las ondas y su relación entre estas mismas, mediante los postulados de Troncoso (1992). Lo resaltante es la lista de velocidades de ondas P, para distintos medios en suelos.

Figura 114 *Velocidades de ondas P*

Medio	Vp (m/s)
Material superficial meteorizado	305 a 610
Gravas, arenas (secas)	468 a 915
Arena (húmeda)	610 a 1830
Arcilla	915 a 2750
Agua	1430 a 1680
Agua de mar	1460 a 1530
Arenisca	1830 a 3970
Shale (roca arcillosa que se parte en laminas)	2750 a 4270
Tiza (Chalk-arcillas)	1830 a 2970
Caliza (Limestone)	2140 a 6100
Sal	4270 a 5190
Granito	4580 a 5800
Rocas metamórficas	3050 a 7020

Fuente: Rosales, 2001 [Figura]. Susceptibilidad a la licuefacción por medio del Sondeo de Penetración Estándar: Las Lisas, Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala. Recuperado de http://www.repositorio.usac.edu.gt/2768/1/Erick%20Jos%C3%A9%20Rodas%20Aldana.pdf

Las propiedades dinámicas consideradas en el estudio, son las postuladas por Díaz (2006) en la mencionada tesis, los cuales son: Módulo dinámico equivalente de Young (E), Módulo dinámico al esfuerzo cortante (G), Módulo dinámico de deformación volumétrica (K), Relación de Poisson (μ), Amortiguamiento (ξ), Propiedades esfuerzo deformación, Parámetros de licuefacción y Resistencia al esfuerzo cortante en función de la velocidad de aplicación de la carga (FVC). En la presente tesis, se aplicó los criterios para la evaluación de la relación de resistencia cíclica basados en el ensayo SPT.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Dentro del cuerpo del trabajo en análisis, se consideró la localización y características del área en estudio, geología regional, geología local, sismicidad en el área en estudio (a través de la microzonificación sísmica del área), la aceleración de diseño para el área en estudio, aceleración de diseño de servicio (en función a periodos Ta y Tb).

Dentro del plan de exploración geotécnica, se identificaron los ensayos de laboratorio, el nivel freático, se asume el tipo de estructura (su peso y área de aplicación de carga) y se procedió al cálculo del potencial de licuación a las profundidades de 3.00m, 4.50m y 7.50m. Primero se calculó CSR de acuerdo a la formulación de Seed y otros (1971) y Day (2002). Seguidamente la relación de resistencia cíclica CRR (Seed y otros, 1971) y Day (2002), se corrigió el número de golpes N por (N1)60 propuesto por Skempton (1986) y Youd (1997). Seguidamente se calcula el FS y se determina si ocurre o no licuefacción en base al resultado. Este procedimiento se aplicó a profundidad de 4.50m y 7.50m Finalmente, se calculó la capacidad portante del suelo en función a la profundidad, propuesta por Braja (2006) y se determina la forma en que varía la capacidad de carga admisible, en función a la profundidad y el número de golpes, y se presenta finalmente el cuadro resumen del cálculo de la licuefacción.

Figura 115 *Resumen del cálculo de la licuefacción de suelos*

Profundidad (m)	σ_{v0} (t/m2)	u (t/m2)	σ'_{v0} (t/m2)	$\Delta\sigma v$ (t/m2)	r_d	CSR	N_{60}	$(N_1)_{60}$	CRR	FS	$q_{neta(adm)}$ (t/m2)
3.00	5.84	2.80	1.00	0.71	0.9796	0.975	3.02	5.13	0.414	0.43	9.92
4.50	8.16	4.30	3.86	0.47	0.9693	0.5022	4.78	6.90	0.5468	1.083	13.34
7.50	13.62	7.30	6.30	0.25	0.91	0.501	11.47	13.8	1.079	2.15	26.68

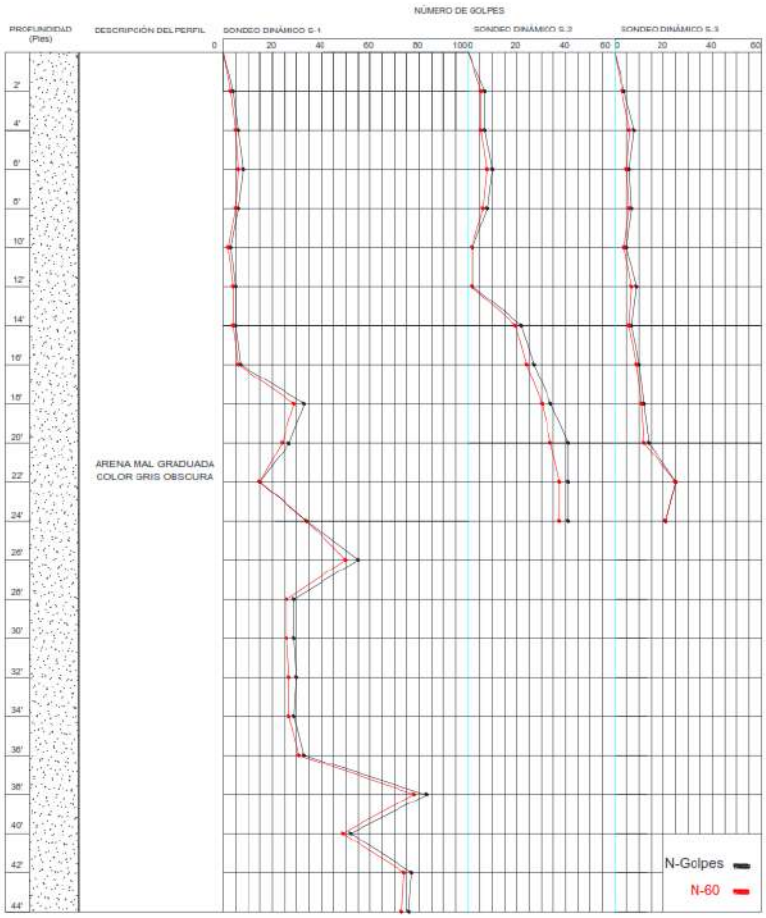
Fuente: Rodas A., Erick José, 2011 [Figura]. Susceptibilidad a la licuefacción por medio del Sondeo de Penetración Estándar: Las Lisas, Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala. Recuperado de http://www.repositorio.usac.edu.gt/2768/1/Erick%20Jos%C3%A9%20Rodas%20Aldana.pdf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 116 *Golpe de los sondeos del SPT*



Fuente: Rodas A., Erick José, 2011 [Figura]. Susceptibilidad a la licuefacción por medio del Sondeo de Penetración Estándar: Las Lisas, Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala. Recuperado de http://www.repositorio.usac.edu.gt/2768/1/Erick%20Jos%C3%A9%20Rodas%20Aldana.pdf

Conclusiones: En la presente tesis, se identificó las consideraciones previas para llevar a cabo el análisis de licuefacción, como es el tipo de estructura, su peso y la carga de aplicación para determinar la capacidad portante admisible del suelo, y comparar este resultado, con la resistencia del suelo y su potencialidad a licuarse. Así mismo, se evidencia un detallado estudio de la dinámica de suelos y la determinación de sus parámetros mediante metodologías en laboratorio y en campo, recomendando el autor a llevar a cabo las mediciones en campo, o determinarlos mediante la aplicación del ensayo SPT.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Nombre: Determinación del potencial de licuación con el método de microtremores.

Autor: Vanessa Mussio, Efrain Ovando, Miguel Rodríguez y Jesús Chang.

Contenido: El presente artículo (Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 2012) publicado por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica A. C. en la XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, estipula que el ensayo más comúnmente usado para medir la licuación en suelos, es el SPT. Sin embargo, en los últimos años ha surgido un gran interés por la utilización de microtremores para determinar ciertas propiedades del suelo. Por lo cual, se llevó a cabo un estudio del fenómeno de licuación de arenas en el Valle de Mexicalli, mediante una metodología para caracterizar el suelo en base a los perfiles de velocidad de ondas de corte (V_S), obtenido a partir del análisis espectral del ruido sísmico ambiental o microtremores.

Para este caso de estudio, se ha encontrado registros históricos de licuación de suelos, y se plantea nuevos criterios novedosos para determinar el potencial de licuación frente a la ocurrencia de sismo. Se consideró un sismo de magnitud Mw 7.2 (sismo del 4 de abril de 2010 en la colonia Solidaridad Nacional, municipio de Mexicali). Se llevó a cabo seis sondeos de penetración estándar luego del evento sísmico, logrando estimar un subsuelo somero de 10m conformado por arenas de grano fino y arcillas saturadas.

Para determinar la resistencia a la licuefacción, se consideró la expresión de Seed & Idriss (1971) para calcular la relación de esfuerzos cíclicos CSR. Por otro lado, para calcular la relación de resistencia cíclica CRR, se definen dos metodologías: El primero en resultados de pruebas de laboratorio y el segundo en pruebas de campo. Dentro de los métodos de campo, resaltan los del SPT, CPT, penetrómetro de Becker (BPT), dilatómetro de Marchetti (DMT) y métodos donde el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

potencial de licuación se relaciona con la velocidad de ondas de corte (V_S). Seguidamente, se definen los microtremores como vibraciones de origen natural o artificial. Las naturales mencionan el autor, originadas por olas oceánicas, tormentas, vientos, presión atmosférica, lluvias, geyseres, actividad volcánica, etc. Las artificiales son generadas por la actividad humana, como el tráfico vehicular, paso de peatones, maquinaria industrial, explosiones, etc.

Para el interés geofísico, los microtremores considerados son aquellos con frecuencias entre 0.1 a 10 Hz, ya que en este rango se desarrollan las ondas Rayleigh, pudiendo identificar sus modos y velocidades de propagación, lo cual permite identificar aquellos parámetros elásticos de la corteza terrestre hasta profundidades de 20 km (Flores-Estrella, 2004).

A partir de esta vibración o ruido ambiental, se modela la estructura de la velocidad de ondas de corte (V_S)., considerando que: Los equipos con disposición al registro de refracción de ondas P someras, son capaces de registrar ondas bajas con frecuencias de 2 Hz. Y por otro lado, la transformada en dos dimensiones, lentitud (recíproco a la velocidad de fase) y frecuencia (p-f), logrando de un registro de micotremores, separar la llegada de ondas Reyleigh, de las otras ondas sísmicas, lo cual permite conocer su velocidad de fase y no su velocidad aparente (Pullammannappalloll et al., 2003). Otros métodos de análisis de microtremores, son el método H/V de Nakamura (1989), el método SPAC de auto-correlación espacial propuesto por Aki (1957) y el método espectral F-K propuesto por Capon (1969) que requiere de mayor número de equipos, menciona el autor.

Para el estudio, se llevaron a cabo treinta tendidos sísmicos (conocido como prueba de refracción sísmica TRS), conformando nueve líneas que atraviesan el área en estudio. La disposición de estos tendidos se llevó a cabo considerando una dirección transversal a las fracturas del suelo provocadas por el sismo. Los ensayos SPT cubrieron una profundidad de hasta 11.4m

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

como apoyo a la interpretación geofísica. Los equipos usados en este estudio fueron un sismógrafo multicanal DAQ LINK II de Seismic Source de 24 canales, geófonos de 2.5 Hz, siendo la separación de estos geófonos, de 1.5m en una extensión de arreglo de 34.5 metros y 2m de separación, con una extensión máxima de 46m.

Se llevó a cabo 10 a 30 ventanas para el procesado de datos con los registros del ruido sísmico ambiental, con duración de 30 segundos y muestreo de 2 milisegundos para la construcción de las correlaciones en frecuencia. Los datos fueron procesados en el software Seisimager SW de la marca GEOMETRICS. Implementando el método pasivo de microtremores y el método activo MASW, mediante un arreglo lineal multicanal de geófonos, se registran datos que permiten estimar el perfil de velocidades de onda de corte, comprendidas a profundidades de 1.8 a 30m aprox. El autor menciona que esta metodología queda sin efecto a más de 30m de profundidad.

Una vez determinado los 30 perfiles sísmicos, se conformaron nueve líneas dentro del área en estudio, de las cuales sólo se consideraron las más cercanas a las pruebas de ensayos SPT en campo, y se genera el modelo 1D para cada uno, para luego estimar su potencial de licuación. Estas estimaciones deberán correlacionarse con las obtenidas en los ensayos SPT. A continuación, se presenta la ubicación de los perfiles sísmicos, y su proximidad a los puntos de exploración mediante ensayos SPT.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 117 *Ubicación geográfica de los perfiles sísmicos*

Perfiles Sísmicos			
Fuente Central	Latitud	Longitud	SPT
L9T2	32.58358500	-115.45208000	
L3T7	32.58343800	-115.45247600	SPT 1
L5T3	32.58341833	-115.45136170	
L2T1	32.58191667	-115.45538889	SPT 2
L3T4	32.58185333	-115.45331500	
L5T1	**32.58174667**	**-115.45053333**	**SPT 3**
L6T1	32.57959333	-115.44788500	SPT 5

Fuente: Mussio Vanessa, Ovando Efraín, Rodríguez Miguel & Chang Jesús, 2012 [Figura]. Determinación del potencial de licuación con el método de microtremores. Recuperado de https://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1_Reunion_Cancun/2_XXVI_Reunion_Nacional/6_Geotecnia_sismica/I5MUAV_1.pdf

En la publicación, se desarrolla el procedimiento para el perfil sísmico L5T1. Para lo cual, se generó la curva de dispersión, entre el campo natural del ruido sísmico ambiental y los golpes verticales con un martillo o mandarria a una placa de acero, para incrementar el ancho de banda de las mediciones de velocidad de fase, logrando una combinación de métodos pasivo y activo.

Seguidamente, el procesamiento de microtremores involucra:

Análisis espectral de velocidades, basado en la transformación p-tau o “slant-stack” (Thorson & Claerbout, 1985). Esta constituye el registro de varios sismogramas, con amplitudes relacionadas a la distancia y el tiempo (x-t), logrando convertirlas en dominio de la lentitud (lo cual viene a ser el recíproco de la velocidad de fase) vs frecuencia. Clayton & McMechan (1981) y Fuis et al. (1984) postulan la transformación p-tau como pilar fundamental para el análisis de velocidad de refracción de ondas P.

La mencionada transformada p-tau, para un registro sísmico dependiente a una distancia x y tiempo t, está conformada en base al número de canales N, y la ecuación de la amplitud del sismograma a una distancia x_t y tiempo t'. $A(p,\tau) = \sum_{k=1}^{N} A(x_k, t + px_k)$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

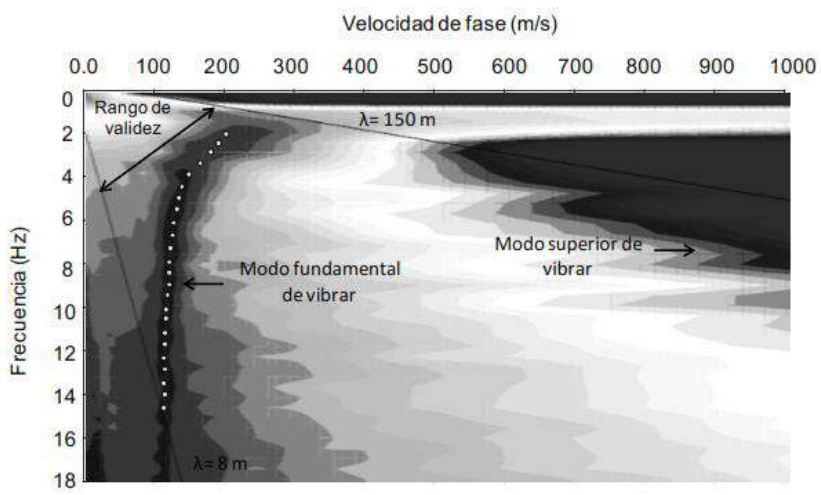
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Seguidamente, se aplica la transformada de Fourier al dominio temporal de $A'(p,\tau)$ con el objeto de tener un estimado de las amplitudes espectrales en el dominio de velocidad de fase y frecuencia. $A\left(\omega,\frac{1}{V}\right)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}(p,\tau)e^{-iw\tau}d\tau$

Posteriormente, la función A(f,V) corresponde a una imagen bidimensional de dispersión de velocidad de fase, para la colección de los registros.

En la siguiente imagen, se observa el dominio frecuencia-velocidad de fase del perfil sísmico L5T1 para el caso en estudio, el cual considera: 20 ventanas con duración de 30 segundos y muestreo de 2 milisegundos, aplicando 23 canales, de un tendido de geófonos de 2.5 Hz con separación de 2m y una extensión máxima de 46m.

Figura 118 *Imagen del dominio Frecuencia – Velocidad de fase del perfil sísmico L5T1*



Fuente: Mussio Vanessa, Ovando Efraín, Rodríguez Miguel & Chang Jesús, 2012 [Figura]. Determinación del potencial de licuación con el método de microtremores. Recuperado de https://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1_Reunion_Cancun/2_XXVI_Reunion_Nacional/6_Geotecnia_sismica/I5MUAV_1.pdf

Interpretación y selección de la velocidad de fase: El rango de validez de la gráfica presentada con anterioridad, es considerado a partir de rectas de longitud de onda constante, entre 8 y 150 metros ($\lambda = V_f/f$). Las frecuencias altas limitan las longitudes de onda menores a 8m, y

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

las de baja frecuencia las mayores de 150 metros. Dentro de este rango se identifica la curva de dispersión del modo fundamental de vibración de las ondas Rayleigh, conformado por una serie de puntos bordeados por un espectro de energía el cual va desde la esquina superior derecha con velocidad de fase de 200m/s a frecuencia de 2 Hz, a la esquina inferior izquierda con velocidad de fase de 120 m/s y a frecuencia de 15 Hz (nótese que sigue su curso de manera descendente y sin cambios bruscos, con velocidades de fase muy bajas en las frecuencias más altas). Finalmente, de la gráfica 8 presentada con anterioridad, se decanta la existencia de modos superiores de vibrar en el rango de 2 a 8 Hz.

Modelado de la velocidad de onda de corte: Se utiliza el proceso de inversión de curvas de dispersión, usando un algoritmo que resuelve el problema inverso de propagación de ondas superficiales, en el que la curva de dispersión se compara con la curva de un modelo inicial asignado, logrando dar la estructura somera de la velocidad de ondas sísmicas.

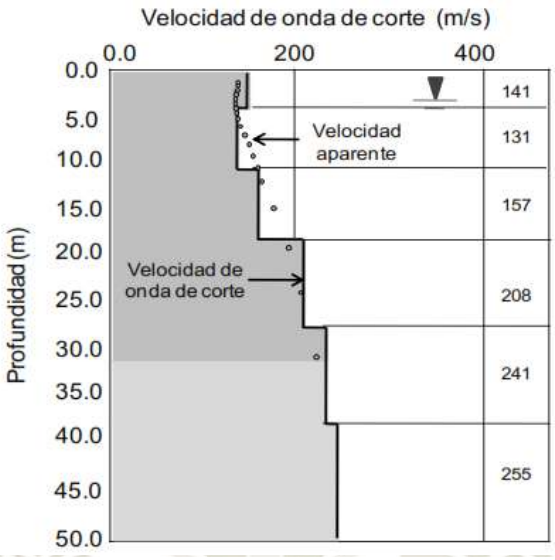
Luego de llevar a cabo la inversión de la curva de dispersión, se obtendrá el modelado de la velocidad de onda de corte, con los espesores de los distintos estratos. Adicionando en la inversión la profundidad del nivel freático (de los ensayos SPT), se estiman modelos más representativos del lugar.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 119 *Estructura de la velocidad de onda de corte estimada*



Fuente: Mussio Vanessa, Ovando Efraín, Rodríguez Miguel & Chang Jesús, 2012 [Figura]. Determinación del potencial de licuación con el método de microtremores. Recuperado de https://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1_Reunion_Cancun/2_XXVI_Reunion_Nacional/6_Geotecnia_sismica/I5MUAV_1.pdf

Finalmente, se concluye que la estructura de la velocidad de onda de corte consta de dos unidades sísmicas. La primera, con valor constante Vs de 135 m/s, a profundidades de 1.8m y 10m, con una disminución ligera, provocada posiblemente por la presencia del nivel freático (N.F=3.6m). La segunda unidad, refleja un incremento de Vs, obteniéndose valores de 160 m/s a partir de 10m y de 240 m/s a 30m de profundidad. Seguidamente, comparando el perfil de velocidad de onda de corte con el perfil obtenido de la prueba SPT, se observó que a las profundidades entre 1.8 y 10m, predomina una arena limosa, con velocidad de corte de 135 m/s.

Por último, para la determinación del potencial de licuación de suelos, se siguió el procedimiento simplificado propuesto por Youd & Idriss (2001), el cual considera una gráfica para determinar la relación de resistencia cíclica CRR en arenas limpias (CF≤5%) en función al número de golpes de la prueba SPT, corregidos $(N_1)_{60}$, logrando formar curvas CRR para sismos de

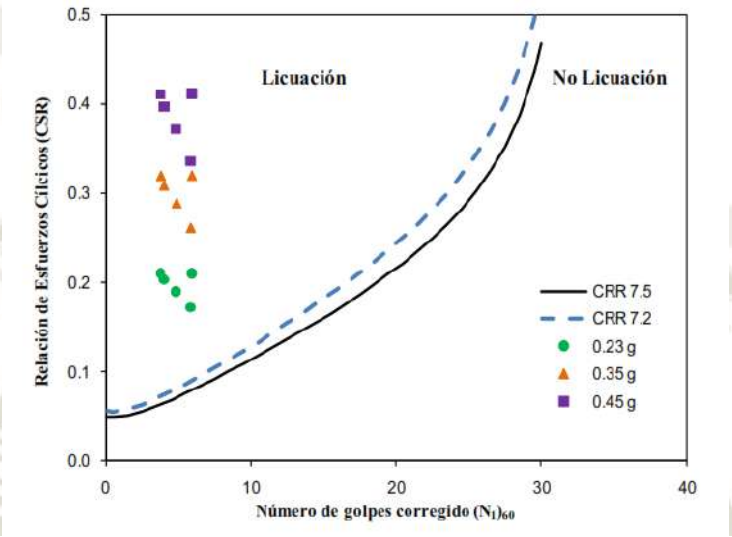
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

magnitud igual a 7.5, lo que determina si un suelo es licuable o no. Adicionalmente, en líneas punteadas, se adiciona curva CRR para sismo de magnitud igual a 7.2 Mw, el cual corresponde al sismo el 04 de abril de 2010, en estudio.

Figura 120 *Curvas para calcular CRR, con datos de* $(N_1)_{60}$



Fuente: Mussio Vanessa, Ovando Efraín, Rodríguez Miguel & Chang Jesús, 2012 [Figura]. Determinación del potencial de licuación con el método de microtremores. Recuperado de https://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1_Reunion_Cancun/2_XXVI_Reunion_Nacional/6_Geotecnia_sismica/I5MUAV_1.pdf

Adicionalmente, se consideró valores de aceleración máxima de: 0.23g, el cual fue el registro mínimo obtenido de una estación; 0.35g y 0.45g, el cual corresponde al máximo recomendado por el Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE.

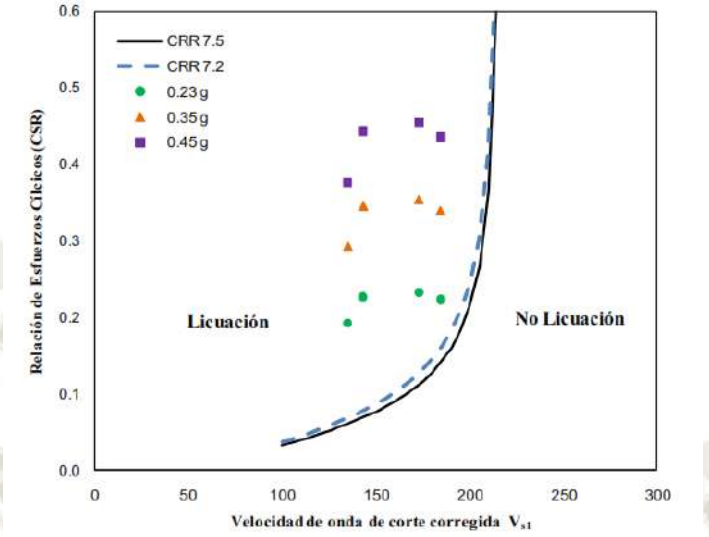
El mismo procedimiento descrito anteriormente, se realizó para velocidad de onda de corte corregida y normalizada (V_{S_1}).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 121 *Curvas para calcular CRR, con datos de* (V_{s_1})



Fuente: Mussio Vanessa, Ovando Efraín, Rodríguez Miguel & Chang Jesús, 2012 [Figura]. Determinación del potencial de licuación con el método de microtremores. Recuperado de https://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1_Reunion_Cancun/2_XXVI_Reunion_Nacional/6_Geotecnia_sismica/I5MUAV_1.pdf

Conclusiones: Se decanta de la investigación, que para las tres aceleraciones horizontales máximas propuestas, el suelo es potencialmente licuable, hasta la profundidad de prueba de 11.4m (valor máximo de registro en el punto SPT 3), esto debido a la cercanía del nivel freático con la superficie y el grado de compactación bajo presente en el suelo, por valores de N del ensayo SPT inferiores a 20 golpes.

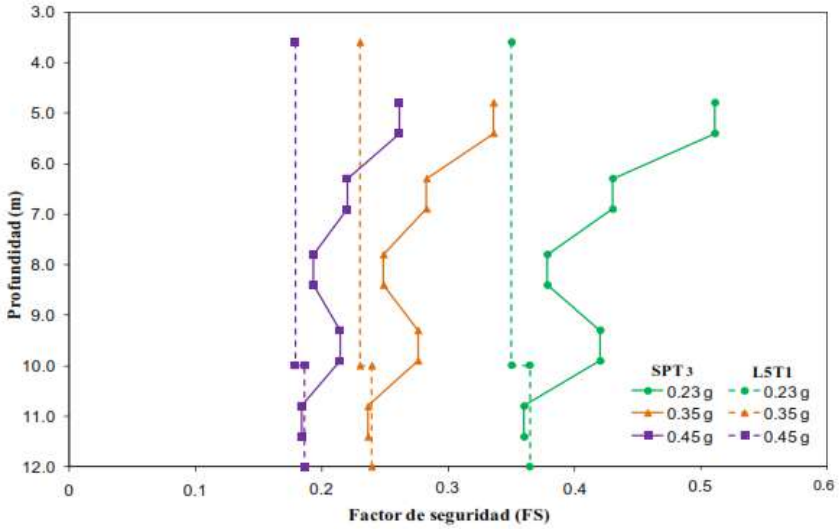
Con respecto a los factores de seguridad obtenidos de la relación de resistencia cíclica CRR con la relación de esfuerzos cíclicos CSR, y los obtenidos con Vs, se identifica mayor conservación en los resultados por este último. Esto debido a que el ensayo SPT permite registros del número de golpes cada 0.5 a .0 metros, mientras que el método de microtremores, no se vio afectado por la profundidad. Esto se ve en la siguiente figura:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 122 *Factores de Seguridad (FS)*



Fuente: Mussio Vanessa, Ovando Efraín, Rodríguez Miguel & Chang Jesús, 2012 [Figura]. Determinación del potencial de licuación con el método de microtremores. Recuperado de https://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1_Reunion_Cancun/2_XXVI_Reunion_Nacional/6_Geotecnia_sismica/I5MUAV_1.pdf

Adicionalmente, el autor menciona la eficacia de usar el método sísmico de microtremores, ya que permitió alcanzar profundidades de hasta 30m en un ambiente urbano, sin tomar en consideración la perforación de calicatas o de penetración por ensayos típicos dentro de la geotécnica. Así mismo, el autor menciona que podría usarse instrumentos más simples de sensores de velocidad o aceleración, lo que resulta en costos bajos a comparación de otros métodos.

2.6.2. Antecedentes nacionales de Investigación sobre suelos colapsables y potencial de licuefacción

Nombre: Colapsabilidad Potencial de Suelos

Autor: Universidad Peruana Los Andes - Huancayo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

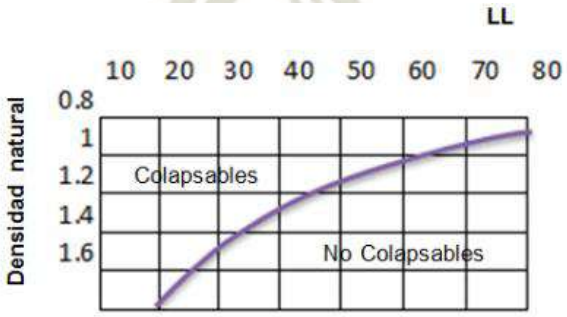
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Contenido: En la Investigación llevada a cabo sobre la Colapsabilidad Potencial de los Suelos, año 2016 (Montes Uchuypoma, 2016). Se lleva a cabo un análisis sobre la colapsabilidad potencial de los suelos, el cual se define como un cambio violento de volumen, provocado por un incremento de carga, o al sufrir humedecimiento o saturación. Los métodos que se desarrollan en la presente investigación son: Método de Gibbs y el Método de Knight. El autor recomienda llevar a cabo esta evaluación, para mitigar efectos adversos en futuras construcciones. El Método de Knight, se encuentra dentro del acápite de Suelos Colapsables, de la Norma E.050 del RNE.

El Método de Gibbs, propone la elaboración de una curva límite líquido (LL) versus densidad natural seca, de la cual se obtiene la curva límite de colapsabilidad. Estipula que la zona colapsable, es aquella que comprende suelos de baja densidad natural (humedad de saturación mayor a humedad del límite líquido, lo que conlleva a disminuir la plasticidad del suelo, provocando mayor asentamiento). Por otro lado, la zona colapsable, comprende aquellos suelos con alta densidad natural (humedad de saturación menor o igual a la humedad del límite líquido en estado plástico, lo cual conlleva a mantener al suelo en una recomendable resistencia al deslizamiento).

Figura 123 *Curva Límite de Colapsabilidad*



Fuente: Uchuypoma M., Manuel, 2016 [Figura]. Colapsabilidad potencial de Suelos. Recuperado de https://pdfcoffee.com/colapsabilidad-potencial-upla-5-pdf-free.html

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Seguidamente, se deberá asumir un riesgo de colapso para un suelo, que en función de su plasticidad y densidad seca, deberá ubicarse por debajo de la curva de Gibbs, la cual se presenta a continuación.

Figura 124 *Curva de Gibbs*



Fuente: Uchuypoma M., Manuel, 2016 [Figura]. Colapsabilidad potencial de Suelos. Recuperado de https://pdfcoffee.com/colapsabilidad-potencial-upla-5-pdf-free.html

El ensayo de colapsabilidad potencial, se detalla en la NTP 339.163 (ASTM D5333), el cual establece que las muestras deberán obtenerse de una calicata, y en condición inalterada. El cálculo se lleva a cabo según el criterio de Knight (1948): $I_c(\%) = \frac{\Delta e}{1+e_0}$ ó $\frac{\Delta h}{h_0}$. En el siguiente cuadro, se definen los criterios de colapsabilidad de un suelo, acorde a los parámetros geotécnicos que se decantan de la siguiente tabla:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 125 *Criterios de Colapsabilidad según el Peso específico seco y el potencial de colapso*

CRITERIOS DE COLAPSABILIDAD		
Grado de colapso	**Peso específico seco (KN/M*3)**	**Potencial de Colapso (%)(*)**
Bajo	>14.0	<0.25
Bajo a medio	12.0-14.0	0.25-1.0
Medio a alto	10.0-12.0	1.0-5.0
Alto a muy alto	<10.0	>5.0

(*)Asiento inducido por colapso bajo la inundación referido a la altura inicial de la muestra

Fuente: Uchuypoma M., Manuel, 2016 [Figura]. Colapsabilidad potencial de Suelos. Recuperado de https://pdfcoffee.com/colapsabilidad-potencial-upla-5-pdf-free.html

En la investigación, se estable que un suelo es colapsable, generalmente en aquellos entornos con clima seco, y con una densidad seca por debajo de 1.4, con grado de saturación muy bajo (20-30%), por lo que en su zona superficial, se evidencian niveles encostrados (Montes Uchuypoma, 2016). Sin embargo, a mayores profundidades, el suelo se presenta flojo (como por ejemplo, rellenos arenosos flojos, sin compactar). Se recomienda llevar a cabo cimentaciones profundas, que sobrepasen las capas colapsables. Las cimentaciones comunes sobre este tipo de suelo, son las de losa con suficiente rigidez, y apoyada sobre un suelo mejorado, evitando tensiones puntuales, sino distribuídas. Así también, una evidencia de presencia de suelo colapsable, podría ser aquellos suelos de origen eólico, coluvial, residual, tufos volcánicos, suelos con material cementante, gravas angulosas conformadas por sales y caliche, suelos granulares de bajo peso específico, suelos con estructuras macro porosas, con índice de poros (e) entre relativamente alto a muy alto, suelos con granulometría fina, estructura de acomodo de partículas con espacios abiertos (puentes de material arcilloso o de cristales de sales solubles).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Finalmente, en la investigación se definen los siguientes ensayos para determinar si un suelo es colapsable: Análisis granulométrico por tamizado, Humedad natural, Límites líquidos, Clasificación de Suelos por Sistema SUCS y AASHTO, ensayo Proctor Modificado, Ensayo California Bearing Ratio (CBR), Consolidómetro para ensayo de colapso.

Conclusión: La presente investigación detalla dos procedimientos para llevar a cabo un estudio de colapsabilidad de suelos (Método de Gibbs y el Método de Knight), sin embargo, desarrolla el método de Knight ya que el método de Gibbs se encuentra detallado en el RNE. Se concluye que la metodología propuesta por Knight es la más reciente y completa, ya que considera incluso la curva de Gibbs necesaria para llevar a cabo el mencionado método.

Finalmente, en la investigación se detalla las características esenciales en campo para que pudiera llevar a cabo los efectos por colapasabilidad de suelos. Así mismo, detalla los procedimientos de mejoramientos de suelos y mejores técnicas para asentamiento de estructuras con probabilidad al colapso.

Nombre: Evaluación del potencial de Licuefacción de Suelos en el Centro Poblado El Pasto, Distrito de Socabaya, Arequipa.

Autor: Guillén Seminario, Andrea Lucía; Mendoza Pinto, Vítor Andrés.

Contenido: En la presente investigación, se consideró el lugar como estudio, debido a su considerable riesgo por condiciones geotécnicas en la zona. Debido a ello, se decidió evaluar el potencial de licuefacción mediante el ensayo SPT, por la accesibilidad del equipo en la ciudad de Arequipa. Por otro lado, las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Católica de Arequipa.

La evaluación del potencial de licuefacción se llevó a cabo en 3 niveles o grados:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Grado 1: Considera el criterio geológico y geomorfológicos, con los datos existentes, el criterio de intensidad sísmica logrando determinar una magnitud de momento sísmico Mw para distintos periodos de retorno (Mw de 7.8, 7.9, 8.3 y 8.4 para Tr de 50, 100, 475 y 950), el criterio de distancia máxima según Kuribayashi & Tatsuoka (1975), Liu & Xie (1984), Wakamatsu (1993) y Youd & Perkins (1978). Considerado estos criterios, se elaboró el siguiente cuadro resumen.

Figura 126 *Resumen susceptibilidad a la licuefacción grado 1*

Resumen Grado 1

Criterio		Sismo (Mw)			
		7.8	7.9	8.3	8.4
Geológico y geomorfológico con datos existentes	Eluvial Reciente – Rellenos y tierras bajas	Licuación probable	Licuación probable	Licuación probable	Licuación probable
De intensidad.	>4.8Mw	Licuación Posible	Licuación Posible	Licuación Posible	Licuación Posible
De distancia máxima.	R máx.	219.8 km	226.8 km	253.8 km	258.9 km

Fuente: Guillén S., Andrea, Mendoza P., Víctor 2018 [Figura]. Evaluación del Potencial de Licuefacción de Suelos en el Centro Poblado el Pasto, Distrito de Socabaya, Arequipa. Recuperado de http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8465

Grado 2: El presente grado de análisis, comprende criterios geológicos y geomorfológicos por edad de depósito presente en el área en estudio, logrando las siguientes condiciones del suelo para licuarse.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 127 *Susceptibilidad estimada para el suelo y las condiciones geomorfológicas presentes en el C.P. El Pasto*

Tipo de deposito	Distribución general de sedimentos sin cohesión en depósitos	Probabilidad de que los sedimentos sin cohesión, cuando están saturados, sean susceptibles de licuarse (por edad de depósito)			
		<500 años	Holoceno	Pleistoceno	Pre pleistoceno
Depósitos continentales					
Suelo residual	Raro	Bajo	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo

Fuente: Guillén S., Andrea, Mendoza P., Víctor 2018 [Figura]. Evaluación del Potencial de Licuefacción de Suelos en el Centro Poblado el Pasto, Distrito de Socabaya, Arequipa. Recuperado de http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8465

Grado 3: Dentro de este grado de evaluación, se considera la gradación de los estratos analizados en el área de estudio, la forma de las partículas, las condiciones del nivel freático, la Densidad Relativa (según el modelo propuesto por Day, 2012), la consistencia y plasticidad de suelos (según el modelo de Seed & otros (2003)), y otros criterios como en diámetro D50, % de finos y grado de compactación, según Gonzáles de Vallejo (2002).

Otro criterio considerado fue el de Chen & Scawthorn (2003), sobre los valores de penetración estándar corregidos por profundidad $(N_1)_{60}$ <30, y velocidades de ondas de corte $V_{s_1} < 230$m/s.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 128 Evaluación del Potencial de Licuefacción para una magnitud sísmica Mw = 8.4 del ensayo N° 3 de SPT

Análisis del Potencial de Licuefacción en el C.P El Pasto, para una magnitud sísmica Mw= 8.4										
Método Probabilístico-Determinístico basado en el Nro de golpes del ensayo SPT (Cetin y otros, 2004)										
Perforación					Descripción	Resultados				
Nro	Prof.	N.F	Estrato	SUCS		$N_{1,60}$	r_d	CSR_{eq}	$P_L(\%)$	Evaluación
SPT Nº 03	0.5 m			ML	Limo de baja plasticidad, con muy alto contenido de finos. Color gris claro y de consistencia blanda.	4.22	0.9915	0.290	100.00	Suelo Altamente Licuable
	1 m			ML	Limo de baja plasticidad, con muy alto contenido de finos. Color gris claro y de consistencia blanda.	6.34	0.9818	0.287	100.00	Suelo Altamente Licuable
	1.5 m			SM	Arena Limosa, con alto contenido de finos. De color gris claro y de consistencia blanda	9.50	0.9708	0.284	100.00	Suelo Altamente Licuable
	2 m	N.F 1.80 m		SM	Arena Limosa, con alto contenido de finos. De color gris claro y de consistencia blanda	18.15	0.9585	0.298	87.39	Efectos Severos por Licuación
	2.5 m			SM	Arena Limosa, con alto contenido de finos. De color gris claro y de consistencia blanda	9.50	0.9447	0.332	100.00	Suelo Altamente Licuable
	3 m			SM	Arena Limosa, con alto contenido de finos. De color gris claro y de consistencia blanda	26.77	0.9295	0.355	8.88	Podrían darse efectos severos por licuación

Fuente: Guillén S., Andrea, Mendoza P., Víctor 2018 [Figura]. Evaluación del Potencial de Licuefacción de Suelos en el Centro Poblado el Pasto, Distrito de Socabaya, Arequipa. Recuperado de http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8465

Posteriormente, aplicando la metodología Probabilística Determinística basada en el número de golpes del ensayo SPT propuesto por Cetin & Otros (2004), se determinó el potencial de licuefacción para cada estrato y a profundidades en intervalos de 0.50m, logrando alcanzar espesor de 3m. Como se fuerza por ejemplo, en el ensayo SPT del punto de exploración N° 3 de la presente investigación.

Finalmente, se elabora el mapeo del potencial de licuefacción, con base a los resultados definidos por Cetin & Otros (2004), el cual considera los niveles de:

Zona 1: Suelo altamente licuable (rojo)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Zona 2: Suelo no licuable (azul)

Zona 3: Zona a ampliar estudios (amarillo).

Para cada una de estas zonas, se describe: el tipo de suelo encontrado durante las perforaciones, el contenido de finos, nivel de plasticidad y el estado del suelo. Así también, el potencial de licuefacción en términos de porcentaje y la ubicación del nivel freático.

Conclusiones: En la presente investigación, se evaluó el potencial de licuefacción de Suelos en el Centro Poblado El Pasto, distrito de Socabaya, Arequipa (Guillén Seminario & Mendoza Pinto, 2018). La tesis consideró determinar el potencial de licuefacción en estrados susceptibles al fenómeno en mención, utilizando la metodología de Seed & Idriss (1971), y considerando las más recientes actualizaciones por parte de diversos autores como: Chen & Scawthorn (2003), Seed y otros (2003), Day (2012) y Cetin y Otros (2004), entre otros. El autor recomienda el uso de las nuevas metodologías en potencial de licuefacción, debido a las mejoras que se vienen llevando a cabo en el método propuesto por Seed & Idriss en el año 1971, como: simplificación de variables y reformulaciones basadas en antiguos modelos establecidos por diversos autores.

Nombre: Evaluación del Potencial de Licuación de Suelos en Chimbote, Perú.

Autor: Jorge E. Alva Hurtado; Denys Parra Murrugarra.

Contenido: El autor comienza el informe (Hurtado J. E., 1991) detallando el registro histórico de licuefacción en Chimbote, según diversos investigadores como Ericksen et al. (1970), Plafker et al. (1971), Cluff (1971), Carrillo (1970) y Morimoto et al. (1971). Seguidamente, se describen las características geotécnicas de la ciudad de Chimbote y su distribución de napa freática.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

A continuación, se describe la microzonificación sísmica de la ciudad, la cual fue propuesta por Morimoto et al. (1971) con base en geología, ensayos SPT, evaluación de daños provocados por el sismo de 1970, microtrepidaciones y réplicas, ensayos de refracción sísmica y análisis de amplificación de ondas sísmicas. Decantando de este estudio 04 zonas, de las cuales las susceptibles a asentamientos y a licuefacción de estratos de suelos, las zonas III y IV.

Como parte del cuerpo del presente informe, se relata el procedimiento de investigación geotécnica llevado a cabo, con 11 sondajes de ensayos SPT por el método de avance de lavado (a intervalos de 0.20m, logrando alcanzar profundidades de 4 a 11 m), 9 sondajes de ensayos CPT (con apoyo de equipo manual de 2 toneladas, logrando alcanzar profundidades de hasta 6 metros) y 9 sondajes con posteadora manual (importantes para llevar a cabo la clasificación de suelos).

La evaluación del potencial de licuación, se llevó a cabo por el método simplificado propuesto por Seed et al. (1983) y Seed y de Alba (1986) y considerando además correcciones de factores, como los propuestos por Liao y Whitman (1986). Adicionalmente, los sismos considerados para el presente análisis, fueron de Ms de 7.5, con aceleraciones horizontales máximas de 0.15 y 0.30g.

Conclusiones: El trabajo del ingeniero Alva Hurtado, cristaliza en el registro de los efectos de licuefacción provocados por el sismo de 1970 en Chimbote, La Microzonificación Sísmica de Chimbote (según las características geotécnicas del área en estudio, y la elaborada en función a una microzonificación propuesta por el autor), el detallado plan de exploración de suelos mediante sondajes SPT, CPT y calicatas, y el registro del mapa de Potencial de licuefacción de suelos en Chimbote.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3.1. Tipo de Investigación

El método aplicado es la investigación cuantitativa. Primero se utiliza variables medibles para explicar la ocurrencia del fenómeno de licuefacción y el método aplicado será la investigación descriptiva; y segundo se recopila información a través de preguntas permitiendo conocer mejor el área en estudio, el método empleado será la encuesta.

3.2. Campo de verificación

3.2.1. Ubicación espacial

El suelo del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, sector Lara, distrito de Socabaya, Arequipa.

3.2.2. Ubicación temporal

La investigación utiliza información recolectada en el presente año (2021).

3.2.3. Unidades de estudio

La investigación analiza el suelo a través de información obtenida y procesada de muestras extraídas por calicatas y perforaciones. Además de información de la superficie del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles por medio de encuestas con preguntas cerradas de selección múltiple.

3.3. Determinación de la población y los puntos de exploración

La norma técnica E.050 Suelos y Cimentaciones define el número de puntos de exploración “n” en la Tabla 6 en función del tipo de edificación y del área de la superficie en estudio.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 23 *Número de puntos de exploración*

TABLA 6
NÚMERO DE PUNTOS DE EXPLORACIÓN

Tipo de edificación u obra (Tabla 1)	Número de puntos de exploración (n)
I	uno por cada 225 m2 de área techada del primer piso
II	uno por cada 450 m2 de área techada del primer piso
III	uno por cada 900 m2 de área techada del primer piso*
IV	uno por cada 100 m de instalaciones sanitarias de agua y alcantarillado en obras urbanas
Habilitación urbana para Viviendas Unifamiliares de hasta 3 pisos	3 por cada hectárea de terreno por habilitar

*Dentro de esta categoría se incluyen las plantas de tratamiento de agua en la que se considera en lugar de área techada, el área en planta de la misma.
n nunca será menor de 3.

Fuente: Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones (2018).

El área en estudio comprende un total de 1.3 ha (UNSA - INDECI, 2002). Por lo tanto "n" se define como 03, sin embargo la investigación considera la excavación de 03 calicatas de 3 m de profundidad y 03 perforaciones correspondientes al Ensayo de Penetración Estándar (SPT).

3.4. Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos

La recopilación de datos se desarrolla en dos fases: la primera utiliza como instrumento la encuesta a la población del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles para evaluar criterios relacionados a licuefacción.

La encuesta se distribuye en 05 preguntas de selección múltiple y son los investigadores los encargados de describir el objetivo y el contenido de la misma, así también de registrar las respuestas de los encuestados. El tiempo necesario para tomar la encuesta es de 10 minutos.

La encuesta permite evaluar criterios como: el asesoramiento técnico en la construcción de las edificaciones, efectos de licuefacción, el comportamiento de las edificaciones frente a sismos y riesgos naturales frecuentes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La segunda fase consiste en la observación del suelo, con el fin de identificar su condición actual.

A través de la observación se reconoce las características del suelo en 03 puntos distribuidos estratégicamente; calicatas de 03 metros de profundidad que definirán las 03 perforaciones del Ensayo de Penetración Estándar (SPT).

La observación permite determinar la altura del nivel freático, reconocer la estratigrafía y definir con seguridad la profundidad de las perforaciones.

3.5. Procedimiento

Las muestras obtenidas de las calicatas y del Ensayo de Penetración Estándar (SPT) serán evaluadas en el laboratorio, siendo necesario cumplir con los siguientes ensayos:

Tabla 24 *Ensayos Mínimos de suelo*

TABLA 12	
SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico	NTP 339.128
SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos	NTP 339.129
SUELOS. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo	NTP 339.131
SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)	NTP 339.134

Fuente: Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones (2018).

Tabla 25 *Normas Técnicas Peruanas (NTP)*

Normativa	Descripción
NTP 339.089	Obtención de muestras representativas en laboratorio (cuarteo)
NTP 339.090	Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo.
NTP 339.128	Método de ensayo para el análisis granulométrico
NTP 339.129	Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Normativa	Descripción
NTP 339.131	Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo.
NTP 339.133	Método de ensayo de Penetración Estándar SPT
NTP 339.134	Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS)
NTP 339.163	Método de ensayo normalizado para la medición de potencial de colapso de suelos.

Fuente: Instituto Nacional de Calidad (2016).

En segundo lugar, el Comité Técnico de Ingeniería Geotécnica Sísmica (1999) plantea 03 grados de zonificación para evaluar el fenómeno de licuefacción.

Tabla 26 *Niveles de Zonificación*

	Grado 1	Grado 2	Grado 3
Licuefacción	Terremotos históricos e información existente	Fotos aéreas y sensores remotos	Investigación geotécnica
	Mapas geológicos y geomorfológicos	Estudios de campo	Análisis
		Entrevista con residentes locales	

Fuente: Manual de zonificación de riesgos geotécnicos sísmicos (1999).

Además de proponer varios métodos para predecir el potencial de licuefacción, que se clasifican de acuerdo a los Grados 1, 2 y 3.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 27 *Métodos para evaluar el Potencial de Licuefacción*

MÉTODOS	Grado 1	Evaluación de la extensión máxima del área susceptible a licuefacción	a) Criterio Magnitud - Distancia Máxima	Kuribayashi y Tatsuoka (1975) Liu y Xie (1984) Ambraseys (1988) Wakamatsu (1991)
			b) Criterio de Intensidad	
		Estimación de susceptibilidad a licuefacción basada en registros existentes	a) Criterio Geológico y Geomorfológico	
			b) Índice de Severidad de licuefacción	
	Grado 2	Criterio geológico y geomorfológico para la evaluación del potencial de licuefacción		
	Grado 3	Evaluación in-situ de la susceptibilidad a licuefacción basado en el Ensayo de Penetración Estándar	a) Corrección del valor de N del SPT por eficiencia de energía	
			b) Procedimiento simplificado de Seed - Idriss	
		Evaluación de efectos de licuefacción	Daño sobre la capa superficial no licuable	
			Índice de Potencial de Licuefacción	

Fuente: Manual de zonificación de riesgos geotécnicos sísmicos (1999).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

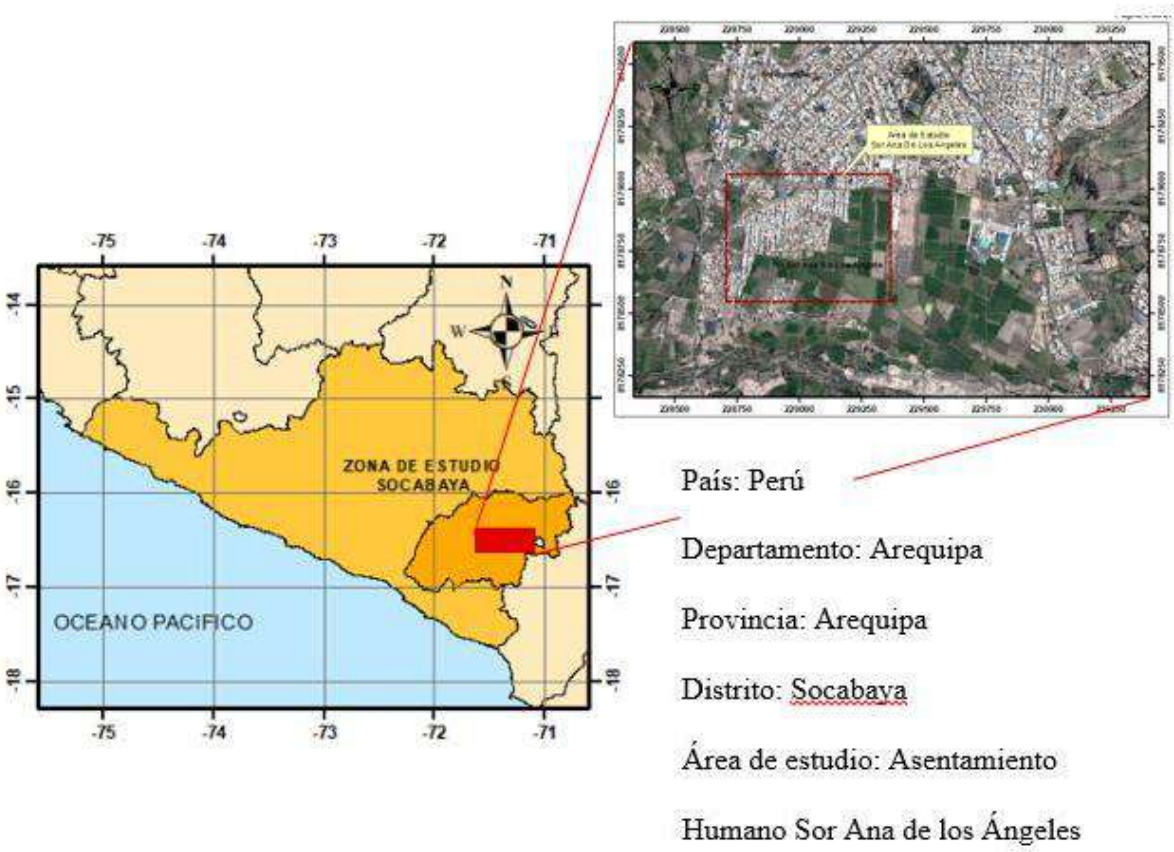
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.1. Ubicación del área de estudio

Figura 129 *Ubicación del área de investigación*



Fuente: Elaboración Propia

4.2. Encuesta

La obtención de resultados comienza con la encuesta realizada a las viviendas del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles (Ver Anexo 2).

Objetivo: Identificar el nivel de conocimiento de los habitantes de las viviendas del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, relacionado a la peligrosidad del fenómeno de licuación de suelos y su mitigación, mediante una encuesta de preguntas cerradas simples.

Unidad de Análisis: Vivienda del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tipo de Variable: Categóricas o cualitativas. Sub-tipología: Variables dicotómicas o binarias (Blanch y Joekes, 1997).

Escala de medición de variables: Escala nominal; nombra, diferencia, identifica y clasifica a las unidades de análisis (Según Blanch y Joeked (1997).

Población: 103 viviendas del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles (Anexo 16).

Muestras del total de la población: 46 viviendas del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles.

Tabla 28 *Variables, dimensiones e indicadores de la encuesta*

Pregunta Nº	Variable	Dimensión	Indicador				
1	Construcción de la vivienda	Terremoto del 2001	Antes	Después	No sabe/ Desconoce		
2	Construcción de la vivienda	Asesoria de un profesional	Sí	No	No sabe/ Desconoce		
3	Licuefacción de Suelos	Identificación del fenómeno	Sí	No			
4	Construcción de la vivienda	Vida útil de la vivienda	0-15 años	15-30 años	30-45 años	45-más años	No sabe/ Desconoce
5	Licuefacción de Suelos	Identificación de efectos	Sí	No			
6	Licuefacción de Suelos	Prevención	Sí	No			

Fuente: Elaboración propia

Luego de registrar las respuestas se ordenó, analizó y graficó; de tal manera que puede interpretarse los criterios evaluados, relacionados al fenómeno de Licuefacción. Y se presenta a continuación:

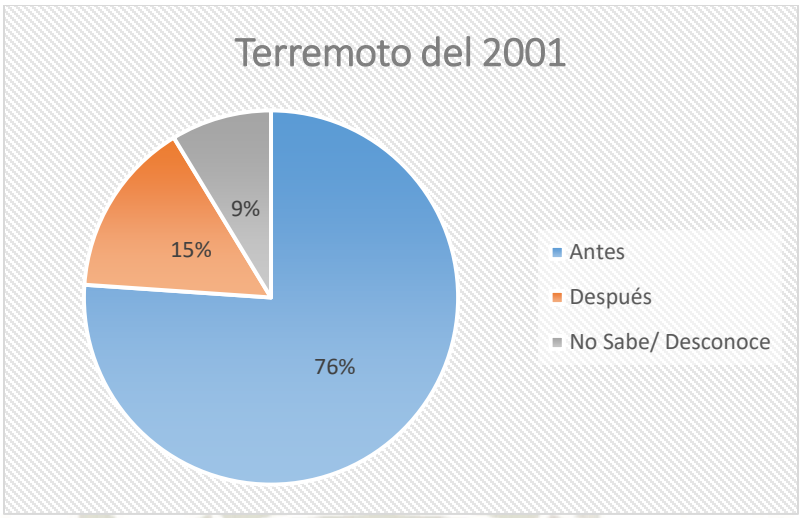
Pregunta 1: ¿Su vivienda ha sido construida antes o después del terremoto del 2001?

Figura 130 *Gráfico: Pregunta Nº 1*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Antes	Después	No Sabe/ Desconoce	Total
35	7	4	46

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: El 76% de las viviendas encuestadas fueron construidas antes del terremoto del 2001, observándose continuidad de las edificaciones con o sin modificaciones, a pesar del riesgo de licuefacción de suelos.

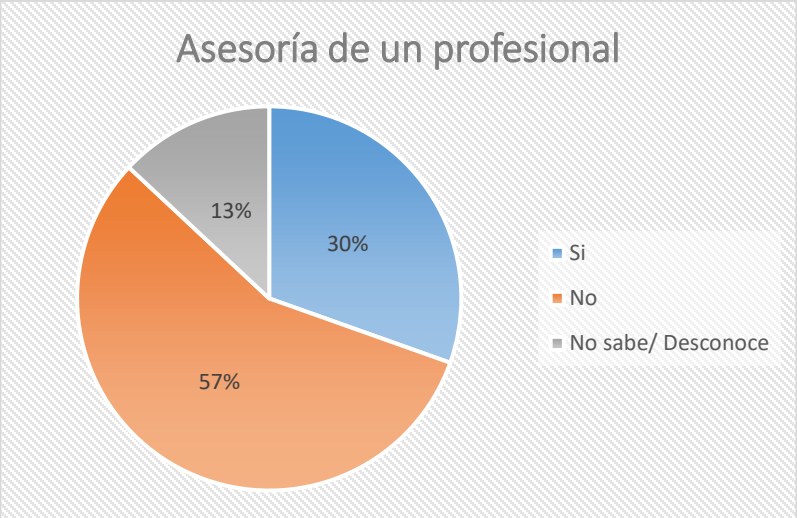
Pregunta 2: ¿Ha sido su vivienda construida con asesoría de un profesional (Arquitecto o Ingeniero Civil)?

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 131 Gráfico: Pregunta Nº 2



Si	No	No sabe/ Desconoce	Total
14	26	6	46

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Se advierte que más del 50% de viviendas encuestadas se construyeron sin asesoría de un profesional, manifestándose la informalidad en la construcción en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles.

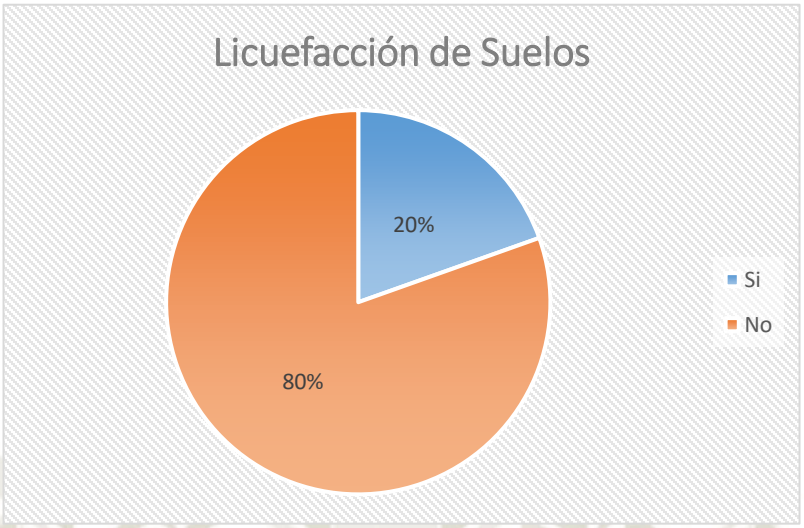
Pregunta 3: ¿Reconoce sobre el fenómeno de Licuefacciòn de Suelos?

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 132 *Gráfico: Pregunta Nº 3*



Si	No	Total
9	37	46

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Sólo el 20% de la muestra tiene conocimiento del fenómeno de Licuefacción de Suelos; siendo un indicativo de preocupación por el riesgo que implica este fenómeno durante un sismo de gran magnitud.

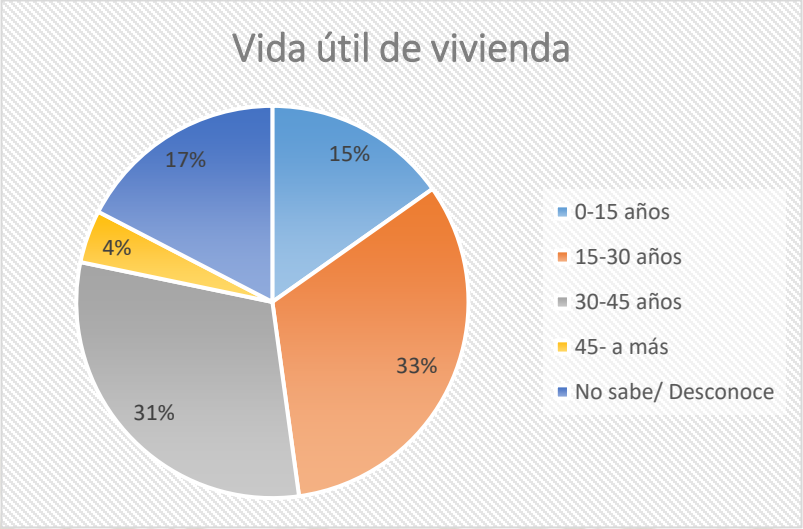
Pregunta 4: ¿Cuántos años de vida útil tiene su vivienda?

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 133 *Gráfico: Pregunta Nº 4*



0-15 años	15-30 años	30-45 años	45- a más	No sabe/ Desconoce	Total
7	15	14	2	8	46

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: El 4% de las edificaciones tiene una vida útil igual o mayor a 45 años. Al 31% le corresponde una vida útil entre 30 y 45 años. Seguidamente el 33% de viviendas tienen de construidas entre 15 y 30 años. Y el 15% representa a viviendas con vida útil igual o menor a 15 años. Finalmente, del 17% de las viviendas no se sabe o desconoce su vida útil.

De la muestra total, aproximadamente el 68% de viviendas fueron afectadas por el sismo del 2001 y de 1996. Por otro lado, sólo el 4% pudo haber resistido el sismo de 1958.

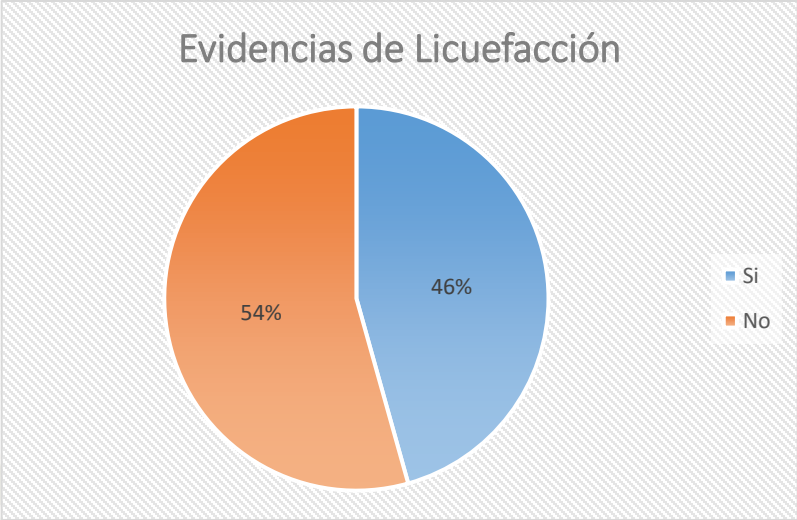
Pregunta 5: ¿Ha observado grietas en el suelo, volcanes de arena, filtraciones de agua procedentes del subsuelo y asentamiento (hundimiento) de viviendas después de un sismo?

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 134 *Gráfico: Pregunta Nº 5*



Si	No	Total
21	25	46

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: El 54% de las viviendas encuestadas observó principalmente grietas en el suelo, filtraciones de agua y asentamientos de viviendas después de un sismo. Lo que resulta un indicio de suelo potencialmente licuable.

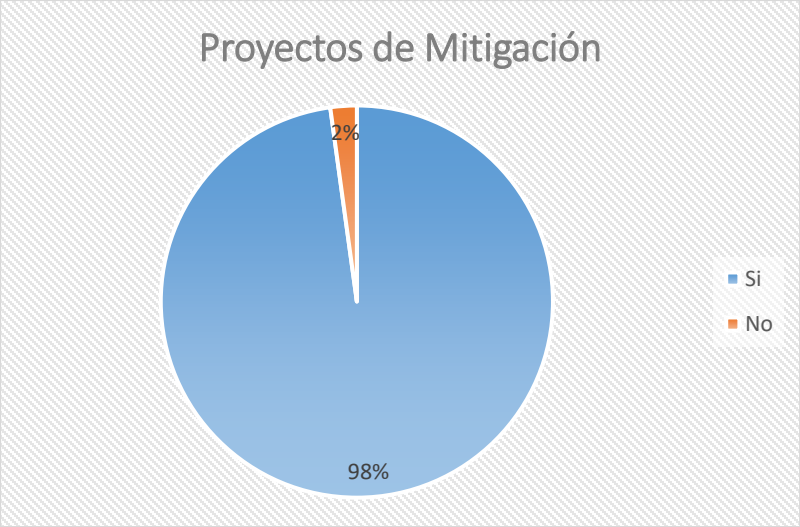
Pregunta 6: ¿Estaría de acuerdo con proyectos de mitigación de desastres para evitar los efectos del fenómeno de Licuefacción (proyectos de drenaje, muros de contención, entre otros)? (Provocados por un sismo o por acción del hombre)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 135 *Gráfico: Pregunta Nº 6*



Si	No	Total
45	1	46

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: El 98% de viviendas encuestadas está de acuerdo con proyectos de mitigación frente al fenómeno de licuefacción, como obras de drenaje y contención de suelos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.3. Potencial de Licuefacción de Suelos

El potencial de licuefacción dependiendo de la susceptibilidad del material, se analiza en función de sus características. A través de los siguientes métodos:

4.3.1. Grado 1: Zonificación General

Evaluación de la máxima extensión de área susceptible a licuarse

Criterio Magnitud - Distancia máxima

La máxima extensión de área susceptible a la licuefacción, puede estimarse directamente de la magnitud del terremoto predicho. Comparando la distancia desde el epicentro al punto más alejado licuado (R) y la magnitud del terremoto (M).

La magnitud del terremoto, considerando la ubicación del área de estudio (Figura 39), se define como la magnitud momento máxima M_w=8.00 (Figura 41). (Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), 2014)

La distancia máxima se determina en función de los modelos matemáticos de la Tabla 3, de ahí que es necesaria la magnitud del terremoto. Por ende se reemplaza la magnitud momento M_w=8 en las fórmulas correspondientes. Del mismo modo, la magnitud sísmica en la escala de Richter (M_L). Siendo así práctica la correlación entre las magnitudes M_L y M_w, válida para un rango de magnitudes de 4.5 y 6.8 (Begazo, 2008), M_L se define en 7.37. Por último, la magnitud sísmica M_j, usando la escala Japan Meteorological Agency (JMA), indica la intensidad de los terremotos. Por esta razón, se aplica la Escala Modificada de Mercalli (MM) para definir la intensidad (Tabla 4); el resultado dada la descripción de Licuefacción asegurada es la intensidad IX. Así mismo, se correlacionan las escalas de intensidades sísmicas JMA y MM, seleccionando la intensidad máxima M_j=7. Se presenta a continuación:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 29 *Criterio Magnitud – Distancia máxima*

Autor (es)	Modelo Matemático	M_j	M_L	M_w	R (km)
Kuribayashi & Tatsuoka (1975)	$logR = 0.77M_j - 3.6$	7			61.66
Liu & Xie (1984)	$R = 0.82 \cdot 10^{0.862(M_L-5)}$		7.37		90.52
Ambraseys (1988)	$M_w = 4.64 + 2.65x10^{-3}R_e + 0.99logR_e$			8	328.02
Wakamatsu (1991)	$logR = 2.22\log(4.22M_j - 19)$	7			186.21
Wakamatsu (1993)	$logR = 3.5\log(1.4M_j - 6)$	7			107.15
Youd (1991)	$M_w = 4.68 + 9.2x10^{-3}R_f + 0.90logR_f$			8	148.44

Fuente: Elaboración propia

Criterio Intensidad

Teniendo en cuenta que la edad geológica corresponde al Cuaternario Holoceno (INGEMMET, 2021). Mientras que eventos sísmicos con una intensidad mayor a VII en la escala (MM), inducen Licuefacción en áreas subyacentes a sedimentos licuables del Holoceno. Se considera el área de estudio, susceptible a la Licuefacción.

Estimación de susceptibilidad a la licuefacción de suelos basado en los datos existentes

Criterios de Información Geológica y Geomorfológica

El sistema de información geológico y catastral minero (GEOCATMIN) identifica la unidad geomorfológica, Vertiente glacio – fluvial, en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles. Y la unidad geológica, como Depósito aluvial (Qh-al); caracterizada por la acumulación de grava, arena, limo y arcilla con clastos subangulosos a angulosos de diferente composición. Esto se puede notar en la caracterización geomorfológica del Mapa M-02.

De manera que, considerando la unidad geomorfológica y lo indicado en la Tabla 5. El rango correspondiente es el B y la licuefacción en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, es posible.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.3.2. Grado 2: Zonificación Detallada

Criterios Geológicos y Geomorfológicos para la evaluación del Potencial de Licuefacción

INGEMMET (2020) En el Informe Técnico N° A7040 “Inspección geológica y evaluación de daños en los distritos de Paucarpata, Socabaya, Jacobo Hunter, Cerro Colorado y Yanahuara, afectados por huaicos del 23 al 25 de febrero del 2020”, identifica el sector Lara (Socabaya) sobre depósitos de lahares del volcán Misti (LH-m y LEV-m). Depósitos emplazados entre el Holoceno Superior y época histórica.

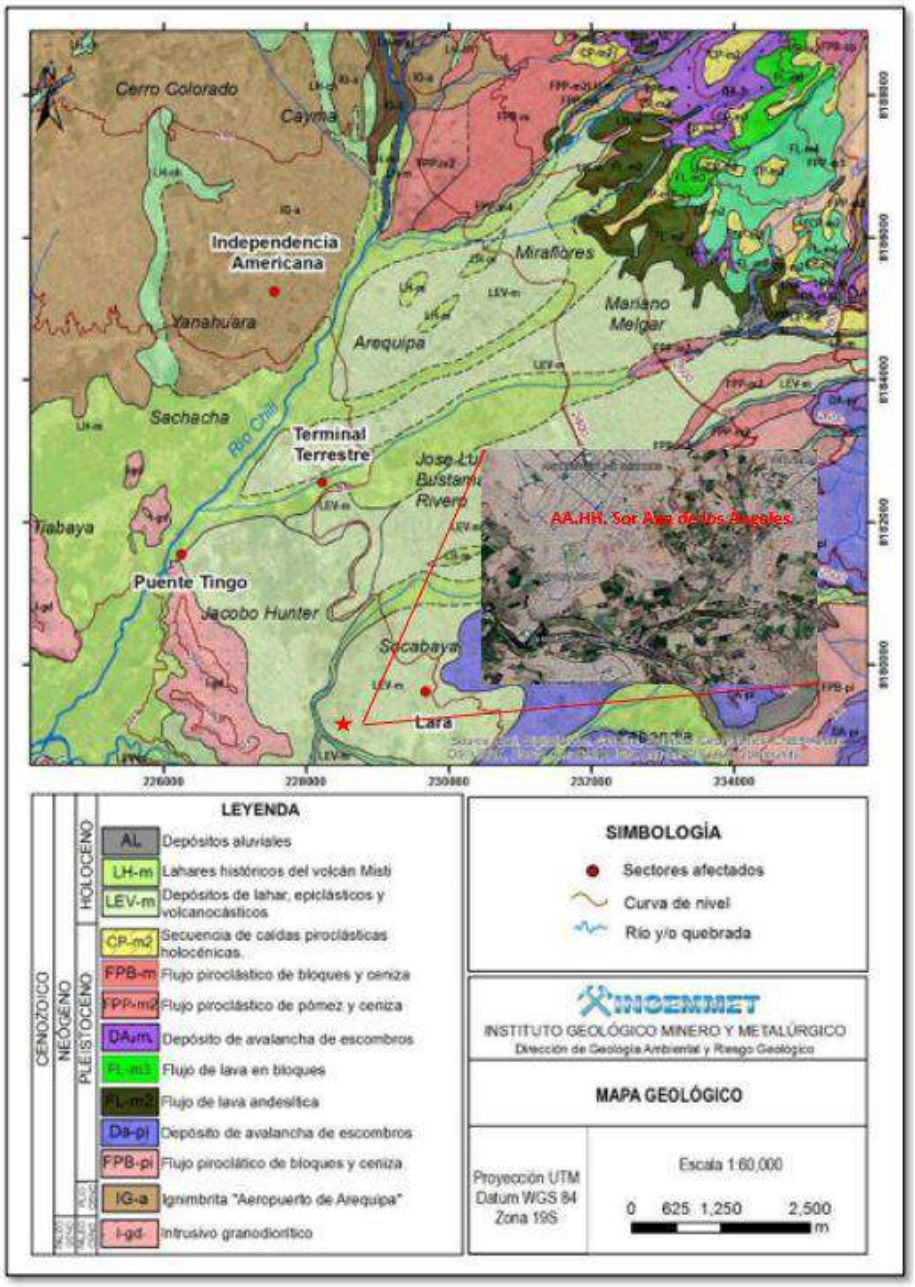
En la Figura 136 se muestra la ubicación del área de estudio, en el Mapa Geológico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 136 *Ubicación del área de estudio en el Mapa Geológico*



Fuente: INGEMMET (2020). Informe Técnico N° A7040 "Inspección geológica y evaluación de daños en los distritos de Paucarpata, Socabaya, Jacobo Hunter, Cerro Colorado y Yanahuara, afectados por huaicos del 23 al 25 de febrero del 2020". [Figura]. Recuperado de https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/2616/1/A7040-Inspecci%C3%B3n_geol%C3%B3gica_Paucarpata_Socabaya...-Arequipa.pdf

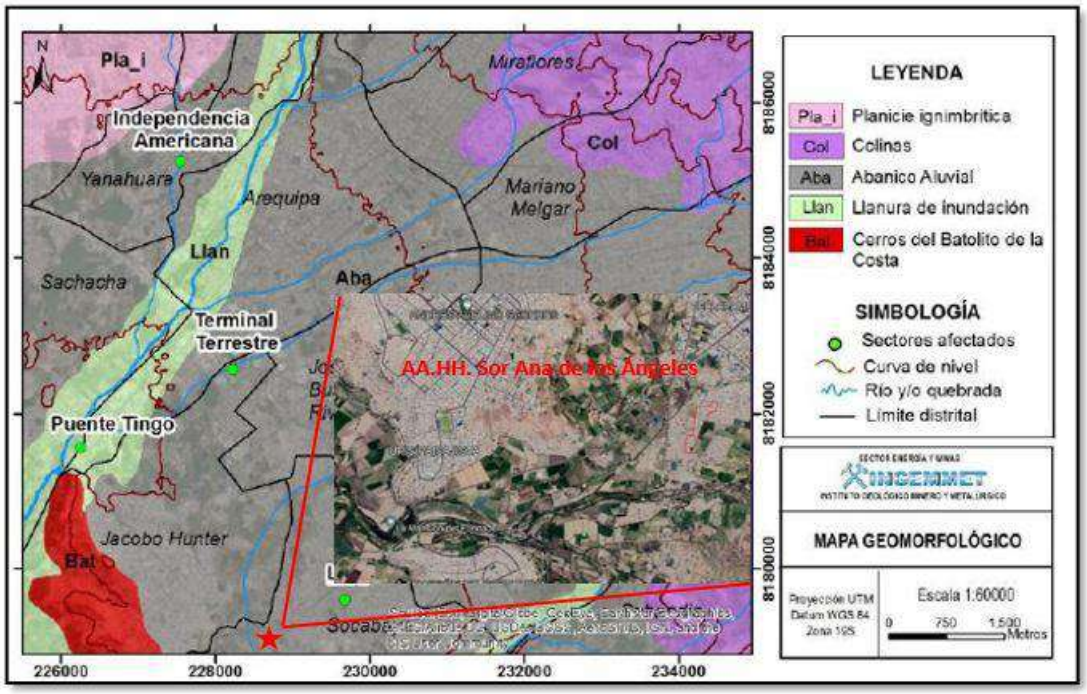
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGEMMET (2020) En el Informe Técnico N° A7040 “Inspección geológica y evaluación de daños en los distritos de Paucarpata, Socabaya, Jacobo Hunter, Cerro Colorado y Yanahuara, afectados por huaicos del 23 al 25 de febrero del 2020”, se identifica el área de estudio en la unidad geomorfológica abanico aluvial (Aba). Sin embargo, se ubica en la parte deposicional activa del abanico aluvial (Figura 137).

Figura 137 *Ubicación del área de estudio en el Mapa Geomorfológico*



Fuente: INGEMMET (2020). Informe Técnico N° A7040 “Inspección geológica y evaluación de daños en los distritos de Paucarpata, Socabaya, Jacobo Hunter, Cerro Colorado y Yanahuara, afectados por huaicos del 23 al 25 de febrero del 2020”. [Figura]. Recuperado de https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/2616/1/A7040-Inspecci%C3%B3n_geol%C3%B3gica_Paucarpata_Socabaya...-Arequipa.pdf

De esta manera, de la Tabla 6 *Susceptibilidad a la licuefacción de depósitos sedimentarios durante fuertes movimientos sísmicos*, resulta:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 30 *Susceptibilidad a la licuefacción*

Tipo de Depósito	Distribución general de depósitos de sedimentos con baja cohesión	Probabilidad de susceptibilidad a la licuefacción de los sedimentos saturados con poca cohesión (Según la edad del depósito)			
		<500 años	Holoceno	Pleistoceno	Pre-Pleistoceno
Depósitos Continentales					
Abanico aluvial y llano	Generalizado	--	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo
Terrazas marinas y llanuras	Generalizado	Moderado	Bajo	Bajo	Muy Bajo
Depósito aluvial	Generalizado	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo

Fuente: Recuperado de Tabla 6 *Susceptibilidad a la licuefacción de depósitos sedimentarios durante fuertes movimientos sísmicos.*

Además, en la Tabla 7 se determina el Potencial de Licuefacción según la unidad geomorfológica del AA.HH. Sor Ana de los Ángeles. También es necesario conocer la pendiente vertical del área de estudio; por ende, las elevaciones se especifican empleando Google Earth Pro:

Cálculo de pendiente vertical: $\left(\frac{2269-2264}{374}\right) x100\% = 1.34\%$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 138 *Elevaciones del área de estudio*



Fuente: Google Earth Pro (2021).

Tabla 31 *Susceptibilidad a licuefacción sujeta a movimientos sísmicos de intensidad V (JMA) o VIII (MM)*

Clasificación	Condiciones Geomorfológicas Condiciones Específicas	Potencial de Licuefacción
Abanico Aluvial	Pendiente vertical de más del 0.5%	No es probable
	Pendiente vertical menor a 0.5%	Posible

Fuente: Recuperado de Tabla 7 *Unidades Geomorfológicas susceptibles a licuefacción sujeta a movimientos sísmicos de intensidad V (JMA) o VIII (MM)*

Finalmente, el resultado de la evaluación del Potencial de Licuefacción, por Zonificación Detallada, se presenta en el mapa M-04.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.3.3. Grado 3: Zonificación Rigurosa

a. Estudio de Mecánica de Suelos.

- ***Memoria Descriptiva (Art. 16.2. NTE E.050).***

Los cálculos de diseño de la cimentación se adjuntan en el Anexo Nº 14

Tabla 32 *Resumen de las Condiciones de Cimentación*

N° de Calicata	C-1		C-2		C-3	
Tipo de Cimentación	Cimentación Superficial		Cimentación Superficial		Cimentación Superficial	
	Zapata Aislada	Cimiento Corrido	Zapata Aislada	Cimiento Corrido	Zapata Aislada	Cimiento Corrido
Estrato de apoyo de la cimentación	Estrato II		Estrato II		Estrato II	
Parámetros de diseño para la cimentación	D_f = 1.80 m		D_f = 1.80 m		D_f = 1.80 m	
	Q_{adm} = 5.50 kg/cm^2	Q_{adm} = 5.04 kg/cm^2	Q_{adm} = 4.45 kg/cm^2	Q_{adm} = 4.16 kg/cm^2	Q_{adm} = 2.06 kg/cm^2	Q_{adm} = 1.85 kg/cm^2
	FS = 3		FS = 3		FS = 3	
	δ/L = 1/500		δ/L = 1/500		δ/L = 1/500	
	No colapsable		No colapsable		No colapsable	
	Suelo No expansivo		Suelo No expansivo		Suelo No expansivo	
Recomendaciones adicionales	Por el tipo de edificación (vivienda de hasta 03 pisos), se considera cimentaciones superficiales. (Art. 23 NTE E.050) Se considera zapata aislada y cimiento corrido por el uso común en el área de estudio. Las características geométricas se describen en el Art. 23 NTE E.050 Se considera como Estrato de apoyo el Estrato II de los perfiles estratigráficos, al presentar suelo orgánico o relleno no controlado en el Estrato I. (Art. 24 NTE E.050) El promedio de la profundidad del Estrato II, resulta 1.75 m. Por ende, la profundidad de cimentación es 1.80 m. (Art. 26 NTE E.050) El asentamiento diferencial no debe ocasionar una distorsión angular (δ/L) mayor a 1/500. Límite seguro para edificios en los que no se permiten grietas. (Tabla 8 del Art. 19 NTE E.050) Se considera el factor de seguridad mínimo (FS) que deben tener las cimentaciones para cargas estáticas igual a 3. (Art. 21 NTE E.050)					

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Información Previa

Usos anteriores (Art. 13.6.1. NTE E.050): Los habitantes de la zona identifican el terreno como, de cultivo. Con áreas pantanosas que fueron rellenadas para el asentamiento de viviendas.

Construcciones antiguas (Art. 13.6.2. NTE E.050): No se reconoce restos arqueológicos en el área de estudio.

De las edificaciones colindantes (Art. 13.7. NTE E.050): Se observa viviendas de hasta 03 niveles; la gran mayoría presenta salitre en paredes causado por sales.

Figura 139 *Edificación de 03 niveles, cercana al punto de exploración P – 01*



Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 140 *Edificación de 03 niveles cercana al punto de exploración P - 02*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 141 *Edificación de 03 niveles cercana al punto de exploración P - 03*



Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- ***Planos y Perfiles de puntos Investigados (Art. 16.3 NTE E.050).***

Plano de Ubicación (Anexo M – 01, U – 01)

El Instituto Municipal de Planeamiento (IMPLA), en el Plan de Desarrollo Metropolitano de Arequipa (PDM 2016-2025), establece al espacio ocupado por el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, en una Zonificación ZRE-RI2 (Zona de Reglamentación Especial por Riesgos Muy Altos de paulatina Preocupación). Está se refiere a áreas con alto riesgo no mitigable y grado de consolidación escaso, recomendándose desarrollar políticas para una recuperación física y ambiental (espacios públicos verdes y de forestación). Por eso, se considera la reubicación paulatina de cualquier edificación existente (IMPLA, 2011).

Plano de Ubicación de los puntos investigados (Art 16.3.1. NTE E.050)

El programa de exploración de campo y ensayos de laboratorio comprende:

Tabla 33 *Condiciones de Frontera*

Condición	Descripción	Comentarios
a-1	No existen en los terrenos colindantes grandes irregularidades como afloramientos rocosos, fallas, ruinas arqueológicas, estratos erráticos, rellenos o cavidades.	Las áreas colindantes presentan estratos de relleno de altura variable.
a-2	No existen edificaciones situadas a menos de 100 m del terreno a edificar que presenten anomalías como grietas o desplomes originados por el terreno de cimentación.	Las edificaciones no presentan grietas o desplomes, ocasionado por las características del terreno de cimentación.
a-3	El tipo de edificación a cimentar es de la misma o de menor exigencia que las edificaciones situadas a menos de 100 m.	El tipo de edificación es similar en el área de estudio.
a-4	El número de plantas del edificio a cimentar, la modulación media entre apoyos y las cargas en éstos son iguales o inferiores que las correspondientes a las edificaciones situadas a menos de 100 m.	Las características de las edificaciones son comparables a las existentes.
a-5	Las cimentaciones de los edificios situados a menos de 100 m y la prevista para el edificio a cimentar son de tipo superficial.	La cimentación considerada es superficial.
a-6	La cimentación prevista para el edificio en estudio no profundiza respecto de las inmediatamente contiguas más de 1.5 m.	Se considera una edificación con profundidad de cimentación que no

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Condición	Descripción	Comentarios
		excede la profundidad de las cimentaciones contiguas.

Fuente: Elaboración Propia

Además, se considera 03 puntos de exploración mediante calicatas, 03 mediante perforaciones y 03 mediante auscultación indirecta del suelo (Ver ítem 3.3 del presente estudio). Así mismo, la profundidad mínima de 3m a alcanzar en cada punto de exploración (calicatas y perforaciones).

La distribución de los puntos de exploración se hizo teniendo en cuenta las características y dimensiones del área de estudio. (Anexos U - 02 Plano de Exploración – Calicatas, U – 03 Plano de Exploración – Perforaciones, U - 04 Plano de Exploración – Auscultaciones, U – 05 Plano de Exploración – General).

Las muestras que debe tomarse de suelo, no pueden ser de relleno. Así, los tipos de muestras extraídas son: Muestra inalterada en tubo de pared delgada (Mit), obtenida de las perforaciones y Muestra alterada en bolsa de plástico (Mab), obtenida de las calicatas. Según la descripción de la tabla 4 de la NTE E.050.

Las muestras extraídas se analizan a través de los Ensayos “in situ” y en laboratorio indicados en las Tablas 3 y 5 de la NTE E.050.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- ***Perfil Estratigráfico por Punto explorado (Art. 16.3.2. NTE E.050)***

Figura 142 *Perfil estratigráfico de la calicata C - 01*

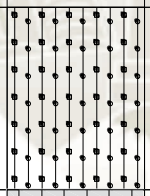
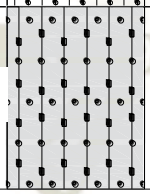
CALICATA 01 (C-01)

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS			DESCRIPCIÓN FÍSICA	DESCRIPCIÓN GENERAL
	NOMBRE	TÉRMINO	SIMBOLOGÍA		
0 - 1.80	Relleno no controlado			Plasticidad: No determinada Densidad Relativa: No determinada Compacidad: Óptima para laboreo Humedad: media Tamaño Máximo: no determinado	Contenido de finos menor a 12% Conformado por material no Seleccionado Presencia de plásticos y material orgánico en descomposición
N.F. 2.30 m 1.80 - 3.10	Grava mal graduada con limo y arena	GP - GM		Plasticidad: No presenta Densidad Relativa: 33.74% Compacidad: Baja/ Óptima para laboreo Humedad: media - Alta Tamaño Máximo: 9'	Color: Arena marrón rojizo y oscuro (húmedo). Grava gris oscuro Olor: no detectado Angularidad: Gravas subredondeadas y alargadas Cementación: Se observó presencia de caliche al fondo de la excavación

Fuente: Elaboración propia.

Figura 143 *Perfil estratigráfico de la calicata C – 02*

CALICATA 02 (C-02)

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS			DESCRIPCIÓN FÍSICA	DESCRIPCIÓN GENERAL
	NOMBRE	TÉRMINO	SIMBOLOGÍA		
0 - 1.80	Arena limosa con grava	SM		Plasticidad: No presenta Densidad Relativa: 17.82% Compacidad: Baja/ Óptima para laboreo Humedad: Baja Tamaño Máximo: Arena de grano medio a fino	Color: Beige a marrón claro - oscuro (húmedo). Olor: no detectado Angularidad: No percibido Cementación: No presenta
1.80 - 3.00	Grava mal graduada con limo y arena	GP-GM		Plasticidad: No presenta Densidad Relativa: 34.84% Compacidad: Baja/ Óptima para laboreo Humedad: media - Alta Tamaño Máximo: 15"	Color: Beige a marrón claro - oscuro (húmedo). Grava gris y marrón rojizo Olor: no detectado Angularidad: Gravas subredondeadas, achatas y alargadas Cementación: No presenta

Fuente: Elaboración propia.

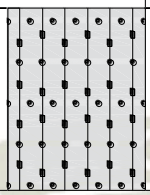
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 144 *Perfil estratigráfico de la calicata C - 03*

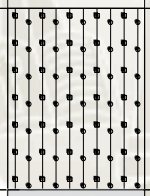
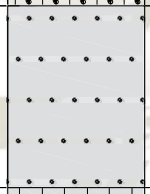
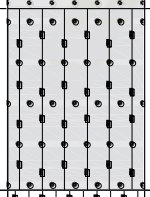
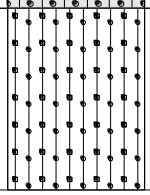
CALICATA 03 (C-03)

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS			DESCRIPCIÓN FÍSICA	DESCRIPCIÓN GENERAL
	NOMBRE	TÉRMINO	SIMBOLOGÍA		
0 - 1.70 N.F. 1.70 m	Relleno no controlado			Plasticidad: No determinada Densidad Relativa: No determinada Compacidad: Baja Humedad: Alta Tamaño Máximo: Arena de grano fino	Color: Marrón oscuro (húmedo) Olor: no detectado Angularidad: No percibido Cementación: No se observó
1.70 - 3.00	Arena mal graduada con limo y grava	SP - SM		Plasticidad: No presenta Densidad Relativa: 20.23% Compacidad: Baja/ Óptima para laboreo Humedad: Alta Tamaño Máximo: 16"	Color: Arena marrón rojizo y oscuro (húmedo). Grava gris oscuro Olor: no detectado Angularidad: Gravas subredondeadas, achatas y alargadas Cementación: No percibido

Fuente: Elaboración propia.

Figura 145 *Perfil estratigráfico de la perforación P – 01*

PERFORACIÓN 01 (SPT-01)

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS			DESCRIPCIÓN FÍSICA	DESCRIPCIÓN GENERAL
	NOMBRE	TÉRMINO	SIMBOLOGÍA		
0 - 1.50	Arena Limosa	SM		Plasticidad: No presenta Densidad Relativa: Compacidad (De campo): Media Humedad: Media Tamaño Máximo: Arena de grano fino	Color: Marrón Claro y oscuro (húmedo) Olor: no detectado Angularidad: Subredondeadas Cementación: No presenta
1.50 - 1.70	Arena mal graduada con gravas	SP		Plasticidad: No presenta Densidad Relativa: Compacidad (De campo): Media a Baja Humedad: Media Tamaño Arena de grano fino	Color: Marrón claro y oscuro (húmedo) Olor: no detectado Angularidad: Subredondeadas Cementación: No presenta
1.70 - 1.95 N.F. 1.95 m	Arena mal graduada con limos	SP - SM		Plasticidad: No presenta Densidad Relativa: Compacidad (De campo): Media Humedad: Media Tamaño Máximo: Arena de grano fino	Color: Marrón claro y oscuro (húmedo) Olor: no detectado Angularidad: Subredondeadas Cementación: No presenta
1.95 - 2.85	Arena limosa con grava	SM		Plasticidad: No presenta Densidad Relativa: Compacidad (De campo): Alta Humedad: Alta Tamaño Máximo: Arena de grano fino	Color: Marrón oscuro (húmedo) Olor: no detectado Angularidad: Subredondeadas Cementación: No presenta

Fuente: Elaboración propia.

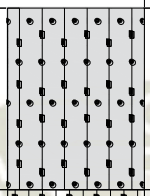
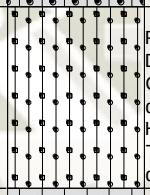
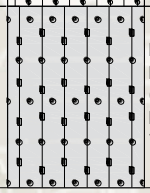
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 146 *Perfil estratigráfico de la perforación P – 02*

PERFORACIÓN 02 (SPT-02)

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS			DESCRIPCIÓN FÍSICA	DESCRIPCIÓN GENERAL
	NOMBRE	TÉRMINO	SIMBOLOGÍA		
0 - 1.50	Relleno no controlado			Plasticidad: No presenta Densidad Relativa: No determinado Compacidad (De campo): Media Humedad: Baja Tamaño Máximo: Arena de grano fino	Color: Marrón rojizo Olor: no detectado Angularidad: Subredondeadas Cementación: No presenta
1.50 - 2.00	Arena mal graduada con limo y grava	SP - SM		Plasticidad: No presenta Densidad Relativa: Compacidad (De campo): Baja a Media Humedad: Baja Tamaño Máximo: 1/2"	Color: Gris claro Olor: no detectado Angularidad: Gravas achatas y subredondeadas Cementación: No presenta
2.00 - 2.50	Arena limosa	SM		Plasticidad: No presenta Densidad Relativa: Compacidad (De campo): Media a densa Humedad: Media Tamaño Máximo: Presencia menor de gravas de 3/8"	Color: Marrón claro Olor: no detectado Angularidad: Subredondeadas Cementación: No presenta
2.50 - 3.00	Arena mal graduada con limo y grava	SP - SM		Plasticidad: No presenta Densidad Relativa: Compacidad (De campo): Densa Humedad: Media Tamaño Máximo: Gravas de 1"	Color: Marrón oscuro (húmedo) Olor: no detectado Angularidad: Subredondeadas Cementación: No presenta

Fuente: Elaboración propia.

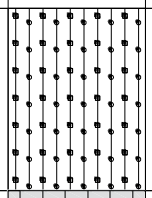
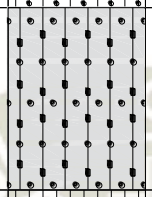
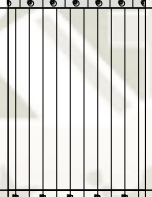
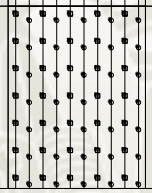
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 147 *Perfil estratigráfico de la perforación P – 03*

PERFORACIÓN 03 (SPT-03)

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS			DESCRIPCIÓN FÍSICA	DESCRIPCIÓN GENERAL
	NOMBRE	TÉRMINO	SIMBOLOGÍA		
0 - 0.45	Arena Limosa	SM		Plasticidad: No presenta Densidad Relativa: Compacidad (De campo): Baja Humedad: Media Tamaño Máximo: Arenas de grano grueso	Color: Beige a marrón claro Olor: no detectado Angularidad: Subredondeadas Cementación: No presenta
0.45 - 1.40	Arena mal graduada con limo y gravas	SP - SM		Plasticidad: No presenta Densidad Relativa: Compacidad (De campo): Baja resistencia a golpes a Media Humedad: Alta Tamaño Máximo: 1"	Color: Marrón oscuro, gravas color gris y marrón rojizo en seco Olor: no detectado Angularidad: Subredondeadas Cementación: No presenta
1.40 - 1.60 N.F. 1.50 m	Limo arenoso	ML		Plasticidad: No presenta Densidad Relativa: Compacidad (De campo): Media Humedad: Alta Tamaño Máximo: Arena de grano fino	Color: Beige Olor: no detectado Angularidad: No percibido Cementación: No presenta
1.60 - 3.00	Arena limosa con grava	SM		Plasticidad: No presenta Densidad Relativa: Compacidad (De campo): Media a Baja Humedad: Baja Tamaño Máximo: Arena de grano medio a grueso	Color: Marón oscuro y mínima presencia de gravas de color gris claro Olor: no detectado Angularidad: Subangular Cementación: No presenta

Fuente: Elaboración propia.

Figura 148 *Perfil estratigráfico de la auscultación A – 01*

AUSCULTACIÓN 01 (A-01)

Vs30 (m/s)	TIPO DE SUELO	DENOMINACIÓN	RANGO (m/s)
427.08	S2	SUELO INTERMEDIO	180< Vs< 500

ESTRATO	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD (m)	Vs (m/s)	DESCRIPCIÓN GENERAL	CLASIFICACIÓN
1	5.28	**5.28**	**237.01**	Estrato asociado de arena y grava, con presencia de residuos sólidos	S2
2	4.13	**9.40**	**362.56**	Estrato asociado de grava y arena	S2
3	17.38	**26.78**	**474.91**	Estrato asociado de grava y arena de mayor compacidad	S2

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 149 *Perfil estratigráfico de la auscultación A – 02*

AUSCULTACIÓN 02 (A-02)

Vs30 (m/s)	TIPO DE SUELO	DENOMINACIÓN	RANGO (m/s)
431.40	S2	SUELO INTERMEDIO	180< Vs< 500

ESTRATO	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD (m)	Vs (m/s)	DESCRIPCIÓN GENERAL	CLASIFICACIÓN
1	5.28	**5.28**	**225.46**	Estrato asociado de arena y grava de compacidad baja	S2
2	7.91	**13.19**	**421.36**	Estrato asociado de grava y arena de compacidad media	S2
3	13.60	**26.79**	**496.90**	Estrato asociado de arena y mayor presencia de gravas	S2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 150 *Perfil estratigráfico de la auscultación A – 03*

AUSCULTACIÓN 03 (A-03)

Vs30 (m/s)	TIPO DE SUELO	DENOMINACIÓN	RANGO (m/s)
480.33	S2	SUELO INTERMEDIO	180< Vs< 500

ESTRATO	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD (m)	Vs (m/s)	DESCRIPCIÓN GENERAL	CLASIFICACIÓN
1	7.01	**7.01**	**314.81**	Estrato asociado de arena y grava, con presencia de residuos sólidos	S2
2	8.57	**15.58**	**510.58**	Estrato asociado de grava y arena consolidada	S1
3	14.42	**30.00**	**615.92**	Estrato asociado de grava y arena de mayor compacidad	S1

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- ***Resultados de los Ensayos de Laboratorio (Art 16.4. NTE E.050).***

Tabla 34 *Resultados de Ensayos de Laboratorio – Calicatas*

N° Calicata	C-1	C-2		C-3
Muestra	1	1	2	1
Profundidad (m)	0.00 - 3.10	0.00 - 1.80	1.80 - 3.00	0.00 - 3.00
Tipo de muestra	Mab	Mab	Mab	Mab
Clasificación SUCS	GP-GM	SM	SP-SM	SP-SM
Densidad Máxima Seca (g/cm^3)	2.008	1.632	1.680	1.637
Densidad Mínima Seca (g/cm^3)	1.817	1.174	1.329	1.437
Contenido de Humedad (%)	13.76	15.48	13.79	27.99
Gravedad específica promedio (G_s)	2.68	T x 20°C 2.49	2.63	2.63
Gravedad (m/s^2)	9.81005			
Densidad del agua (kg/m^3)	T x 20°C 998.2343			
Peso unitario Seco Máximo (kN/m^3)	19.699	16.010	16.481	16.059
Peso unitario Seco Mínimo (kN/m^3)	17.825	11.517	13.038	14.097
Peso específico del agua (kN/m^3)	9.793			
Peso Unitario (kN/m^3)	20.95	14.00	16.00	18.50
Peso unitario Seco (kN/m^3)	18.42	12.12	14.06	14.45
Densidad Relativa (%)	33.74	17.82	34.84	20.23
Interpretación	Suelto	Suelto	Suelto	Suelto

*Muestra alterada en bolsa de plástico (Mab) NTP 339.151 SUELOS

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 35 *Resultados de Ensayos de Laboratorio – Perforación 01*

N° Perforación	SPT-01						
Muestra	3			1	1	2	
Profundidad (m)	0.00 - 0.50	0.50 - 1.10	1.10 - 1.50	1.50 - 1.70	1.70 - 1.95	1.95 - 2.40	2.40 - 2.85
Tipo de muestra				Mit			
Clasificación SUCS		SM		SP	SP - SM	SM	
Retenido acumulado Tamiz N° 200 (%)	80.7	86.4	82.3	95.3	90.0	82.0	82.4
Tipo de grano				Grueso			
Retenido acumulado Tamiz N° 4 (%)	35.5	27.0	14.3	45.6	14.5	21.3	15.7
Tipo de suelo de grano grueso				Arena			
Pasante del Tamiz N° 200 (%)	19.3	13.6	17.7	4.7	10.0	18	17.6
Porcentage de finos	> 12	> 12	> 12	< 5	5% - 12%	> 12	> 12
Simbología de clasificación	Única	Única	Única	Única	Dual	Única	Única
Coeficiente de Uniformidad (C_u)	94.8	24.2	12.8	62.1	19.4	20.0	16.5
Coeficiente de Gradación (C_c)	0.3	0.5	0.8	0.3	0.8	0.4	0.5
Criterio de Uniformidad							
Grava $C_u \geq 4$				Cumple			
Arena $C_u \geq 6$							
Criterio de Gradación							
$1 \leq C_c \leq 3$				No Cumple			
Límites de Atterberg				No Plástico			
Índice de Plasticidad (I_p)				No Plástico			
Simbología considerando C_U y C_C	SM	SM	SM	SP	SP	SM	SM
Simbología por Contenido de finos					SM		
Clasificación SUCS		SM		SP	SP - SM	SM	
Contenido de Humedad (%)	18.72	14.80	21.52	7.79	14.32	13.09	10.60
Gravedad específica promedio (G_s)	2.40	2.61	2.60	T x 20°C 2.62	2.61	2.64	2.64
Gravedad (m/s^2)				9.81005			

*Muestra inalterada en tubo de pared delgada (Mit) NTP 339.169 SUELOS

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 36 *Resultados de Ensayos de Laboratorio – Perforación 02*

N° Perforación	SPT-02			
Muestra	1	1	1	1
Profundidad (m)	0.00 - 1.50	1.50 - 2.00	2.00 - 2.50	2.50 - 3.00
Tipo de muestra	Mit			
Clasificación SUCS				
Retenido acumulado Tamiz N° 200 (%)		90.2	85.8	88.5
Tipo de grano			Grueso	
Retenido acumulado Tamiz N° 4 (%)		41.7	10.2	19.9
Tipo de suelo de grano grueso			Arena	
Pasante del Tamiz N° 200 (%)		9.8	14.2	11.5
Porcentage de finos		5% - 12%	> 12%	5% - 12%
Simbología de clasificación		Dual	Única	Dual
Coeficiente de Uniformidad (C_u)		52.6	15.8	15.4
Coeficiente de Gradación (C_c)		0.6	0.5	0.5
Criterio de Uniformidad				
Grava $C_u \geq 4$			Cumple	
Arena $C_u \geq 6$				
Criterio de Gradación				
$1 \leq C_c \leq 3$			No Cumple	
Límites de Atterberg			No Plástico	
Índice de Plasticidad (I_p)			No Plástico	
Simbología considerando C_U y C_C		SP	SM	SP
Simbología por Contenido de finos		SM		SM
Clasificación SUCS		SP - SM	SM	SP-SM
Contenido de Humedad (%)		1.95	19.29	11.02
Gravedad específica promedio (G_s)		2.62	2.62	2.60
Gravedad (m/s^2)		9.81005		

*Muestra inalterada en tubo de pared delgada (Mit) NTP 339.169 SUELOS

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 37 *Resultados de Ensayos de Laboratorio – Perforación 03*

N° Perforación	SPT-03						
Muestra	1	2		1	3		
Profundidad (m)	0.00 - 0.45	0.45 - 0.90	0.90 - 1.20	1.20 - 1.30	1.30 - 2.05	2.05 - 2.70	2.70 - 3.00
Tipo de muestra				Mit			
Clasificación SUCS							
Retenido acumulado Tamiz N° 200 (%)	85.0	89.2	88.7	49.5	85.6	79.2	83.4
Tipo de grano		Grueso		Fino		Grueso	
Retenido acumulado Tamiz N° 4 (%)	4.1	28.0	40.2	0.2	29.9	2.3	25.9
Tipo de suelo de grano grueso		Arena		Limo y Arcilla		Arena	
Pasante del Tamiz N° 200 (%)	15.0	10.8	11.3	50.5	14.4	20.8	16.6
Porcentage de finos	> 12%	5% - 12%	5% - 12%		> 12%	> 12%	> 12%
Simbología de clasificación	Única	Dual	Dual		Única	Única	Única
Coeficiente de Uniformidad (C_u)	7.3	19.2	69.8	6.9	37.3	5.7	29.6
Coeficiente de Gradación (C_c)	0.8	0.6	0.3	0.7	0.4	1.0	0.5
Criterio de Uniformidad							
Grava $C_u \geq 4$		Cumple			Cumple	No Cumple	Cumple
Arena $C_u \geq 6$							
Criterio de Gradación							
$1 \leq C_c \leq 3$		No Cumple			No cumple	Cumple	No cumple
Límites de Atterberg				No Plástico			
Índice de Plasticidad (I_p)				No Plástico			
Simbología considerando C_U y C_C		SP	SP				
Simbología por Contenido de finos	SM	SM	SM		SM	SM	SM
Clasificación SUCS	SM	SP-SM	SP-SM	ML	SM	SM	SM
Contenido de Humedad (%)	19.13	23.80	27.56	48.69	11.13	31.49	14.84
Gravedad específica promedio (G_s)	2.59	2.53	2.63	2.54	2.62	2.66	2.52
Gravedad (m/s^2)				9.81005			

*Muestra inalterada en tubo de pared delgada (Mit) NTP 339.169 SUELOS

Fuente: Elaboración propia.

b. Cálculo del Potencial de Licuefacción de Suelos

Cálculo del Factor de Reducción de Esfuerzo (r_d)

Para resolver las formulaciones de cálculo del (r_d), es necesario conocer los valores de: la profundidad, la magnitud del sismo, la aceleración máxima sobre la superficie y la velocidad de onda de corte sobre los 12 m.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

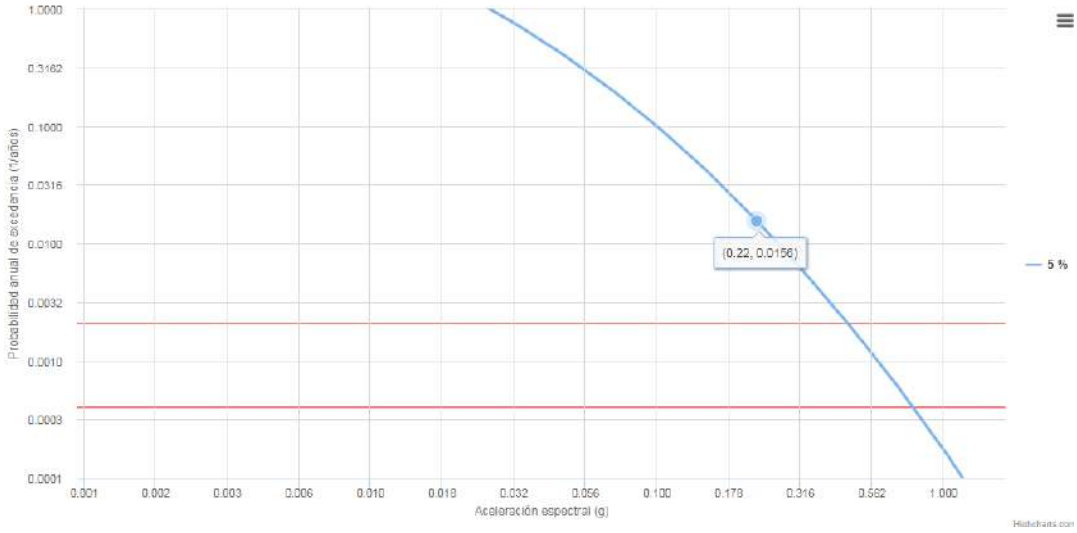
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La aceleración máxima sobre la superficie se define con el uso del programa instalado en la página de SENCICO, ZM_PPSH, aplicativo web para la determinación del peligro sísmico en el Perú. (SENCICO, 2016)

Para obtener el parámetro sísmico se seleccionó un punto del área de estudio; a partir de ese momento se podrá visualizar en la primera pestaña de análisis la Curva de "Probabilidad anual de excedencia VS Aceleración espectral", donde predeterminadamente se analiza para un amortiguamiento crítico igual a 5% y un período de 0.00.

Esta gráfica tiene por ordenadas a la Probabilidad anual de excedencia que es la inversa del tiempo de retorno en años y a la Aceleración espectral dada en unidades g, en las abscisas.

Figura 151 *Curva de Probabilidad anual de excedencia VS Aceleración espectral*



Los resultados de esta gráfica podrán exportarse a formato XLS, tal como muestra la Tabla 38. Además, considerando lo descrito en la Norma Peruana E.030 Diseño Sismorresistente, la probabilidad de excedencia debe ser menos del 10%; como resultado el tiempo de retorno es 970 años.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 38 *Resultados de la Curva de Probabilidad anual de excedencia para el área de estudio*

Probabilidad anual de excedencia			
Latitud:	-16.5	Longitud:	-71.5
Aceleración espectral (g)	5%		
0.001019	11.479382		
0.001498	10.213700		
0.002201	8.771365		
0.003235	7.232398		
0.004753	5.695620		
0.006985	4.261421		
0.010264	3.013656		
0.015082	2.005016		
0.022163	1.250004		
0.032568	0.728023		
0.047858	0.395156		
0.070327	0.199321		
0.103344	0.092980		
0.151861	0.039813		
0.223156	0.015573		
0.327923	0.005589		
0.481875	0.001848		
0.708104	0.000558		
1.040540	0.000151		
1.529052	0.000036		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39 *Valor de la aceleración para un periodo de retorno de 970 años (Probabilidad de excedencia 1/970)*

Tr = 970 años	
0.481875	0.001848
0.625151	0.001031
0.708104	0.000558

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, la aceleración espectral en el área de estudio es 0.63g.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 40 *Cálculo del factor de reducción de esfuerzo para los estratos de la perforación P – 01*

Perforación P - 01 (SPT - 01)							
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4			
Profundidad: z(m)	1.50	1.70	1.95	2.85	Magnitud Momento (M_w)	Aceleración máxima sobre la superficie ($a_{máx}$)	Velocidad de onda de corte ($V^*_{s,12m}$)(m/s)
Parámetro α y β	-0.051 0.006	-0.061 0.007	-0.074 0.009	-0.125 0.014			
Desviación Estándar (σ_{erd})	0.028	0.031	0.035	0.048			
Autor (es)	Factor de reducción de esfuerzo (r_d)						
NCEER (1997)	0.989	0.987	0.985	0.978	-	-	-
Idriss (1999)	0.998	0.997	0.996	0.990	8.00	-	-
Kayen (1992)	0.982	0.980	0.977	0.966	-	-	-
Cetin et al. (2004)	1.025 1.033	1.028 1.034	1.032 1.036	1.044 1.048	8.00	0.625 g	250
Liao & Whitman (1986b)	0.989	0.987	0.985	0.978	-	-	
r_d considerado	1.025	1.028	1.032	1.044			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41 *Cálculo del factor de reducción de esfuerzo para los estratos de la perforación P – 02*

Perforación P - 02 (SPT - 02)							
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4			
Profundidad = z (m)	1.50	2.00	2.50	3.00	Magnitud Momento (M_w)	Aceleración máxima sobre la superficie ($a_{máx}$)	Velocidad de onda de corte ($V^*_{s,12m}$)
Parámetro α y β	-0.051 0.006	-0.077 0.009	-0.105 0.012	-0.134 0.015			
Desviación Estándar (σ_{erd})	0.028	0.036	0.043	0.050			
	Factor de reducción de esfuerzo (r_d)						
Autor (es)							
NCEER (1997)	0.989	0.985	0.981	0.977	-	-	-
Idriss (1999)	0.997	0.995	0.991	0.986	8.00	-	-
Kayen (1992)	0.982	0.976	0.970	0.964	-	-	-
Cetin et al. (2004)	1.089 1.033	1.108 1.037	1.129 1.043	1.152 1.051	8.00	0.625 g	250
Liao & Whitman (1986b)	0.989	0.985	0.981	0.977	-	-	
r_d considerado	1.089	1.108	1.129	1.152			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42 *Cálculo del factor de reducción de esfuerzo para los estratos de la perforación P – 03*

Perforación P - 03 (SPT - 03)							
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4			
Profundidad = z (m)	0.45	1.40	1.60	3.00	Magnitud Momento (M_w)	Aceleración máxima sobre la superficie ($a_{máx}$)	Velocidad de onda de corte ($V^*_{s,12m}$)
Parámetro α y β	-0.003 0.001	-0.046 0.006	-0.056 0.007	-0.134 0.015			
Desviación Estándar (σ_{erd})	0.010	0.026	0.030	0.050			
	Factor de reducción de esfuerzo (r_d)						
Autor (es)							
NCEER (1997)	0.997	0.989	0.988	0.977	-	-	-
Idriss (1999)	1.005	1.002	1.000	0.986	8.00	-	-
Kayen (1992)	0.995	0.983	0.981	0.964	-	-	-
Cetin et al. (2004)	1.053 1.033	1.086 1.033	1.093 1.034	1.152 1.051	8.00	0.625 g	250
Liao & Whitman (1986b)	0.997	0.989	0.988	0.977	-	-	
r_d considerado	1.053	1.086	1.093	1.152			

Fuente: Elaboración propia.

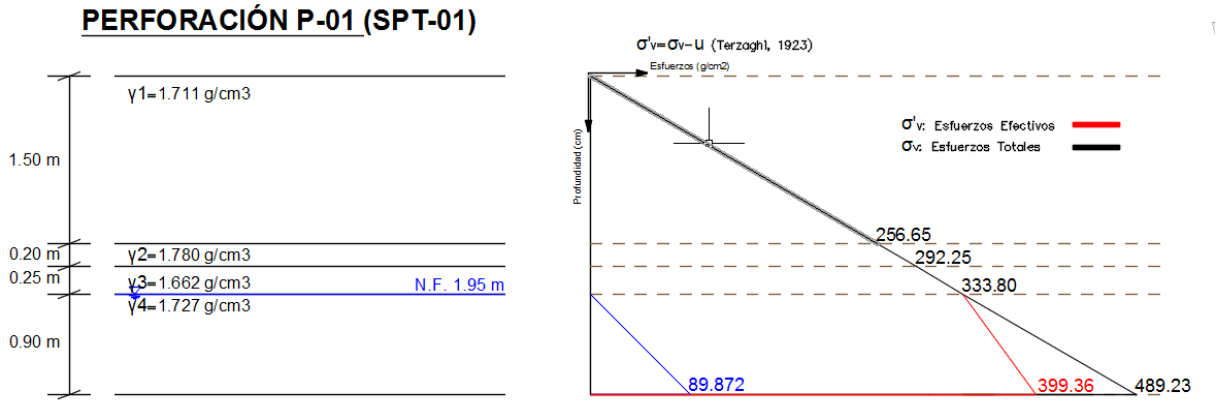
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Cálculo de la Relación de Estrés Cíclico CSR

Figura 152 *Diagrama de esfuerzos totales, efectivos y presión de poros de la Perforación P* - 01



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43 *Cálculo de la Relación de Estrés Cíclico (CSR) para la Perforación P – 01*

Perforación P - 01 (SPT - 01)				
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad = z (m)	1.50	1.70	1.95	2.85
Presión total de sobrecarga (σ_v)(g/cm^2)	256.65	292.25	333.80	489.23
Presion efectiva de sobrecarga (σ'_v)(g/cm2)	256.65	292.25	333.80	399.36
Factor de reducción de esfuerzo (rd)	1.089	1.097	1.106	1.145
Aceleración máxima sobre la superficie (a máx)		0.625g		
Gravedad (g)		g		
Relación de Estrés Cíclico (CSR)	0.443	0.446	0.449	0.570

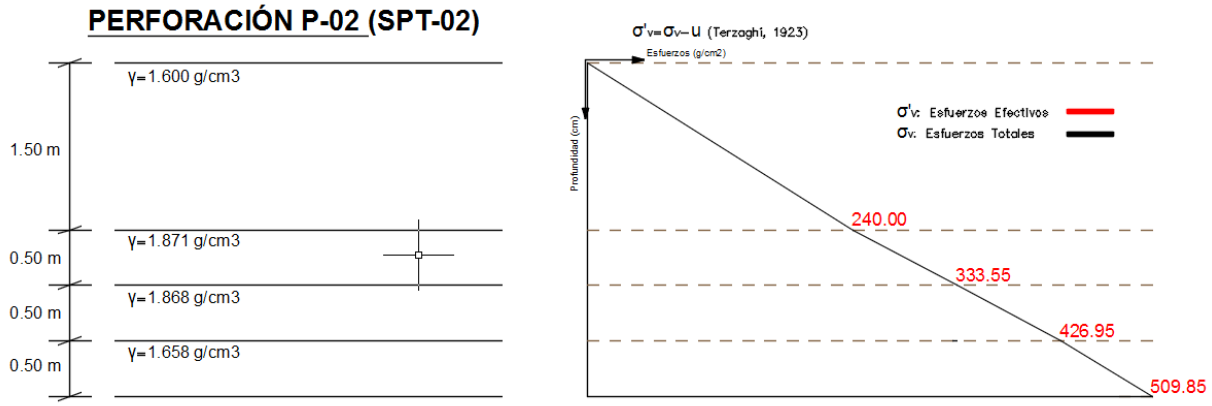
Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 153 *Diagrama de esfuerzos totales, efectivos y presión de poros de la Perforación P* - 02



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44 *Cálculo de la Relación de Estrés Cíclico (CSR) para la Perforación P – 02*

Perforación P - 02 (SPT - 02)				
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad = z (m)	1.50	2.00	2.50	3.00
Presión total de sobrecarga (σ_v)(g/cm^2)	240.00	333.55	426.95	509.85
Presion efectiva de sobrecarga (σ'_v)(g/cm2)	240.00	333.55	426.95	509.85
Factor de reducción de esfuerzo (rd)	1.089	1.108	1.129	1.152
Aceleración máxima sobre la superficie (a máx)		0.625g		
Gravedad (g)		g		
Relación de Estrés Cíclico (CSR)	0.443	0.450	0.459	0.468

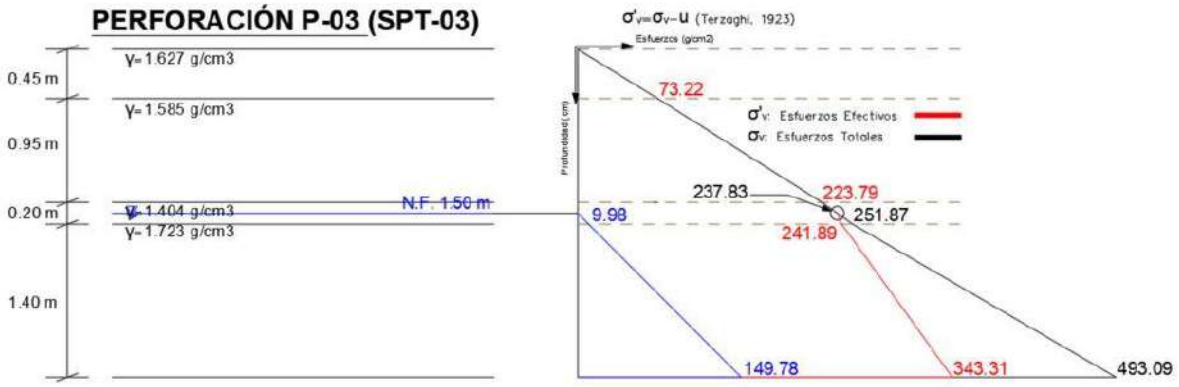
Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 154 *Diagrama de esfuerzos totales, efectivos y presión de poros de la Perforación P* - 03



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45 *Cálculo de la Relación de Estrés Cíclico (CSR) para la Perforación P – 03*

Perforación P - 03 (SPT - 03)				
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad = z (m)	0.45	1.40	1.60	3.00
Presión total de sobrecarga (σ_v)(g/cm^2)	73.22	223.79	251.87	493.09
Presion efectiva de sobrecarga (σ'_v)(g/cm2)	73.22	223.79	241.89	343.31
Factor de reducción de esfuerzo (rd)	1.053	1.086	1.093	1.152
Aceleración máxima sobre la superficie (a máx)		0.625g		
Gravedad (g)		g		
Relación de Estrés Cíclico (CSR)	0.428	0.441	0.462	0.672

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Corrección del Número de Golpes (N) a $N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$

Tabla 46 *Corrección del Número de Golpes (N) a $(N_1)_{60}$ de la Perforación P - 01*

Perforación P - 01 (SPT - 01)					
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	
Profundidad: z (m)	1.50	1.70	1.95	2.40	2.85
Número de Golpes (N)	15	13	11	28	74
Factor de Eficiencia de Martillo C_e					
Skempton (1986)			1.0		
Factor de corrección de diámetro de pozo C_b					
Skempton (1986)			1.0		
Factor de corrección de longitud de varilla C_r					
Youd et al. (2001)			0.85		
Cetin et al. (2004)			0.8031		
Factor de correción de muestreador Cs					
NCEER (1997)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3
Settle 3D (2016)			-		
Corrección de N a N_{60}	14.46	12.53	10.60	26.98	77.26

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47 *Corrección del Número de Golpes (N) a $(N_1)_{60}$ de la Perforación P - 02*

Perforación P - 02 (SPT - 02)				
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad: z (m)	1.50	2.00	2.50	3.00
Número de Golpes (N)	-	-	49	31
Factor de Eficiencia de Martillo C_e				
Skempton (1986)			1.0	
Factor de corrección de diámetro de pozo C_b				
Skempton (1986)			1.0	
Factor de corrección de longitud de varilla C_r				
Youd et al. (2001)			0.85	
Cetin et al. (2004)			0.8031	
Factor de correción de muestreador Cs				
NCEER (1997)	-	-	1.3	1.3
Settle 3D (2016)			-	
Corrección de N a N_{60}	-	-	51.16	32.36

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 48 *Corrección del Número de Golpes (N) a $(N_1)_{60}$ de la Perforación P - 03*

Perforación P - 03 (SPT - 03)				
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad: z (m)	0.45	1.40	1.60	3.00
Número de Golpes (N)	7	27	4	65
Factor de Eficiencia de Martillo C_e				
Skempton (1986)			1.0	
Factor de corrección de diámetro de pozo C_b				
Skempton (1986)			1.0	
Factor de corrección de longitud de varilla C_r				
Youd et al. (2001)			0.85	
Cetin et al. (2004)			0.8031	
Factor de correción de muestreador Cs				
NCEER (1997)	1.1	1.2	1.1	1.3
Settle 3D (2016)			-	
Corrección de N a N_{60}	6.18	26.02	3.53	67.86

Fuente: Elaboración propia.

Corrección por Sobrecarga (C_N) del número de golpes corregido N_{60}

Tabla 49 Corrección por Sobrecarga (C_N) del número de golpes corregido N_{60} de la perforación P – 01

Perforación P - 01 (SPT - 01)					
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	
Profundidad: z (m)	1.50	1.70	1.95	2.40	2.85
Corrección de N a N_{60}	14.46	12.53	10.60	26.98	77.26
Factor de corrección por Sobrecarga C_N					
Altitud promedio(m)			2266.50		
Presión atmosférica: Pa (atm)			0.7591		
Presión atmosférica: Pa (g/cm^2)			784.35		
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (g/cm^2)	256.65	292.25	333.8	366.58	399.36
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (ksf)	0.526	0.599	0.684	0.751	0.818
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (KPa)	25.169	28.660	32.735	35.949	39.164
Autor (es)					
Liao & Whitman (1986 a)	1.748	1.638	1.533	1.463	1.401
Bazaraa (1967)	1.950	1.821	1.690	1.599	1.518
Idriss & Boulanger (2004)	1.6	1.6	1.5	1.3	1.0
Peck, Hansen and Thorburn (1974)	1.463	1.420	1.375	1.344	1.315
Kayen et al. (1992)	1.441	1.399	1.353	1.319	1.287
N_{60} corregido por Sobrecarga ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$)	20.82	17.53	14.35	35.60	99.45

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 50 Corrección por Sobrecarga (C_N) del número de golpes corregido N_{60} de la perforación P – 02

Perforación P - 02 (SPT - 02)				
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad: z (m)	1.50	2.00	2.50	3.00
Corrección de N a N_{60}	-	-	51.16	32.36
Factor de corrección por Sobrecarga C_N				
Altitud promedio(m)		2266.50		
Presión atmosférica: Pa (atm)		0.7591		
Presión atmosférica: Pa (g/cm^2)		784.35		
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (g/cm^2)	240.00	333.55	426.95	509.85
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (ksf)	0.492	0.683	0.874	1.044
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (KPa)	23.536	32.710	41.869	49.999
Autor (es)				
Liao & Whitman (1986 a)	1.808	1.533	1.355	1.240
Bazaraa (1967)	2.017	1.690	1.455	1.295
Idriss & Boulanger (2004)	-	-	1.1	1.1
Peck, Hansen and Thorburn (1974)	1.486	1.375	1.293	1.234
Kayen et al. (1992)	1.461	1.354	1.261	1.189
N_{60} corregido por Sobrecarga ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$)	-	-	64.52	38.49

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51 Corrección por Sobrecarga (C_N) del número de golpes corregido N_{60} de la Perforación P – 03

Perforación P - 03 (SPT - 03)				
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad: z (m)	0.45	1.40	1.60	3.00
Corrección de N a N_{60}	6.18	26.02	3.53	67.86
Factor de corrección por Sobrecarga C_N				
Altitud promedio(m)		2266.50		
Presión atmosférica: Pa (atm)		0.7591		
Presión atmosférica: Pa (g/cm^2)		784.35		
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (g/cm^2)	73.22	223.79	241.89	343.31
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (ksf)	0.150	0.458	0.495	0.703
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (KPa)	7.180	21.946	23.721	33.667
Autor (es)				
Liao & Whitman (1986 a)	3.273	1.872	1.801	1.512
Bazaraa (1967)	3.077	2.087	2.009	1.662
Idriss & Boulanger (2004)	3.6	1.5	2.0	1.0
Peck, Hansen and Thorburn (1974)	1.883	1.509	1.483	1.366
Kayen et al. (1992)	1.700	1.481	1.459	1.343
N_{60} corregido por Sobrecarga ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$)	10.51	38.54	5.15	91.16

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Corrección por Densidad Relativa (D_r) del número de golpes corregido N_{60}

El valor de la Densidad Relativa (Dr) se determina con las siguientes formulaciones propuestas (Huang, 2017):

$$N_1 = \frac{170N}{\sigma'_v + 70} \qquad D_r = 21\sqrt{\frac{N_1}{1.7}}$$

Tabla 52 Corrección por Densidad Relativa (D_r) del número de golpes corregido N_{60} de la perforación P – 01

Perforación P - 01 (SPT - 01)							
	Estrato 1			Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	
Profundidad: z (m)	0.00 - 0.50	0.50 - 1.10	1.10 - 1.50	1.50 - 1.70	1.70 - 1.95	1.95 - 2.40	2.40 - 2.85
Número de Golpes (N)		15		13	11	28	74
Esfuerzo efectivo de sobrecarga (σ'_v) (KPa)		25.169		28.660	32.735	35.949	39.164
rección por esfuerzo efectivo de sobrecarga (N_1)		26.79		22.40	18.20	44.93	115.24
Densidad Relativa (D_r)		83.37		76.23	68.72	100.00	100.00
Contenido de Finos (FC) (%)	19.30	13.60	17.70	4.70	10.00	18.00	17.60
D_{50} (mm)	1.356	0.640	0.359	0.356	0.906	0.448	0.442
Autor (es)							
Skempton (1986)		28.50		23.82	19.36	47.78	122.57
Ishihara (1979)	70.27	71.26	70.51	66.32	55.84	97.78	170.00
Tatsuoka et al. (1980)	70.27	71.26	70.51	66.32	55.84	97.78	170.00
Idriss & Boulanger (2003)		31.97		26.73	21.72	53.61	137.51
Ishihara, Yasuda & Yokota (1981)	165.84	155.45	165.84	123.02	110.03	253.12	650.77
N_{60} corregido por D_r ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$)		28.50		23.82	19.36	47.78	122.57

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53 Corrección por Densidad Relativa (D_r) del número de golpes corregido N_{60} de la perforación P – 02

Perforación P - 02 (SPT - 02)				
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad: z (m)	0 - 1.50	1.50 - 2.00	2.00 - 2.50	2.50 - 3.00
Número de Golpes (N)	-	-	49	31
Esfuerzo efectivo de sobrecarga (σ'_v) (KPa)	23.536	32.710	41.869	49.999
rrección por esfuerzo efectivo de sobrecarga (N_1)	-	-	74.46	43.92
Densidad Relativa (D_r)	-	-	100.00	100.00
Contenido de Finos (FC) (%)	-	9.80	14.20	11.50
D_{50} (mm)	-	1.788	0.525	0.557
Autor (es)				
Skempton (1986)	-	-	79.20	46.71
Ishihara (1979)	-	-	132.92	97.69
Tatsuoka et al. (1980)	-	-	132.92	97.69
Idriss & Boulanger (2003)	-	-	88.85	52.41
Ishihara, Yasuda & Yokota (1981)	-	-	423.77	251.17
N_{60} corregido por D_r ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$)	-	-	79.20	46.71

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 54 *Corrección por Densidad Relativa (D_r) del número de golpes corregido N_{60} de la perforación P – 03*

Perforación P - 03 (SPT - 03)							
	Estrato 1	Estrato 2		Estrato 3		Estrato 4	
Profundidad: z (m)	0 - 0.45	0.45 - 0.90	0.90 - 1.40	1.40 - 1.60	1.60 - 2.05	2.05 - 2.70	2.70 - 3.00
Número de Golpes (N)	7	27		4		65	
Esfuerzo efectivo de sobrecarga (σ'_v) (KPa)	7.180	21.946		23.721		33.667	
Corrección por esfuerzo efectivo de sobrecarga (N_1)	15.42	49.92		7.26		106.59	
Densidad Relativa (D_r)	63.24	100.00		43.38		100.00	
Contenido de Finos (FC) (%)	15.00	10.80	11.30	50.50	14.40	20.80	16.60
D_{50} (mm)	0.308	0.648	2.122	0.074	0.889	0.208	0.605
Autor (es)							
Skempton (1986)	16.40	53.09		7.72		113.37	
Ishihara (1979)	48.61	105.71	105.59	23.12	163.22	162.18	162.82
Tatsuoka et al. (1980)	48.61	105.71	105.59	23.12	163.22	162.18	162.82
Idriss & Boulanger (2003)	18.40	59.57		8.66		127.19	
Ishihara, Yasuda & Yokota (1981)	82.65	288.16	310.58	28.92	620.64	581.79	610.24
N_{60} corregido por D_r ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$)	16.40	53.09		7.72		113.37	

Fuente: Elaboración propia.

Corrección por Contenido de Finos $(N_1)_{60,CS}$ del número de golpes corregido por sobrecarga $(N_1)_{60}$

Tabla 55 Corrección por Contenido de Finos $(N_1)_{60,CS}$ del número de golpes corregido por sobrecarga $(N_1)_{60}$ de la perforación P – 01

Perforación P - 01 (SPT - 01)							
		Estrato 1		Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	
Profundidad: z (m)	0.00 - 0.50	0.50 - 1.10	1.10 - 1.50	1.50 - 1.70	1.70 - 1.95	1.95 - 2.40	2.40 - 2.85
N_{60} corregido por Sobrecarga ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$) (Menor valor)		20.82		17.53	14.35	35.60	99.45
Contenido de Finos (FC) (%)	19.30	13.60	17.70	4.70	10.00	18.00	17.60
$\Delta(N_1)_{60}$	4.35	2.75	4.02	0.00	1.15	4.09	4.00
Parámetros α, β	3.49 1.07	2.08 1.04	3.17 1.06	0.00 1.00	0.87 1.02	3.23 1.07	3.15 1.06
C_{FINES}	1.12	1.09	1.11	1.03	1.07	1.10	1.08
Corrección de $(N_1)_{60}$ ó $N_{1,60}$ por contenido de Finos FC: $(N_1)_{60,CS}$							
Idriss & Boulanger (2008)	25.18	23.58	24.85	17.53	15.50	39.69	103.44
Youd et al. (2001)	25.87	23.74	25.34	17.53	15.53	41.20	108.94
Cetin et al. (2004)	23.40	22.64	23.18	18.09	15.42	39.07	107.33
$(N_1)_{60}$ corregido por contenido de finos $(N_1)_{60,cs}$	23.40	22.64	23.18	17.53	15.42	39.07	103.44
$(N_1)_{60}$ corregido por contenido de finos $(N_1)_{60,cs}$		22.64		17.53	15.42	39.07	103.44

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 56 *Corrección por Contenido de Finos $(N_1)_{60,CS}$ del número de golpes corregido por sobrecarga $(N_1)_{60}$ de la perforación P – 02*

Perforación P - 02 (SPT - 02)				
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad: z (m)	0 - 1.50	1.50 - 2.00	2.00 - 2.50	2.50 - 3.00
N_{60} corregido por Sobrecarga ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$) (Menor valor)	-	-	64.52	38.49
Contenido de Finos (FC) (%)	-	9.80	14.20	11.50
$\Delta(N_1)_{60}$	-	1.06	2.98	1.84
Parámetros α, β	- -	0.80 1.02	2.27 1.04	1.38 1.03
C_{FINES}	-	-	1.07	1.06
Corrección de $(N_1)_{60}$ ó $N_{1,60}$ por contenido de Finos FC: $(N_1)_{60,CS}$				
Idriss & Boulanger (2008)	-	-	67.50	40.33
Youd et al. (2001)	-	-	69.59	40.99
Cetin et al. (2004)	-	-	68.90	40.83
$(N_1)_{60}$ corregido por contenido de finos $(N_1)_{60,cs}$	-	-	67.50	40.33

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57 *Corrección por Contenido de Finos $(N_1)_{60,CS}$ del número de golpes corregido por sobrecarga $(N_1)_{60}$ de la perforación P – 03*

Perforación P - 03 (SPT - 03)							
	Estrato 1	Estrato 2		Estrato 3		Estrato 4	
Profundidad: z (m)	0 - 0.45	0.45 - 0.90	0.90 - 1.40	1.40 - 1.60	1.60 - 2.05	2.05 - 2.70	2.70 - 3.00
N_{60} corregido por Sobrecarga ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$) (Menor valor)	10.51	38.54		5.15		91.16	
Contenido de Finos (FC) (%)	15.00	10.80	11.30	50.50	14.40	20.80	16.60
$\Delta(N_1)_{60}$	3.26	1.52	1.75	5.61	3.05	4.60	3.75
Parámetros α, β	2.50 1.05	1.14 1.03	1.31 1.03	5.00 1.20	2.32 1.04	3.75 1.08	2.92 1.06
C_{FINES}	1.13	1.06	1.06	-	1.07	1.09	1.08
Corrección de $(N_1)_{60}$ ó $N_{1,60}$ por contenido de Finos FC: $(N_1)_{60,CS}$							
Idriss & Boulanger (2008)	13.77	40.06	40.29	10.77	94.22	95.77	94.91
Youd et al. (2001)	13.52	40.66	40.93	11.18	97.56	102.65	99.33
Cetin et al. (2004)	11.89	40.75	40.85	-	97.13	99.79	98.05
$(N_1)_{60}$ corregido por contenido de finos $(N_1)_{60,cs}$	11.89	40.06	40.29	10.77	94.22	95.77	94.91
$(N_1)_{60}$ corregido por contenido de finos $(N_1)_{60,cs}$	11.89	40.06		10.77		94.22	

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Cálculo de la Magnitud de Escala Sísmica (MSF)

Tabla 58 *Valores de la Magnitud de Escala Sísmica para la perforación P – 01*

Perforación P - 01 (SPT - 01)						
		Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	
Profundidad (m)		0.00 - 1.50	1.50 - 1.70	1.70 - 1.95	1.95 - 2.40	1.40 - 2.85
Corrección de número de golpes por contenido de finos $(N_1)_{60cs}$		22.64	17.53	15.42	39.07	103.44
Magnitud de escala máxima ($MSF_{máx}$)		1.61	1.40	1.33	2.20	2.20
Autor (es)	M_w	Valores de Magnitud de escala (MSF)				
Tokimatsu & Seed (1987)	8.00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Idriss (1999)	8.00	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
Idriss & Boulanger (2014)	8.00	0.91	0.94	0.95	0.81	0.81
Andrus & Stokoe (1997)	8.00	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
Youd & Noble (1997)	8.00	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Cetin (2004)	8.00	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Idriss (2001)	8.00	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Magnitud de Escala Sísmica (MSF)		0.81	0.81	0.81	0.81	0.81

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59 *Valores de la Magnitud de Escala Sísmica para la perforación P – 02*

Perforación P - 02 (SPT - 02)					
		Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad (m)		0 - 1.50	1.50 - 2.00	2.00 - 2.50	2.50 - 3.00
contenido de finos $(N_1)_{60cs}$		-	-	67.50	40.33
Magnitud de escala máxima ($MSF_{máx}$)		-	-	2.20	2.20
Autor (es)	M_w	Valores de Magnitud de escala (MSF)			
Tokimatsu & Seed (1987)	8.00	0.90	0.90	0.90	0.90
Idriss (1999)	8.00	0.88	0.88	0.88	0.88
Idriss & Boulanger (2014)	8.00	-	-	0.81	0.81
Andrus & Stokoe (1997)	8.00	0.81	0.81	0.81	0.81
Youd & Noble (1997)	8.00	0.85	0.85	0.85	0.85
Cetin (2004)	8.00	0.87	0.87	0.87	0.87
Idriss (2001)	8.00	0.85	0.85	0.85	0.85
Magnitud de Escala Sísmica (MSF)		0.81	0.81	0.81	0.81

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 60 *Valores de la Magnitud de Escala Sísmica para la perforación P – 03*

Perforación P - 03 (SPT - 03)					
		Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad (m)		0 - 0.45	0.45 - 1.40	1.40 - 1.60	1.60 - 3.00
contenido de finos $(N_1)_{60cs}$		11.89	40.06	10.77	94.22
Magnitud de escala máxima ($MSF_{máx}$)		1.23	2.20	1.21	2.20
Autor (es)	M_w	Valores de Magnitud de escala (MSF)			
Tokimatsu & Seed (1987)	8.00	0.90	0.90	0.90	0.90
Idriss (1999)	8.00	0.88	0.88	0.88	0.88
Idriss & Boulanger (2014)	8.00	0.96	0.81	0.97	0.81
Andrus & Stokoe (1997)	8.00	0.81	0.81	0.81	0.81
Youd & Noble (1997)	8.00	0.85	0.85	0.85	0.85
Cetin (2004)	8.00	0.87	0.87	0.87	0.87
Idriss (2001)	8.00	0.85	0.85	0.85	0.85
Magnitud de Escala Sísmica (MSF)		0.81	0.81	0.81	0.81

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del Factor de Resistencia Cíclica (CRR)

Tabla 61 *Valores del Factor de Resistencia Cíclica para la perforación P – 01*

Perforación P - 01 (SPT - 01)							
		Estrato 1		Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	
Profundidad: z (m)	0.00 - 0.50	0.50 - 1.10	1.10 - 1.50	1.50 - 1.70	1.70 - 1.95	1.95 - 2.40	2.40 - 2.85
N_{60} corregido por Sobrecarga ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$)		20.82		17.53	14.35	35.60	99.45
Contenido de Finos (FC) (%)	19.30	13.60	17.70	4.70	10.00	18.00	17.60
$(N_1)_{60}$ corregido por contenido de finos $(N_1)_{60,cs}$		22.64		17.53	15.42	39.07	103.44
$CRR_{(M=7.5)}$ De gráficas de Seed et al. (1984) - Youd & Idriss (2001)	0.371	0.294	0.354	0.191	0.180	-	-
CRR de gráfica de Seed et al. (1985)	0.336	0.298	0.327	0.191	0.174	-	-
Magnitud de Escala Sísmica (MSF)		0.81		0.81	0.81	0.81	
Esfuerzo vertical efectivo (σ'_v) (g/cm^2)		256.65		292.25	333.80	366.58	399.36
Esfuerzo vertical efectivo (σ'_v) (kg/cm^2)		0.257		0.292	0.334	0.367	0.399
Esfuerzo vertical efectivo (σ'_v) (KPa)		25.17		28.66	32.73	35.95	39.16
D_{50} (mm)	1.356	0.640	0.359	0.356	0.906	0.448	0.442
Constante R_3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Factor de Resistencia Cíclica ($CRR_{7.5}$)							
Rocscience (2016) ($CRR_{7.5}$)		0.251		0.187	0.164	0.087	0.747
Idriss & Boulanger (2004) ($CRR_{M=7.5}$, σ=1)		0.243		0.179	0.160	3.087	1.46E+85
Código Japonés para Puentes (JRA) (1990) ($CRR_{M=7.5}$, σ=1)	0.379	0.379	0.426	0.369	0.291	0.507	0.830
Seed et al. (1984) ($CRR_{7.5}$)	0.371	0.294	0.354	0.191	0.180	-	-
NCEER (1997) (CRR)	0.336	0.298	0.327	0.191	0.174	-	-
Factor de Resistencia Cíclica ($CRR_{7.5}$)		0.379		0.369	0.291	0.507	0.830
Factor de Resistencia Cíclica corregida por Magnitud (CRR)		0.306		0.298	0.235	0.409	0.670

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 62 *Valores del Factor de Resistencia Cíclica para la perforación P – 02*

Perforación P - 02 (SPT - 02)				
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad: z (m)	1.50	2.00	2.50	3.00
N_{60} corregido por Sobrecarga ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$)	-	-	64.52	38.49
Contenido de Finos (FC) (%)	-	9.80	14.20	11.50
$(N_1)_{60}$ corregido por contenido de finos $(N_1)_{60,cs}$	-	-	67.50	40.33
$CRR_{(M=7.5)}$ De gráficas de Seed et al. (1984) - Youd & Idriss (2001)	-	-	-	-
CRR de gráfica de Seed et al. (1985)	-	-	-	-
Magnitud de Escala Sísmica (MSF)	0.81	0.81	0.81	0.81
Esfuerzo vertical efectivo (σ'_v) (g/cm^2)	240.00	333.55	426.95	509.85
Esfuerzo vertical efectivo (σ'_v) (kg/cm^2)	0.240	0.334	0.427	0.510
Esfuerzo vertical efectivo (σ'_v) (KPa)	23.54	32.71	41.87	50.00
D_{50} (mm)	-	1.788	0.525	0.557
Constante R_3	-	0.00	0.00	0.00
Factor De Resistencia Cíclica (CRR)				
Rocscience (2016) ($CRR_{7.5}$)	-	-	0.465	0.136
Idriss & Boulanger (2004) ($CRR_{M=7.5}$, σ=1)	-	-	3.07E+12	4.612
Código Japonés para Puentes (JRA) (1990) ($CRR_{M=7.5,}$ σ=1)	-	-	0.638	0.458
Seed et al. (1984) ($CRR_{7.5}$)	-	-	-	-
NCEER (1997) (CRR)	-	-	-	-
Factor de Resistencia Cíclica ($CRR_{7.5}$)	-	-	0.638	0.458
Factor de Resistencia Cíclica corregida por Magnitud (CRR)	-	-	0.515	0.370

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 63 *Valores del Factor de Resistencia Cíclica para la perforación P – 03*

Perforación P - 03 (SPT - 03)							
	Estrato 1	Estrato 2		Estrato 3		Estrato 4	
Profundidad: z (m)	0 - 0.45	0.45 - 0.90	0.90 - 1.40	1.40 - 1.60	1.60 - 2.05	2.05 - 2.70	2.70 - 3.00
N_{60} corregido por Sobrecarga ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$)	10.51	38.54		5.15		91.16	
Contenido de Finos (FC) (%)	15.00	10.80	11.30	50.50	14.40	20.80	16.60
$(N_1)_{60}$ corregido por contenido de finos $(N_1)_{60,cs}$	11.89	40.06		10.77		94.22	
$CRR_{(M=7.5)}$ De gráficas de Seed et al. (1984) - Youd & Idriss (2001)	0.157	-	-	-	-	-	-
CRR de gráfica de Seed et al. (1985)	0.160	-	-	-	-	-	-
Magnitud de Escala Sísmica (MSF)	0.81	0.81		0.81		0.81	
Esfuerzo vertical efectivo (σ'_v) (g/cm^2)	73.22	223.79		241.89		343.31	
Esfuerzo vertical efectivo (σ'_v) (kg/cm^2)	0.073	0.224		0.242		0.343	
Esfuerzo vertical efectivo (σ'_v) (KPa)	7.18	21.95		23.72		33.67	
D_{50} (mm)	0.308	0.648	2.122	0.074	0.889	0.208	0.605
Constante R_3	0.00	0.00	0.00	0.042	0.00	0.00	0.00
Factor de Resistencia Cíclica (CRR)							
Rocscience (2016) ($CRR_{7.5}$)	0.130	0.127		0.120		0.676	
Idriss & Boulanger (2004) ($CRR_{M=7.5}$, σ=1)	0.132	4.214		0.123		3.22E+56	
Código Japonés para Puentes (JRA) (1990) ($CRR_{M=7.5}$, σ=1)	0.360	0.531	-	0.512	0.788	0.896	0.788
Seed et al. (1984) ($CRR_{7.5}$)	0.157	-	-	-	-	-	-
NCEER (1997) (CRR)	0.160	-	-	-	-	-	-
Factor de Resistencia Cíclica ($CRR_{7.5}$)	0.360	0.531		0.512		0.896	
Factor de Resistencia Cíclica corregida por Magnitud (CRR)	0.291	0.429		0.414		0.724	

Fuente: Elaboración propia.

Valores de Factor de Sobrecarga K_σ

Tabla 64 *Valores del Factor de Sobrecarga K_σ para la perforación P – 01*

Perforación P - 01 (SPT - 01)					
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	
Profundidad: z (m)	1.50	1.70	1.95	2.40	2.85
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (g/cm^2)	256.65	292.25	333.80	366.58	399.36
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (atm)	0.248	0.283	0.323	0.355	0.387
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (psf)	525.67	598.59	683.69	750.83	817.97
Presión atmosférica: Pa (g/cm^2)			784.35		
Densidad Relativa (D_r)	83.37	76.23	68.72	107.96	172.90
Factor de condición de Sitio (f) (Hynes & Olsen, 1999)	-	0.681	0.644	-	-
N_{60} corregido por Sobrecarga ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$)	20.82	17.53	14.35	35.60	99.45
Factor C_σ	0.138	0.122	0.108	0.271	-0.153
Autor (es)					
Hynes & Olsen (1999)	-	1.370	1.356	-	-
NCEER (1996)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Idriss & Boulanger (2008)	1.100	1.100	1.092	1.100	0.897
Cetin et al. (2004) & NCEER (1997)	1.000	1.000	1.367	1.332	1.290
Factor de Sobrecarga (K_σ)	1.000	1.000	1.092	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 65 *Valores del Factor de Sobrecarga K_σ para la perforación P – 02*

Perforación P - 02 (SPT - 02)				
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad: z (m)	1.50	2.00	2.50	3.00
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (g/cm^2)	240.00	333.55	426.95	509.85
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (atm)	0.232	0.323	0.413	0.493
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (psf)	491.57	683.18	874.48	1044.27
Presión atmosférica: Pa (g/cm^2)		784.35		
Densidad Relativa (D_r)	-	-	138.98	106.74
Factor de condición de Sitio (f) (Hynes & Olsen, 1999)	-	-	-	-
N_{60} corregido por Sobrecarga ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$)	-	-	64.52	38.49
Factor C_σ	-	-	-0.632	0.325
Autor (es)				
Hynes & Olsen (1999)	-	-	-	-
NCEER (1996)	1.000	1.000	1.000	1.000
Idriss & Boulanger (2008)	-	-	0.616	1.100
Cetin et al. (2004) & NCEER (1997)	1.000	1.367	1.250	1.200
Factor de Sobrecarga (K_σ)	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 66 *Valores del Factor de Sobrecarga K_σ para la perforación P – 03*

Perforación P - 03 (SPT - 03)				
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad: z (m)	0.45	1.40	1.60	3.00
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (g/cm^2)	73.22	223.79	241.89	343.31
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (atm)	0.071	0.217	0.234	0.332
Esfuerzo efectivo de sobrecarga: σ'_v (psf)	149.97	458.37	495.44	703.17
Presión atmosférica: Pa (g/cm^2)		784.35		
Densidad Relativa (D_r)	63.24	113.80	43.38	166.29
Factor de condición de Sitio (f) (Hynes & Olsen, 1999)	0.616	-	0.717	-
N_{60} corregido por Sobrecarga ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$)	10.51	38.54	5.15	91.16
Factor C_σ	0.094	0.326	0.076	-0.184
Autor (es)				
Hynes & Olsen (1999)	2.485	-	1.395	-
NCEER (1996)	1.000	1.000	1.000	1.000
Idriss & Boulanger (2008)	1.100	1.100	1.090	0.848
Cetin et al. (2004) & NCEER (1997)	1.000	1.000	1.000	1.342
Factor de Sobrecarga (K_σ)	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Valores del Factor de Corrección por Esfuerzo Cortante (K_α)

Tabla 67 *Valores del Factor de Corrección por Esfuerzo Cortante para la perforación P – 01*

Perforación P - 01 (SPT - 01)					
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	
Profundidad: z (m)	1.50	1.70	1.95	2.40	2.85
Tangente de la pendiente del terreno del AAHH Sor Ana de los Ángeles (α)			0.0134		
Constante a			0.9738		
Constante b			0.0012		
Constante c			0.1397		
Constante Q			8		
Esfuerzo normal efectivo (p') (g/cm^2)	256.65	292.25	333.80	366.58	399.36
Presión Atmosférica (Pa) (g/cm^2)			784.35		
Densidad Relativa (D_r) (%)	83.37	76.23	68.72	107.96	172.90
Constante ξ_R	-0.60	-0.53	-0.45	-0.60	0.00
Autor (es)					
Idriss & Boulanger (2003)	0.9738	0.9738	0.9738	0.9738	0.9750
Factor de Corrección por Esfuerzo Constante (K_α)	0.9738	0.9738	0.9738	0.9738	0.9750

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 68 *Valores del Factor de Corrección por Esfuerzo Cortante para la perforación P – 02*

Perforación P - 02 (SPT - 02)				
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad: z (m)	1.50	2.00	2.50	3.00
Tangente de la pendiente del terreno del AAHH Sor Ana de los Ángeles (α)		0.0134		
Constante a		0.9738		
Constante b		0.0012		
Constante c		0.1397		
Constante Q		8		
Esfuerzo normal efectivo (p') (g/cm^2)	240.00	333.55	426.95	509.85
Presión Atmosférica (Pa) (g/cm^2)		784.35		
Densidad Relativa (D_r) (%)	-	-	138.98	106.74
Constante ξ_R	-	-	-0.60	-0.60
Autor (es)				
Idriss & Boulanger (2003)	-	-	0.9738	0.9738
Factor de Corrección por Esfuerzo Constante (K_α)	-	-	0.9738	0.9738

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 69 *Valores del Factor de Corrección por Esfuerzo Cortante para la perforación P – 03*

Perforación P - 03 (SPT - 03)				
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad: z (m)	0.45	1.40	1.60	3.00
Tangente de la pendiente del terreno del AAHH Sor Ana de los Ángeles (α)		0.0134		
Constante a		0.9738		
Constante b		0.0012		
Constante c		0.1397		
Constante Q		8		
Esfuerzo normal efectivo (p') (g/cm^2)	73.22	223.79	241.89	343.31
Presión Atmosférica (Pa) (g/cm^2)		784.35		
Densidad Relativa (D_r) (%)	63.24	113.80	43.38	166.29
Constante ξ_R	-0.46	-0.60	-0.22	-0.60
Autor (es)				
Idriss & Boulanger (2003)	0.9738	0.9738	0.9740	0.9738
Factor de Corrección por Esfuerzo Constante (K_α)	0.9738	0.9738	0.9740	0.9738

Fuente: Elaboración propia.

Valores del Factor de Seguridad frente a la ocurrencia de Licuefacción de Suelos

Tabla 70 *Valores del Factor de Seguridad frente a la ocurrencia de Licuefacción de Suelos (FS_L) para la perforación P - 01*

Perforación P - 01 (SPT - 01)					
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	
Profundidad: z (m)	1.50	1.70	1.95	2.40	2.85
Factor de Resistencia Cíclica corregida por Magnitud (CRR)	0.306	0.298	0.235	0.409	0.670
Relación de Estrés Cíclico (CSR)	0.442	0.445	0.449	0.570	
Factor de Sobrecarga (K_σ)	1.000	1.000	1.092	1.000	1.000
Factor de Corrección por Esfuerzo Constante (K_α)	0.9738	0.9738	0.9738	0.9738	0.9750
Factor de Seguridad Frente a la ocurrencia de Licuefacción (FS_L)	0.67	0.65	0.56	0.70	1.15
Factor de Seguridad Frente a la ocurrencia de Licuefacción Mínimo ($FS_{Lmín}$)			1.00		
Edificación Tipo C	No apto	No apto	No apto	No apto	Apto

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 71 *Valores del Factor de Seguridad frente a la ocurrencia de Licuefacción de Suelos (FS_L) para la perforación P – 02*

Perforación P - 02 (SPT - 02)				
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad: z (m)	1.50	2.00	2.50	3.00
Factor de Resistencia Cíclica corregida por Magnitud (CRR)	-	-	0.515	0.370
Relación de Estrés Cíclico (CSR)	0.442	0.450	0.459	0.468
Factor de Sobrecarga (K_σ)	1.000	1.000	1.000	1.000
Factor de Corrección por Esfuerzo Constante (K_α)	-	-	0.9738	0.9738
Factor de Seguridad Frente a la ocurrencia de Licuefacción (FS_L)	-	-	1.09	0.77
Factor de Seguridad Frente a la ocurrencia de Licuefacción Mínimo ($FS_{Lmín}$)			1.00	
Edificación tipo C	No evaluado		Apto	No Apto

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 72 *Valores del Factor de Seguridad frente a la ocurrencia de Licuefacción de Suelos (FS_L) para la perforación P – 03*

Perforación P - 03 (SPT - 03)				
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad: z (m)	0.45	1.40	1.60	3.00
Factor de Resistencia Cíclica corregida por Magnitud (CRR)	0.291	0.429	0.414	0.724
Relación de Estrés Cíclico (CSR)	0.428	0.441	0.462	0.672
Factor de Sobrecarga (K_σ)	1.000	1.000	1.000	1.000
Factor de Corrección por Esfuerzo Constante (K_α)	0.9738	0.9738	0.9740	0.9738
Factor de Seguridad Frente a la ocurrencia de Licuefacción (FS_L)	0.66	0.95	0.87	1.05
Factor de Seguridad Frente a la ocurrencia de Licuefacción Mínimo ($FS_{Lmín}$)			1.00	
Edificación Tipo C	No Apto	No Apto	No Apto	Apto

Fuente: Elaboración propia.

Potencial de Licuefacción

La Relación de Estrés Cíclico equivalente (CSR_{eq} ó CSR_N) se determina en función a la curva propuesta por Seed (2001).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

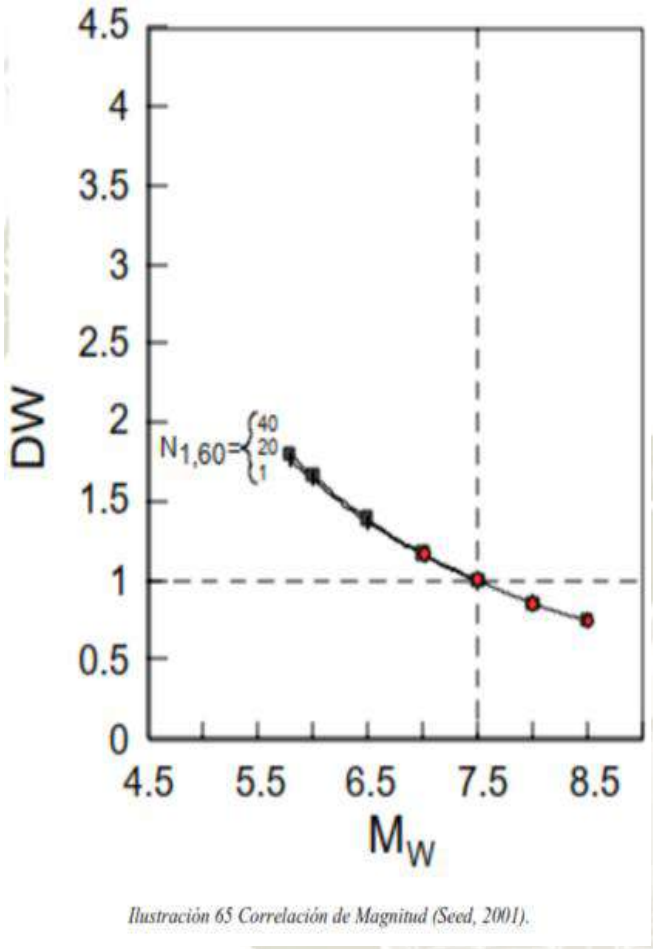


Ilustración 65 Correlación de Magnitud (Seed, 2001).

$$CSRN = CSR_{eq.M=7.5} = \frac{CSR_{eq.M=M}}{DWF_M}$$

Fuente: Guillén S. Andrea, Mendoza P., Víctor (2018). Recuperado de Evaluación del Potencial de Licuefacción de Suelos en el Centro Poblado El Pasto, distrito de Socabaya, Arequipa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 73 *Potencial de Licuefacción para la perforación P – 01*

Perforación P - 01 (SPT - 01)							
		Estrato 1		Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	
Profundidad: z (m)	0.00 - 0.50	0.50 - 1.10	1.10 - 1.50	1.50 - 1.70	1.70 - 1.95	1.95 - 2.40	2.40 - 2.85
N_{60} corregido por Sobrecarga ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$)		20.82		17.53	14.35	35.60	99.45
$(N_1)_{60}$ corregido por contenido de finos $(N_1)_{60,cs}$		22.64		17.53	15.42	39.07	103.44
Contenido de Finos (FC) (%)	19.30	13.60	17.70	4.70	10.00	18.00	17.60
Magnitud Momento (M_w)				8.00			
Esfuerzo vertical efectivo (σ'_v) (g/cm^2)		256.65		292.25	366.58	399.36	
Presión atmosférica: Pa (g/cm^2)				784.35			
Factor de Resistencia Cíclica corregida por Magnitud (CRR)		0.306		0.298	0.235	0.409	0.670
Relación de Estrés Cíclico (CSR)		0.442		0.445	0.449	0.570	
Relación de Estrés Cíclico equivalente (CSR_{eq} ó CSR_N)		0.514		0.517	0.522	0.661	
		Autor (es)					
Liao et al. (1988): P_L (%)	81.43	35.65	75.16	26.00	42.50	-	-
Youd & Noble - Probabilistic (2001)		67.01		88.05	96.42	5.66	0.00
Youd & Noble (1997): P_L (%)		75.71		91.56	100.00	-	-
Potencial de Licuefacción (P_L) (%)		67.01		88.05	96.42	5.66	
Denominación (NTE E.050)		Alto P_L		Alto P_L	Alto P_L	Bajo P_L	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 74 Potencial de Licuefacción para la perforación P – 02

Perforación P - 02 (SPT - 02)				
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
Profundidad: z (m)	1.50	2.00	2.50	3.00
N_{60} corregido por Sobrecarga ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$)	-	-	64.52	38.49
$(N_1)_{60}$ corregido por contenido de finos $(N_1)_{60,cs}$	-	-	67.50	40.33
Contenido de Finos (FC) (%)	-	9.80	14.20	11.50
Magnitud Momento (M_w)		8.00		
Esfuerzo vertical efectivo (σ'_v) (g/cm^2)	240.00	333.55	426.95	509.85
Presión atmosférica: Pa (g/cm^2)		784.35		
Factor de Resistencia Cíclica corregida por Magnitud (CRR)	-	-	0.515	0.370
Relación de Estrés Cíclico (CSR)	0.442	0.450	0.459	0.468
Relación de Estrés Cíclico equivalente (CSR_{eq} ó CSR_N)	0.514	0.523	0.532	0.543
Autor (es)				
Liao et al. (1988)	-	-	-	7.56
Youd & Noble - Probabilistic (2001)	-	-	0.00	3.06
Youd & Noble (1997)	-	-	-	4.00
Potencial de Licuefacción (P_L) (%)	-	-	0.00	3.06
Denominación (NTE E.050)	No Evaluado		Muy Bajo P_L	Muy Bajo P_L

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 75 *Potencial de Licuefacción para la perforación P – 03*

Perforación P - 03 (SPT - 03)							
	Estrato 1	Estrato 2		Estrato 3		Estrato 4	
Profundidad: z (m)	0 - 0.45	0.45 - 0.90	0.90 - 1.40	1.40 - 1.60	1.60 - 2.05	2.05 - 2.70	2.70 - 3.00
N_{60} corregido por Sobrecarga ($N_{1,60}$ o $(N_1)_{60}$)	10.51	38.54		5.15		91.16	
$(N_1)_{60}$ corregido por contenido de finos $(N_1)_{60,cs}$	11.89	40.06		10.77		94.22	
Contenido de Finos (FC) (%)	15.00	10.80	11.30	50.50	14.40	20.80	16.60
Magnitud Momento (M_w)				8.00			
Esfuerzo vertical efectivo (σ'_v) (g/cm^2)	73.22	223.79		241.89		343.31	
Presión atmosférica: Pa (g/cm^2)				784.35			
Factor de Resistencia Cíclica corregida por Magnitud (CRR)	0.291	0.429		0.414		0.724	
Relación de Estrés Cíclico (CSR)	0.428	0.441		0.462		0.672	
Relación de Estrés Cíclico equivalente (CSR_{eq} ó CSR_N)	0.497	0.512		0.537		0.780	
		Autor (es)					
Liao et al. (1988)	60.80	-		62.00		-	
Youd & Noble - Probabilistic (2001)	96.88	5.05		99.19		0.00	
Youd & Noble (1997)	68.00	0.00		80.93		-	
Potencial de Licuefacción (P_L) (%)	96.88	5.05		99.19		0.00	
Denominación (NTE E.050)	Alto P_L	Bajo P_L		Alto P_L		Muy Bajo P_L	

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

c. Valores de Potencial de Licuefacción de Suelos basados en la Velocidad de ondas de Corte Sísmica (V_s), obtenido del Análisis multicanal de ondas de superficie (MASW)

Tabla 76 *Valores de Potencial de Licuefacción de Suelos P_L a partir de las Velocidades de Ondas de Corte Sísmica (Vs) de la auscultación A – 01*

Auscultación A-01			
Estrato	1	2	3
Profundidad	5.28	9.40	26.78
Vs30 (m/s)	237.01	362.56	474.91
Corrección de Vs a Vs1 (m/s)			
Juang et al (2001)		No Evaluada	
Corrección de Vs1 a Vs1,cs (m/s)			
Andrus (2004)		No Evaluada	
Factor de Resistencia Cíclica ($CRR_{7.5}$)			
Andrus (2004)	0.238	0.295	0.494
NCEER (1997)	0.188	0.395	0.675
Factor de Resistencia Cíclica (CRR7.5)	0.238	0.295	0.494
Factor de Corrección por Sobrecarga (Kσ)			
Factor C_σ	0.233	-0.080	-0.031
Factor de Sobrecarga (K_σ)	1.100	1.100	1.100
Factor de Resistencia Cíclica afectado por Sobrecarga ($CRR_{7.5}*K_\sigma$)	0.262	0.325	0.543
Potencial de Licuefacción de Suelos (P_L) (%)	4.22	0.00	0.00
Denominación (NTE E.050)		Muy Bajo P_L	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 77 *Valores de Potencial de Licuefacción de Suelos P_L a partir de las Velocidades de Ondas de Corte Sísmica (Vs) de la auscultación A – 01 (Detallado)*

Auscultación A-01				
Estrato		1		
Profundidad	1.07	2.31	3.71	5.28
Vs (m/s)	195.00	204.00	248.00	310.00
Corrección de Vs a Vs1 (m/s)				
Juang et al (2001)		No Evaluada		
Corrección de Vs1 a Vs1,cs (m/s)				
Andrus (2004)		No Evaluada		
Factor de Resistencia Cíclica ($CRR_{7.5}$)				
Andrus (2004)	0.211	0.333	0.207	0.228
NCEER (1997)	0.290	0.345	0.199	0.292
Factor de Resistencia Cíclica (CRR7.5)	0.211	0.333	0.207	0.228
Factor de Corrección por Sobrecarga (Kσ)				
Factor C_σ	0.116	0.129	0.327	-0.210
Factor de Sobrecarga (K_σ)	1.100	1.100	1.100	1.100
Factor de Resistencia Cíclica afectado por Sobrecarga ($CRR_{7.5}*K_\sigma$)	0.232	0.366	0.228	0.251
Potencial de Licuefacción de Suelos (P_L) (%)	29.37	44.45	0.15	0.00
Denominación (NTE E.050)	Moderado P_L	Moderado P_L	Muy Bajo P_L	Muy Bajo P_L

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 78 *Valores de Potencial de Licuefacción de Suelos P_L a partir de las Velocidades de Ondas de Corte Sísmica (Vs) de la auscultación A – 02*

Auscultación A-02			
Estrato	1	2	3
Profundidad	5.28	13.19	26.79
Vs30 (m/s)	225.46	421.36	496.90
Corrección de Vs a Vs1 (m/s)			
Juang et al (2001)	No Evaluada		
Corrección de Vs1 a Vs1,cs (m/s)			
Andrus (2004)	No Evaluada		
Factor de Resistencia Cíclica ($CRR_{7.5}$)			
Andrus (2004)	0.366	0.391	0.540
NCEER (1997)	0.183	0.532	0.739
Factor de Resistencia Cíclica (CRR7.5)	0.366	0.391	0.540
Factor de Corrección por Sobrecarga (Kσ)			
Factor C_σ	0.180	-0.045	-0.028
Factor de Sobrecarga (K_σ)	1.100	1.100	1.100
Factor de Resistencia Cíclica afectado por Sobrecarga ($CRR_{7.5}$*K_σ)	0.403	0.430	0.594
Potencial de Licuefacción de Suelos (P_L) (%)	21.76	0.00	0.00
Denominación (NTE E.050)	Moderado P_L	Muy Bajo P_L	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 79 *Valores de Potencial de Licuefacción de Suelos P_L a partir de las Velocidades de Ondas de Corte Sísmica (Vs) de la auscultación A – 02 (Detallado)*

Auscultación A-02				
Estrato	1			
Profundidad	1.07	2.31	3.71	5.28
Vs (m/s)	154.00	175.00	269.00	376.00
Corrección de Vs a Vs1 (m/s)				
Juang et al (2001)	No Evaluada			
Corrección de Vs1 a Vs1,cs (m/s)				
Andrus (2004)	No Evaluada			
Factor de Resistencia Cíclica ($CRR_{7.5}$)				
Andrus (2004)	0.085	0.124	0.198	0.315
NCEER (1997)	0.086	0.123	0.226	0.425
Factor de Resistencia Cíclica (CRR7.5)	0.085	0.124	0.198	0.315
Factor de Corrección por Sobrecarga (Kσ)				
Factor C_σ	0.082	0.096	1.759	-0.069
Factor de Sobrecarga (K_σ)	1.100	1.100	1.100	1.100
Factor de Resistencia Cíclica afectado por Sobrecarga ($CRR_{7.5}$*K_σ)	0.094	0.137	0.218	0.347
Potencial de Licuefacción de Suelos (P_L) (%)	31.88	25.98	0.38	0.00
Denominación (NTE E.050)	Moderado P_L	Moderado P_L	Muy Bajo P_L	Muy Bajo P_L

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 80 *Valores de Potencial de Licuefacción de Suelos P_L a partir de las Velocidades de Ondas de Corte Sísmica (Vs) de la auscultación A – 03*

Auscultación A-03			
Estrato	1	2	3
Profundidad	7.01	15.58	30.00
Vs30 (m/s)	314.81	510.58	615.92
Corrección de Vs a Vs1 (m/s)			
Juang et al (2001)		No Evaluada	
Corrección de Vs1 a Vs1,cs (m/s)			
Andrus (2004)		No Evaluada	
Factor de Resistencia Cíclica ($CRR_{7.5}$)			
Andrus (2004)	0.233	0.570	0.829
NCEER (1997)	0.301	0.780	1.136
Factor de Resistencia Cíclica (CRR7.5)	0.233	0.570	0.829
Factor de Corrección por Sobrecarga (Kσ)			
Factor C_σ	-0.185	-0.026	-0.016
Factor de Sobrecarga (K_σ)	1.100	1.100	1.100
Factor de Resistencia Cíclica afectado por Sobrecarga ($CRR_{7.5}$*K_σ)	0.256	0.627	0.911
Potencial de Licuefacción de Suelos (P_L) (%)	0.00	0.00	0.00
Denominación (NTE E.050)		Muy Bajo P_L	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 81 *Valores de Potencial de Licuefacción de Suelos P_L a partir de las Velocidades de Ondas de Corte Sísmica (Vs) de la auscultación A – 03 (Detallado)*

Auscultación A-03					
Estrato			1		
Profundidad	1.07	2.31	3.71	5.28	7.01
Vs (m/s)	248.00	251.00	328.00	351.00	405.00
Corrección de Vs a Vs1 (m/s)					
Juang et al (2001)			No Evaluada		
Corrección de Vs1 a Vs1,cs (m/s)					
Andrus (2004)			No Evaluada		
Factor de Resistencia Cíclica ($CRR_{7.5}$)					
Andrus (2004)	0.207	0.203	0.248	0.279	0.363
NCEER (1997)	0.199	0.202	0.325	0.371	0.492
Factor de Resistencia Cíclica (CRR7.5)	0.207	0.203	0.248	0.279	0.363
Factor de Corrección por Sobrecarga (Kσ)					
Factor C_σ	0.327	0.369	-0.137	-0.094	-0.052
Factor de Sobrecarga (K_σ)	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100
Factor de Resistencia Cíclica afectado por Sobrecarga ($CRR_{7.5}$*K_σ)	0.228	0.224	0.273	0.306	0.399
Potencial de Licuefacción de Suelos (P_L) (%)	1.53	1.22	0.00	0.00	0.00
Denominación (NTE E.050)	Muy Bajo P_L	Muy Bajo P_L	Muy Bajo P_L	Muy Bajo P_L	Muy Bajo P_L

Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CONCLUSIONES

1. Se determinó el Potencial de Licuefacción de suelos en el A. H. Sor Ana de los Ángeles, siendo los resultados:

   Grado 1: Zonificación General

   - Criterio Magnitud - Distancia máxima: Para un sismo M_w = 8.00, el área susceptible a la licuefacción considera la distancia (R) igual a 328.02km.
   - Criterio Intensidad: Considerando la edad geológica como Cuaternario Holoceno y una intensidad en la Escala de Mercalli Modificada igual a IX (asumiendo que para una M_w = 8.0, el daño por licuefacción es inminente); el área de estudio es susceptible a ser afectada por el fenómeno de licuefacción de suelos.
   - Criterio de información Geológica y Geomorfológica: Se identificó como unidad geomorfológica una vertiente Glacio Fluvial y como unidad geológica Depósito Aluvial (Qh-Al). Así mismo, la edad geológica del depósito como Holoceno con presencia de poca cohesión; se determinó una susceptibilidad a la licuefacción moderada.

   Grado 2: Zonificación Detallada

   - Criterio Geológicos y Geomorfológicos: Se determinó la edad del depósito como Holoceno Superior y la unidad geomorfológica Abanico Aluvial (Aba) dentro de la parte deposicional de la misma. Con esta información se determina una probabilidad moderada de susceptibilidad a la licuefacción.

     Por otro lado, según la condición geomorfológica se determinó que no es probable la susceptibilidad a la licuefacción.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

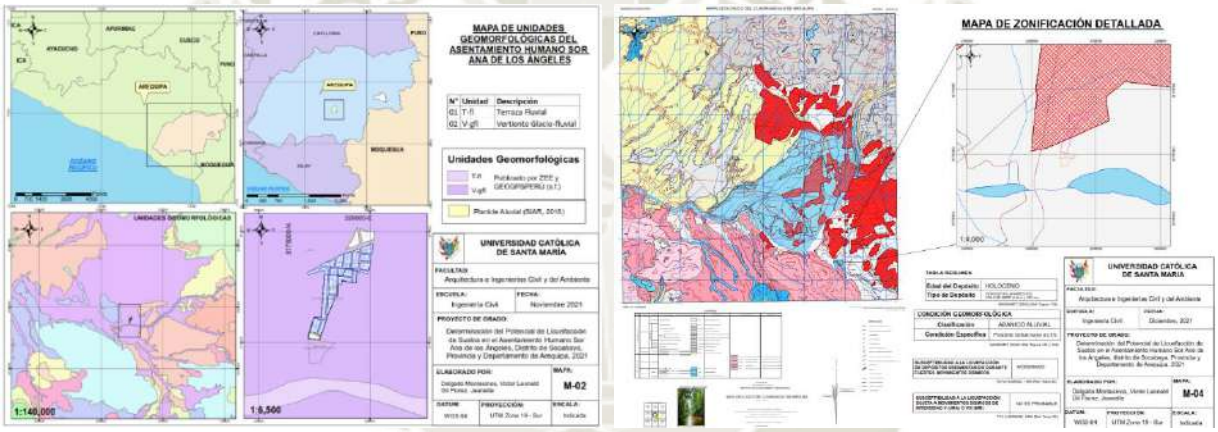
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Grado 3: Zonificación Rigurosa

- Se determinó el Potencial de Licuefacción de Suelos de manera Cuantitativa, a partir de información obtenida del Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y el Análisis Muticanal de Ondas de Superficie (MASW).

2. En referencia a las unidades geológicas y geomorfológicas se presenta el Mapa de Unidades Geomorfológicas del A. H. Sor Ana de los Ángeles (M - 02). Por otro lado, la unidad Geológica se encuentra definida en el Mapa de Zonificación Detallada (M – 04) (Anexo 15).



3. Se determinó el nivel de conocimiento sobre el fenómeno de Licuefacción de Suelos, a través de datos porcentuales estadísticos. El 76% de viviendas fueron construidas antes del terremoto del 2001; el 57% de viviendas se construyeron sin asesoría de un profesional; sólo un 20% conoce sobre el fenómeno de licuefacción de suelos. El 68% de viviendas fueron afectadas por el sismo del 2001; el 54% de viviendas presenció evidencias de licuefacción de suelos después de un sismo. Finalmente, se cuenta con gran aprobación para proyectos de mitigación frente al fenómeno de licuefacción de suelos (98% de viviendas).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA





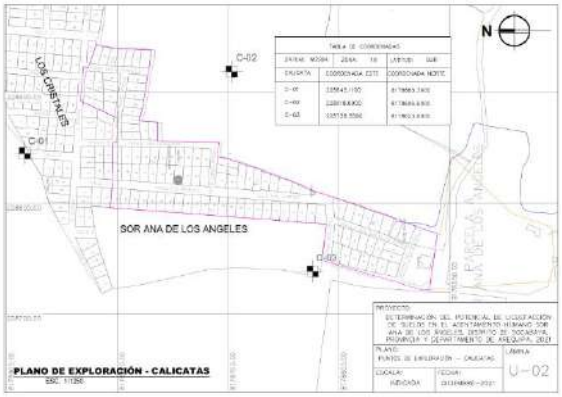








4. Se detalla mediante planos el Plan de Exploración de suelos con calicatas, perforaciones y auscultaciones, presentados en los planos U – 02, U – 03, U – 04 y U – 05 (Anexo 15).

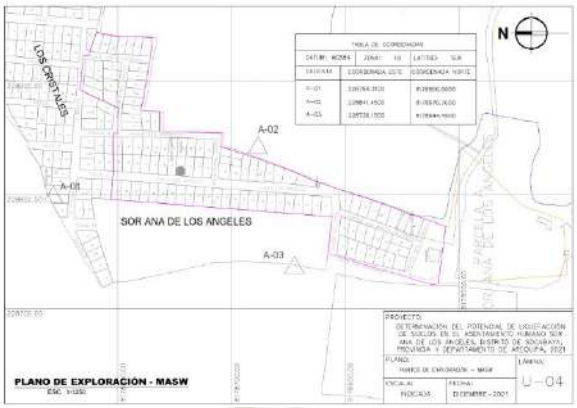


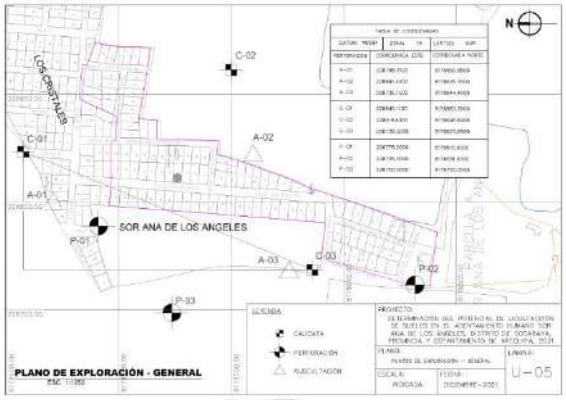


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

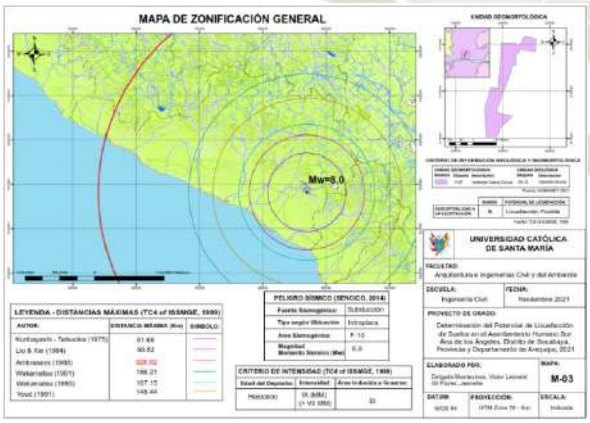
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

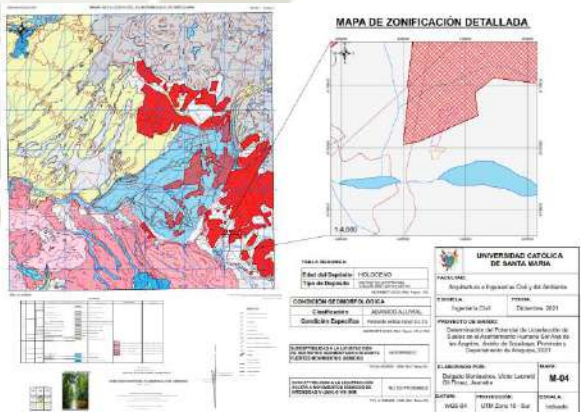
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA





5. Se determinaron los puntos de exploración en función a la accesibilidad del lugar, siendo ubicados en zonas aledañas al Asentamiento Humano.
6. Se analizó el Potencial de Licuefacción de suelos con base en el Fundamento Teórico usado por el software Settle 3D actualizado al 2016. El que considera diversos autores como Seed, Idriss, Cetin, Boulanger, entre otros. Los resultados se muestran líneas abajo.
7. Se muestra la evaluación de los grados de susceptibilidad a la Licuefacción de suelos en los mapas M – 03, M – 04, M – 05, M – 06 y M – 07 (Anexo15).

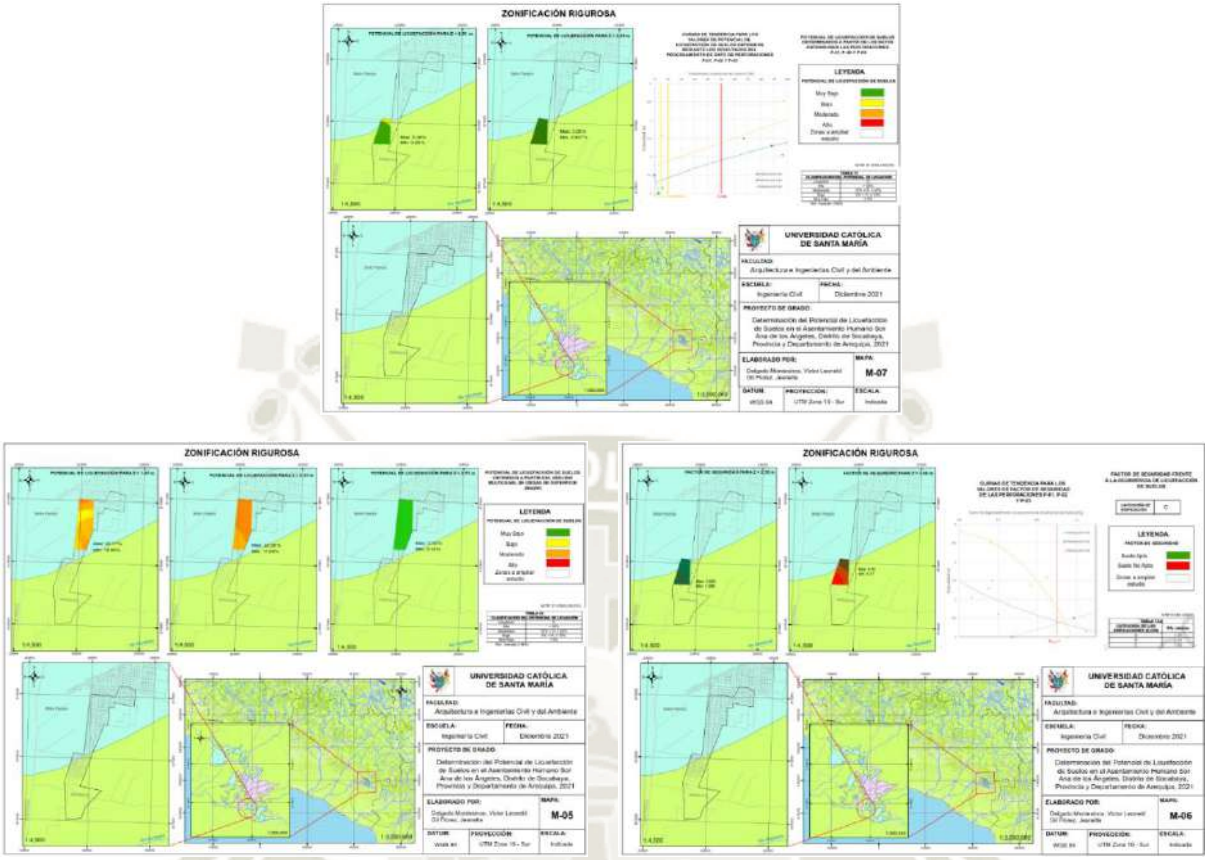




Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



8. Se concluyó sobre el potencial de Licuefacción de suelos en el A. H. Sor Ana de los Ángeles, de manera cualitativa y cuantitativa, siendo los resultados siguientes:

Criterio	Resultados	
Magnitud - Distancia Máxima	$M_w = 8.0$, R = 328.02km	Licuefacción Posible
Intensidad	IX (MM)	
Información Geológica y Geomorfológica		
Unidad Geomorfológica	Vertiente Glacio Fluvial	
Unidad Geológica	Depósito Aluvial (Qh - Al)	

Criterio	Resultados	
Edad del depósito	Holoceno Superior	Licuefacción Moderada
Unidad Geomorfológica	Abanico Aluvial (parte deposicional)	
Condición Geomorfológica	Abanico Aluvial con pendiente mayor a 0.5%	Licuefacción No Probable

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Perforación	Prof. (m)	Potencial de Licuefacción (P_L) %	Clasificación (NTE E.050)
P - 01	0.00 - 1.50	67.01	Alto P_L
	1.50 - 1.70	88.05	Alto P_L
	1.70 - 1.95	96.42	Alto P_L
P - 02	1.95 - 2.85	5.66	Bajo P_L
	2.00 - 2.50	0.00	Muy Bajo P_L
	2.50 - 3.00	3.06	Muy Bajo P_L
P - 03	0.00 -0.45	96.88	Alto P_L
	0.45 - 1.40	5.05	Bajo P_L
	1.40 - 1.60	99.19	Alto P_L
	1.60 - 3.00	0.00	Muy Bajo P_L

Auscultación	Prof. (m)	Potencial de Licuefacción (P_L) %	Clasificación (NTE E.050) Act. al 2020
A - 01	0.00 - 1.07	29.37	Moderado P_L
	1.07 - 2.31	44.45	Moderado P_L
	2.31 - 3.71	0.15	Muy Bajo P_L
	3.71 - 5.28	0.00	Muy Bajo P_L
	5.28 - 9.40	0.00	Muy Bajo P_L
	9.40 - 26.78	0.00	Muy Bajo P_L
A - 02	0.00 - 1.07	31.88	Moderado P_L
	1.07 - 2.31	25.98	Moderado P_L
	2.31 - 3.71	0.38	Muy Bajo P_L
	3.71 - 5.28	0.00	Muy Bajo P_L
	5.28 - 13.19	0.00	Muy Bajo P_L
	13.19 - 26.79	0.00	Muy Bajo P_L
A - 03	0.00 - 1.07	1.53	Muy Bajo P_L
	1.07 - 2.31	1.22	Muy Bajo P_L
	2.31 - 3.71	0.00	Muy Bajo P_L
	3.71 - 5.28	0.00	Muy Bajo P_L
	5.28 - 7.01	0.00	Muy Bajo P_L
	7.01 - 15.58	0.00	Muy Bajo P_L
	15.58 - 30.00	0.00	Muy Bajo P_L

9. Se plantea enfrentar la licuefacción de suelos mediante: Obras de drenaje, rellenos controlados, cimentaciones mediante micropilotes de grava, utilización de losas de cimentación y/o vigas conectadas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

RECOMENDACIONES

1. Para determinar el Potencial de Licuefacción se recomienda:

   Grado 1: Realizar un análisis estadístico para estimar la magnitud del evento sísmico.

   Grado 2: Debido a la cercanía de dos unidades geomorfológicas, en el A. H. Sor Ana de los Ángeles, se recomienda un estudio que permita identificar una unidad geomorfológica de transición.

   Además, se recomienda registrar fotografías aéreas luego de ocurridos los sismos, para estimar los desplazamientos laterales del suelo.

   Grado 3: Dada la limitación de Equipos para la obtención de muestras inalteradas de suelo en Arequipa, es necesario la implementación de un laboratorio de Mecánica de Suelos con fines de investigación, con equipos especializados para estudios como éste. (Ensayo de Penetración Cuasi- Estática Profunda de Suelos con Cono y Cono de Fricción (CPT))
2. Se recomienda continuar empleando ensayos indirectos (como el Análisis Multicanal de Ondas de Superficie (MASW)) para la evaluación del suelo, con el fin de complementar y relacionar resultados de los ensayos directos (SPT ó CPT).
3. Para realizar proyectos de investigación es importante considerar información actualizada, de tal manera que permita obtener resultados más ajustados con la realidad, como es el caso de cartas de unidades geológicas y geomorfológicas recientes.
4. Los resultados de un análisis investigativo sobre un fenómeno como la licuefacción de suelos, deberán ser complementados con información de todos los participantes directos, siendo el caso de las 103 viviendas del A. H. Sor Ana de los Ángeles. Por ello, se recomienda realizar una encuesta global bajo un contexto libre de pandemia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

5. Para obtener un resultado más diversificado en el área de estudio, es necesario considerar más puntos de exploración que permita una interpolación en toda la superficie de análisis.
6. Se considera una necesidad que entidades dedicadas a la investigación aporten con el uso de softwares como Settle3D, para la ejecución de proyectos académicos como la determinación del Potencial de Licuefacción de Suelos.
7. Es importante el apoyo interinstitucional a nivel nacional (gobiernos regionales, municipales, entidades de prestación de servicios (SEDAPAR y otros)) y a nivel internacional (Comité Técnico de Ingeniería Geotécnica Sísmica (ISSMGE) y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Para la adquisición de información y nuevas prácticas para estudios de Potencial de Licuefacción de Suelos.
8. El potencial de licuefacción de suelos se determina de forma cualitativa (mediante las denominaciones del NTE E.050 y del Manual de Zonificación sobre Riesgo Geotécnico Sísmico (ISSMGE)) y de manera cuantitativa (determinación del Potencial de Licuefacción con el fundamento teórico aplicado por softwares como Settle3D) para lograr un resultado integrado sobre el fenómeno en mención.
9. Para la formalización de viviendas del A. H. Sor Ana de los Ángeles se recomienda adjuntar una evaluación de riesgos dentro del expediente para licencia de construcción.
10. Complementar la presente investigación con estudios de calidad de agua de la napa freática, que incluya la presencia de cloruros y sulfatos de manera cuantitativa y su impacto en estructuras enterradas (cimentaciones).
11. Para un estudio detallado sobre la evaluación del Potencial de Licuefacción de Suelos mediante métodos indirectos (MASW y otros), se recomienda complementar los resultados obtenidos con métodos directos (SPT ó CPT).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

12. Los métodos indirectos (MASW Y otros) permiten obtener las características del suelo, de tal forma que pueda correlacionarse con los resultados obtenidos de forma directa (SPT ó CPT).
13. Se evidencio Potencial de Licuefacción alto en puntos aledaños al Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, por lo cual se recomienda ampliar estudios en los asentamientos colindantes.
14. Los gobiernos regionales y distritales en apoyo con empresas privadas deben motivar el desarrollo de este tipo de investigación mediante inversiones. Para lograr un objetivo específico y de calidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

REFERENCIAS

Alarcón G. Adolfo. (1987). Mecanismos de licuación y flujo de suelos granulares durante sismos. *Ingeniería e Investigación; N° 16*, 44-54. Colombia, Bogotá.

Aldana, E. J. (2011). *Susceptibilidad a la licuefacción por medio del Sondeo de Penetración Estándar: Las Lisas, Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala.* Guatemala: [Grado de Magíster]Universidad de San Carlos de Guatemala.

Alva Hurtado, J. E. (2021). *Website del Dr. Ing. Jorge Elías Alva Hurtado*. Obtenido de http://www.jorgealvahurtado.com/index.html

Alva Hurtado, J. E., & Ortiz Salas, C. (2019). Actualización de la Ocurrencia del Fenómeno de Licuación de suelos en el Perú. *Mapa d Areas de deslizamientos por licuefacción de Suelos en el Perú*, 17.

Alva Hurtado, J., & Ortiz Salas , C. (2020). *Actualización de la ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos en el Perú.* Lima.

American Geophysical Union. (17 de Abril de Jan 13, 2005). The 1923 Kanto Earthquake Re-evaluated Using a Newly Augmented Geidetic Data Set. *Journal of Geophysical Research - Solid Earth. U.S.A.*

BBC News. (2011). *Burma Earthquake: At least 75 people killed.* Obtenido de https://www.bbc.com/news/world-asia-pacific-12852237

Begazo, A. Y. (2008). *Cálculo de la magnitud local (ML) a partir de registros de aceleración usando la técnica de deconvolución y relación de magnitudes.* [Tesis de Grado] Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa.

Bernal, I. (Setiembre 2018). Los suelos en la ciudad de Arequipa, por la Ing. Isabel Bernal. *Diario Correo. Arequipa, Per{u*.

California Division of Mines and Geology. (1975). Strong motion data from the San Fernando, California, earthquake of february 9, 1971. *California Institute of Technology*, 278-287. Estados Unidos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CBS News. (13 de Marzo de 2011). *Earth's day length shortened by Japan earthquake.* Obtenido de https://www.cbsnews.com/news/earths-day-length-shortened-by-japan-earthquake/

Cifuentes Jacobs, M. (4 de mayo de 2020). *Mecánica de Suelos: Licuefacción*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=jUsrZosR65U&t=316s

CISMID. (1990). 4. Efecto de las condiciones locales en la distribución y severidad de los daños, acelerogramas registrados y medición de microtrepidaciones. *Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú*.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe - Sede Subregional México. (2001). *El terremoto del 13 de enero de 2001 en El Salvador. Impacto Socioeconómico y Ambiental.* México.

Diario El País. (2017). *Un fuerte terremoto sacude el sur de México.* Obtenido de https://elpais.com/internacional/2017/09/08/actualidad/1504847379_494928.html

Diario la tercera. (6 de julio de 2010). Así se gestó el megaterremoto, el más intenso en Chile desde 1960. *Diario la tercera. Chile*.

ECLAC.CL. (2007). *Sectores Productivos.* Obtenido de https://web.archive.org/web/20070928110035/http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/7/10127/T-SV3.pdf

Escuela de Ingenierìa en Construcción. (1984). *Determinación del Potencial de Colapso.* Universidad Católica de Valparaíso, Chile.

F.M. Salgado. (2019). *Liquefaction - Causes and effects.* Portugal.

Fuentealba, J. P. (2015). *Estudio del Fenómeno de Licuefacción en Chile para el terremoto de Maule, 2010.* [Tesis de Postgrado] Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Guillén Seminario, A. L., & Mendoza Pinto, V. A. (2018). *Evaluación del Potencial de Licuefacción de Suelos en el Centro Poblado el Pasto, Distrito de Socabaya, Arequipa.* [Tesis de Grado] Universidad Católica de Santa María. Arequipa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Guzmán Ventura, J. A. (2020). Fallas de Licuación de suelos inducidas por el sismo de Tehuantepec del 7 de Setiembre de 2017 (Mw 8.2) en la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz, México. *Ingeniería Sísmica*.

H. Nishiyama, K. Yahagi. S. Nakagawa y K. Wada. (1977). *Practical Method of Predicting Sand Liquefaction.* Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). Inglaterra.

Hamada, M., & O'Rourke, T. (February 17, 1992). *Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes.* NTIS - National Technical Information Service. New York, U.S.A.

Huang, Y. M. (2017). *Hazard Analysis of Seismic Soil Liquefaction.* Springer. Suitzerland.

Hurtado, J. A. (1983). *Breve Historia del fenómeno de licuación de suelos en el Perú.* Publicación de J. E. Alva Hurtado. Lima, Perú.

Hurtado, J. E. (1991). *Evaluación del Potencial de Licuación de suelos en Chimbote, Perú.* Publicado por J.E. Alva Hurtado. Lima.

Hurtado, Z. A. (2000). *Microzonificación Sísmica de la ciudad de Arequipa.* Publicado por Jorge E. Alva Hurtado. Lima.

Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de Andalucía. (2020). *Licuefacción de Suelos*. Obtenido de https://geotecniafacil.com/licuefaccion-suelos/

IMPLA. (2011). Capítulo 2: Zonas de Reglamentación Especial. Municipalidad de Yanahuara. Arequipa.

Inc., R. (2016). *Settle3D Liquefaction Theory Manual.* Rocscience Inc. Toronto, Canadá.

INGEMMET. (2021). *GEOCATMIN - Sistema de Información Geológico y Catastral Minero*. Obtenido de https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. (2012). Determinación del Potencial de licuación con el método de microtremores. *XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica. México*.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Instituto Filipino de Vulcanología y Sismología. (2008). *El terremoto de Luzón del 16 de julio: una monografía técnica.* Obtenido de https://gaz.wiki/wiki/es/1990_Luzon_earthquake

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (23 de Marzo de 2021). *GEOCATMIN*. Obtenido de https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/

Instituto Nacional de Defensa Civil, U. N. (Julio de 2001). *Mapa de Peligros y Lineamientos para el Plan de Usos del Suelo de la Ciudad de Arequipa.* Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres - SIGRID. Lima, Perú.

International Seismological Centre. (2015). *ISC-GEM Global Instrumental Earthquake Catalogue (1900-2009)*. Obtenido de http://www.isc.ac.uk/iscgem/index.php

Jefferies, M. & Been, K. (Taylor & Francis). (14 de febrero de 2006). *Soil Liquefaction.* London: CRC Press. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Licuefacci%C3%B3n_de_suelo

Jerremy E. Jiménez Miranda. (2012). *Terremoto de Filipinas 1990.* Scribd Company. U.S.A.

Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology. (25 de junio de 2004). Late Cenozoic tectonic development of the back arc region of central northern Honshu, Japan, revealed by recent deep seismic profiling. 145-154. Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/1964_Niigata_earthquake

Jürd Hammer, Carlos Z. Toledo y Roberto S. Recuay. (2001). *El terremoto del 23 de Junio del 2001 en el Sur del Perú.* Obtenido de http://www.drmonline.net/drmlibrary/pdfs/peru.pdf

Kanamori, H. (14 de Julio de 1984). The 1983 Akita-Oki Earthquake (Mw=7.8) and its implications for Systematics of Subduction Earthquakes. *California Instute of Technology, U.S.A.*, http://www.gps.caltech.edu/uploads/File/People/kanamori/HKepr85.pdf.

Lisbeth Bejarano, H. T. (2013). *Zonificación Sísmica - Geotécnica del distrito de Sachaca - Arequipa (Comportamiento Dinámico del Suelo).* Arequipa: Publicación de INGEMMET. Arequipa.

M Hamada, T. O. (1992). *Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes.* New York: NCEER, EE.UU.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Maturano A., H. M., & Romanel, C. (2019). *Potencial de Licuefacción Estática en el Recrecimiento de una represa de Relaves.* Lima - Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Manuales. (Abril 2014). *Manual de Carreteras. Suelos Geología, geotecnia y Pavimentos.* Lima: Diario El Peruano. Lima, Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Manuales. (Diciembre 2018). *Manual de Puentes.* Portal del Estado Peruano. Lima, Perú.

Miranda, J. E. (2012). *Terremoto de Filipinas 1990.* Obtenido de https://es.slideshare.net/Jerrito7353/terremoto-de-filipinas-1990

Montes Uchuypoma, F. M. (2016). *Colapsabilidad Potencial de Suelos.* Publicado por Universidad Peruana Los Andes. Huancayo, Perú.

Moss S., R. E., & Moffat, R. (Mayo 2020). *Prior and future earthquake effects in Valdivia, Chile.* Scielo. Región Metropolitana de Santiago, Chile.

Muñóz Peláez, A. (2020). *Comentarios a la Norma E.030 Diseño Sismorresistente.* Lima: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción - SENCICO.

National Archives - Pacific Region (San Francisco, EE.UU.). (2020). *The 1906 San Francisco Earthquake and Fire.* Obtenido de https://www.archives.gov/exhibits/sf-earthquake-and-fire/earthquake-fire.html

National Geographic. (8 de Marzo de 2011). *¿El terremoto de Japón no es "el definitivo"?* Obtenido de https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/el-terremoto-de-japon-no-es-el-definitivo

National Geographic. (2014). *Bizarre Earthquake Lights Finally Explained.* Obtenido de https://www.nationalgeographic.com/science/article/140106-earthquake-lights-earthquake-prediction-geology-science

National Research Council (U.S.). (9 de abril de 1968). *The great Alaska earthquake of 1964, Volume 1, Part 1.* Alaska: National Academies. Estados Unidos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Núñez del Prado S., H., Farfán Bazán, E., & Díaz Urquizo, H. (Febrero 2001). *Geología y Estratigrafía el Cuaternario y Zonificación Geotécnica - Sísmica del Área Urbana de Arequipa.* Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.

Organización Panamericana de la Salud OPS. (1998). *Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - Guías para el Análisis de Vulnerabilidad.* Pan American Health Organization. Washington D.C., EE.UU.

Rocscience Inc. (Abril de 2021). *Product Settle3D*. Obtenido de https://www.rocscience.com/software/settle3.

Santos, A. (1 de abril de 2013). *El Oficial*. Obtenido de Diseño sísmico sobre suelos licuables: https://eloficial.ec/diseno-sismico-sobre-suelos-licuables/

ScienceDirect. (2009). *A re-examination of the mechanisn and human impact of catastrophic mass flows originating on Nevado Huascarán, Cordillera Blanca, Peru in 1962 and 1970.* Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013795209001574

SENCICO. (Junio de 2016). *Peligro Sísmico en el Perú*. Obtenido de http://ppsh.sencico.gob.pe/

SENCICO. (2020). Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones 2018. *Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción - SENCICO. Lima - Perú.*

Servicio Geológico de los Estados Unidos. (2019). *Loma Prieta 1989, Origin*.

Servicio Geológico de los Estados Unidos. (2020). *M 5.9 - 2 km SSW de Rosemead, CA.*

Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO). (2014). *Determinación del Peligro Sísmico en el Territorio Nacional.* Publicado por el Servicio Nacional de Capacitación para la Construcción (SENCICO). Lima.

Sistema Nacional de Defensa Civil, U. N. (Enero 2002). *Proyecto de Mitigación Sector Lara - Socabaya - Arequipa.* Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.

Soralump, S., & Feungaugsorn, J. (8-10 May 2013). *Probabilistic Analysis of Liquefaction Potential: the First Eyewitness Case in Thailand.* 18va Conferencia Nacional de Ingeniería Civil. Bangkok, Tailandia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Southern California. (2011). Putting down roots in earthquake country. *Southern California, 2011 Edition. EE.UU.*

Stay Coello, D., & Herbozo Alvarado, E. (2017). *Cimentación en suelos potencialmente licuables mediante un bloque de suelo reforzado utilizando micropilotes con inyecciones cementicias.* Espirales revista multidisciplinaria de investigación. Guayaquil, Ecuador.

Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMGE. (1999). *Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version).* The Japanese Geotechnical Society. Tokyo, Japón.

The Japanese Geotechnical Society. (December 2012). *Liquefaction in Tohoku district during the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake.* ScienceDirect. Países Bajos.

U. S. Geological Survey. (1 de febrero de 2021). *USGS science for a changing world*. Obtenido de M 7.7 - 28 km SSW of Puerto El Triunfo, El Salvador: https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000a7m5/executive

U.S. Geologial Survey. (18 de setiembre de 2020). *M 7.5 - 39 km NW of Yurimaguas, Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000e09h/executive

U.S. Geological Survey. (1999). *The October 17, 1989, Loma Prieta, California, Earthquake - Selected Photographs*. Obtenido de https://pubs.usgs.gov/dds/dds-29/

U.S. Geological Survey. (13 de Mayo de 2015). *M 7.8 - 6 km ENE of Tateyama, Japan*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/iscgem911591/executive

U.S. Geological Survey. (2 de Mayo de 2018). *M 7.9 - The 1906 San Francisco Earthquake*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/official19060418131226300_12/executive

U.S. Geological Survey. (7 de julio de 2020). Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/iscgem796163/executive

U.S. Geological Survey. (10 de julio de 2020). *M 6.3 - 23 km WSW of Oxapampa, Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/iscgem903407/executive

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

U.S. Geological Survey. (10 de julio de 2020). *M 6.3 - 29 km ESE of Santiago, Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/iscgem896171/executive

U.S. Geological Survey. (9 de julio de 2020). *M 6.4 - 10 km NNE of Saposoa, Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/iscgem775498/executive

U.S. Geological Survey. (29 de agosto de 2020). *M 6.5 - 4 km ENE of Rioja, Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp0004pxr/executive

U.S. Geological Survey. (10 de julio de 2020). *M 6.8 - 46 km NNE of Segunda Jerusalén - Azunguillo, Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/iscgem820734/executive

U.S. Geological Survey. (8 de julio de 2020). *M 6.9 - 27 km NNW of Tachilek, Myanmar*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000hyfx/executive

U.S. Geological Survey. (10 de julio de 2020). *M 7.0 - 21 km SW of Santa Rita de Siguas, Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/iscgem883699/executive

U.S. Geological Survey. (10 de julio de 2020). *M 7.3 - 14 km NNE of Zorritos, Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/iscgem892281/executive

U.S. Geological Survey. (7 de julio de 2020). *M 7.6 - 77 km WSW of Callao, Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp0000888/executive

U.S. Geological Survey. (8 de julio de 2020). *M 7.7 - 60 km SW of Changuillo, Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp0007swp/executive

U.S. Geological Survey. (8 de julio de 2020). *M 8.0 - 41 km SW of San Vicente de Cañete, Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000fjta/executive

U.S. Geological Survey. (7 de julio de 2020). *M 8.0 - 78 km NE of Navarro, Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us60003sc0/executive

U.S. Geological Survey. (10 de julio de 2020). *M 8.1 - 43 km W of Paramonga, Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/iscgem842581/executive

U.S. Geological Survey. (10 de julio de 2020). *M 8.2 - 12 km ESE of Huaura, Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/iscgem901374/executive

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

U.S. Geological Survey. (10 de julio de 2020). *M 8.2 - near the coast of Chiapas, Mexico*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us2000ahv0/executive

U.S. Geological Survey. (7 de julio de 2020). *M 8.4 - 6 km SSW of Atico, Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/official20010623203314130_33/executive

U.S. Geological Survey. (07 de julio de 2020). *M 8.8 - 36 km WNW of Quirihue, Chile*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/official20100227063411530_30/executive

U.S. Geological Survey. (7 de Julio de 2020). *M 9.1 - 2011 Great Tohoku Earthquake, Japan*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/official20110311054624120_30/executive

U.S. Geologicl Survey. (7 de julio de 2020). *M 7.2 - 15 km SE of Cañaveral, Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/iscgem789028/executive

United States Geological Survey - USGS. (31 de Agosto de 2014). *M9.6 - Araucania, Chile (BETA)*. Obtenido de https://web.archive.org/web/20140903143447/http://comcat.cr.usgs.gov/earthquakes/eventpage/centennial19600522191117

United States Geological Survey (USGS), EE.UU. (2021). *Significant Earthquakes of Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/significant.php

United States Geological Survey. (1993). *M9.2 Alaska Earthquake and Tsunami of March 27, 1964*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/events/alaska1964/

Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), C. P. (Noviembre 2013). *Estudios de Microzonificación Geotécnica Sísmica y Evaluación del riesgo en zonas ubicadas en los distritos de Carabayllo y el Agustino (Lima); distrito del Cusco (Cusco) y distrito de Alto Selva Alegre (Arequipa).* Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres - SIGRID. Lima, Perú.

UNSA - INDECI. (2002). *Proyecto de Mitigación sector Lara - Socabaya - Arequipa.* Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

US Geological Survey. (2009). *Magnitude 8.0 - Near the coast of Central Peru*. Obtenido de https://web.archive.org/web/20091218224506/http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2007/us2007gbcv/

US Geological Survey. (2016). *M 9.1 - 2011 Great Tohoku Earthquake, Japan*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/official20110311054624120_30/executive#executive

US Geological Survey. (2020). *M 8.0 - 78 km NE of Navarro, Peru*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us60003sc0/executive

USGS. (07 de julio de 2020). *Earthquake Hazards Program*. Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp0004bxs/shakemap/pga

Walsh, T. J., Combellick, R. A., & Black, G. L. (Decembre 1995). *Liquefaction Features from a Subduction Zone Earthquake: Preserved Examples from the 1964 Alaska Earthquake.* Washington Division of Geology and Earth Resources. EE.UU.

Youd, L. T., & Hoose, S. N. (May 1976). Liquefaction During 1906 San Francisco Earthquake. *Journal of the Geotechnical Engineering Division. U.S.A.*

ZER Geosystem Perú SAC. (2014). *Determinación del Peligro Sísmico en el Territorio Nacional.* Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXOS

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Anexo 1 - Matriz de Consistencia
Proyecto: Determinación del Potencial de Licuefacción en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, distrito de Socabaya, Provincia y Departamento de Arequipa, 2021

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL ¿Cuál es el Potencial de Licuefacción del suelo en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, distrito de Socabaya, provincia y departamento de Arequipa en el 2021? **PROBLEMAS ESPECÍFICOS** ¿Cómo se podría estudiar información acerca de las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas, acerca de su suelo de fundación?	**OBJETIVO GENERAL** Determinar el Potencial de Licuefacción del suelo en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, ubicado en el distrito de Socabaya, provincia y departamento de Arequipa, 2021 **OBJETIVOS ESPECÍFICOS** Documentar mediante mapas, con base de la información existente, las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del suelo del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles	**HIPÓTESIS GENERAL** Existe susceptibilidad a la licuefacción de suelos en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, por lo cual es factible determinarlo mediante el Potencial de Licuefacción de suelos **HIPÓTESIS ESPECÍFICAS** Es posible identificar las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del suelo del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, a través de su documentación en tablas, planos y/o mapas, según la información existente	**VARIABLE INDEPENDIENTE** Suelo del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles Indicadores de la V.I. • Características geológicas • Características geomorfológicas • Características Geotécnicas • Propiedades físicas y mecánicas del suelo **VARIABLE DEPENDIENTE** Potencial de Licuefacción de Suelos Indicadores de la V.D. • Relación de Estrés Cíclico CSR • Factor de Resistencia Cíclica CRR	**TIPO DE INVESTIGACIÓN** Cuantitativa **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN** Descriptiva y explicativa **POBLACIÓN Y MUESTRA** • Población: 110 viviendas del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, Suelo del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles • Muestra: 110 viviendas del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, muestras según la estratigrafía encontrada mediante calicatas y perforaciones

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Qué grado de conocimiento existe, sobre la vulnerabilidad del suelo a licuarse por un fuerte sismo, en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles? ¿De qué manera es posible conocer los puntos de exploración para un estudio de determinación de la susceptibilidad a la licuefacción de suelos, que se lleve a cabo en su área jurisdiccional? ¿Qué metodología es recomendable aplicar para determinar el Potencial de Licuefacción de suelos en el Asentamiento Humano	Identificar el nivel de conocimiento por parte de los habitantes de viviendas del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, acerca de la peligrosidad del evento de licuación de suelos en su sector y su mitigación, mediante una encuesta simple de preguntas dicotómicas y cerradas. Elaborar un plano de exploración del suelo mediante calicatas, perforaciones y tendidos MASW, que se lleven a cabo en el suelo del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles Aplicar La formulación de Seed, Idriss & Otros, para determinar el Potencial de Licuefacción de Suelos en el Asentamiento Humano	Es posible determinar mediante datos porcentuales, el nivel de conocimiento e idiosincrasia, por tarde de los habitantes de las viviendas del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, sobre lo que acontece el fenómeno de licuación de suelos ocasionado por fuertes movimientos sísmicos Existe la posibilidad de presentar documentación que permita conocer el detalle de la exploración al suelo existente, mediante documentación del tipo gráfica (planos) Se puede determinar el potencial de licuación de suelos mediante la metodología basada en los Números de golpe del	• Factor de Magnitud de Escala MSF • Factor de Seguridad frente a la ocurrencia de Licuefacción de Suelos (FSL) • Potencial de Licuefacción de Suelos (PL) • Factor de Corrección por Sobrecarga (CN) • Factor de Corrección de eficiencia energética del martillo (CE) • Factor de Corrección del Diámetro del Pozo (CB) • Factor de Corrección de la Longitud de la Varilla (CR) • Factor de Corrección del Muestreador (CS) • Número de golpes del Ensayo de Penetración Estándar (N) • Factor de corrección de tensión por sobrecarga K_a • Factor de corrección de la pendiente del terreo K_σ	**TÉCNICAS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS** • Diagnóstico mediante encuesta a una muestra poblacional • Indagación en gabinete sobre geología y geomorfología del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles • Indagación en campo a nivel superficial del suelo • Exploración del suelo del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, mediante calicatas y perforación del suelo **INSTRUMENTOS** • Formato de Encuesta (anexo) • 03 Calicatas, 03 perforaciones del suelo mediante ensayo SPT, 3 tendidos sísmicos MASW • Evaluación de los Grados de Susceptibilidad a la licuefacción de

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
Sor Ana de los Ángeles, ubicado en el distrito de Socabaya, de la provincia de Arequipa?	Sor Ana de los Ángeles, mediante el ensayo de Penetración Estándar SPT y Cálculos basados en la velocidad de onda de corte sísmica Vs	ensayo SPT, y cálculos basados en la velocidad de ondas de corta sísmica obtenidos del ensayo de refracción sísmica.		Suelos, desarrollado por el Comité Técnico de Ingeniería Geotécnica Sísmica, de la Sociedad Internacional para mecánica de suelos e Ingeniería Geotécnica • Teoría del Potencial de Licuefacción de Suelos, del programa Settle3D
¿Se puede brindar a la población del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, alguna información acerca de la susceptibilidad de su suelo a ser licuado por un evento sísmico de gran escala?	Elaborar mapas de grados de susceptibilidad a la licuefacción del suelo del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, en base a los resultados obtenidos en campo y gabinete	Se puede concretizar el estudio de susceptibilidad a la licuefacción del suelo del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, mediante la confección de mapas considerando los grados de análisis que se recomienda para este análisis		
¿Finalmente, el Asentamiento Humano Sor Ana de Los Ángeles del distrito de Socabaya, es propenso a sufrir daños por licuefacción de suelos luego de un fuerte sismo?	Concluir de manera cuantitativa y cualitativa, acerca del Potencial de Licuefacción de Suelos en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles	Es factible determinar la susceptibilidad a la licuefacción del suelo del Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, mediante el cálculo de su potencial de licuefacción de suelos		

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 2

EVALUACIÓN DE VIVIENDAS E INFORMACIÓN COMPARTIDA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 2 – Evaluación de Viviendas e Información compartida

Modelo de encuesta

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Proyecto: Determinación del Potencial de Licuefacción de Suelos en el A.H. Sor Ana de los Ángeles, distrito de Socabaya, Provincia y Departamento de Arequipa, 2021.	
Nombre del Entravistador:	
Fecha:	**Nro. de Cédula:**
Nombre del Entrevistado:	
Dirección:	

1. ¿Su vivienda ha sido construida antes o después del terremoto del 2011?
   a. Antes
   b. Después
   c. No sabe/ Desconoce
2. ¿Ha sido su vivienda construida con asesoría de un profesional (Arquitecto o Ingeniero Civil)?
   a. Si.
   b. No.
   c. No sabe/ Desconoce
3. ¿Reconoce sobre el fenómeno de licuefacción de suelos?
   a. Si.
   b. No
4. ¿Cuántos años de vida útil tiene su vivienda?
   a. 0 – 15 años
   b. 15 – 30 años
   c. 30 – 45 años
   d. 45 – a más
   e. No sabe/ Desconoce
5. ¿Ha observado grietas en el suelo, volcanes de arena, filtraciones de agua procedentes del subsuelo y asentamiento (hundimiento) de viviendas después de un sismo?
   a. Si.
   b. No.
6. ¿Estaría de acuerdo con proyectos de mitigación de desastres para evitar los efectos del fenómeno de licuefacción (proyectos de drenaje, muros de contención, entre otros)? (Provocados por un sismo o por acción del hombre)
   a. Si.
   b. No.

Nota:
Pregunta 1: Permite conocer si la edificación fue afectada por el sismo del 2001
Pregunta 2: Nos permite identiicar la informalidad en la construcción de las viviendas
Pregunta 3: Importante conocer el grado de información sobre el fenómeno en estudio por parte de l población vulnerable
Pregunta 4: Determina la vida útil de las edificaciones y su comportamiento frente a los sismos
Pregunta 5: Permite identificar evidencias de licuefacción en el suelo durante el pasado
Pregunta 6: Importante para conocer la aceptación de proyectos de mitigación de desastres, que pudiese ocasionar el fenómeno de licuefacción

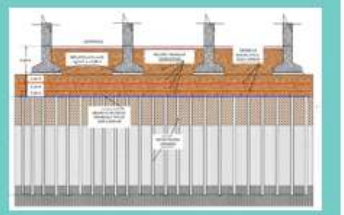
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Anexo 2 – Evaluación de Viviendas e Información compartida
Material Informativo (Tríptico)

Recomendaciones para construir en suelo potencialmente licuable

Se recomienda mejorar las propiedades del suelo para cimentar.

La metodología que proponen, consta de la instalación de micropilotes con inyección de lechada de cemento, para generar un bloque de suelo reforzado para una futura edificación.



Víctor L. Delgado

Jeanette Gil

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Programa Profesional de Ingeniería Civil

Proyecto: Determinación del Potencial de Licuefacción de Suelos en el A. H. Sor Ana de los Ángeles, distrito de Socabaya, provincia y departamento de Arequipa, 2021.







¿ Que debería saber sobre el fenómeno de Licuefacción de Suelos ?

Licuefacción de Suelos

El Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) menciona que éste fenómeno ocurre en suelos granulares y de manera particular en aquellos con presencia de material fino; que se encuentran bajo el nivel freático y bajo acción de esfuerzos cíclicos (sismos, oleaje, vibraciones de origen antrópico, etc.)

Como otros lo definen

- Mario Cifuentes Jacobs menciona que, un suelo potencialmente licuable deberá encontrarse por debajo del nivel freático (saturado) y compuesto por material granular mal graduado, lo cual evita una densificación del suelo por su composición granulométrica uniforme.

- Autores como Jefferies, M, & Been, K y Youd, T.L. & Idriss, I.M. establecen que el fenómeno de licuación ocurre en aquellos suelos granulados saturados o moderadamente saturados con presencia de bajo drenaje, ocasionado por estratos de arenas sedimentadas.

Entiéndalo mejor

La **licuefacción de suelos** es un fenómeno en el cual los terrenos, a causa de saturación de agua y particularmente en sedimentos recientes como arena o grava, pierden su firmeza y fluyen como resultado de los esfuerzos provocados en ellos debido a los temblores.

Consecuencias de la Licuefacción de Suelos

- Asentamientos (hundimientos) de estructuras.
- Volcanes de arena con expulsión de agua.
- Colapso de suelos.
- Grietas en la superficie del terreno.

Prevención ante susceptibilidad de Licuefacción

Se mencionan los siguientes métodos para prevenir el fenómeno de licuefacción de suelos.

- Excavación y/o compactación
- Densificación de suelo in situ
- Mezcla profunda
- Drenajes
- Rellenos estructurales
- Estructuras de contención
- Cimentaciones profundas
- Cimentaciones superficiales reforzadas

CONVENIO DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS

Señores : Bach. Delgado Montesinos, Victor Leoneld

Bach. Gil Flores, Jeanette

De mi especial consideración,

El Laboratorio TechLab S.A.C. brinda el servicio de prestación de instalaciones de su laboratorio de mecánica de suelos y rocas, a los mencionados bachilleres. Con el propósito de llevar a cabo el Proyecto "DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN EL ASENTAMIENTO HUMANO SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO DE SOCABAYA, PROVINIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021", por un plazo no mayor a 30 días calendarios.

Obligaciones de las partes:

- TechLab S.A.C. se compromete a proveer de la instrumentaria y espacios para llevar a cabo el Estudio de Mecánica de Suelos del presente proyecto de investigación.
- El convenio tendrá un plazo de 30 días calendarios.
- Los Sres. Bachilleres respetarán los controles y procedimientos para el uso de los equipos, en nuestras instalaciones.
- El proyecto quedará archivado dentro de nuestra Data de prestaciones de Servicios a la comunidad Arequipeña.

Arequipa, Junio de 2021.

TECHLAB V°B° LABORATORIO

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 3

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 3 - Ensayo de Granulometría por Tamizado
NTP 339.128. SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE
FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

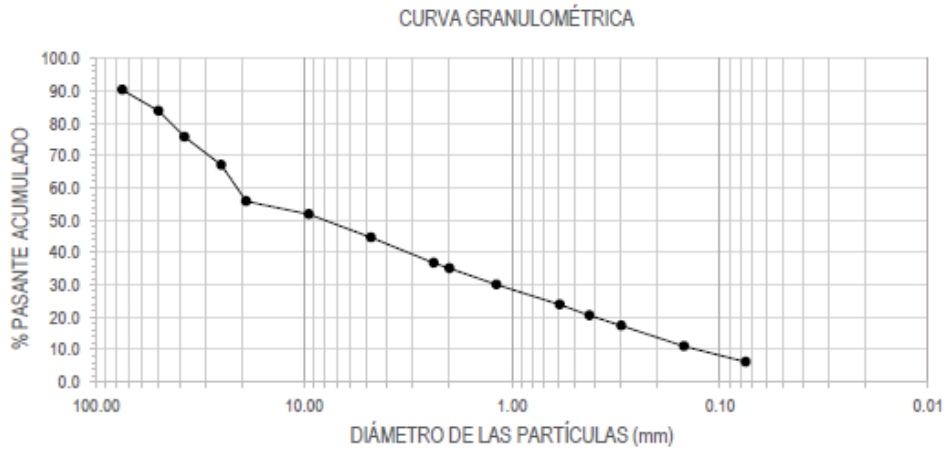
CALICATA Nº: C-1 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.80 – 3.10

TIPO DE MUESTRA: Mab

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	1936	1454	9.7	9.7	90.3
2"	50.00	1448	966	6.4	16.1	83.9
1 1/2"	37.50	1689	1207	8.0	24.2	75.8
1"	25.00	1802	1320	8.8	33.0	67.0
1/2"	19.00	2165	1683	11.2	44.2	55.8
3/8"	9.50	1077	595	4.0	48.2	51.8
Nº 4	4.760	1551	1069	7.1	55.3	44.7
Nº 8	2.380	246.8	88.99	8.0	63.3	36.7
Nº 10	2.000	176.6	18.76	1.7	64.9	35.1
Nº 16	1.190	213.2	55.36	4.9	69.9	30.1
Nº 30	0.590	227.1	69.2	6.2	76.1	23.9
Nº 40	0.425	196.0	38.14	3.4	79.5	20.5
Nº 50	0.297	193.7	35.83	3.2	82.7	17.3
Nº 100	0.149	228.1	70.2	6.3	89.0	11.0
Nº 200	0.075	212.3	54.41	4.9	93.8	6.2
FONDO		227.0	69.11	6.2	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-1 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.80 – 3.10

TIPO DE MUESTRA: Mab

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	45.5
% ARENA	38.6
% FINOS	6.2
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	3"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	9.7
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.129
Abertura del pasante del 30% (D30)	1.174
Abertura del pasante del 60% (D60)	21.056
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	163.7
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.5

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 8794 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc (Casagrande 1948, tomado de Bowles E. Joseph, 1999):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}};\ C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

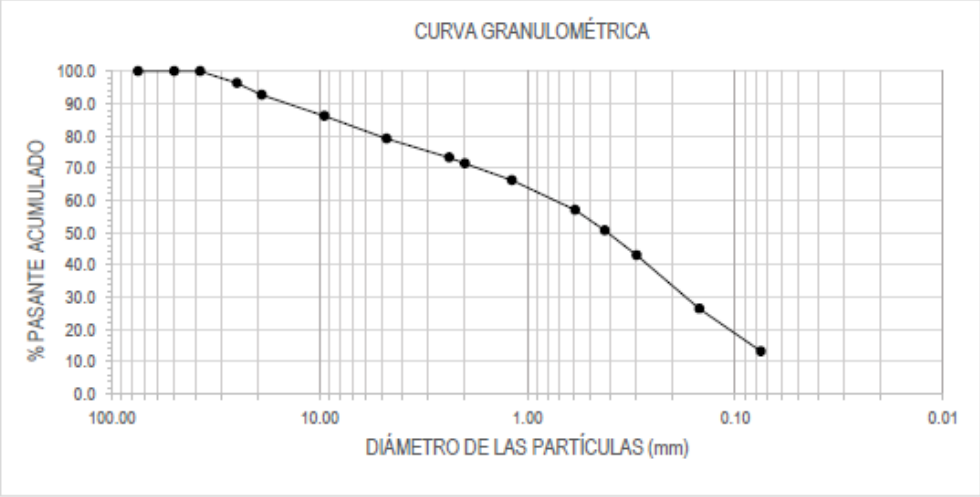
CALICATA Nº: C-2 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 1.80

TIPO DE MUESTRA: Mab

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	102	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	102	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	102	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	284	182	3.6	3.6	96.4
1/2"	19.00	291	189	3.8	7.4	92.6
3/8"	9.50	427	325	6.5	13.9	86.1
Nº 4	4.760	450	348	7.0	20.9	79.1
Nº 8	2.380	212.8	36.81	5.8	26.7	73.3
Nº 10	2.000	187.4	11.32	1.8	28.5	71.5
Nº 16	1.190	209.4	33.4	5.3	33.8	66.2
Nº 30	0.590	234.1	58.05	9.2	43.0	57.0
Nº 40	0.425	216.0	40.01	6.3	49.4	50.6
Nº 50	0.297	224.2	48.15	7.6	57.0	43.0
Nº 100	0.149	280.6	104.52	16.6	73.6	26.4
Nº 200	0.075	259.6	83.52	13.2	86.8	13.2
FONDO		259.2	83.14	13.2	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-2 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 1.80

TIPO DE MUESTRA: Mab

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	20.9
% ARENA	65.9
% FINOS	13.2
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	1"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	0
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.064
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.173
Abertura del pasante del 60% (D60)	0.742
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	11.7
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.6

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 1542.92 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc (Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001)):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}};\ C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

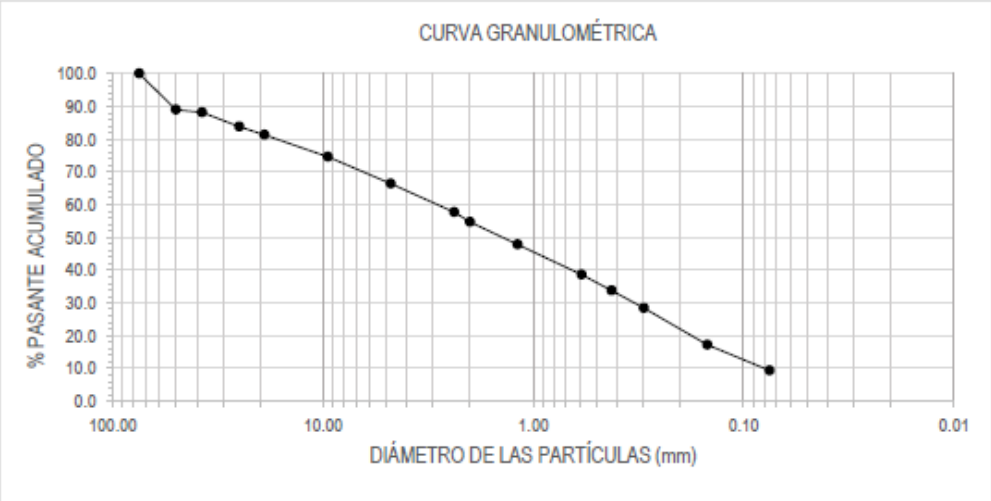
CALICATA Nº: C-2 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 1.80 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mab

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	271	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	929	658	11.0	11.0	89.0
1 1/2"	37.50	326	55	0.9	11.9	88.1
1"	25.00	535	264	4.4	16.3	83.7
1/2"	19.00	415	144	2.4	18.7	81.3
3/8"	9.50	671	400	6.7	25.4	74.7
Nº 4	4.760	764	493	8.2	33.6	66.4
Nº 8	2.380	223.4	65.68	8.7	42.3	57.7
Nº 10	2.000	180.4	22.69	3.0	45.3	54.7
Nº 16	1.190	209.0	51.24	6.8	52.2	47.8
Nº 30	0.590	227.1	69.35	9.2	61.4	38.6
Nº 40	0.425	194.6	36.86	4.9	66.3	33.7
Nº 50	0.297	196.9	39.13	5.2	71.5	28.5
Nº 100	0.149	242.8	85.09	11.3	82.8	17.2
Nº 200	0.075	216.4	58.64	7.8	90.7	9.3
FONDO		227.9	70.18	9.3	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-2 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 1.80 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mab

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	33.6
% ARENA	57.1
% FINOS	9.3
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	2"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	0
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.079
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.33
Abertura del pasante del 60% (D60)	2.859
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	36
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.5

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 2512.86 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc (Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001)):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}};\ C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

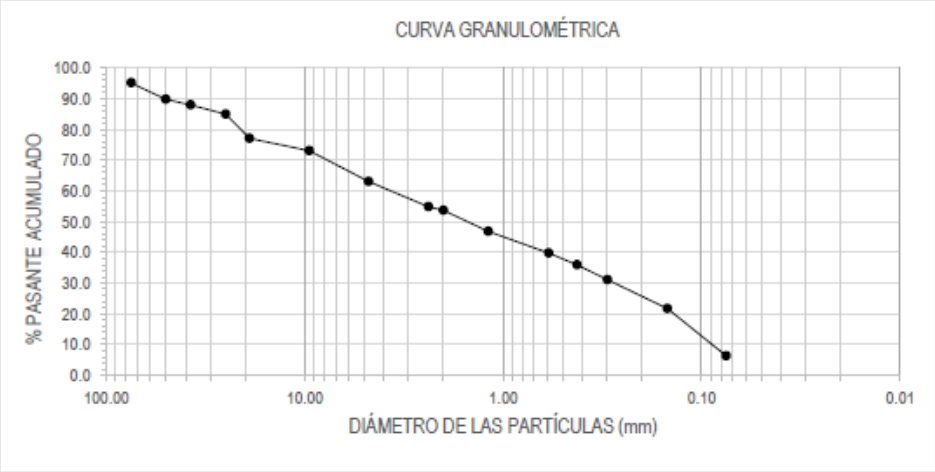
CALICATA Nº: C-3 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.70 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mab

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	1076	668	4.9	4.9	95.1
2"	50.00	1135	727	5.3	10.2	89.8
1 1/2"	37.50	645	237	1.7	12.0	88.0
1"	25.00	824	416	3.0	15.0	85.0
1/2"	19.00	1492	1084	7.9	23.0	77.0
3/8"	9.50	957	549	4.0	27.0	73.0
Nº 4	4.760	1777	1369	10.0	37.0	63.0
Nº 8	2.380	228.5	70.68	8.1	45.1	54.9
Nº 10	2.000	168.1	10.24	1.2	46.3	53.7
Nº 16	1.190	218.2	60.37	6.9	53.2	46.8
Nº 30	0.590	218.4	60.54	6.9	60.1	39.9
Nº 40	0.425	192.3	34.48	4.0	64.1	35.9
Nº 50	0.297	199.7	41.88	4.8	68.9	31.1
Nº 100	0.149	240.3	82.41	9.4	78.3	21.7
Nº 200	0.075	292.1	134.26	15.4	93.7	6.3
FONDO		212.7	54.86	6.3	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-3 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mab

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	32.1
% ARENA	56.7
% FINOS	6.3
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	3"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	4.9
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.089
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.274
Abertura del pasante del 60% (D60)	3.688
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	41.7
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.2

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 5599.72 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc (Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001)):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}};\ C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

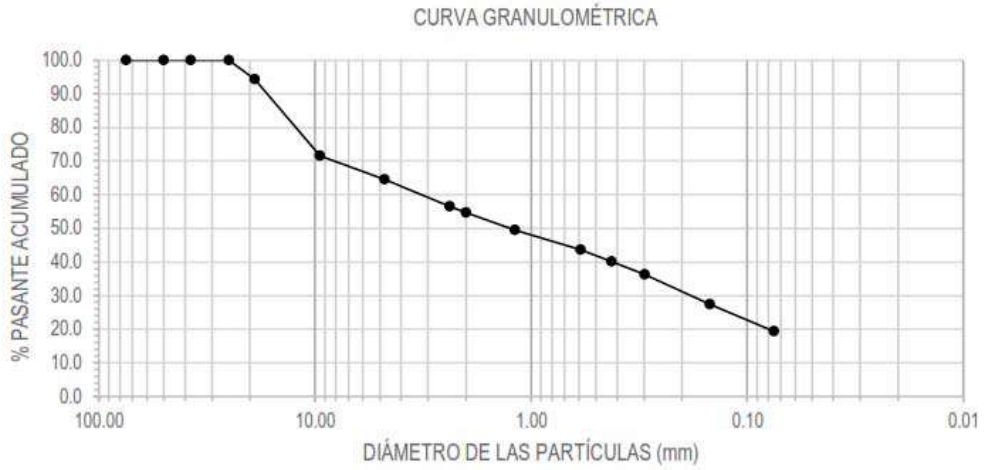
PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 0.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	158	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	158	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	158	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	158	0	0.0	0.0	100.0
1/2"	19.00	211	53	5.7	5.7	94.3
3/8"	9.50	368	210	22.7	28.4	71.6
Nº 4	4.760	223	65	7.0	35.5	64.5
Nº 8	2.380	220.2	62.36	8.1	43.5	56.5
Nº 10	2.000	172.4	14.55	1.9	45.4	54.6
Nº 16	1.190	196.8	39.01	5.0	50.4	49.6
Nº 30	0.590	203.1	45.28	5.9	56.3	43.7
Nº 40	0.425	185.3	27.53	3.6	59.8	40.2
Nº 50	0.297	187.3	29.53	3.8	63.7	36.3
Nº 100	0.149	226.8	68.96	8.9	72.6	27.4
Nº 200	0.075	220.4	62.6	8.1	80.7	19.3
FONDO		307.4	149.61	19.3	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: P-01 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 0.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	35.4
% ARENA	45.3
% FINOS	19.3
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	1/2"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	0
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.034
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.182
Abertura del pasante del 60% (D60)	3.221
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	94.8
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.3

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 827.43 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc (Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001)):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}};\ C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

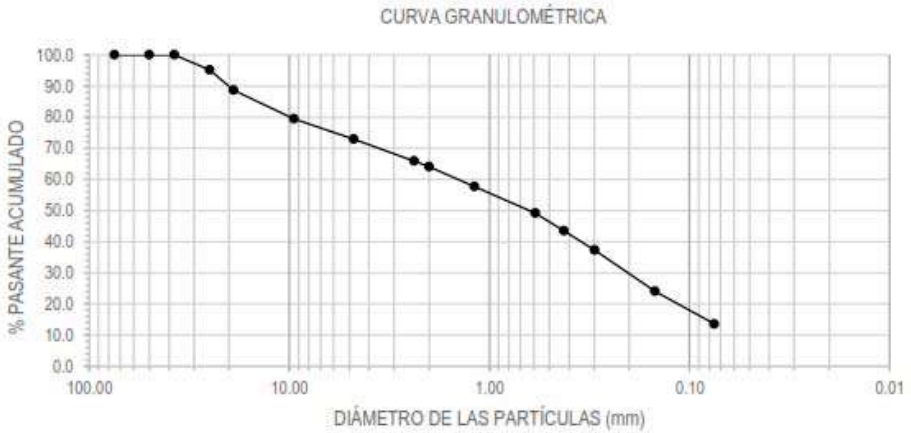
PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 0.50 – 1.10

TIPO DE MUESTRA: Mit

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	175.95	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	175.95	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	175.95	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	216.7	40.75	4.8	4.8	95.2
1/2"	19.00	232.3	56.35	6.6	11.4	88.6
3/8"	9.50	253.94	77.99	9.1	20.5	79.5
Nº 4	4.760	231.77	55.82	6.5	27.0	73.0
Nº 8	2.380	224.3	48.34	7.1	34.1	65.9
Nº 10	2.000	188.9	12.97	1.9	36.0	64.0
Nº 16	1.190	219.6	43.61	6.4	42.4	57.6
Nº 30	0.590	234.6	58.65	8.6	50.9	49.1
Nº 40	0.425	214.9	38.94	5.7	56.6	43.4
Nº 50	0.297	217.9	41.91	6.1	62.7	37.3
Nº 100	0.149	265.9	89.91	13.1	75.9	24.1
Nº 200	0.075	248.2	72.23	10.6	86.4	13.6
FONDO		268.9	92.91	13.6	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: P-01 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 0.50 – 1.10

TIPO DE MUESTRA: Mit

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	27
% ARENA	59.4
% FINOS	13.6
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	1"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3''	0
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.059
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.203
Abertura del pasante del 60% (D60)	1.441
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	24.2
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.5

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 730.39 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc (Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001)):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}};\ C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 1.10 – 1.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	176	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	176	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	176	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	176	0	0.0	0.0	100.0
1/2"	19.00	176	0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.50	243	67	6.7	6.7	93.3
Nº 4	4.760	252	76	7.6	14.3	85.7
Nº 8	2.380	220.7	44.67	7.7	22.0	78.0
Nº 10	2.000	189.1	13.03	2.2	24.2	75.8
Nº 16	1.190	218.1	42.06	7.2	31.4	68.6
Nº 30	0.590	229.9	53.82	9.2	40.6	59.4
Nº 40	0.425	211.9	35.86	6.2	46.8	53.2
Nº 50	0.297	212.3	36.25	6.2	53.0	47.0
Nº 100	0.149	275.9	99.85	17.1	70.2	29.8
Nº 200	0.075	246.5	70.49	12.1	82.3	17.7
FONDO		279.4	103.37	17.7	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 1.10 – 1.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	14.3
% ARENA	68
% FINOS	17.7
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	3/8"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	0
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.048
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.15
Abertura del pasante del 60% (D60)	0.62
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	12.8
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.8

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 642.4 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc, obtenido de Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}};\ C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

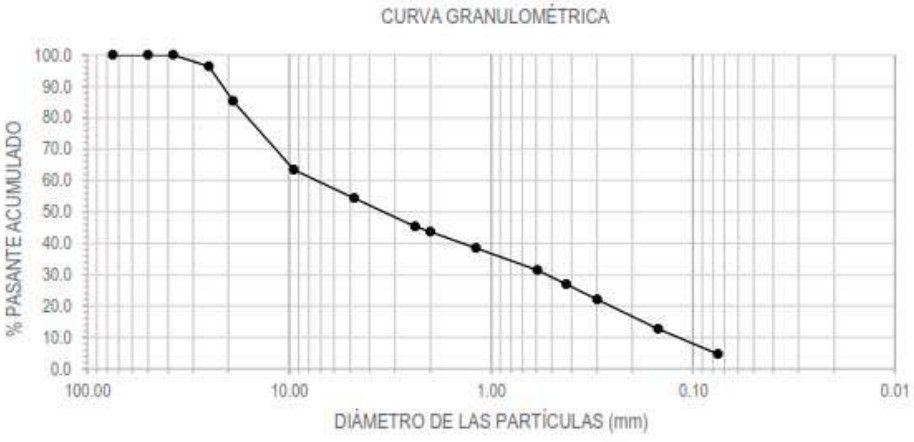
PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-4 **PROFUNDIDAD (m):** 1.50 – 1.70

TIPO DE MUESTRA: Mit

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	101	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	101	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	101	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	132	31	3.6	3.6	96.4
1/2"	19.00	197	96	11.1	14.7	85.3
3/8"	9.50	291	190	21.9	36.6	63.4
Nº 4	4.760	179	78	9.0	45.6	54.4
Nº 8	2.380	255.6	79.59	9.1	54.7	45.3
Nº 10	2.000	189.5	13.42	1.5	56.3	43.7
Nº 16	1.190	221.3	45.28	5.2	61.5	38.5
Nº 30	0.590	237.4	61.36	7.0	68.5	31.5
Nº 40	0.425	216.6	40.57	4.7	73.2	26.8
Nº 50	0.297	218.4	42.33	4.9	78.0	22.0
Nº 100	0.149	256.6	80.57	9.2	87.2	12.8
Nº 200	0.075	246.6	70.57	8.1	95.3	4.7
FONDO		216.7	40.63	4.7	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-4 **PROFUNDIDAD (m):** 1.50 – 1.70

TIPO DE MUESTRA: Mit

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	45.6
% ARENA	49.7
% FINOS	4.7
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	1"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3''	0
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.118
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.531
Abertura del pasante del 60% (D60)	7.322
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	62.1
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.3

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 869.32 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc, obtenido de Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}};\ C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

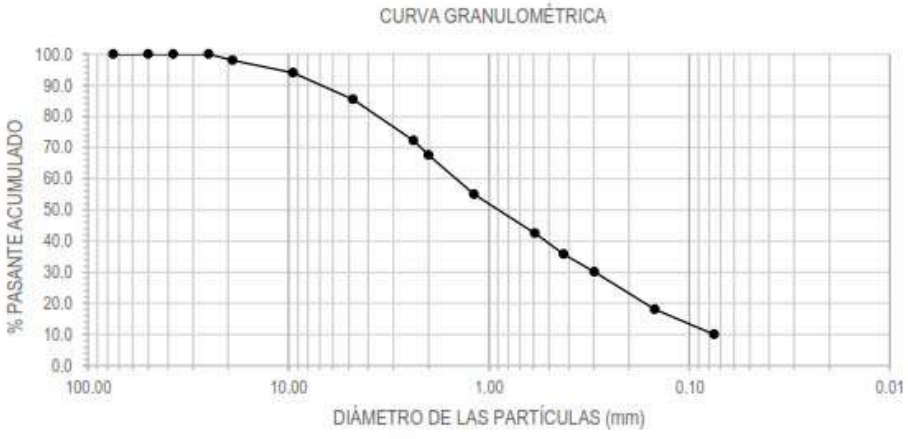
PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-5 **PROFUNDIDAD (m):** 1.70 – 1.95

TIPO DE MUESTRA: Mit

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	107.08	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	107.08	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	107.08	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	107.08	0	0.0	0.0	100.0
1/2"	19.00	114.79	7.71	1.9	1.9	98.1
3/8"	9.50	123.42	16.34	4.1	6.1	93.9
Nº 4	4.760	140.54	33.46	8.4	14.5	85.5
Nº 8	2.380	160.0	52.94	13.3	27.8	72.2
Nº 10	2.000	125.3	18.21	4.6	32.4	67.6
Nº 16	1.190	156.9	49.78	12.5	44.9	55.1
Nº 30	0.590	157.3	50.22	12.6	57.6	42.4
Nº 40	0.425	133.7	26.58	6.7	64.3	35.7
Nº 50	0.297	129.4	22.36	5.6	69.9	30.1
Nº 100	0.149	155.3	48.23	12.1	82.0	18.0
Nº 200	0.075	139.0	31.88	8.0	90.0	10.0
FONDO		146.7	39.58	10.0	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-5 **PROFUNDIDAD (m):** 1.70 – 1.95

TIPO DE MUESTRA: Mit

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	14.5
% ARENA	75.5
% FINOS	10
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	1/2"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	0
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.075
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.295
Abertura del pasante del 60% (D60)	1.460
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	19.4
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.8

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 397.29 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc, obtenido de Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}};\ C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

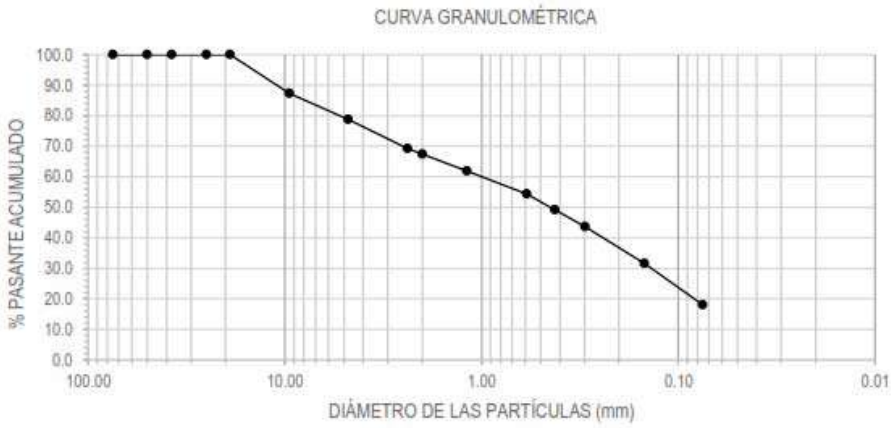
PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-6 **PROFUNDIDAD (m):** 1.95 – 2.40

TIPO DE MUESTRA: Mit

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	176	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	176	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	176	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	176	0	0.0	0.0	100.0
1/2"	19.00	176	0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.50	240	64	12.6	12.6	87.4
Nº 4	4.760	220	44	8.7	21.3	78.7
Nº 8	2.380	224.6	48.55	9.6	30.8	69.2
Nº 10	2.000	185.4	9.33	1.8	32.7	67.3
Nº 16	1.190	203.7	27.66	5.4	38.1	61.9
Nº 30	0.590	214.7	38.68	7.6	45.7	54.3
Nº 40	0.425	201.7	25.71	5.1	50.8	49.2
Nº 50	0.297	204.4	28.33	5.6	56.4	43.6
Nº 100	0.149	237.4	61.32	12.1	68.4	31.6
Nº 200	0.075	244.9	68.87	13.6	82.0	18.0
FONDO		267.6	91.54	18.0	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-6 **PROFUNDIDAD (m):** 1.95 – 2.40

TIPO DE MUESTRA: Mit

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	21.3
% ARENA	60.7
% FINOS	18
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	3/8"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	0
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.050
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.138
Abertura del pasante del 60% (D60)	1.001
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	20.0
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.4

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 507.99 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc, obtenido de Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \; C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

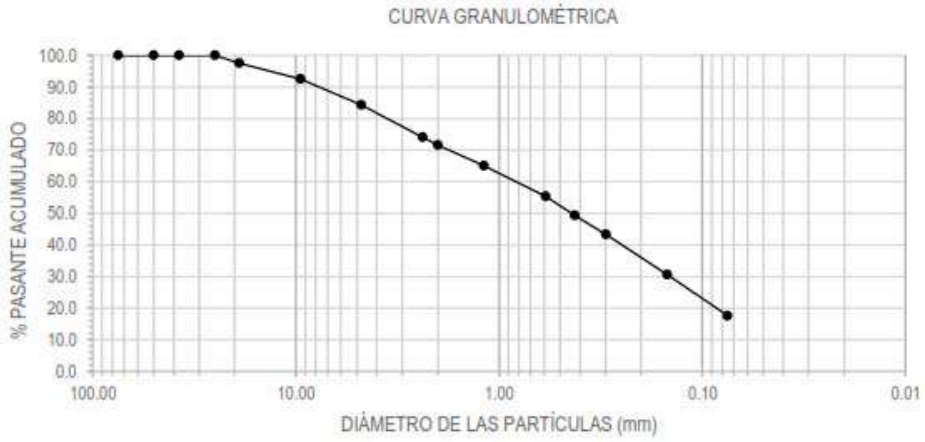
PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-7 **PROFUNDIDAD (m):** 2.40 – 2.85

TIPO DE MUESTRA: Mit

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	176	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	176	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	176	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	176	0	0.0	0.0	100.0
1/2"	19.00	202	26	2.5	2.5	97.5
3/8"	9.50	227	51	4.9	7.4	92.6
Nº 4	4.760	261	85	8.2	15.7	84.3
Nº 8	2.380	168.0	60.83	10.3	25.9	74.1
Nº 10	2.000	121.8	14.62	2.5	28.4	71.6
Nº 16	1.190	145.3	38.19	6.5	34.9	65.1
Nº 30	0.590	165.2	58.09	9.8	44.7	55.3
Nº 40	0.425	142.5	35.32	6.0	50.6	49.4
Nº 50	0.297	143.3	36.18	6.1	56.8	43.2
Nº 100	0.149	182.4	75.3	12.7	69.5	30.5
Nº 200	0.075	183.5	76.38	12.9	82.4	17.6
FONDO		211.4	104.28	17.6	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-7 **PROFUNDIDAD (m):** 2.40 – 2.85

TIPO DE MUESTRA: Mit

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	15.6
% ARENA	66.8
% FINOS	17.6
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	1/2"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	0
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.050
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.145
Abertura del pasante del 60% (D60)	0.824
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	16.5
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.5

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 661.19 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc, obtenido de Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \; C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.50 – 2.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	900	562	5.6	5.6	94.4
2"	50.00	1234	896	9.0	14.6	85.4
1 1/2"	37.50	709	371	3.7	18.3	81.7
1"	25.00	938	600	6.0	24.3	75.7
1/2"	19.00	634	296	3.0	27.3	72.8
3/8"	9.50	1192	854	8.5	35.8	64.2
Nº 4	4.760	932	594	5.9	41.7	58.3
Nº 8	2.380	162.7	45.94	5.4	47.1	52.9
Nº 10	2.000	130.9	14.17	1.7	48.7	51.3
Nº 16	1.190	159.7	43.01	5.0	53.8	46.2
Nº 30	0.590	184.7	67.99	7.9	61.7	38.3
Nº 40	0.425	157.4	40.73	4.8	66.5	33.5
Nº 50	0.297	164.2	47.53	5.5	72.0	28.0
Nº 100	0.149	205.3	88.56	10.3	82.3	17.7
Nº 200	0.075	184.2	67.53	7.9	90.2	9.8
FONDO		200.5	83.81	9.8	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.50 – 2.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	36.1
% ARENA	48.5
% FINOS	9.8
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	1/2"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	5.6
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.076
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.436
Abertura del pasante del 60% (D60)	4.019
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	52.6
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.6

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 4672.27 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc, obtenido de Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}};\ C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

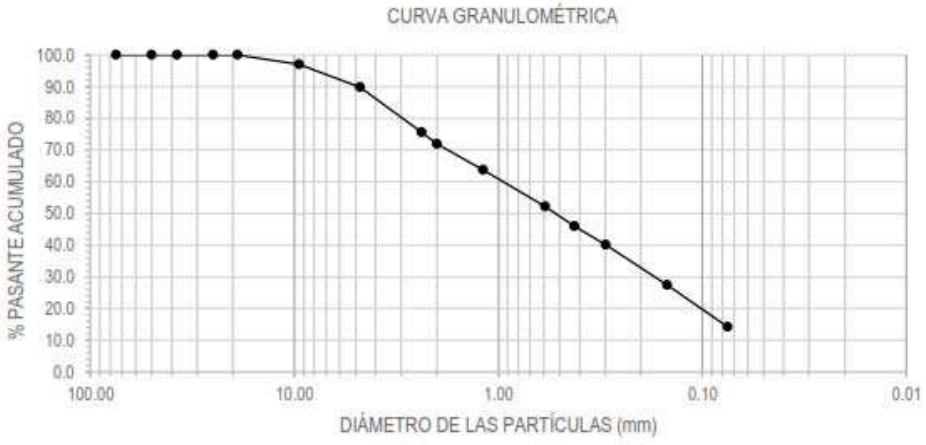
PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 2.00 – 2.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	176	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	176	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	176	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	176	0	0.0	0.0	100.0
1/2"	19.00	176	0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.50	200	24	2.9	2.9	97.1
Nº 4	4.760	235	59	7.2	10.2	89.8
Nº 8	2.380	254.8	78.75	14.2	24.3	75.7
Nº 10	2.000	196.8	20.82	3.7	28.1	71.9
Nº 16	1.190	222.0	45.97	8.3	36.4	63.6
Nº 30	0.590	240.0	63.94	11.5	47.9	52.1
Nº 40	0.425	209.8	33.78	6.1	53.9	46.1
Nº 50	0.297	208.9	32.85	5.9	59.9	40.1
Nº 100	0.149	246.5	70.5	12.7	72.5	27.5
Nº 200	0.075	249.7	73.63	13.2	85.8	14.2
FONDO		255.0	78.95	14.2	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 2.00 – 2.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	10.2
% ARENA	75.6
% FINOS	14.2
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	3/8"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	0
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.060
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.171
Abertura del pasante del 60% (D60)	0.953
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	15.8
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.5

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 582.19 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc, obtenido de Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}};\ C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 2.50 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	176	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	176	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	176	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	206	30	5.6	5.6	94.4
1/2"	19.00	185	9	1.7	7.2	92.8
3/8"	9.50	204	28	5.2	12.4	87.6
Nº 4	4.760	216	40	7.4	19.9	80.1
Nº 8	2.380	234.4	58.35	10.9	30.7	69.3
Nº 10	2.000	185.9	9.91	1.8	32.6	67.4
Nº 16	1.190	207.1	31.07	5.8	38.3	61.7
Nº 30	0.590	232.5	56.5	10.5	48.9	51.1
Nº 40	0.425	210.5	34.45	6.4	55.3	44.7
Nº 50	0.297	212.1	36.03	6.7	62.0	38.0
Nº 100	0.149	250.2	74.19	13.8	75.8	24.2
Nº 200	0.075	244.4	68.37	12.7	88.5	11.5
FONDO		237.6	61.54	11.5	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 2.50 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	19.9
% ARENA	68.6
% FINOS	11.5
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	1"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	0
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.069
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.199
Abertura del pasante del 60% (D60)	1.066
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	15.4
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.5

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 537.41 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc, obtenido de Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}};\ C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 0.45

TIPO DE MUESTRA: Mit

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	188	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	188	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	188	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	188	0	0.0	0.0	100.0
1/2"	19.00	188	0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.50	192	4	1.4	1.4	98.6
Nº 4	4.760	196	8	2.7	4.1	95.9
Nº 8	2.380	119.7	18.21	6.3	10.4	89.6
Nº 10	2.000	106.8	5.29	1.8	12.2	87.8
Nº 16	1.190	124.8	23.29	8.0	20.2	79.8
Nº 30	0.590	140.5	39.06	13.4	33.6	66.4
Nº 40	0.425	122.9	21.37	7.4	41.0	59.0
Nº 50	0.297	130.1	28.64	9.9	50.9	49.1
Nº 100	0.149	154.1	52.64	18.1	69.0	31.0
Nº 200	0.075	148.1	46.6	16.0	85.0	15.0
FONDO		145.0	43.52	15.0	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 0.45

TIPO DE MUESTRA: Mit

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	4.1
% ARENA	80.9
% FINOS	15
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	3/8"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	0
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.061
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.143
Abertura del pasante del 60% (D60)	0.444
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	7.3
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.8

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 290.62 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc, obtenido de Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}};\ C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

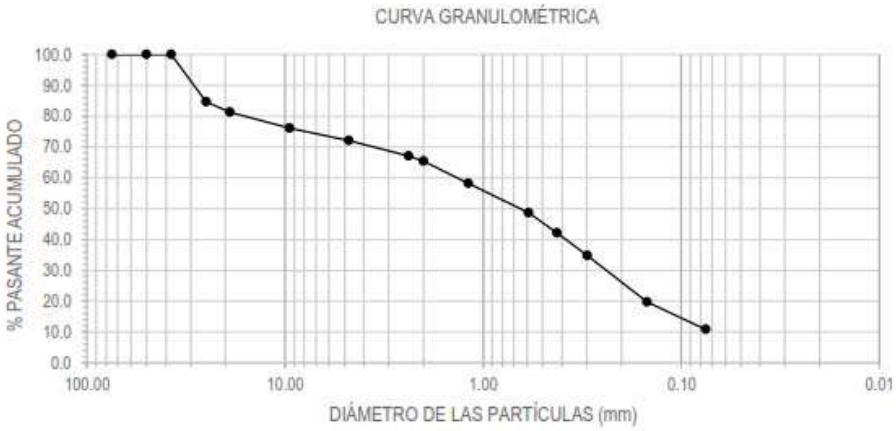
PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 0.45 – 0.90

TIPO DE MUESTRA: Mit

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	116	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	116	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	116	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	169	53	15.5	15.5	84.5
1/2"	19.00	127	11	3.2	18.7	81.3
3/8"	9.50	134	18	5.2	23.9	76.1
Nº 4	4.760	130	14	4.1	28.0	72.0
Nº 8	2.380	133.2	17.11	5.0	33.0	67.0
Nº 10	2.000	121.9	5.82	1.7	34.7	65.3
Nº 16	1.190	140.5	24.43	7.1	41.8	58.2
Nº 30	0.590	149.1	33	9.6	51.4	48.6
Nº 40	0.425	138.5	22.44	6.5	57.9	42.1
Nº 50	0.297	141.1	25.03	7.3	65.2	34.8
Nº 100	0.149	168.0	51.94	15.1	80.3	19.7
Nº 200	0.075	146.6	30.52	8.9	89.2	10.8
FONDO		153.1	36.97	10.8	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 0.45 – 0.90

TIPO DE MUESTRA: Mit

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	28
% ARENA	61.2
% FINOS	10.8
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	1"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	0
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.071
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.239
Abertura del pasante del 60% (D60)	1.355
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	19.2
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.6

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 343.26 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc, obtenido de Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}};\ C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

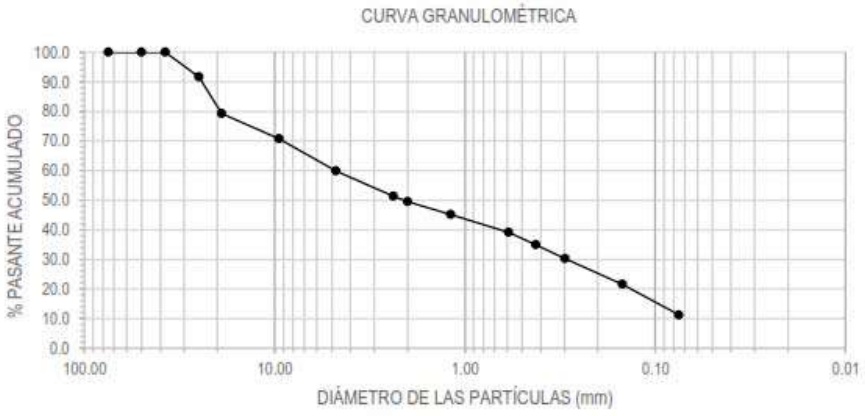
PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 0.90 – 1.40

TIPO DE MUESTRA: Mit

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	271	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	271	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	271	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	307	36	8.4	8.4	91.6
1/2"	19.00	324	53	12.4	20.8	79.2
3/8"	9.50	307	36	8.4	29.2	70.8
Nº 4	4.760	318	47	11.0	40.2	59.8
Nº 8	2.380	137.7	36.26	8.5	48.7	51.3
Nº 10	2.000	108.9	7.44	1.7	50.4	49.6
Nº 16	1.190	120.6	19.08	4.5	54.9	45.1
Nº 30	0.590	126.6	25.08	5.9	60.8	39.2
Nº 40	0.425	119.3	17.84	4.2	65.0	35.0
Nº 50	0.297	121.4	19.95	4.7	69.7	30.3
Nº 100	0.149	138.8	37.28	8.7	78.4	21.6
Nº 200	0.075	145.5	44.05	10.3	88.7	11.3
FONDO		149.4	47.95	11.3	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 0.90 – 1.40

TIPO DE MUESTRA: Mit

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	40.2
% ARENA	48.5
% FINOS	11.3
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	1"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	0
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.069
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.289
Abertura del pasante del 60% (D60)	4.816
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	69.8
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.3

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 426.93 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc, obtenido de Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \; C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

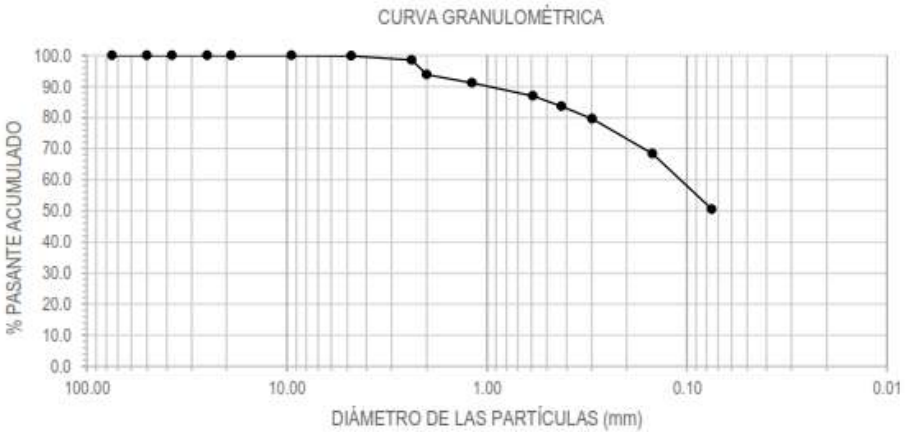
PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-4 **PROFUNDIDAD (m):** 1.40 – 1.60

TIPO DE MUESTRA: Mit

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	101.47	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	101.47	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	101.47	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	101.47	0	0.0	0.0	100.0
1/2"	19.00	101.47	0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.50	101.47	0	0.0	0.0	100.0
Nº 4	4.760	101.76	0.29	0.2	0.2	99.8
Nº 8	2.380	103.5	2.01	1.3	1.5	98.5
Nº 10	2.000	108.7	7.27	4.7	6.2	93.8
Nº 16	1.190	105.6	4.16	2.7	8.8	91.2
Nº 30	0.590	108.0	6.48	4.2	13.0	87.0
Nº 40	0.425	106.8	5.33	3.4	16.4	83.6
Nº 50	0.297	107.7	6.27	4.0	20.5	79.5
Nº 100	0.149	118.9	17.4	11.2	31.7	68.3
Nº 200	0.075	129.1	27.65	17.8	49.5	50.5
FONDO		180.0	78.52	50.5	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-4 **PROFUNDIDAD (m):** 1.40 – 1.60

TIPO DE MUESTRA: Mit

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	0.2
% ARENA	49.3
% FINOS	50.5
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	N° 04
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	0
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.016
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.034
Abertura del pasante del 60% (D60)	0.108
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	6.9
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.7

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 155.38 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc, obtenido de Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \; C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

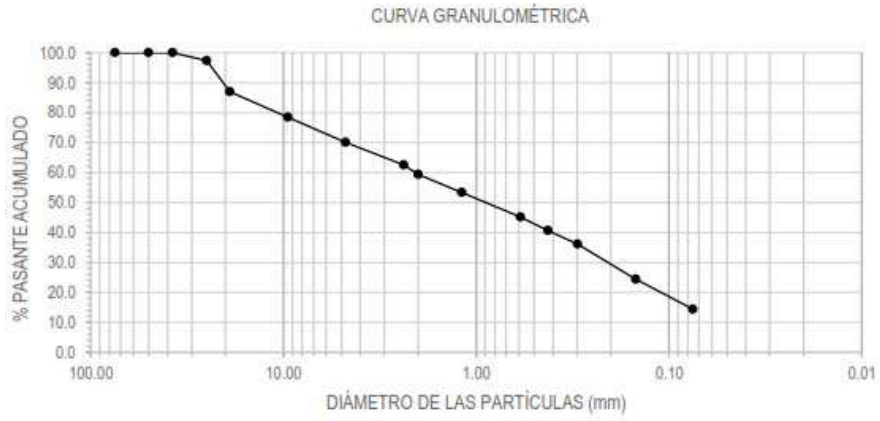
PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-5 **PROFUNDIDAD (m):** 1.60 – 2.05

TIPO DE MUESTRA: Mit

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	236	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	236	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	236	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	252	16	2.7	2.7	97.3
1/2"	19.00	298	62	10.3	12.9	87.1
3/8"	9.50	288	52	8.6	21.6	78.4
Nº 4	4.760	286	50	8.3	29.9	70.1
Nº 8	2.380	144.2	42.74	7.5	37.4	62.6
Nº 10	2.000	119.7	18.23	3.2	40.6	59.4
Nº 16	1.190	135.5	33.98	6.0	46.6	53.4
Nº 30	0.590	148.6	47.12	8.3	54.9	45.1
Nº 40	0.425	127.3	25.81	4.5	59.4	40.6
Nº 50	0.297	126.4	24.93	4.4	63.8	36.2
Nº 100	0.149	168.2	66.72	11.8	75.6	24.4
Nº 200	0.075	158.3	56.84	10.0	85.6	14.4
FONDO		183.2	81.73	14.4	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-5 **PROFUNDIDAD (m):** 1.60 – 2.05

TIPO DE MUESTRA: Mit

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	29.9
% ARENA	55.7
% FINOS	14.4
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	1"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	0
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.055
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.207
Abertura del pasante del 60% (D60)	2.067
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	37.3
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.4

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 578 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc, obtenido de Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}};\ C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-6 **PROFUNDIDAD (m):** 2.05 – 2.70

TIPO DE MUESTRA: Mit

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	117.71	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	117.71	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	117.71	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	117.71	0	0.0	0.0	100.0
1/2"	19.00	117.71	0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.50	117.71	0	0.0	0.0	100.0
Nº 4	4.760	122.49	4.78	2.3	2.3	97.7
Nº 8	2.380	125.8	8.1	3.9	6.3	93.7
Nº 10	2.000	119.6	1.92	0.9	7.2	92.8
Nº 16	1.190	125.2	7.52	3.7	10.9	89.1
Nº 30	0.590	130.1	12.35	6.0	16.9	83.1
Nº 40	0.425	132.9	15.19	7.4	24.3	75.7
Nº 50	0.297	140.1	22.34	10.9	35.2	64.8
Nº 100	0.149	176.1	58.4	28.5	63.7	36.3
Nº 200	0.075	149.6	31.91	15.6	79.2	20.8
FONDO		160.3	42.6	20.8	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-6 **PROFUNDIDAD (m):** 2.05 – 2.70

TIPO DE MUESTRA: Mit

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	2.3
% ARENA	76.9
% FINOS	20.8
Tamaño Máximo de la grava (pulg.)	N° 04
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	0
Abertura del pasante del 10% (D10)	0.047
Abertura del pasante del 30% (D30)	0.113
Abertura del pasante del 60% (D60)	0.264
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	5.7
Coeficiente de Curvatura (Cc)	1

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 205.11 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc, obtenido de Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}};\ C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

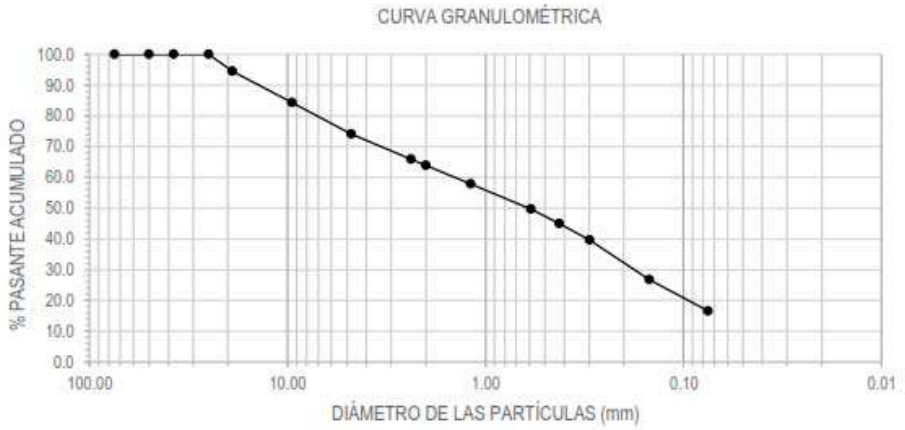
PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-7 **PROFUNDIDAD (m):** 2.70 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

VALORES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	$W_{RET+TARA}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (g)	$W_{RETENIDO}$ (%)	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	157	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	157	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	157	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	157	0	0.0	0.0	100.0
1/2"	19.00	183	26	5.5	5.5	94.5
3/8"	9.50	205	48	10.2	15.7	84.3
Nº 4	4.760	205	48	10.2	25.9	74.1
Nº 8	2.380	140.3	38.79	8.2	34.1	65.9
Nº 10	2.000	111.2	9.76	2.1	36.2	63.8
Nº 16	1.190	129.4	27.95	5.9	42.1	57.9
Nº 30	0.590	140.2	38.68	8.2	50.3	49.7
Nº 40	0.425	124.2	22.72	4.8	55.1	44.9
Nº 50	0.297	126.5	25.07	5.3	60.4	39.6
Nº 100	0.149	162.1	60.63	12.8	73.2	26.8
Nº 200	0.075	150.0	48.48	10.3	83.4	16.6
FONDO		179.7	78.27	16.6	100.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-7 **PROFUNDIDAD (m):** 2.70 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

RESULTADOS FINALES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVA	25.9
% ARENA	57.6
% FINOS	16.6
Tamaño Máximo de la grava (pu	1/2"
Forma del suelo grueso	-
Porcentaje retenido en Tamiz 3"	0
Abertura del pasante del 10% (D	0.048
Abertura del pasante del 30% (D	0.177
Abertura del pasante del 60% (D	1.429
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	29.6
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0.5

CONSIDERACIONES

- Se consideró los tamices, para asegurar el espaciamiento uniforme de puntos en la gráfica granulométrica

- La muestra recibida en campo, se expone al aire, para su secado total

- Se desmenuzan terrones de suelos con ayuda de un mortero

- La muestra representativa para el ensayo, se obtuvo por cuarteo manual (Método B de la norma NTP 339.089)

- Cantidad de muestra para el ensayo: 402.35 gramos (acorde a la disponibilidad en cantidad de la muestra tomada en campo)

- Formulaciones para la obtención de Cu y Cc, obtenido de Casagrande (1948), tomado de Bowles E. Joseph, Foundation Analysis and Design (2001):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}};\ C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 4

ENSAYOS DE LÍMITES DE ATTERBERG

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 4 - Ensayo de Límites de Atterberg
NTP 339.129:1999 Revisada el 2014. SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, plástico e índice de plasticidad

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE
FECHA: 10 de Octubre del 2021

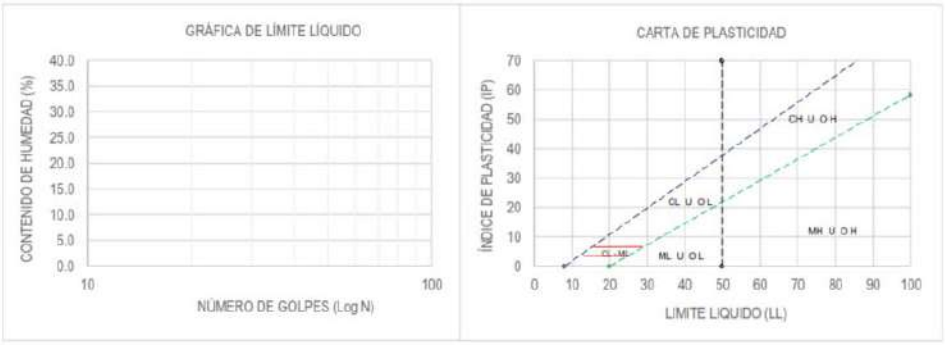
PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-01 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.80 – 3.10

TIPO DE MUESTRA: Mab

Proceso de selección: Pasante N° 40 Procedimiento empleado: Multipunto
% Retenido N° 40: 3.4% Método de preparación: Húmedo
Muestra seca al: Horno
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	51.58	49.24	47.26	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	47.79	44.56	41.68	-	-
Masa de tara	g.	27.90	26.37	25.80	-	-
Masa de agua empleada	g.	3.79	4.68	5.58	-	-
Contenido de humedad	%	19.1	25.7	35.1	-	-
Número de Golpes	-	8	4	7	-	-



RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

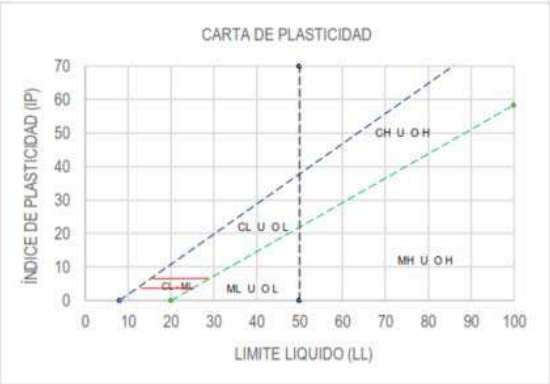
CALICATA Nº: C-02 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 1.80

TIPO DE MUESTRA: Mab

Proceso de selección: Pasante N° 40 Procedimiento empleado: Multipunto
% Retenido N° 40: 6.3% Método de preparación: Húmedo
Muestra seca al: Horno
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	52.18	53.21	54.24	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	47.13	48.15	44.25	-	-
Masa de tara	g.	24.35	26.36	25.46	-	-
Masa de agua empleada	g.	5.05	7.06	9.99	-	-
Contenido de humedad	%	22.2	35.7	53.2	-	-
Número de Golpes	-	7	5	3	-	-





RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

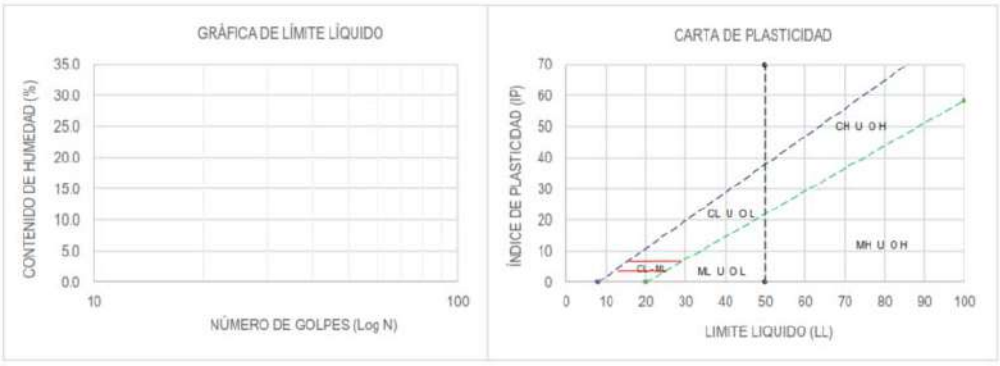
PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-02 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 1.80 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mab

Proceso de selección: Pasante N° 40 Procedimiento empleado: Multipunto
% Retenido N° 40: 4.9% Método de preparación: Húmedo
Muestra seca al: Horno
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	56.23	49.56	47.82	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	51.89	45.18	42.13	-	-
Masa de tara	g.	23.43	22.34	22.24	-	-
Masa de agua empleada	g.	4.34	4.38	5.69	-	-
Contenido de humedad	%	15.2	19.2	28.6	-	-
Número de Golpes	-	9	5	3	-	-



RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

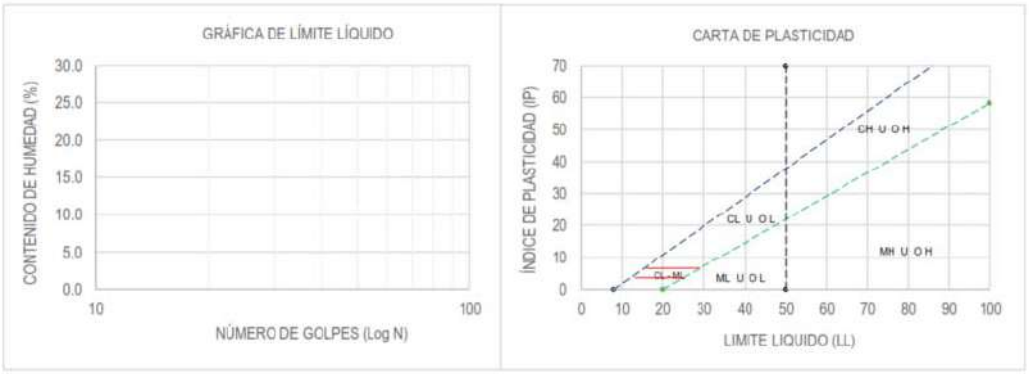
PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-03 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.70 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mab

Proceso de selección: Pasante N° 40 Procedimiento empleado: Multipunto
% Retenido N° 40: 4.0% Método de preparación: Húmedo
Muestra seca al: Horno
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	48.34	46.71	52.40	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	44.55	42.24	47.72	-	-
Masa de tara	g.	23.64	22.71	22.88	-	-
Masa de agua empleada	g.	3.79	4.47	4.68	-	-
Contenido de humedad	%	18.1	22.9	24.84	-	-
Número de Golpes	-	9	5	2	-	-



RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No plástico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

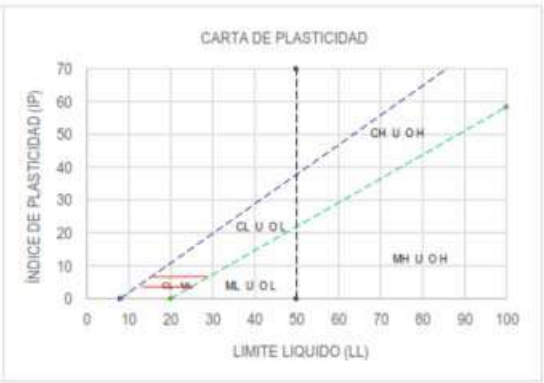
PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 0.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

Proceso de selección: Pasante N° 40
% Retenido N° 40: 3.6%
Muestra seca al: Horno
Procedimiento empleado: Multipunto
Método de preparación: Húmedo
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	50.45	50.87	49.11	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	48.02	45.27	43.34	-	-
Masa de tara	g.	27.90	26.37	25.80	-	-
Masa de agua empleada	g.	2.43	5.60	5.77	-	-
Contenido de humedad	%	12.1	29.6	32.9	-	-
Número de Golpes	-	8	4	2	-	-





RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

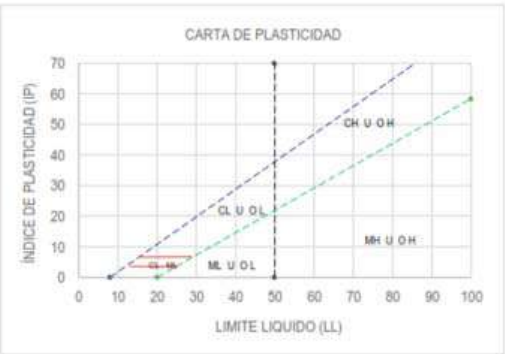
PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 0.50 – 1.10

TIPO DE MUESTRA: Mit

Proceso de selección: Pasante N° 40 Procedimiento empleado: Multipunto
% Retenido N° 40: 3.4% Método de preparación: Húmedo
Muestra seca al: Horno
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	51.58	49.24	47.26	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	47.79	44.56	41.68	-	-
Masa de tara	g.	27.90	26.37	25.80	-	-
Masa de agua empleada	g.	3.79	4.68	5.58	-	-
Contenido de humedad	%	19.1	25.7	35.1	-	-
Número de Golpes	-	8	4	7	-	-





RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

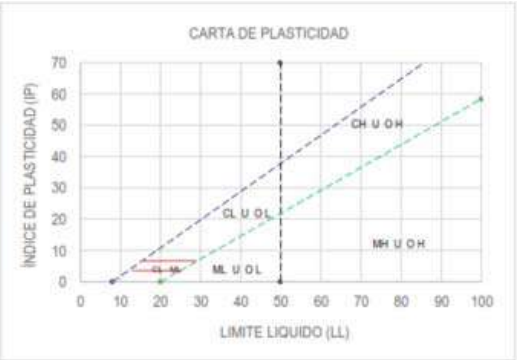
PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 1.10 – 1.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

Proceso de selección: Pasante N° 40
% Retenido N° 40: 6.2%
Muestra seca al: Horno
Procedimiento empleado: Multipunto
Método de preparación: Húmedo
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	52.18	53.21	54.24	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	47.13	46.15	44.25	-	-
Masa de tara	g.	24.35	26.36	25.46	-	-
Masa de agua empleada	g.	5.05	7.06	9.99	-	-
Contenido de humedad	%	22.2	35.7	53.2	-	-
Número de Golpes	-	7	5	3	-	-





RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

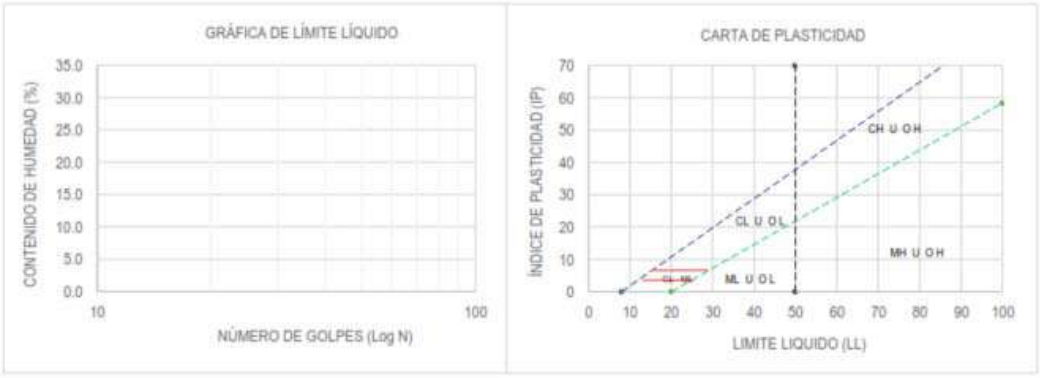
PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-4 **PROFUNDIDAD (m):** 1.50 – 1.70

TIPO DE MUESTRA: Mit

Proceso de selección: Pasante N° 40
% Retenido N° 40: 4.7%
Muestra seca al: Horno
Procedimiento empleado: Multipunto
Método de preparación: Húmedo
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	50.34	49.93	50.56	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	46.88	45.23	44.71	-	-
Masa de tara	g.	24.35	26.36	25.46	-	-
Masa de agua empleada	g.	3.46	4.70	5.85	-	-
Contenido de humedad	%	15.4	24.9	30.4	-	-
Número de Golpes	-	8	4	2	-	-



RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

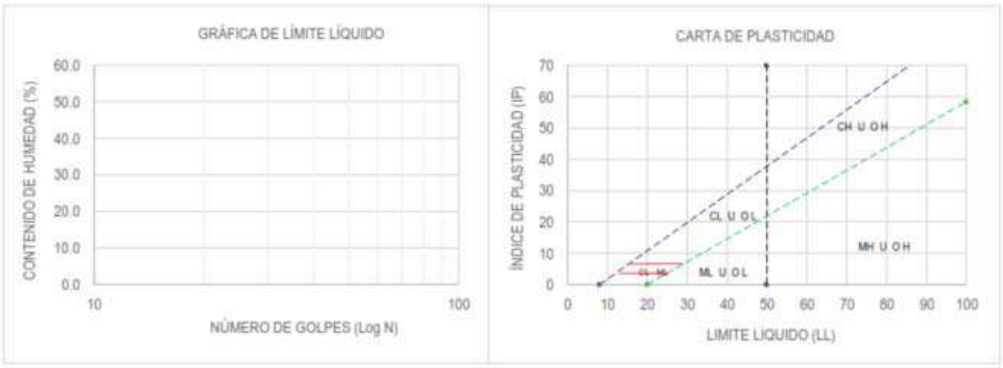
PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-5 **PROFUNDIDAD (m):** 1.70 – 1.95

TIPO DE MUESTRA: Mit

Proceso de selección: Pasante N° 40
% Retenido N° 40: 6.7%
Muestra seca al: Horno
Procedimiento empleado: Multipunto
Método de preparación: Húmedo
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	52.18	53.21	54.24	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	47.13	46.15	44.25	-	-
Masa de tara	g.	24.35	26.36	25.46	-	-
Masa de agua empleada	g.	5.05	7.06	9.99	-	-
Contenido de humedad	%	22.2	35.7	53.2	-	-
Número de Golpes	-	7	5	3	-	-



RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES
- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)
M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)
M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

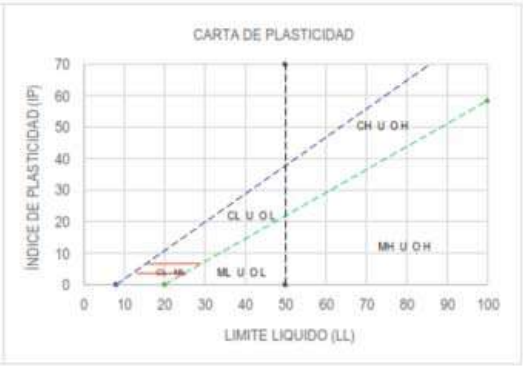
PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-6 **PROFUNDIDAD (m):** 1.95 – 2.40

TIPO DE MUESTRA: Mit

Proceso de selección: Pasante N° 40 Procedimiento empleado: Multipunto
% Retenido N° 40: 5.1% Método de preparación: Húmedo
Muestra seca al: Horno
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	49.23	50.65	51.25	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	46.12	46.47	45.34	-	-
Masa de tara	g.	24.35	26.36	25.46	-	-
Masa de agua empleada	g.	3.11	4.18	5.91	-	-
Contenido de humedad	%	14.3	20.8	29.7	-	-
Número de Golpes	-	7	5	3	-	-





RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

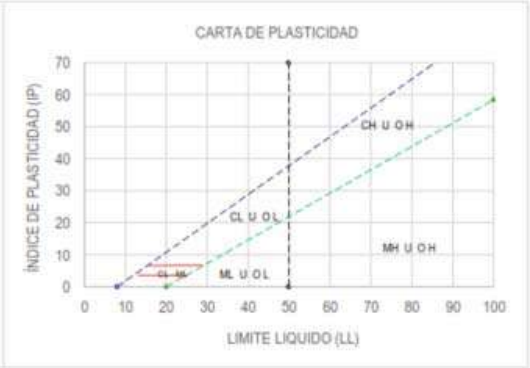
PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-7 **PROFUNDIDAD (m):** 2.40 – 2.85

TIPO DE MUESTRA: Mit

Proceso de selección: Pasante N° 40
% Retenido N° 40: 6.0%
Muestra seca al: Horno
Procedimiento empleado: Multipunto
Método de preparación: Húmedo
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	50.56	51.35	49.24	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	46.78	46.12	43.81	-	-
Masa de tara	g.	24.35	26.36	25.46	-	-
Masa de agua empleada	g.	3.78	5.23	5.43	-	-
Contenido de humedad	%	16.9	26.5	29.6	-	-
Número de Golpes	-	8	6	3	-	-





RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

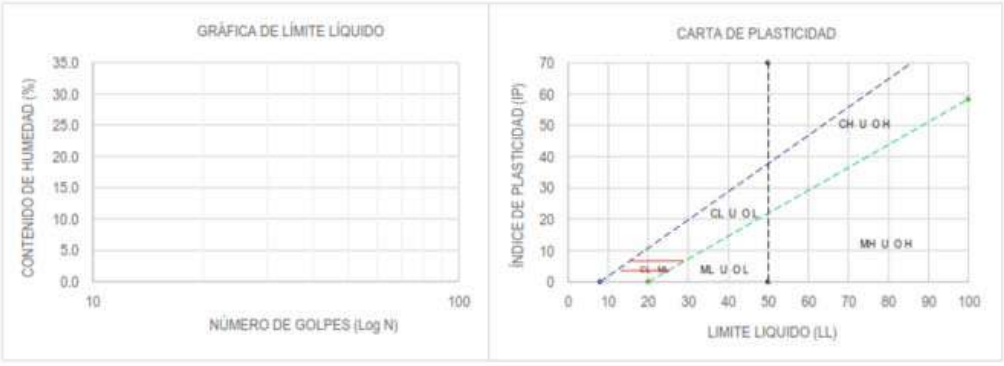
PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.50 – 2.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

Proceso de selección: Pasante N° 40 Procedimiento empleado: Multipunto
% Retenido N° 40: 4.8% Método de preparación: Húmedo
Muestra seca al: Horno
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	50.56	51.35	49.24	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	46.78	46.12	43.81	-	-
Masa de tara	g.	24.35	26.36	25.46	-	-
Masa de agua empleada	g.	3.78	5.23	5.43	-	-
Contenido de humedad	%	16.9	26.5	29.6	-	-
Número de Golpes	-	8	6	3	-	-



RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Indice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

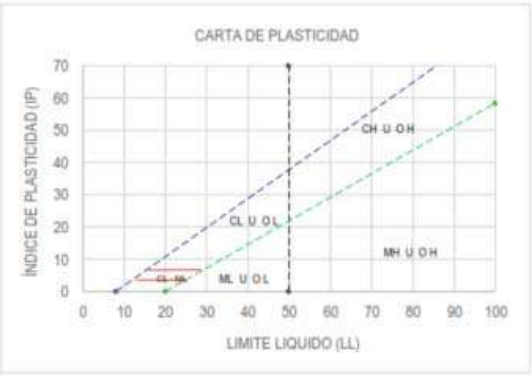
PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 2.00 – 2.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

Proceso de selección: Pasante N° 40 Procedimiento empleado: Multipunto
% Retenido N° 40: 6.1% Método de preparación: Húmedo
Muestra seca al: Horno
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	49.87	51.45	50.75	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	46.33	46.64	44.67	-	-
Masa de tara	g.	27.90	26.37	25.80	-	-
Masa de agua empleada	g.	3.54	4.81	6.08	-	-
Contenido de humedad	%	19.2	23.7	32.2	-	-
Número de Golpes	-	8	4	7	-	-





RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

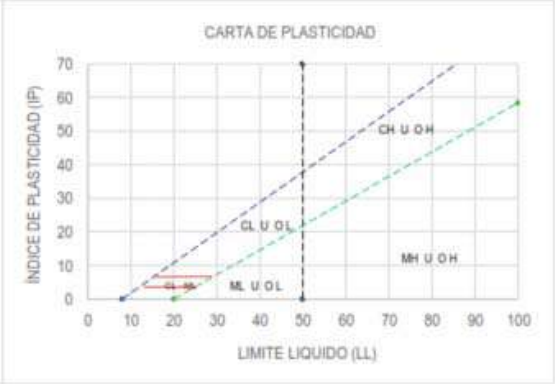
PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 2.50 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

Proceso de selección: Pasante N° 40
% Retenido N° 40: 6.4%
Muestra seca al: Horno
Procedimiento empleado: Multipunto
Método de preparación: Húmedo
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	51.45	49.20	50.87	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	48.12	44.48	44.23	-	-
Masa de tara	g.	24.35	26.36	25.46	-	-
Masa de agua empleada	g.	3.33	4.72	6.64	-	-
Contenido de humedad	%	14.0	26.0	35.4	-	-
Número de Golpes	-	7	5	3	-	-





RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

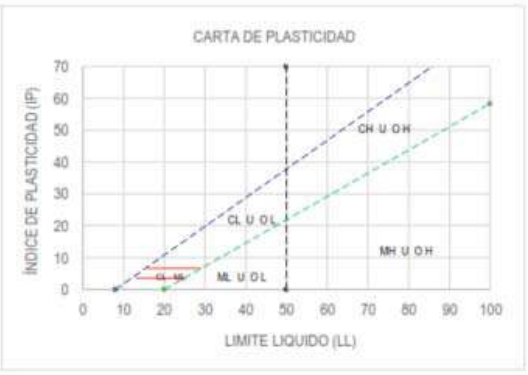
PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 0.45

TIPO DE MUESTRA: Mit

Proceso de selección: Pasante N° 40 Procedimiento empleado: Multipunto
% Retenido N° 40: 7.4% Método de preparación: Húmedo
Muestra seca al: Horno
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	49.81	51.87	50.45	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	46.27	46.33	44.51	-	-
Masa de tara	g.	27.90	26.37	25.80	-	-
Masa de agua empleada	g.	3.54	5.54	5.94	-	-
Contenido de humedad	%	19.3	27.8	31.7	-	-
Número de Golpes	-	9	5	3	-	-





RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

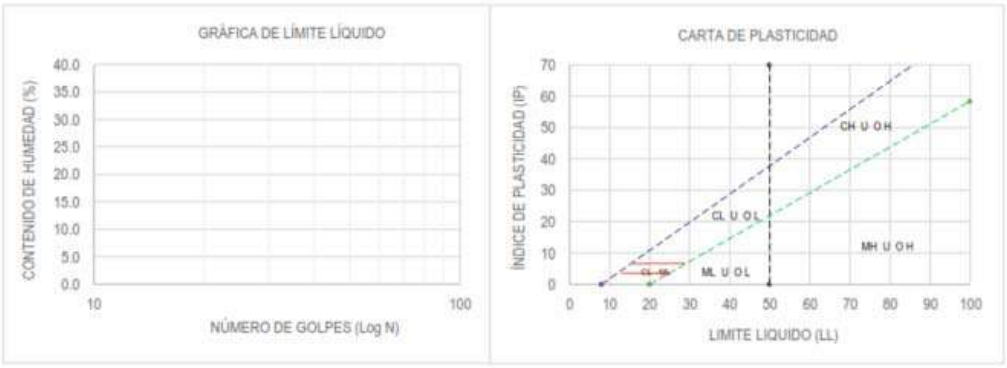
PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 0.45 – 0.90

TIPO DE MUESTRA: Mit

Proceso de selección: Pasante N° 40 Procedimiento empleado: Multipunto
% Retenido N° 40: 6.5% Método de preparación: Húmedo
Muestra seca al: Horno
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	50.56	49.35	51.24	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	46.70	44.27	44.76	-	-
Masa de tara	g.	24.35	26.36	25.46	-	-
Masa de agua empleada	g.	3.86	5.08	6.48	-	-
Contenido de humedad	%	17.3	28.4	33.6	-	-
Número de Golpes	-	7	5	3	-	-



RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

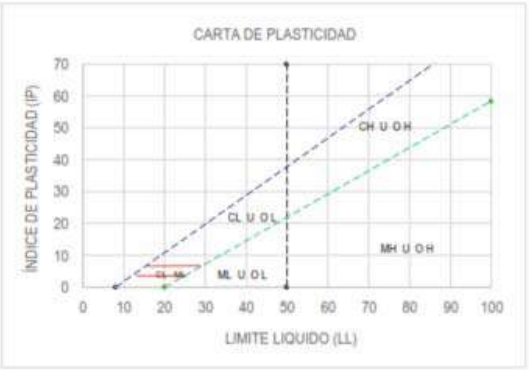
PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 0.90 – 1.40

TIPO DE MUESTRA: Mit

Proceso de selección: Pasante N° 40 Procedimiento empleado: Multipunto
% Retenido N° 40: 4.2% Método de preparación: Húmedo
Muestra seca al: Horno
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	50.12	51.68	50.45	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	46.78	46.82	44.71	-	-
Masa de tara	g.	24.35	26.36	25.46	-	-
Masa de agua empleada	g.	3.34	4.86	5.74	-	-
Contenido de humedad	%	14.9	23.8	29.8	-	-
Número de Golpes	-	7	5	3	-	-





RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

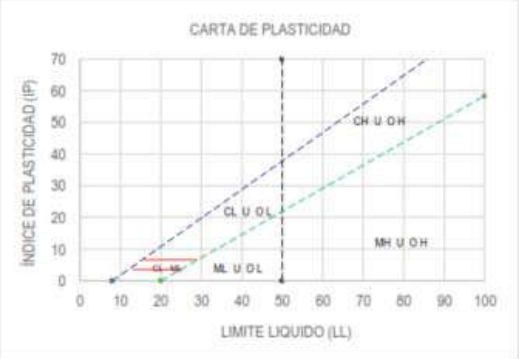
PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-4 **PROFUNDIDAD (m):** 1.40 – 1.60

TIPO DE MUESTRA: Mit

Proceso de selección: Pasante N° 40
% Retenido N° 40: 5.3%
Muestra seca al: Horno
Procedimiento empleado: Multipunto
Método de preparación: Húmedo
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	49.24	50.68	50.72	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	46.81	47.23	45.82	-	-
Masa de tara	g.	24.35	26.36	25.46	-	-
Masa de agua empleada	g.	2.43	3.45	4.90	-	-
Contenido de humedad	%	10.8	16.5	24.1	-	-
Número de Golpes	-	8	6	3	-	-





RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

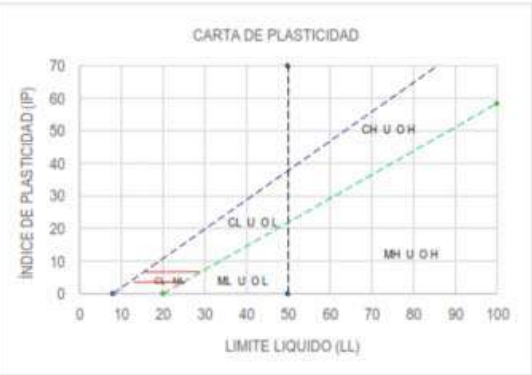
PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-5 **PROFUNDIDAD (m):** 1.60 – 2.05

TIPO DE MUESTRA: Mit

Proceso de selección: Pasante N° 40 Procedimiento empleado: Multipunto
% Retenido N° 40: 4.5% Método de preparación: Húmedo
Muestra seca al: Horno
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	51.56	50.67	51.76	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	48.13	46.54	45.97	-	-
Masa de tara	g.	24.35	26.36	25.46	-	-
Masa de agua empleada	g.	3.43	4.13	5.79	-	-
Contenido de humedad	%	14.4	20.5	28.2	-	-
Número de Golpes	-	8	6	3	-	-





RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

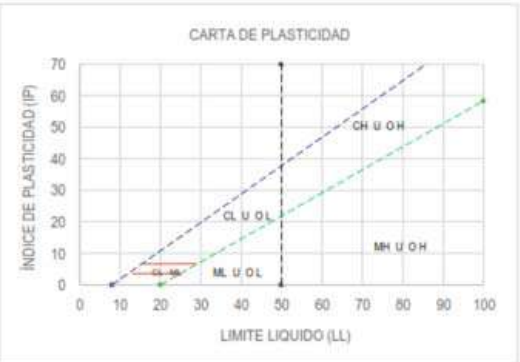
PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-6 **PROFUNDIDAD (m):** 2.05 – 2.70

TIPO DE MUESTRA: Mit

Proceso de selección: Pasante N° 40
% Retenido N° 40: 7.4%
Muestra seca al: Horno
Procedimiento empleado: Multipunto
Método de preparación: Húmedo
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	51.56	50.67	51.76	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	48.13	46.54	45.97	-	-
Masa de tara	g.	24.35	26.36	25.46	-	-
Masa de agua empleada	g.	3.43	4.13	5.79	-	-
Contenido de humedad	%	14.4	20.5	28.2	-	-
Número de Golpes	-	8	6	3	-	-





RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

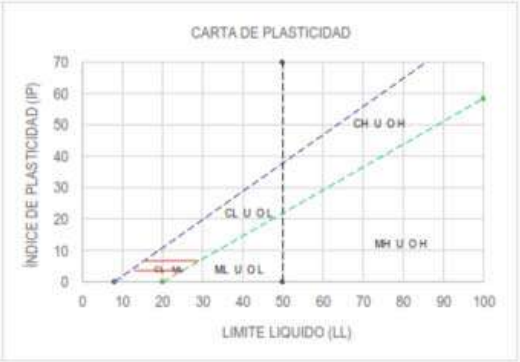
PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-7 **PROFUNDIDAD (m):** 2.70 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

Proceso de selección: Pasante N° 40
% Retenido N° 40: 4.8%
Muestra seca al: Horno
Procedimiento empleado: Multipunto
Método de preparación: Húmedo
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color Marrón Verdoso Oscuro (Húmedo)

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Masa de suelo húmedo + tara	g.	50.98	49.76	50.23	-	-
Masa de suelo seco + tara	g.	48.12	45.63	45.04	-	-
Masa de tara	g.	24.35	26.36	25.46	-	-
Masa de agua empleada	g.	2.86	4.13	5.19	-	-
Contenido de humedad	%	12.0	21.4	26.5	-	-
Número de Golpes	-	9	4	3	-	-





RESULTADOS	
Límite Líquido:	-
Límite Plástico:	NP
Índice de Plasticidad	NP

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo:	-
Nombre:	No Plastico

CONSIDERACIONES

- Poco material retenido en Tamiz N° 40
- Retiro de materiales frágiles de forma manual (desechos orgánicos como pequeñas raíces, concreciones)
- No se determinó el LL, por no alcanzar los 25 golpes para cerrar la ranura de la pasta de suelo, que recomienda el ensayo
- Se reporta el suelo como No Plástico
- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 5

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS – METODOLOGÍA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 5 - Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS - Metodología
Metodología Recomendada por Braja M Das (2015) y Bowles E- Joseph (2001)

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Y PERFORACIÓN Nº: TODAS **MUESTRA:** TODAS

PROFUNDIDAD (m): TODAS

TIPO DE MUESTRA: Mit - Mab

Metodología recomendada por Braja M. Das para determinar la Clasificación del Suelo en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS, publicado en Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015)

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	**Gravas** Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos[a]	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$[c]	GW
			$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$[c]	GP
		Gravas con finos Más de 12% finos[a,d]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Arenas limpias Menos de 5% finos[b]	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$[c]	SW
			$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$[c]	SP
		Arenas con finos Más de 12% finos[b,d]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	**Limos y arcillas** Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)[e]	CL
			$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)[e]	ML
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OL	OL
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Gráficos *PI* en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH
			Gráficos *PI* por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OH	OH
Suelos altamente orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico			Pt

[a] Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.
[b] Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.
[c] $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$
[d] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.
[e] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Y PERFORACIÓN Nº: TODAS **MUESTRA:** TODAS

PROFUNDIDAD (m): TODAS

TIPO DE MUESTRA: Mit - Mab

Metodología recomendada por Bowles E. Joseph para determinar la Clasificación del Suelo en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS, publicado en Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Unified soil classification [Casagrande (1948)]

Major divisions			Group symbols	Typical names	Laboratory classification criteria	
Coarse-grained soils (More than half of material is larger than No. 200 sieve size)	Gravels (More than half of coarse fraction is larger than No. 4 sieve size)	Clean gravels (Little or no fines)	GW	Well-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	Determine percentages of sand and gravel from grain-size curve. Depending on percentages of fines (fraction smaller than No. 200 sieve size), coarse-grained soils are classified as follows: Less than 5% GW, GP, SW, SP; More than 12% GM, GC, SM, SC; 5 to 12 % *Borderline* cases requiring dual symbols†	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 4; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{10}}$ between 1 and 3
			GP	Poorly graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines		Not meeting C_u or C_c requirements for GW
		Gravels with fines (Appreciable amount of fines)	GM* d u	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures	Atterberg limits below "A" line or I_P less than 4	Limits plotting in hatched zone with I_P between 4 and 7 are *borderline* cases requiring use of dual symbols.
			GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures	Atterberg limits above "A" line with I_P greater than 7	
	Sands (More than half of coarse fraction is smaller than No. 4 sieve size)	Clean sands (Little or no fines)	SW	Well-graded sands, gravelly sands, little or no fines		$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 6; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ between 1 and 3
			SP	Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines		Not meeting C_u or C_c requirements for SW
		Sands with fines (Appreciable amount of fines)	SM* d u	Silty sands, sand-silt mixtures	Atterberg limits below "A" line or I_P less than 4	Limits plotting in hatched zone with I_P between 4 and 7 are *borderline* cases requiring use of dual symbols.
			SC	Clayey sands, sand-clay mixtures	Atterberg limits above "A" line with I_P greater than 7	

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 6

CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON PROPÓSITOS DE INGENIERÍA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 6 - Clasificación de suelos con propósitos de Ingeniería
NTP 339.134:1998 Revisada el 2014. SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS)

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE
FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-01 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.80 – 3.10

TIPO DE MUESTRA: Mab

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	90.3
2"	50.00	83.9
1 1/2"	37.50	75.8
1"	25.00	67.0
1/2"	19.00	55.8
3/8"	9.50	51.8
Nº 4	4.760	44.7
Nº 8	2.380	36.7
Nº 10	2.000	35.1
Nº 16	1.190	30.1
Nº 30	0.590	23.9
Nº 40	0.425	20.5
Nº 50	0.297	17.3
Nº 100	0.149	11.0
Nº 200	0.075	6.2
FONDO		0.0
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	34.5
	% GF	11.1
% ARENA	% AG	9.6
	% AM	14.5
	% AF	14.3
% FINOS		6.2
Tamaño Máximo de la grava		3"
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		9.7
Abertura del pasante del 10%		0.1
Abertura del pasante del 30%		1.2
Abertura del pasante del 60%		21.1
Coeficiente de uniformidad (C_u)		163.7
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.5



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
GP-GM	Grava mal graduada con limo y arena

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-02 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 1.80

TIPO DE MUESTRA: Mab

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	96.4
1/2"	19.00	92.6
3/8"	9.50	86.1
Nº 4	4.760	79.1
Nº 8	2.380	73.3
Nº 10	2.000	71.5
Nº 16	1.190	66.2
Nº 30	0.590	57.0
Nº 40	0.425	50.6
Nº 50	0.297	43.0
Nº 100	0.149	26.4
Nº 200	0.075	13.2
FONDO		0.0
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	7.4
	% GF	13.5
% ARENA	% AG	7.6
	% AM	20.8
	% AF	37.5
% FINOS		13.2
Tamaño Máximo de la grava		1 "
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.1
Abertura del pasante del 30%		0.2
Abertura del pasante del 60%		0.7
Coeficiente de uniformidad (C_u)		11.7
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.6



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SM	Arena limosa con grava

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-02 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 1.80 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mab

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	89.0
1 1/2"	37.50	88.1
1"	25.00	83.7
1/2"	19.00	81.3
3/8"	9.50	74.7
Nº 4	4.760	66.4
Nº 8	2.380	57.7
Nº 10	2.000	54.7
Nº 16	1.190	47.8
Nº 30	0.590	38.6
Nº 40	0.425	33.7
Nº 50	0.297	28.5
Nº 100	0.149	17.2
Nº 200	0.075	9.3
FONDO		0.0
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	18.7
	% GF	14.9
% ARENA	% AG	11.8
	% AM	21.0
	% AF	24.4
% FINOS		9.3
Tamaño Máximo de la grava		2 "
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.1
Abertura del pasante del 30%		0.3
Abertura del pasante del 60%		2.9
Coeficiente de uniformidad (C_u)		36.0
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.5



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SP-SM	Arena mal graduada con limo y grava

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-03 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.70 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mab

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	95.1
2"	50.00	89.8
1 1/2"	37.50	88.0
1"	25.00	85.0
1/2"	19.00	77.0
3/8"	9.50	73.0
Nº 4	4.760	63.0
Nº 8	2.380	54.9
Nº 10	2.000	53.7
Nº 16	1.190	46.8
Nº 30	0.590	39.9
Nº 40	0.425	35.9
Nº 50	0.297	31.1
Nº 100	0.149	21.7
Nº 200	0.075	6.3
FONDO		0.0
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	18.1
	% GF	14.1
% ARENA	% AG	9.3
	% AM	17.8
	% AF	29.6
% FINOS		6.3
Tamaño Máximo de la grava		3 "
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		4.9
Abertura del pasante del 10%		0.1
Abertura del pasante del 30%		0.3
Abertura del pasante del 60%		3.7
Coeficiente de uniformidad (C_u)		41.7
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.2



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SP-SM	Arena mal graduada con limo y grava

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

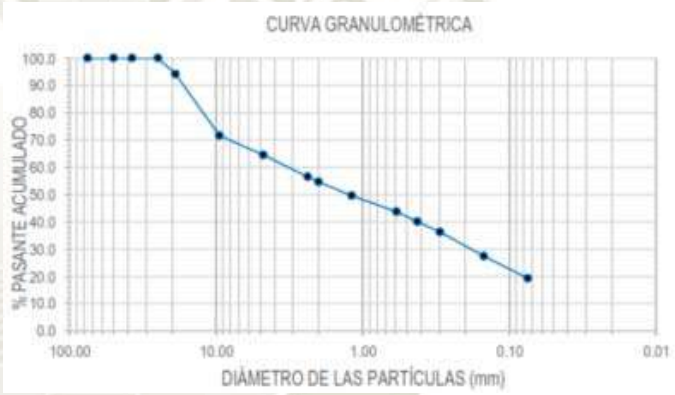
FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 0.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	100.0
1/2"	19.00	94.3
3/8"	9.50	71.6
Nº 4	4.760	64.5
Nº 8	2.380	56.5
Nº 10	2.000	54.6
Nº 16	1.190	49.6
Nº 30	0.590	43.7
Nº 40	0.425	40.2
Nº 50	0.297	36.3
Nº 100	0.149	27.4
Nº 200	0.075	19.3
FONDO		0.0
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	5.7
	% GF	29.7
% ARENA	% AG	9.9
	% AM	14.5
	% AF	20.8
% FINOS		19.3
Tamaño Máximo de la grava		1/2 "
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.0
Abertura del pasante del 30%		0.2
Abertura del pasante del 60%		3.2
Coeficiente de uniformidad (C_u)		94.8
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.3



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SM	Arena limosa con grava

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

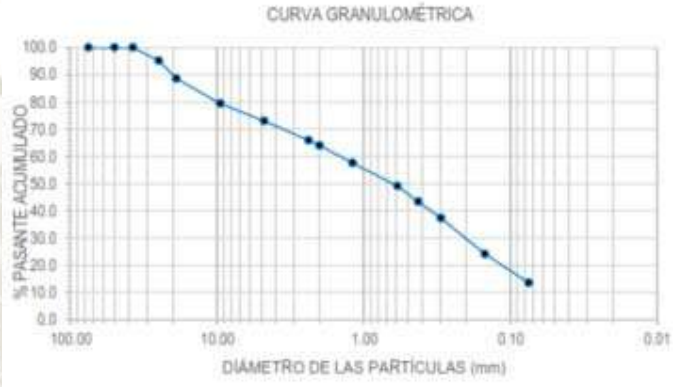
PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 0.50 – 1.10

TIPO DE MUESTRA: Mit

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	95.2
1/2"	19.00	88.6
3/8"	9.50	79.5
Nº 4	4.760	73.0
Nº 8	2.380	65.9
Nº 10	2.000	64.0
Nº 16	1.190	57.6
Nº 30	0.590	49.1
Nº 40	0.425	43.4
Nº 50	0.297	37.3
Nº 100	0.149	24.1
Nº 200	0.075	13.6
FONDO		0.0

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	11.4
	% GF	15.7
% ARENA	% AG	9.0
	% AM	20.6
	% AF	29.8
% FINOS		13.6
Tamaño Máximo de la grava		1"
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.1
Abertura del pasante del 30%		0.2
Abertura del pasante del 60%		1.4
Coeficiente de uniformidad (C_u)		24.2
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.5



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SM	Arena limosa con grava

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 1.10 – 1.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	100.0
1/2"	19.00	100.0
3/8"	9.50	93.3
Nº 4	4.760	85.7
Nº 8	2.380	78.0
Nº 10	2.000	75.8
Nº 16	1.190	68.6
Nº 30	0.590	59.4
Nº 40	0.425	53.2
Nº 50	0.297	47.0
Nº 100	0.149	29.8
Nº 200	0.075	17.7
FONDO		0.0
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	0.0
	% GF	14.3
% ARENA	% AG	9.9
	% AM	22.6
	% AF	35.5
% FINOS		17.7
Tamaño Máximo de la grava		3/8 "
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.0
Abertura del pasante del 30%		0.1
Abertura del pasante del 60%		0.6
Coeficiente de uniformidad (C_u)		12.8
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.8



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SM	Arena limosa

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

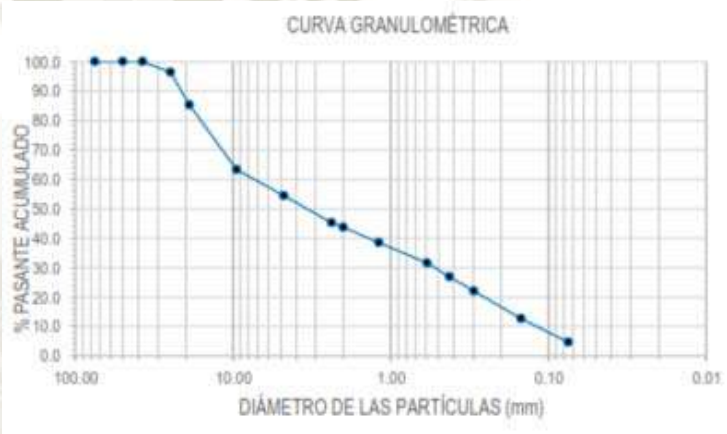
FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-4 **PROFUNDIDAD (m):** 1.50 – 1.70

TIPO DE MUESTRA: Mit

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	96.4
1/2"	19.00	85.3
3/8"	9.50	63.4
Nº 4	4.760	54.4
Nº 8	2.380	45.3
Nº 10	2.000	43.7
Nº 16	1.190	38.5
Nº 30	0.590	31.5
Nº 40	0.425	26.8
Nº 50	0.297	22.0
Nº 100	0.149	12.8
Nº 200	0.075	4.7
FONDO		0.0
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	14.7
	% GF	30.9
% ARENA	% AG	10.7
	% AM	16.9
	% AF	22.2
% FINOS		4.7
Tamaño Máximo de la grava		1"
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.1
Abertura del pasante del 30%		0.5
Abertura del pasante del 60%		7.3
Coeficiente de uniformidad (C_u)		62.1
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.3



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SP	Arena mal graduada con grava

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-5 **PROFUNDIDAD (m):** 1.70 – 1.95

TIPO DE MUESTRA: Mit

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	100.0
1/2"	19.00	98.1
3/8"	9.50	93.9
Nº 4	4.760	85.5
Nº 8	2.380	72.2
Nº 10	2.000	67.6
Nº 16	1.190	55.1
Nº 30	0.590	42.4
Nº 40	0.425	35.7
Nº 50	0.297	30.1
Nº 100	0.149	18.0
Nº 200	0.075	10.0
FONDO		0.0
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	1.9
	% GF	12.6
% ARENA	% AG	17.9
	% AM	31.9
	% AF	25.8
% FINOS		10.0
Tamaño Máximo de la grava		1/2 "
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.1
Abertura del pasante del 30%		0.3
Abertura del pasante del 60%		1.5
Coeficiente de uniformidad (C_u)		19.4
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.8



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SP-SM	Arena mal graduada con limo

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

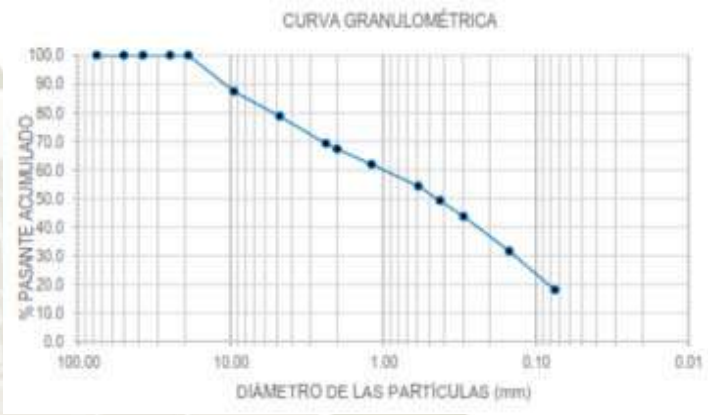
PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-6 **PROFUNDIDAD (m):** 1.95 – 2.40

TIPO DE MUESTRA: Mit

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	100.0
1/2"	19.00	100.0
3/8"	9.50	87.4
Nº 4	4.760	78.7
Nº 8	2.380	69.2
Nº 10	2.000	67.3
Nº 16	1.190	61.9
Nº 30	0.590	54.3
Nº 40	0.425	49.2
Nº 50	0.297	43.6
Nº 100	0.149	31.6
Nº 200	0.075	18.0
FONDO		0.0

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	0.0
	% GF	21.3
% ARENA	% AG	11.4
	% AM	18.1
	% AF	31.2
% FINOS		18.0
Tamaño Máximo de la grava		3/8 "
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.0
Abertura del pasante del 30%		0.1
Abertura del pasante del 60%		1.0
Coeficiente de uniformidad (C_u)		20.0
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.4



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Indice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SM	Arena limosa con grava

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-7 **PROFUNDIDAD (m):** 2.40 – 2.85

TIPO DE MUESTRA: Mit

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	100.0
1/2"	19.00	97.5
3/8"	9.50	92.6
Nº 4	4.760	84.3
Nº 8	2.380	74.1
Nº 10	2.000	71.6
Nº 16	1.190	65.1
Nº 30	0.590	55.3
Nº 40	0.425	49.4
Nº 50	0.297	43.2
Nº 100	0.149	30.5
Nº 200	0.075	17.6
FONDO		0.0
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	2.5
	% GF	13.1
% ARENA	% AG	12.7
	% AM	22.2
	% AF	31.7
% FINOS		17.6
Tamaño Máximo de la grava		1/2 "
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.1
Abertura del pasante del 30%		0.1
Abertura del pasante del 60%		0.8
Coeficiente de uniformidad (C_u)		16.5
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.5



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SM	Arena limosa con grava

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.50 – 2.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	% PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	94.4
2"	50.00	85.4
1 1/2"	37.50	81.7
1"	25.00	75.7
1/2"	19.00	72.8
3/8"	9.50	64.2
Nº 4	4.760	58.3
Nº 8	2.380	52.9
Nº 10	2.000	51.3
Nº 16	1.190	46.2
Nº 30	0.590	38.3
Nº 40	0.425	33.5
Nº 50	0.297	28.0
Nº 100	0.149	17.7
Nº 200	0.075	9.8
FONDO		0.0
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	21.6
	% GF	14.5
% ARENA	% AG	7.0
	% AM	17.7
	% AF	23.8
% FINOS		9.8
Tamaño Máximo de la grava		1/2 "
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.1
Abertura del pasante del 30%		0.4
Abertura del pasante del 60%		4.0
Coeficiente de uniformidad (C_u)		52.6
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.6



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SP-SM	Arena mal graduada con limo y grava

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 2.00 – 2.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	100.0
1/2"	19.00	100.0
3/8"	9.50	97.1
Nº 4	4.760	89.8
Nº 8	2.380	75.7
Nº 10	2.000	71.9
Nº 16	1.190	63.6
Nº 30	0.590	52.1
Nº 40	0.425	46.1
Nº 50	0.297	40.1
Nº 100	0.149	27.5
Nº 200	0.075	14.2
FONDO		0.0
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	0.0
	% GF	10.2
% ARENA	% AG	17.9
	% AM	25.9
	% AF	31.8
% FINOS		14.2
Tamaño Máximo de la grava		3/8 "
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.1
Abertura del pasante del 30%		0.2
Abertura del pasante del 60%		1.0
Coeficiente de uniformidad (C_u)		15.8
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.5



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SM	Arena limosa

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 2.50 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	% PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	94.4
1/2"	19.00	92.8
3/8"	9.50	87.6
Nº 4	4.760	80.1
Nº 8	2.380	69.3
Nº 10	2.000	67.4
Nº 16	1.190	61.7
Nº 30	0.590	51.1
Nº 40	0.425	44.7
Nº 50	0.297	38.0
Nº 100	0.149	24.2
Nº 200	0.075	11.5
FONDO		0.0
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	7.2
	% GF	12.6
% ARENA	% AG	12.7
	% AM	22.7
	% AF	33.3
% FINOS		11.5
Tamaño Máximo de la grava		1"
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.1
Abertura del pasante del 30%		0.2
Abertura del pasante del 60%		1.1
Coeficiente de uniformidad (C_u)		15.4
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.5



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SP-SM	Arena mal graduada con limo y grava

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

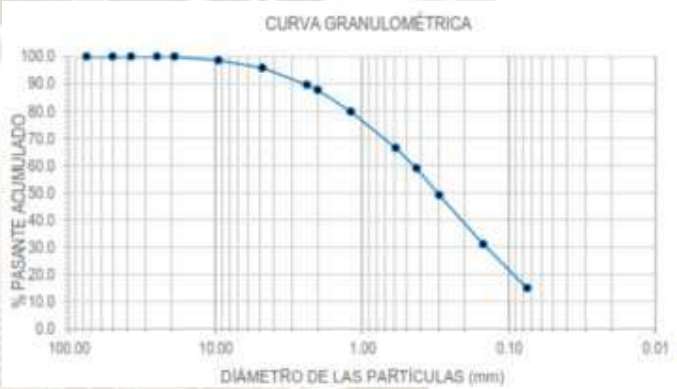
PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 0.45

TIPO DE MUESTRA: Mit

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	100.0
1/2"	19.00	100.0
3/8"	9.50	98.6
Nº 4	4.760	95.9
Nº 8	2.380	89.6
Nº 10	2.000	87.8
Nº 16	1.190	79.8
Nº 30	0.590	66.4
Nº 40	0.425	59.0
Nº 50	0.297	49.1
Nº 100	0.149	31.0
Nº 200	0.075	15.0
FONDO		0.0

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	0.0
	% GF	4.1
% ARENA	% AG	8.1
	% AM	28.8
	% AF	44.0
% FINOS		15.0
Tamaño Máximo de la grava		3/8 "
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.1
Abertura del pasante del 30%		0.1
Abertura del pasante del 60%		0.4
Coeficiente de uniformidad (C_u)		7.3
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.8



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SM	Arena limosa

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

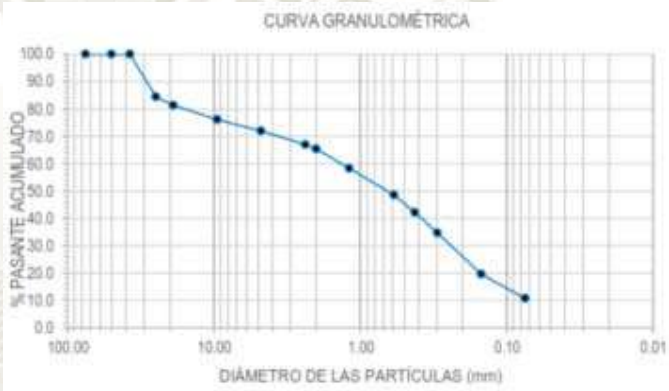
FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 0.45 – 0.90

TIPO DE MUESTRA: Mit

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	84.5
1/2"	19.00	81.3
3/8"	9.50	76.1
Nº 4	4.760	72.0
Nº 8	2.380	67.0
Nº 10	2.000	65.3
Nº 16	1.190	58.2
Nº 30	0.590	48.6
Nº 40	0.425	42.1
Nº 50	0.297	34.8
Nº 100	0.149	19.7
Nº 200	0.075	10.8
FONDO		0.0
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	18.7
	% GF	9.3
% ARENA	% AG	6.7
	% AM	23.3
	% AF	31.3
% FINOS		10.8
Tamaño Máximo de la grava		1 "
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.1
Abertura del pasante del 30%		0.2
Abertura del pasante del 60%		1.4
Coeficiente de uniformidad (C_u)		19.2
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.6



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SP-SM	Arena mal graduada con limo y grava

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 0.90 – 1.40

TIPO DE MUESTRA: Mit

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	% PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	91.6
1/2"	19.00	79.2
3/8"	9.50	70.8
Nº 4	4.760	59.8
Nº 8	2.380	51.3
Nº 10	2.000	49.6
Nº 16	1.190	45.1
Nº 30	0.590	39.2
Nº 40	0.425	35.0
Nº 50	0.297	30.3
Nº 100	0.149	21.6
Nº 200	0.075	11.3
FONDO		0.0
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	20.8
	% GF	19.4
% ARENA	% AG	10.3
	% AM	14.5
	% AF	23.8
% FINOS		11.3
Tamaño Máximo de la grava		1 "
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.1
Abertura del pasante del 30%		0.3
Abertura del pasante del 60%		4.8
Coeficiente de uniformidad (C_u)		69.8
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.3



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SP-SM	Arena mal graduada con limo y grava

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-4 **PROFUNDIDAD (m):** 1.40 – 1.60

TIPO DE MUESTRA: Mit

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ	DIÁMETRO (mm)	% PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	100.0
1/2"	19.00	100.0
3/8"	9.50	100.0
Nº 4	4.760	99.8
Nº 8	2.380	98.5
Nº 10	2.000	93.8
Nº 16	1.190	91.2
Nº 30	0.590	87.0
Nº 40	0.425	83.6
Nº 50	0.297	79.5
Nº 100	0.149	68.3
Nº 200	0.075	50.5
FONDO		0.0
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	0.0
	% GF	0.2
% ARENA	% AG	6.0
	% AM	10.3
	% AF	33.0
% FINOS		50.5
Tamaño Máximo de la grava		Nº 4
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.0
Abertura del pasante del 30%		0.0
Abertura del pasante del 60%		0.1
Coeficiente de uniformidad (C_u)		6.9
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.7



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
ML	Limo arenoso

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

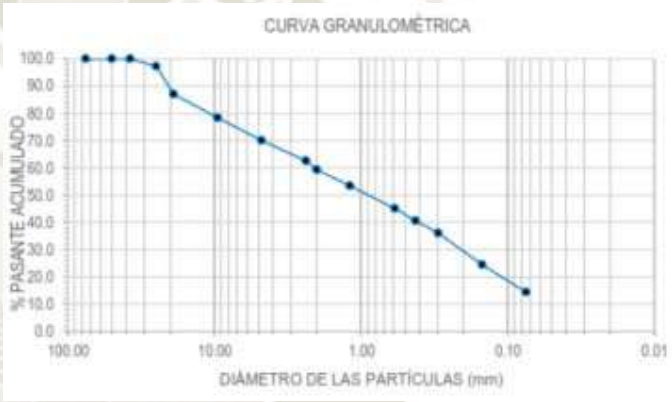
FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-5 **PROFUNDIDAD (m):** 1.60 – 2.05

TIPO DE MUESTRA: Mit

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	97.3
1/2"	19.00	87.1
3/8"	9.50	78.4
Nº 4	4.760	70.1
Nº 8	2.380	62.6
Nº 10	2.000	59.4
Nº 16	1.190	53.4
Nº 30	0.590	45.1
Nº 40	0.425	40.6
Nº 50	0.297	36.2
Nº 100	0.149	24.4
Nº 200	0.075	14.4
FONDO		0.0
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	12.9
	% GF	16.9
% ARENA	% AG	10.7
	% AM	18.8
	% AF	26.2
% FINOS		14.4
Tamaño Máximo de la grava		1"
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.1
Abertura del pasante del 30%		0.2
Abertura del pasante del 60%		2.1
Coeficiente de uniformidad (C_u)		37.3
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.4



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SM	Arena limosa con grava

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

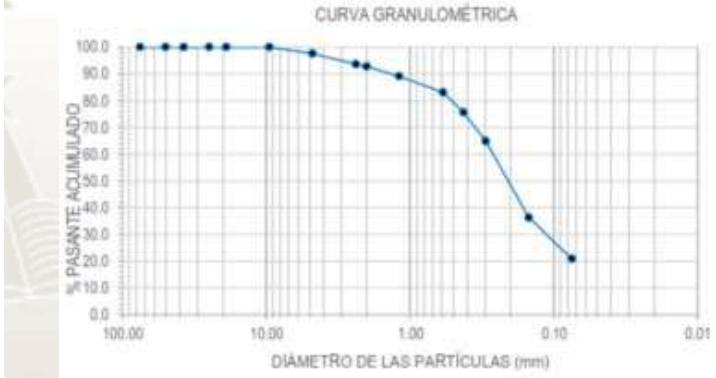
PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-6 **PROFUNDIDAD (m):** 2.05 – 2.70

TIPO DE MUESTRA: Mit

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	% PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	100.0
1/2"	19.00	100.0
3/8"	9.50	100.0
Nº 4	4.760	97.7
Nº 8	2.380	93.7
Nº 10	2.000	92.8
Nº 16	1.190	89.1
Nº 30	0.590	83.1
Nº 40	0.425	75.7
Nº 50	0.297	64.8
Nº 100	0.149	36.3
Nº 200	0.075	20.8
FONDO		0.0

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	0.0
	% GF	2.3
% ARENA	% AG	4.9
	% AM	17.1
	% AF	54.9
% FINOS		20.8
Tamaño Máximo de la grava		Nº 4
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.0
Abertura del pasante del 30%		0.1
Abertura del pasante del 60%		0.3
Coeficiente de uniformidad (C_u)		5.7
Coeficiente de curvatura (C_c)		1.0



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SM	Arena limosa

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-7 **PROFUNDIDAD (m):** 2.70 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
TAMIZ -	DIÁMETRO (mm)	%PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	100.0
1/2"	19.00	94.5
3/8"	9.50	84.3
Nº 4	4.760	74.1
Nº 8	2.380	65.9
Nº 10	2.000	63.8
Nº 16	1.190	57.9
Nº 30	0.590	49.7
Nº 40	0.425	44.9
Nº 50	0.297	39.6
Nº 100	0.149	26.8
Nº 200	0.075	16.6
FONDO		0.0
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		
% GRAVA	% GG	5.5
	% GF	20.4
% ARENA	% AG	10.3
	% AM	18.9
	% AF	28.4
% FINOS		16.6
Tamaño Máximo de la grava		1/2 "
Forma del suelo grueso		-
Porcentaje retenido en la 3"		0.0
Abertura del pasante del 10%		0.0
Abertura del pasante del 30%		0.2
Abertura del pasante del 60%		1.4
Coeficiente de uniformidad (C_u)		29.6
Coeficiente de curvatura (C_c)		0.5



LIMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido (LL) (%) :	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice de Plasticidad (%):	NP

CLASIFICACIÓN SUCS	
SM	Arena limosa con grava

- La Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) considera lo estipulado en las publicaciones de Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4t Edición (Pag. 83) (2015) y Bowles E. Joseph. Foundation Analysis and Design Fifth Edition (Pag. 32) (2001)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 7

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 7 - Ensayo de contenido de Humedad
NTP 339.127:1998 Revisada el 2014. SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE
FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA/ PERFORACIÓN Nº: -- **MUESTRA:** -- **PROFUNDIDAD (m):** --

TIPO DE MUESTRA: --

CONSIDERACIONES

- Las muestras obtenidas en campo, se trasladan en bolsas plásticas a laboratorio

- Se determina el peso de la muestra húmeda una vez llevadas las muestras de campo a laboratorio

- Se considera una muestra representativa mayor a 20 gramos (NTP 339.127)

- No se consideró partículas de grava relativamente grandes para el ensayo

- No se usó tapa para el recipiente

- Para muestras inalteradas, se desbastó cuidadosamente la superficie exterior de la muestra para realizar el ensayo sin alterar su condición húmeda

- El tiempo de secado se produce luego de 16 horas (al día siguiente del pesado de la muestra húmeda)

- El Contenido de humedad se determina según la formulación propuesta por NTP 339.127:

$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} x100\%$

M_{cws}: Peso del contenedor más el suelo húmedo (gramos)

M_{cs}: Peso del contenedor más el suelo secado al horno (gramos)

M_c: Peso del contenedor (gramos)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-01 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.80 – 3.10

TIPO DE MUESTRA: Mab

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	27.0	26.7
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	171.84	172.3
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	154.32	155.0
CANTIDAD DE AGUA	g.	17.52	17.32
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	13.76	13.49

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 13.76 %

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-02 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 1.80

TIPO DE MUESTRA: Mab

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	26.0	26.8
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	168.7	141.4
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	149.7	126.0
CANTIDAD DE AGUA	g.	19.0	15.4
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	15.36	15.48

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 15.48 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-02 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 1.80 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mab

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	27.3	28.1
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	146.60	149.5
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	132.14	137.2
CANTIDAD DE AGUA	g.	14.46	12.34
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	13.79	11.31

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 13.79 %

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-03 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.70 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mab

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	26.3	22.5
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	178.00	175.3
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	144.81	143.2
CANTIDAD DE AGUA	g.	33.19	32.11
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	27.99	26.59

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 27.99 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 0.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	26.6	28.8
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	130.84	156.2
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	114.40	136.3
CANTIDAD DE AGUA	g.	16.44	19.88
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	18.72	18.48

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 18.72 %

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 0.50 – 1.10

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	26.0	27.9
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	138.14	145.2
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	123.68	130.7
CANTIDAD DE AGUA	g.	14.46	14.57
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	14.80	14.18

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 14.80 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 1.10 – 1.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	25.8	26.8
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	166.8	172.0
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	143.0	146.3
CANTIDAD DE AGUA	g.	23.8	25.7
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	20.32	21.52

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 21.52 %

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-4 **PROFUNDIDAD (m):** 1.50 – 1.70

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	26.8	26.3
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	144.8	145.4
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	136.6	136.7
CANTIDAD DE AGUA	g.	8.2	8.6
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	7.48	7.79

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 7.79 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-5 **PROFUNDIDAD (m):** 1.70 – 1.95

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	24.4	26.2
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	156.2	167.3
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	139.8	149.6
CANTIDAD DE AGUA	g.	16.5	17.7
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	14.25	14.32

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 14.32 %

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-6 **PROFUNDIDAD (m):** 1.95 – 2.40

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	27.4	24.8
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	152.0	149.3
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	137.6	136.3
CANTIDAD DE AGUA	g.	14.4	13.0
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	13.09	11.65

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 13.09 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-7 **PROFUNDIDAD (m):** 2.40 – 2.85

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	27.0	23.5
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	141.4	149.6
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	130.4	139.0
CANTIDAD DE AGUA	g.	11.0	10.5
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.60	9.12

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 10.60 %

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.50 – 2.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	27.2	28.3
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	145.4	150.7
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	143.1	148.6
CANTIDAD DE AGUA	g.	2.3	2.2
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	1.95	1.81

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 1.95 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 2.00 – 2.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	27.4	28.4
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	154.81	165.5
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	134.20	143.8
CANTIDAD DE AGUA	g.	20.61	21.70
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	19.29	18.81

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 19.29 %

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 2.50 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	28.5	26.8
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	149.2	133.0
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	137.8	122.4
CANTIDAD DE AGUA	g.	11.4	10.5
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.42	11.02

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 11.02 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 0.45

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	23.6	22.2
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	88.36	85.8
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	77.96	75.8
CANTIDAD DE AGUA	g.	10.40	9.99
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	19.13	18.65

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 19.13 %

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 0.45 – 0.90

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	21.2	23.0
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	94.6	90.4
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	80.5	77.6
CANTIDAD DE AGUA	g.	14.1	12.8
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	23.80	23.45

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 23.80 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 0.90 – 1.40

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	21.9	25.2
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	91.7	96.8
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	76.6	81.5
CANTIDAD DE AGUA	g.	15.1	15.2
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	27.56	27.05

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 27.56 %

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-4 **PROFUNDIDAD (m):** 1.40 – 1.60

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	20.2	23.5
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	75.2	87.6
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	57.2	66.9
CANTIDAD DE AGUA	g.	18.0	20.7
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	48.69	47.65

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 48.69 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-5 **PROFUNDIDAD (m):** 1.60 – 2.05

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	20.0	23.5
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	103.5	97.7
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	95.1	90.3
CANTIDAD DE AGUA	g.	8.4	7.3
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	11.13	10.97

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 11.13 %

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-6 **PROFUNDIDAD (m):** 2.05 – 2.70

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	23.8	23.4
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	94.3	92.6
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	77.4	76.8
CANTIDAD DE AGUA	g.	16.9	15.7
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	31.49	29.48

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 31.49 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-7 **PROFUNDIDAD (m):** 2.70 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
PESO DE LA TARA	g.	23.7	25.7
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA	g.	113.4	118.4
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA	g.	101.8	106.5
CANTIDAD DE AGUA	g.	11.6	11.9
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	14.84	14.73

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA: 14.84 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 8

ENSAYO DE DENSIDAD MÁXIMA Y MÍNIMA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 8 - Ensayo de Densidad máxima y mínima
NTP 339.137:1999 Revisada el 2014. SUELOS. Método de ensayo para determinar la densidad y peso unitario máximo de suelos
NTP 339.138:1998 Revisada el 2014. SUELOS. Método de ensayo para determinar la densidad y peso unitario mínimo de suelos

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE
FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: -- **MUESTRA:** -- **PROFUNDIDAD (m):** --

TIPO DE MUESTRA: --

CONSIDERACIONES

- Para la determinación del peso unitario mínimo de suelos, se considera el método de ensayo A (NTP 339.138) por su accesibilidad en el laboratorio

- Para la determinación del peso unitario máximo, se considera el método de ensayo A (NTP 339.138) por su accesibilidad en el laboratorio

- Se utilizó moldes especiales (capacidad 2116.7 cm^3), debido a la limitada cantidad de muestra extraída de campo

- Se aplica metodología de cuarteo para la selección de la muestra (Método B de la norma NTP 339.089)

- Para calcular la densidad mínima del suelo, la muestra es secada al horno previamente, bajo misma consideración para ensayo NYP 339.127 (Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo)

- Para calcular la densidad máxima del suelo, se coloca la muestra en el molde, en tres capas. Cada una siendo compactada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-01 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.80 – 3.10

TIPO DE MUESTRA: Mab

DENSIDAD MÁXIMA				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	g.	11018	11009	11014
PESO DEL MOLDE	g.	6768	6768	6768
PESO DE LA MUESTRA	g.	4250	4241	4246
VOLUMEN DEL MOLDE	cm^3	2116.7	2116.7	2116.7
DENSIDAD	$g./cm^3$	2.008	2.004	2.006

DENSIDAD MÁXIMA:	2.008	$g./cm^3$

DENSIDAD MÍNIMA				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	g.	10615	10627	10621
PESO DEL MOLDE	g.	6768	6768	6768
PESO DE LA MUESTRA	g.	3847	3859	3853
VOLUMEN DEL MOLDE	cm^3	2116.7	2116.7	2116.7
DENSIDAD	$g./cm^3$	1.817	1.823	1.820

DENSIDAD MÍNIMA:	1.817	$g./cm^3$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-02 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 1.80

TIPO DE MUESTRA: Mab

DENSIDAD MÁXIMA				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	g.	10190	10222	10206
PESO DEL MOLDE	g.	6768	6768	6768
PESO DE LA MUESTRA	g.	3422	3454	3438
VOLUMEN DEL MOLDE	cm^3	2116.7	2116.7	2116.7
DENSIDAD	$g./cm^3$	1.617	1.632	1.624

DENSIDAD MÁXIMA:	1.632	$g./cm^3$

DENSIDAD MÍNIMA				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	g.	9254	9314	9284
PESO DEL MOLDE	g.	6768	6768	6768
PESO DE LA MUESTRA	g.	2486	2546	2516
VOLUMEN DEL MOLDE	cm^3	2116.7	2116.7	2116.7
DENSIDAD	$g./cm^3$	1.174	1.203	1.189

DENSIDAD MÍNIMA:	1.174	$g./cm^3$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-02 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 1.80 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mab

DENSIDAD MÁXIMA				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	g.	10275	10324	10300
PESO DEL MOLDE	g.	6768	6768	6768
PESO DE LA MUESTRA	g.	3507	3556	3532
VOLUMEN DEL MOLDE	cm^3	2116.7	2116.7	2116.7
DENSIDAD	$g./cm^3$	1.657	1.680	1.668

DENSIDAD MÁXIMA:	1.680	$g./cm^3$

DENSIDAD MÍNIMA				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	g.	9582	9724	9653
PESO DEL MOLDE	g.	6768	6768	6768
PESO DE LA MUESTRA	g.	2814	2956	2885
VOLUMEN DEL MOLDE	cm^3	2116.7	2116.7	2116.7
DENSIDAD	$g./cm^3$	1.329	1.397	1.363

DENSIDAD MÍNIMA:	1.329	$g./cm^3$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-03 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.70 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mab

DENSIDAD MÁXIMA				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	g.	10234	10217	10226
PESO DEL MOLDE	g.	6768	6768	6768
PESO DE LA MUESTRA	g.	3466	3449	3458
VOLUMEN DEL MOLDE	cm^3	2116.7	2116.7	2116.7
DENSIDAD	$g./cm^3$	1.637	1.629	1.633

DENSIDAD MÁXIMA:	1.637	$g./cm^3$

DENSIDAD MÍNIMA				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	g.	9809	9831	9820
PESO DEL MOLDE	g.	6768	6768	6768
PESO DE LA MUESTRA	g.	3041	3063	3052
VOLUMEN DEL MOLDE	cm^3	2116.7	2116.7	2116.7
DENSIDAD	$g./cm^3$	1.437	1.447	1.442

DENSIDAD MÍNIMA:	1.437	$g./cm^3$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE
FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-01, C-02 Y C-03 **MUESTRA:** TODAS

PROFUNDIDAD (m): 0.00 – 3.10 aprox.

TIPO DE MUESTRA: Mab

CONVERSIÓN DE DENSIDAD A PESO ESPECÍFICO DE LOS RESULTADOS

PROCEDIMIENTO	CALICATA			
	C-01	C-02	C-03	
Densidad Máxima (g/cm3)	2.008	1.632	1.68	1.637
Densidad Mínima (g/cm3)	1.817	1.174	1.329	1.437
Densidad Máxima (Kg/m3)	2008	1632	1680	1637
Densidad Mínima (Kg/m3)	1817	1174	1329	1437
Ac. De la Gravedad (m/s2)		9.81005134		
Peso Específico Máximo (KN/m3)	19.70	16.01	16.48	16.06
Peso Específico Mínimo (KN/m3)	17.82	11.52	13.04	14.10
Peso Específico Máximo (g/cm3)	2.009	1.633	1.681	1.638
Peso Específico Mínimo (g/cm3)	1.818	1.174	1.329	1.437

NOTA: 1 KN= 101971.6213 gf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 9

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 9 - Ensayo de Gravedad Específica de los sólidos del suelo
NTP 339.131: 2014, SUELOS. Método de ensayo para determinar el Peso Específico relativo de las partículas sólidas de un suelo

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE
FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Y PERFORACIÓN Nº: -- **MUESTRA:** --

PROFUNDIDAD (m): --

TIPO DE MUESTRA: --

CONSIDERACIONES

- La muestra se seca al horno, con la misma consideración para ensayo NTP 339.127 (Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo)

- Se determina la gravedad específica mediante la fórmula siguiente (NTP 339.131):

$$G_s = Peso\ especifico\ (T_x/T_x\ ^oC) = \frac{M_o}{M_o + (M_a - M_b)}$$

donde:

G_s	peso específico relativo de las partículas sólidas
M_o	masa de la muestra de suelo seco al horno, en gramos.
M_a	masa del picnómetro lleno de agua a la temperatura T_x, en gramos.
M_b	masa del picnómetro lleno con agua y suelo a la temperatura T_x, en gramos.
T_x	temperatura de los contenidos del picnómetro cuando se determinó la masa M_b, en grados centígrados.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-01 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.80 – 3.10

TIPO DE MUESTRA: Mab

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	997.7	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	1636.27	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	1322.64	-
Masa de suelo seco	g.	500	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.68	-

Gravedad especifica promedio (Tx/20ºC)	**2.68**

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-02 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 1.80

TIPO DE MUESTRA: Mab

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	499.0	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	876.32	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	696.79	-
Masa de suelo seco	g.	300	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.49	-

Gravedad especifica promedio (Tx/20ºC)	**2.49**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-02 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 1.80 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mab

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	997.7	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	1632.5	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	1322.64	-
Masa de suelo seco	g.	500	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.63	-

Gravedad específica promedio (Tx/20ºC)	**2.63**

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-03 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.70 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mab

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	495.1	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	878.9	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	692.92	-
Masa de suelo seco	g.	300	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.63	-

Gravedad específica promedio (Tx/20ºC)	**2.63**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 0.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	499.0	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	871.95	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	696.79	-
Masa de suelo seco	g.	300	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.40	-

Gravedad especifica promedio (Tx/20ºC)	**2.40**

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 0.50 – 1.10

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	997.7	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	1631.23	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	1322.64	-
Masa de suelo seco	g.	500	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.61	-

Gravedad especifica promedio (Tx/20ºC)	**2.61**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 1.10 – 1.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20°	ml	499.0	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	881.46	-
Temperatura	°C	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	696.79	-
Masa de suelo seco	g.	300	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.60	-

Gravedad especifica promedio (Tx/20°C)	**2.60**

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-4 **PROFUNDIDAD (m):** 1.50 – 1.70

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20°	ml	997.7	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	1569.99	-
Temperatura	°C	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	1322.64	-
Masa de suelo seco	g.	400	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.62	-

Gravedad especifica promedio (Tx/20°C)	**2.62**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-5 **PROFUNDIDAD (m):** 1.70 – 1.95

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	499.0	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	881.73	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	696.79	-
Masa de suelo seco	g.	300	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.61	-

Gravedad especifica promedio (Tx/20ºC)	**2.61**

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-6 **PROFUNDIDAD (m):** 1.95 – 2.40

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	997.7	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	1570.76	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	1322.64	-
Masa de suelo seco	g.	400	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.64	-

Gravedad especifica promedio (Tx/20ºC)	**2.64**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01 **MUESTRA:** M-7 **PROFUNDIDAD (m):** 2.40 – 2.85

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	499.0	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	883.11	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	696.79	-
Masa de suelo seco	g.	300	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.64	-

Gravedad especifica promedio (Tx/20ºC)	**2.64**

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.50 – 2.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	997.7	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	1631.93	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	1322.64	-
Masa de suelo seco	g.	500	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.62	-

Gravedad especifica promedio (Tx/20ºC)	**2.62**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 2.00 – 2.50

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	997.7	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	1631.38	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	1322.64	-
Masa de suelo seco	g.	500	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.62	-

Gravedad especifica promedio (Tx/20ºC)	**2.62**

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-02 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 2.50 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	499.0	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	881.21	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	696.79	-
Masa de suelo seco	g.	300	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.60	-

Gravedad especifica promedio (Tx/20ºC)	**2.60**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.00 – 0.45

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	997.7	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	1492.97	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	1322.64	-
Masa de suelo seco	g.	277.38	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.59	-

Gravedad específica promedio (Tx/20ºC)	**2.59**

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 0.45 – 0.90

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	499.0	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	846.81	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	696.79	-
Masa de suelo seco	g.	247.99	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.53	-

Gravedad específica promedio (Tx/20ºC)	**2.53**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-3 **PROFUNDIDAD (m):** 0.90 – 1.40

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	499.0	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	853.02	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	696.79	-
Masa de suelo seco	g.	252.46	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.63	-

Gravedad especifica promedio (Tx/20ºC)	**2.63**

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-4 **PROFUNDIDAD (m):** 1.40 – 1.60

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	997.7	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	1412.79	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	1322.64	-
Masa de suelo seco	g.	148.79	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.54	-

Gravedad especifica promedio (Tx/20ºC)	**2.54**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-5 **PROFUNDIDAD (m):** 1.60 – 2.05

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	997.7	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	1564.15	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	1322.64	-
Masa de suelo seco	g.	390.5	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.62	-

Gravedad especifica promedio (Tx/20ºC)	**2.62**

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-6 **PROFUNDIDAD (m):** 2.05 – 2.70

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	499.0	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	884.1	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	696.79	-
Masa de suelo seco	g.	300	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.66	-

Gravedad especifica promedio (Tx/20ºC)	**2.66**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-03 **MUESTRA:** M-7 **PROFUNDIDAD (m):** 2.70 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de fiola a 20º	ml	499.0	-
Metodo de remoción de aire	-	Ebullición	-
Masa de fiola + agua + suelo	g.	817.21	-
Temperatura	ºC	20.0	-
Masa de fiola + agua	g.	696.79	-
Masa de suelo seco	g.	199.88	-
k (factor de corrección por temperatura)	-	1.000	-
Gravedad Especifica	-	2.52	-

Gravedad especifica promedio (Tx/20ºC)	**2.52**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 10

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 10 - Ensayo de Corte Directo
ASTM D3080-72

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: C-01 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.80 – 3.10

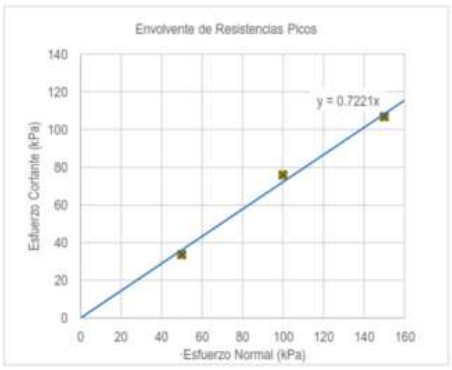
TIPO DE MUESTRA: Mab

Peso de la muestra húmeda:	96.4 g.	Velocidad de ensayo: 0.8 mm/min
Peso de la muestra seca:	64.0 g.	Tipo de equipo: Corte Directo Residual
Contenido de Humedad:	50.5%	Diámetro de la muestra: 6.18 cm
Espesor de la muestra:	2 cm	Forma del dispositivo de Corte: Redondo

Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color marrón oscuro con presencia de limos, sin plasticidad

ENSAYO DE CORTE DIRECTO UU

Muestra Nº	Tipo de Muestra	Fuerza Normal (N)	Esf. Normal (kPa)	Fuerza Cortante Pico (N)	Esf. Cortante Pico (kPa)	Fuerza Cortante Residual (N)	Esf. Cortante Residual (kPa)
1	Circular	150.0	50.0	101.1	33.7	95.5	31.8
2	Circular	300.1	100.0	227.5	75.8	219.1	73.0
3	Circular	450.1	150.0	320.2	106.7	306.2	102.1





RESULTADOS DEL ENSAYO			
Pendiente Pico:	0.72	Cohesion (kPa):	-
Pendiente Residual:	0.69	∢ de Friccion (Ø):	35.83º
Densidad Muestra (g/cm³):	1.61	∢ de Friccion residual (Ø):	34.65º

- Método de ensayo: Ensayo de deformación controlada (la mitad móvil de la caja se desplaza a una velocidad determinada, los esfuerzos horizontales se miden con un anillo dinamómetro unido en serie con la fuerza horizontal)
- Tipo de ensayo: No Consolidado – No drenado (UU) (para suelo granular) (No consolidado: Porque se inicia el ensayo sin importar que el asentamiento debido a la fuerza normal se haya detenido. No drenada: porque no se satura la muestra previamente al ensayo))
- El área de aplicación de la fuerza normal y cortante (área de la muestra) es de 0.003 m2
- Las envolventes de esfuerzos pico y residual, satisfacen la ecuación de Mohr - Coulomb (1773): $\tau = \sigma * \tan \emptyset + c$ (τ: Esfuerzo cortante, σ: Esfuerzo Normal, $\emptyset$: Angulo de fricción interna del suelo y c: Cohesión del suelo)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

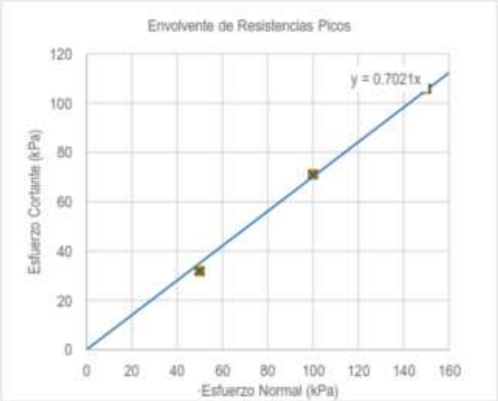
PERFORACIÓN Nº: C-02 **MUESTRA:** M-2 **PROFUNDIDAD (m):** 1.80 – 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mab

Peso de la muestra húmeda: 78.1 g. Velocidad de ensayo: 0.8 mm/min
Peso de la muestra seca: 51.9 g. Tipo de equipo: Corte Directo Residual
Contenido de Humedad: 50.5% Diámetro de la muestra: 6.18 cm
Espesor de la muestra: 2 cm Forma del dispositivo de Corte: Redondo
Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color marrón oscuro con presencia de limos, sin plasticidad

ENSAYO DE CORTE DIRECTO UU

Muestra Nº	Tipo de Muestra	Fuerza Normal (N)	Esf. Normal (kPa)	Fuerza Cortante Pico (N)	Esf. Cortante Pico (kPa)	Fuerza Cortante Residual (N)	Esf. Cortante Residual (kPa)
1	Circular	150.0	50.0	95.5	31.8	89.9	30.0
2	Circular	300.1	100.0	213.5	71.2	205.1	68.4
3	Circular	450.1	150.0	317.4	105.8	300.6	100.2





RESULTADOS DEL ENSAYO			
Pendiente Pico:	0.70	Cohesion (kPa):	-
Pendiente Residual:	0.78	∢ de Friccion (Ø):	35.07°
Densidad Muestra (g/cm³):	1.30	∢ de Friccion residual (Ø):	33.70°

- Método de ensayo: Ensayo de deformación controlada (la mitad móvil de la caja se desplaza a una velocidad determinada, los esfuerzos horizontales se miden con un anillo dinamómetro unido en serie con la fuerza horizontal)
- Tipo de ensayo: No Consolidado – No drenado (UU) (para suelo granular) (No consolidado: Porque se inicia el ensayo sin importar que el asentamiento debido a la fuerza normal se haya detenido. No drenada: porque no se satura la muestra previamente al ensayo))
- El área de aplicación de la fuerza normal y cortante (área de la muestra) es de 0.003 m2
- Las envolventes de esfuerzos pico y residual, satisfacen la ecuación de Mohr - Coulomb (1773): $\tau = \sigma * \tan \emptyset + c$ (τ: Esfuerzo cortante, σ: Esfuerzo Normal, $\emptyset$: Angulo de fricción interna del suelo y c: Cohesión del suelo)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: C-03 **MUESTRA:** M-1 **PROFUNDIDAD (m):** 1.70 – 3.00

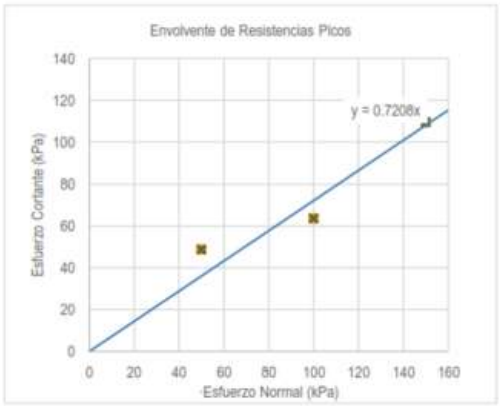
TIPO DE MUESTRA: Mab

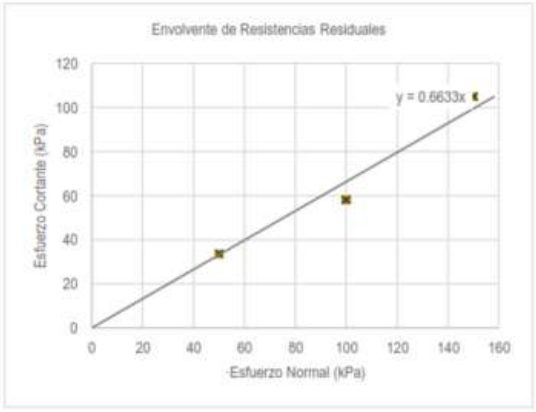
Peso de la muestra húmeda: 112.2 g.
Peso de la muestra seca: 74.5 g.
Contenido de Humedad: 50.5%
Espesor de la muestra: 2 cm
Velocidad de ensayo: 0.8 mm/min
Tipo de equipo: Corte Directo Residual
Diámetro de la muestra: 6.18 cm
Forma del dispositivo de Corte: Redondo

Descripción del material (Descripción visual – manual): Muestra de color marrón oscuro con presencia de limos, sin plasticidad

ENSAYO DE CORTE DIRECTO UU

Muestra Nº	Tipo de Muestra	Fuerza Normal (N)	Esf. Normal (kPa)	Fuerza Cortante Pico (N)	Esf. Cortante Pico (kPa)	Fuerza Cortante Residual (N)	Esf. Cortante Residual (kPa)
1	Circular	150.0	50.0	146.1	48.7	101.1	33.7
2	Circular	300.1	100.0	191.0	63.7	174.2	58.1
3	Circular	450.1	150.0	328.7	109.6	314.6	104.9





RESULTADOS DEL ENSAYO			
Pendiente Pico:	0.70	Cohesion (kPa):	-
Pendiente Residual:	0.66	∢ de Friccion (Ø):	35.78°
Densidad Muestra (g/cm³):	1.87	∢ de Friccion residual (Ø):	33.56°

- Método de ensayo: Ensayo de deformación controlada (la mitad móvil de la caja se desplaza a una velocidad determinada, los esfuerzos horizontales se miden con un anillo dinamómetro unido en serie con la fuerza horizontal)
- Tipo de ensayo: No Consolidado – No drenado (UU) (para suelo granular) (No consolidado: Porque se inicia el ensayo sin importar que el asentamiento debido a la fuerza normal se haya detenido. No drenada: porque no se satura la muestra previamente al ensayo))
- El área de aplicación de la fuerza normal y cortante (área de la muestra) es de 0.003 m2
- Las envolventes de esfuerzos pico y residual, satisfacen la ecuación de Mohr - Coulomb (1773): $\tau = \sigma * \tan \emptyset + c$ (τ: Esfuerzo cortante, σ: Esfuerzo Normal, $\emptyset$: Angulo de fricción interna del suelo y c: Cohesión del suelo)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 11

PESO ESPECÍFICO DE SUELOS PARA PERFORACIONES

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 11 - Peso Específico de Suelos para Perforaciones
NTP 339.131.2014. SUELOS. Gravedad específica de sólidos (Peso Específico)

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE
FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

PERFORACIÓN Nº: P-01, P-02 y P-03 **MUESTRAS:** 16

PROFUNDIDAD (m): De 0.00 a 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mit

---

* Cálculo del Peso Específico (Art. 9.1)

$$G_s = \text{Peso especifico } (T_x/T_x\ ^\circ C) = \frac{M_o}{M_o + (M_a - M_b)}$$

G_s	peso específico relativo de las partículas sólidas
M_o	masa de la muestra de suelo seco al horno, en gramos.
M_a	masa del picnómetro lleno de agua a la temperatura T_x, en gramos.
M_b	masa del picnómetro lleno con agua y suelo a la temperatura T_x, en gramos.
T_x	temperatura de los contenidos del picnómetro cuando se determinó la masa M_b, en grados centígrados.

* Densidad del agua y Factor de corrección en función a la temperatura de 20°C (Art. 9.2)

Temperatura °C	Densidad relativa del agua (g/mL)	Factor de corrección K
18	0,9986244	1,0004
19	0,9984347	1,0002
20	0,9982343	1,0000
21	0,9980233	0,9998
22	0,9978019	0,9996
23	0,9975702	0,9993
24	0,9973286	0,9991
25	0,9970770	0,9988
26	0,9968156	0,9986
27	0,9965451	0,9983
28	0,9962652	0,9980
29	0,9959761	0,9977
30	0,9956780	0,9974

$$\text{Peso especifico } (T_x/20\ ^\circ C) = K \times (\text{peso especifico } T_x/T_x\ ^\circ C)$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SPT-01	$M_{picnómetro}$	M_a	M_0	M_b	Peso Específico (T_x/T_x °C)	Factor K (20°C)	Peso Específico (T_x/ 20°C) (g/cm3)	Peso Específico del estrato (g/cm3)
	164.5	696.79	464.5	871.95	1.605	1.0000	1.605	
Estrato 1	164.5	1322.64	664.5	1631.23	1.867	1.0000	1.867	1.711
	164.5	696.79	464.5	881.46	1.660	1.0000	1.660	
Estrato 2	164.5	1322.64	564.5	1569.99	1.780	1.0000	1.780	1.780
Estrato 3	164.5	696.79	464.5	881.73	1.662	1.0000	1.662	1.662
	164.5	1322.64	564.5	1570.76	1.784	1.0000	1.784	
Estrato 4	164.5	696.79	464.5	883.11	1.670	1.0000	1.670	1.727

Densidad del agua Tx20°C (g/cm3)	0.9982343
Gradevad (m/s2)	9.81005
Peso Específico del agua Tx20°C (KN/m3)	9.793
Peso Específico del Aagua Tx20°C (g/cm3)	0.99858

Tabla: Pesos Unitarios Sueltos o Esponjados de los Suelos

Tipos de suelos.	Peso Unitario (kg/m^3)
Arcilla compactada.	1900
Arenisca compacta.	1600
Caliza blanda.	1900
Caliza dura.	2500
Marga.	2200
Serpentina.	2560
Yeso.	2300
Arcilla seca.	1700
Arcilla húmeda.	1760
Arena natural suelta.	1430
Arena natural compacta.	1620
Arena artificial suelta.	1450
Arena artificial compacta.	1650
Gravas.	1700
Tierra seca suelta.	1500
Tierra seca compacta.	1700
Tierra húmeda suelta.	1600
Tierra mojada compacta.	1800
Fango (fluido).	1750
Mármoles.	2640
Pizarra metamórfica.	2800
Granito.	2750

Fuente: Moya C., Fernando (2016). Recuperado de docplayer.es

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SPT-02	$M_{picnómetro}$	M_a	M_0	M_b	Peso Específico (T_x/T_x °C)	Factor K (20°C)	Peso Específico (T_x/ 20°C) (g/cm3)	Peso Específico del estrato (g/cm3)
Relleno							1.600	1.600
Estrato 1	164.5	1322.64	664.5	1631.93	1.871	1.0000	1.871	1.871
Estrato 2	164.5	1322.64	664.5	1631.38	1.868	1.0000	1.868	1.868
Estrato 3	164.5	696.79	464.5	881.21	1.658	1.0000	1.658	1.658

SPT-03	$M_{picnómetro}$	M_a	M_0	M_b	Peso Específico (T_x/T_x °C)	Factor K (20°C)	Peso Específico (T_x/ 20°C) (g/cm3)	Peso Específico del estrato (g/cm3)
Estrato 1	164.5	1322.64	441.88	1492.97	1.627	1.0000	1.627	1.627
Estrato 2	164.5	696.79	412.49	846.81	1.572	1.0000	1.572	1.585
	164.5	696.79	416.96	853.02	1.599	1.0000	1.599	
Estrato 3	164.5	1322.64	313.29	1412.79	1.404	1.0000	1.404	1.404
Estrato 4	164.5	1322.64	555	1564.15	1.770	1.0000	1.770	1.723
	164.5	696.79	464.5	884.1	1.676	1.0000	1.676	

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 12

PESO ESPECÍFICO DE SUELOS Y DENSIDAD RELATIVA PARA CALICATAS

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 12 - Peso Específico de Suelos y Densidad Relativa para Calicatas
Coduto (2001). Bowles E. Joseph (1997)

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-01, C-02 y C-03 **MUESTRAS:** --

PROFUNDIDAD (m): De 0.00 a 3.00

TIPO DE MUESTRA: --

---

* Pesos Unitarios típicos (Coduto, 2001)

TABLE 3.2 TYPICAL UNIT WEIGHTS

Soil Type and Unified Soil Classification (See Figure 3.3)	Typical Unit Weight, γ			
	Above Groundwater Table		Below Groundwater Table	
	(lb/ft³)	(kN/m³)	(lb/ft³)	(kN/m³)
GP—Poorly-graded gravel	110–130	17.5–20.5	125–140	19.5–22.0
GW—Well-graded gravel	110–140	17.5–22.0	125–150	19.5–23.5
GM—Silty gravel	100–130	16.0–20.5	125–140	19.5–22.0
GC—Clayey gravel	100–130	16.0–20.5	125–140	19.5–22.0
SP—Poorly-graded sand	95–125	15.0–19.5	120–135	19.0–21.0
SW—Well-graded sand	95–135	15.0–21.0	120–145	19.0–23.0
SM—Silty sand	80–135	12.5–21.0	110–140	17.5–22.0
SC—Clayey sand	85–130	13.5–20.5	110–135	17.5–21.0
ML—Low plasticity silt	75–110	11.5–17.5	80–130	12.5–20.5
MH—High plasticity silt	75–110	11.5–17.5	75–130	11.5–20.5
CL—Low plasticity clay	80–110	12.5–17.5	75–130	11.5–20.5
CH—High plasticity clay	80–110	12.5–17.5	70–125	11.0–19.5

Fuente: Coduto P. Donald (2001). Recuperado de *Foundation Design. Principles and Practices, Second Edition*

* Fórmula para determinar Pesos Específicos Secos (γ_{dry}) y Densidad Relativa (D_r) (Bowles E. Joseph. 1997).

$$\gamma_{dry} = \frac{\gamma_{wet}}{1 + w}$$

$$D_r = \left(\frac{\gamma_n - \gamma_{min}}{\gamma_{max} - \gamma_{min}}\right)\left(\frac{\gamma_{max}}{\gamma_n}\right)$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Calicata Nº	C-01	C-02	C-03	
Presencia del Nivel Freático	Si (Más del 50% del estrato)	No	No	Si (En su totalidad)
Densidad del agua (kg/m^3)		T x 20°C 998.2343		
Peso unitario Seco Máximo (kN/m^3)	19.699	16.010	16.481	16.059
Peso unitario Seco Mínimo (kN/m^3)	17.825	11.517	13.038	14.097
Peso específico del agua (kN/m^3)		9.793		
Peso Unitario (kN/m^3)	20.95	14.00	16.00	18.50
Peso unitario Seco (kN/m^3)	18.42	12.12	14.06	14.45
Densidad Relativa (%)	33.74	17.82	34.84	20.23
Interpretación	Suelto	Suelto	Suelto	Suelto

NOTA: El Peso Específico Seco (KN/cm3) no deberá exceder a los pesos unitarios máximos y mínimos calculadas en Anexo 8

NOTA: El Peso Unitario referencial se determina, mediante iteración bajo consideración del Nivel Freático detectado en campo, y la compacidad del material observado en campo.

Calicata Nº	C-01	C-02	C-03	
Densidad Relativa (%)	66.64	29.49	34.84	80.09

Consistencia/ Compacidad (Coduto, 2001)

TABLE 3.3 CONSISTENCY OF COARSE-GRAINED SOILS VARIOUS RELATIVE DENSITIES (Adapted from Lambe and Whitman, 1969)

Relative Density, D_r (%)	Classification
0–15	Very loose
15–35	Loose
35–65	Medium dense[a]
65–85	Dense
85–100	Very dense

[a]Lambe and Whitman used the term "medium," but "medium dense" is better because "medium" usually refers to the grain size distribution.

Calicata Nº	C-01	C-02	C-03	
Compacidad	Denso	Suelto	Suelto	Denso

NOTA: Los valores deberán coincidir con lo visto en campo

- El estrato de relleno identificado en la calicata C-01, considera un peso unitario de 1450 kg/m3 para cálculos (referencia: Moya C., Fernando (2016). Recuperado de docplayer.es)

- El estrato de relleno identificado en la calicata C-03, considera un peso unitario de 1450 kg/m3 para cálculos (referencia: Moya C., Fernando (2016). Recuperado de docplayer.es)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 13

GRAVEDAD, DENSIDAD Y PESO ESPECÍFICA DEL AGUA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 13 - Gravedad, Densidad y Peso Específico del Agua
Estebaranz Javier (2018), Gimenez Juan (2021), Sánchez-B. Elena (s.f.)

ELABORADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Y PERFORACIONES Nº: TODAS **MUESTRAS:** TODAS

PROFUNDIDAD (m): De 0.00 a 3.00

TIPO DE MUESTRA: --

* Fórmula para determinar la gravedad (Fuente: Areaciencias.com)

$$g = \frac{Gm_2}{r^2}$$

Constante G (Nm2/kg2)=	6.67E-11
Masa terrestre (kg)=	5.98E+24
Radio Terrestre (m)=	6376434
Gravedad (m/s2)=	9.81005134

Determinación del Radio Terrestre, a partir de una coordenada (Lat. – Long.) (Gimenez Juan, 2021. Recuperado de planetcalc.com)

Coordenada Sor Ana de los Ángeles	W	71°32'23.5''	Long
	S	16°27'28.1''	Lat

* Densidad del agua (kg/m3) a distintas temperaturas (°C) (Art 9.2 del NTE 339.131)

Temperatura °C	Densidad relativa del agua (g/mL)	Factor de corrección K
18	0,9986244	1,0004
19	0,9984347	1,0002
20	0,9982343	1,0000
21	0,9980233	0,9998
22	0,9978019	0,9996
23	0,9975702	0,9993
24	0,9973286	0,9991
25	0,9970770	0,9988
26	0,9968156	0,9986
27	0,9965451	0,9983
28	0,9962652	0,9980
29	0,9959761	0,9977
30	0,9956780	0,9974

* Determinación del Peso Específico del Agua

Gravedad (m/s^2)	9.81005
Densidad del agua (kg/m^3)	T x 20°C 998.2343
Peso específico del agua (kN/m^3)	9.793

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 14

CÁLCULOS DEL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN POR CONDICIÓN DE CARGA Y RESISTENCIA DEL SUELO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 14 – Cálculos del diseño de la cimentación por condición de carga y resistencia del suelo
Determinación de la capacidad de Carga admisible (Q_{adm}) del suelo del A.H. Sor Ana de los Ángeles, a distintas profundidades

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE
FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-01, C-02 y C-03 **MUESTRAS:** VARIOS

PROFUNDIDAD (m): De 0.00 a 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mab

- La capacidad de carga q_u, se determinó mediante la ecuación propuesta en NTE E.050 Artículo 20.3 (para gravas, arenas y gravas arenosas)

$$q_d = i_q * \gamma_1 * D_f * N_q + 0.5 * s_\gamma * i_\gamma * \gamma_2 * B' * N_\gamma$$

- Se calculan las variables de la ecuación anterior, mediante las formulaciones expuestas en el Artículo 20.4 de NTE E.050

$$N_q = e^{(\pi \tan\phi')} \tan^2\left[\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right)\right]$$

$$N_c = (N_q - 1)\cot\phi'$$

$$N_\gamma = (N_q - 1)\tan(1{,}4\,\phi')$$

$$S_c = 1 + 0{,}2\,\frac{B}{L}$$

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{90^\circ}\right)^2$$

$$S_\gamma = 1 - 0{,}2\,\frac{B}{L}$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{\phi^\circ}\right)^2$$

Donde:
c = cohesión del suelo ubicado bajo la zapata.
i_c = coeficiente de corrección por inclinación de la carga correspondiente a la
i_q = coeficiente de corrección por inclinación de la carga correspondiente a la sobre carga (γD_f)
s_c = coeficiente de corrección por la forma de la cimentación correspondiente a la cohesión
s_γ = coeficiente de corrección por la forma de la cimentación correspondiente a la fricción
i_γ = coeficiente de corrección por inclinación de la carga correspondiente a la fricción
γ_1 = peso unitario volumétrico de suelo ubicado sobre el nivel de cimentación.
γ_2 = peso unitario volumétrico efectivo de suelo ubicado bajo el nivel de cimentación.
N_c = coeficiente de capacidad de carga correspondiente a la cohesión = 5.14
N_q = coeficiente de capacidad de carga correspondiente a la sobre carga (γD_f)
N_γ = coeficiente de capacidad de carga correspondiente a la fricción
B' = ancho del "área efectiva"
α° = ángulo en grados que hace la carga con la vertical

Referencia: Bowles, Joseph E. (1996) Foundation Analysis and Design. New York: Mc Graw – Hill Book Co.

- Se consideró un Factor de Seguridad FS = 3.0 para solicitación estática

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

SOLICITADO POR: DELGADO MONTESINOS, VICTOR LEONELD
GIL FLOREZ, JEANETTE

FECHA: 10 de Octubre del 2021

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN EL A.H. SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021.

CALICATA Nº: C-01, C-02 y C-03 **MUESTRAS:** VARIOS **PROFUNDIDAD (m):** De 0.00 a 3.00

TIPO DE MUESTRA: Mab

N° de Calicata		C-1				C-2				C-3			
Tipo de Cimentación		Cimentación Superficial ($D_f/B \leq 5$)				Cimentación Superficial ($D_f/B \leq 5$)				Cimentación Superficial ($D_f/B \leq 5$)			
		Zapata Aislada		Cimiento Corrido		Zapata Aislada		Cimiento Corrido		Zapata Aislada		Cimiento Corrido	
	CASO	B (cm)	L (cm)	B (cm)	L (cm)	B (cm)	L (cm)	B (cm)	L (cm)	B (cm)	L (cm)	B (cm)	L (cm)
Pre-	1°	150.00	150.00	150.00	100.00	150.00	150.00	150.00	100.00	150.00	150.00	150.00	100.00
dimensionamiento	2°	180.00	180.00	180.00	100.00	180.00	180.00	180.00	100.00	180.00	180.00	180.00	100.00
	3°	200.00	200.00	200.00	100.00	200.00	200.00	200.00	100.00	200.00	200.00	200.00	100.00
Estrato de Apoyo de la cimentación		Estrato II				Estrato II				Estrato II			
Peso Unitario encima de la cimentación(kg/cm3)		0.00145				0.001478				0.00145			
Peso Unitario debajo de la cimentación (kg/cm3)		0.002207				0.001632				0.002039			
Peso Unitario del agua (kg/cm3)		0.00099858				0.00099858				0.00099858			
Profundidades de Cimentación(cm)	A	D_{f1} =	180.00			D_{f1} =	180.00			D_{f1} =	180.00		
	B	D_{f2} =	210.00			D_{f2} =	210.00			D_{f2} =	210.00		
	C	D_{f3} =	250.00			D_{f3} =	250.00			D_{f3} =	250.00		
	D	D_{f4} =	280.00			D_{f4} =	280.00			D_{f4} =	280.00		

Determinación de la Capacidad de Carga Admisible del suelo (Q_{adm})

Ángulo de Frincción Interna del Suelo (°)		35.83				35.07				35.78			
Cohesión (KPa)		0.00				0.00				0.00			
Ángulo de Inclinación de carga actuante en cimentación (θ) [°]		0.0				0.0				0.0			
		S_c	S_γ	S_c	S_γ	S_c	S_γ	S_c	S_γ	S_c	S_γ	S_c	S_γ
Factores de Forma	1°	1.200	0.800	1.300	0.700	1.200	0.800	1.300	0.700	1.200	0.800	1.300	0.700
	2°	1.200	0.800	1.360	0.640	1.200	0.800	1.360	0.640	1.200	0.800	1.360	0.640
	3°	1.200	0.800	1.400	0.600	1.200	0.800	1.400	0.600	1.200	0.800	1.400	0.600
Factores de Inclinación		$i_c = i_q$		i_γ		$i_c = i_q$		i_γ		$i_c = i_q$		i_γ	
		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000	
Factores de Capacidad de Carga		N_c		N_q	N_γ	N_c		N_q	N_γ	N_c		N_q	N_γ
		49.788		36.948	43.088	46.419		33.587	37.617	49.557		36.715	42.703
Capacidad de Carga del Suelo (q_u) [kg/m2]		Zapata Aislada				Zapata Aislada				Zapata Aislada			
		1.50 m x 1.50 m	1.80 m x 1.80 m	2.00 m x 2.00 m		1.50 m x 1.50 m	1.80 m x 1.80 m	2.00 m x 2.00 m		1.50 m x 1.50 m	1.80 m x 1.80 m	2.00 m x 2.00 m	
	D_{f1}=1.80 m	15.35	16.49	17.25		12.62	13.36	13.85		5.65	6.18	6.54	
	D_{f2}=2.10 m	16.96	18.10	18.86		14.11	14.85	15.34		6.15	6.68	7.03	
	D_{f3}=2.50 m	7.29	7.92	8.34		16.09	16.83	17.32		6.81	7.34	7.70	
	D_{f4}=2.80 m	7.79	8.42	8.84		17.58	18.32	18.81		7.31	7.84	8.20	
		Cimiento Corrido				Cimiento Corrido				Cimiento Corrido			
		1.50 m x 1.00 m	1.80 m x 1.00 m	2.00 m x 1.00 m		1.50 m x 1.00 m	1.80 m x 1.00 m	2.00 m x 1.00 m		1.50 m x 1.00 m	1.80 m x 1.00 m	2.00 m x 1.00 m	
	D_{f1}=1.80 m	14.64	15.12	15.35		12.16	12.47	12.62		5.32	5.54	5.65	
	D_{f2}=2.10 m	16.24	16.73	16.96		13.65	13.96	14.11		5.81	6.04	6.15	
	D_{f3}=2.50 m	6.90	7.17	7.29		15.63	15.95	16.09		6.48	6.70	6.81	
	D_{f4}=2.80 m	7.40	7.67	7.79		17.12	17.44	17.58		9.31	9.76	9.97	

Factor de Seguridad para cargas estática: 3.0										
		Zapata Aislada			Zapata Aislada			Zapata Aislada		
		1.50 m x 1.50 m	1.80 m x 1.80 m	2.00 m x 2.00 m	1.50 m x 1.50 m	1.80 m x 1.80 m	2.00 m x 2.00 m	1.50 m x 1.50 m	1.80 m x 1.80 m	2.00 m x 2.00 m
Capacidad de Carga Admisible del Suelo (qadm) [kg/m2]	D_{f1}=1.80 m	5.12	5.50	5.75	4.21	4.45	4.62	1.88	2.06	2.18
	D_{f2}=2.10 m	5.65	6.03	6.29	4.70	4.95	5.11	2.05	2.23	2.34
	D_{f3}=2.50 m	2.43	2.64	2.78	5.36	5.61	5.77	2.27	2.45	2.57
	D_{f4}=2.80 m	2.60	2.81	2.95	5.86	6.11	6.27	2.44	2.61	2.73
		Cimiento Corrido			Cimiento Corrido			Cimiento Corrido		
		1.50 m x 1.00 m	1.80 m x 1.00 m	2.00 m x 1.00 m	1.50 m x 1.00 m	1.80 m x 1.00 m	2.00 m x 1.00 m	1.50 m x 1.00 m	1.80 m x 1.00 m	2.00 m x 1.00 m
	D_{f1}=1.80 m	4.88	5.04	5.12	4.05	4.16	4.21	1.77	1.85	1.88
	D_{f2}=2.10 m	5.41	5.58	5.65	4.55	4.65	4.70	1.94	2.01	2.05
	D_{f3}=2.50 m	2.30	2.39	2.43	5.21	5.32	5.36	2.16	2.23	2.27
	D_{f4}=2.80 m	2.47	2.56	2.60	5.71	5.81	5.86	3.10	3.25	3.32

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 15

INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN DE PLANOS Y MAPAS

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS DE SUPERFICIE (MASW)

- Método propuesto por Park et al. (1999a, 1999b) y aplicado por Miller et al. (1999) y Xia et al. (1999) para determinar estructuras de velocidad de ondas de corte (Vs) en capas superficiales de suelo.

- Para mejorar la precisión de velocidades de ondas de fase (velocidad aparente), se considera en el análisis el Cross – Correlación del Punto Medio Común (CMPCC), demostrado por Hayashi y Suzuki (2004). El cual refiere a considerar el punto medio del arreglo (línea de exploración sísmica)

- Se realizan golpes en el terreno con ayuda de un martillo de 25 lb (fuente impulsiva) (NOTA: a mayor masa de la fuente impulsiva, frecuencia más baja y longitud de onda más larga. Además, el uso de una placa de impacto durante el golpe, ayuda a que el punto del mismo no se inmiscuya con el suelo), para generar ondas superficiales (registros sísmicos). De las cuales, se procede a agrupar los datos CMPCC obtenidos y se extrae la curva de dispersión (Velocidad de fase vs Frecuencia). Seguidamente, mediante una inversión no lineal de mínimos cuadrados (Xia et al. (1999), se obtiene perfiles de onda de corte (Vs) versus profundidad.

- Las longitudes de ondas pequeñas, se propagan a niveles superficiales. Mientras que, las longitudes de onda grande penetran grandes profundidades

- Sistema utilizado: Land Streamer con uso de geófonos de 4.5 Hz dispuestos en suelos no pavimentados, apoyados con sismógrafo modelo HPRC 2100 (de 24 canales de registro de ondas de llegada y 16 bits de resolución).

- Para categorización del suelo con base a la zonificación sísmica dispuesta en NTE E.030, se considera la velocidad Vs30 (Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales)

- Se considera como resultado confiable hasta una profundidad de 30 metros

- Es posible determinar el coeficiente de Possion (v) y otros parámetros dinámicos del suelo (Módulo de Corte y Módulo de Young) en función a las velocidades Vs y Vp. Sin embargo, este estudio se limita a la adquisición de las velocidades de ondas de corte superficial Vs, para la determinación del Potencial de Licuefacción de Suelos.

- La Norma NTE E.030 2018, establece una relación directamente proporcional entre la velocidad de onda de corte Vs30 (m/2), Número de golpes del ensayo SPT (N), rigidez del suelo y resistencia al corte del suelo (KPa), de la forma siguiente:

Tipo de Suelo	Velocidad de ondas de corte Vs30(m/s)*	N1(60) SPT	Resistencia al corte en condición no drenada Su
S0, Roca dura	Vs > 1500	-	-
S1, Roca o suelo muy rígido	500 < Vs < 1500	> 50	> 100 kPa
S2, Suelos intermedios	180 < Vs < 500	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S3, Suelos blandos	Vs <180	< 15	25 kPa a 50 kPa
S4, Condiciones excepcionales	Clasificación basada en el EMS		

Vs30(m/s): Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales*

N1: Numero de golpes corregidos, en el ensayos SPT*

- Las líneas de exploración sísmica se seleccionan en campo, dependiendo al bajo nivel de perturbancia acústica, a fin de no alterar los resultados del análisis.

- La longitud de líneas de exploración sísmica fue de 46 metros, con espaciamientos de 2 m.

- Para el procesamiento de datos de campo, se utilizó el software SeisImager2D

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- Es importante mencionar que, suelos más rígidos (compactos), registran velocidades de ondas de corte mayores. Mientras que suelos blandos se identifican con velocidades de propagación de ondas de corte menores

- No existe una normativa nacional hasta la fecha del presente estudio, para desarrollar este análisis dinámico del suelo. Sin embargo, sí se cuenta con información, procedimientos y clasificaciones del sitio en función a la velocidad de onda de corte Vs (como los propuestos por International Building Code y Kansas Geological Survey)

NOTA: Información recuperada de:

- Informe Técnico mediante ensayo MASW para el Proyecto: “Determinación del Potencial de Licuefacción de Suelos en el AAHH Sor Ana de los Ángeles ubicado en el distrito de Socabaya, Provincia y Departamento de Arequipa, 2021”. Elaborado por equipo multidisciplinario del Laboratorio Techlab – Laboratorio de suelos, concreto y asfaltos (2021).

- “Análisis Multicanal de las Ondas Superficiales en investigaciones geotécnicas utilizando el método CROSS – Correlación del Punto Medio Común”. Elaborado por Medina D. Julio y Ccallo H. Freddy. Presentado por la Sociedad Geológica del Perú (SGP) en el XVIII Congreso Peruano de Geología (2016)

- “Ensayos Geofísicos para el servicio de Caracterización Geofísica del terreno destinado a la Implementación de las estaciones acelerográficas de SENCICO en las sedes de Los Olivos y Chorrillos”. Elaborado por GEORYS INGENIEROS S.A.C. y publicado por SENCICO (2020).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

MÉTODO DE ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS DE SUPERFICIE (MASW)

Clasificación Sísmica - Norma técnica E.030 "Diseño sismorresistente"

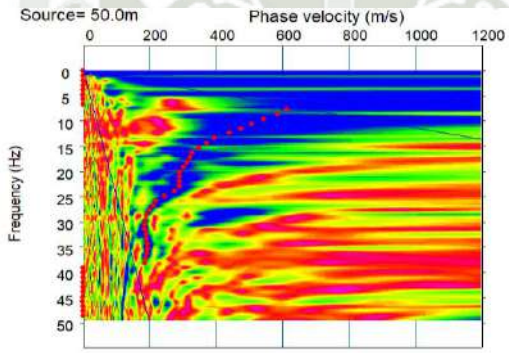
DATOS GENERALES	
ENSAYO:	MASW-01
FECHA:	miércoles, 22 de Setiembre de 2021
UBICACIÓN:	Sor Ana de Los Angeles

COORDENADAS	
DATUM:	UTM WGS 84 - 19S
ESTE (m):	228798.3
NORTE (m):	8178856.9
ALTURA (m.s.n.m.):	2266.1

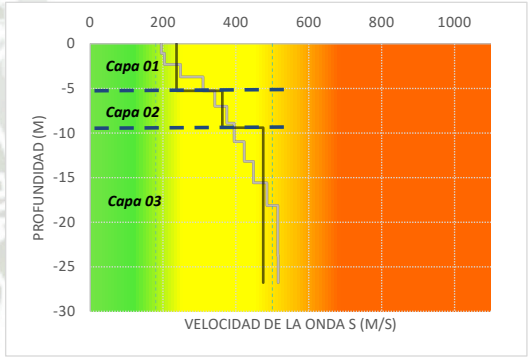
RESULTADOS DEL ENSAYO

Prof. (m)	Vs (m/s)
-1.07	195.00
-2.31	204.00
-3.71	248.00
-5.28	310.00
-7.01	342.00
-8.90	375.00
-9.40	395.00
-10.96	395.00
-13.19	423.00
-15.58	448.00
-18.13	485.00
-20.85	515.00
-23.74	515.00
-26.79	516.00

CURVA DE DISPERSIÓN



PERFIL UNIDIMENSIONAL



Estrato	Espesor (m)	Prof. (m)	Vs (m/s)	DESCRIPCIÓN
1	5.28	5.28	**237.01**	Estrato asociado arena y grava, presencia de residuos solidos
2	4.13	9.40	**362.56**	Estrato asociado a grava y arena.
3	17.38	-	**474.91**	Estrato asociado a grava y arena de mayor compacidad.
4				
5				

Vs30(m/s)	Tipo de Suelo
427.08	S2

Clasificación Sísmica - Norma técnica E.030 "Diseño sismoresistente"

Tipo de suelo	Denominación del suelo	Vs30(m/s)
S0	Roca dura	Vs > 1500
S1	Roca o suelos muy rígidos	500 < Vs < 1500
S2	Suelos intermedios	180 < Vs < 500
S3	Suelo Blando	Vs < 180
S4	Condiciones excepcionales	EMS

Vs30(m/s)*; Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales

TECHLAB - LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

PROYECTO:	ESTUDIO GEOFÍSICO MASW PARA EL PROYECTO "DETERMINACION DEL POTENCIAL DE LICUEFACCION DE SUELOS EN EL AAHH SOR ANA DE LOS ANGELES UBICADO EN EL DISTRTO DE SOCABAYA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA 2021"
PLANO:	**PERFIL UNIDIMENSIONAL DEL ENSAYO MASW-01**

UBICACIÓN:		JEFE DE PROYECTO:	R. TEJADA G.	DATUM:	UTM WGS 84 - 19S	LAMINA:
DIST:	Socabaya	ESPECIALISTA:	Y. TEJADA M.			
PROV:	Arequipa	SUPERVISIÓN:	Y. TEJADA M.	FORMATO:	A4	GF-001
REGIÓN:	Arequipa	DIBUJO:	G. CUTIPA			

MÉTODO DE ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS DE SUPERFICIE (MASW)

Clasificación Sísmica - Norma técnica E.030 "Diseño sismorresistente"

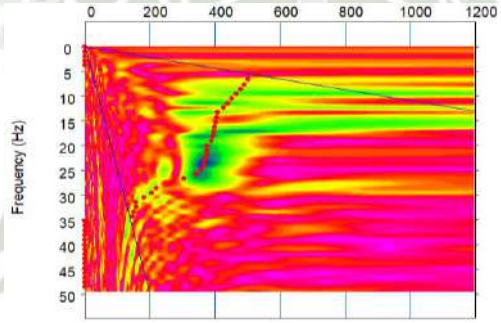
DATOS GENERALES	
ENSAYO:	MASW-02
FECHA:	miércoles, 22 de Setiembre de 2021
UBICACIÓN:	Sor Ana de Los Angeles

COORDENADAS	
DATUM:	UTM WGS 84 - 19S
ESTE (m):	228841.5
NORTE (m):	8178676.8
ALTURA (m.s.n.m.):	2265.2

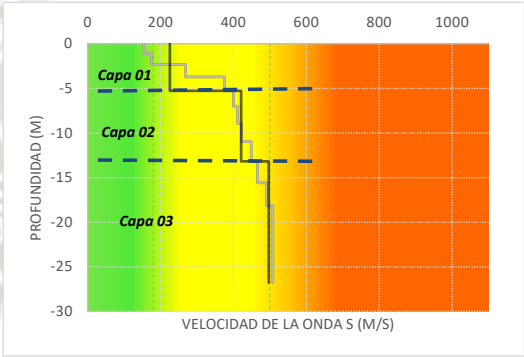
RESULTADOS DEL ENSAYO

Prof. (m)	Vs (m/s)
-1.07	154.00
-1.07	154.00
-2.31	175.00
-3.71	269.00
-5.28	376.00
-7.01	400.00
-8.90	411.00
-10.96	422.00
-13.19	449.00
-15.58	466.00
-18.13	491.00
-20.85	508.00
-23.74	508.00
-26.79	508.00

CURVA DE DISPERSIÓN



PERFIL UNIDIMENSIONAL



Estrato	Espesor (m)	Prof. (m)	Vs (m/s)	DESCRIPCIÓN
1	5.28	5.28	**225.46**	Estrato asociado a arena y grava de compacidad baja.
2	7.91	13.19	**421.36**	Estrato asociado a arena y grava de compacidad media.
3	13.60	-	**496.90**	Estrato asociado a arena y mayor presencia de gravas.
4				
5				

Vs30(m/s)	Tipo de Suelo
431.40	S2

Clasificación Sísmica - Norma técnica E.030 "Diseño sismoresistente"

Tipo de suelo	Denominación del suelo	Vs30(m/s)
S0	Roca dura	Vs > 1500
S1	Roca o suelos muy rígidos	500 < Vs < 1500
S2	Suelos intermedios	180 < Vs < 500
S3	Suelo Blando	Vs < 180
S4	Condiciones excepcionales	EMS

Vs30(m/s)*; Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales

TECHLAB - LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

PROYECTO:	ESTUDIO GEOFÍSICO MASW PARA EL PROYECTO "DETERMINACION DEL POTENCIAL DE LICUEFACCION DE SUELOS EN EL AAHH SOR ANA DE LOS ANGELES UBICADO EN EL DISTRTO DE SOCABAYA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA 2021"
PLANO:	**PERFIL UNIDIMENSIONAL DEL ENSAYO MASW-02**

UBICACIÓN:		JEFE DE PROYECTO:	R. TEJADA G.	DATUM:	UTM WGS 84 - 19S	LAMINA:
DIST:	Socabaya	ESPECIALISTA:	Y. TEJADA M.			
PROV:	Arequipa	SUPERVISIÓN:	Y. TEJADA M.	FORMATO:	A4	GF-002
REGIÓN:	Arequipa	DIBUJO:	G. CUTIPA			

MÉTODO DE ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS DE SUPERFICIE (MASW)

Clasificación Sísmica - Norma técnica E.030 "Diseño sismorresistente"

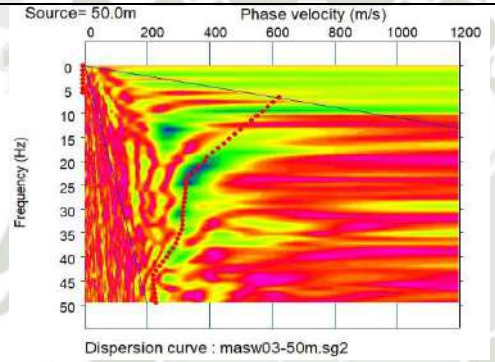
DATOS GENERALES	
ENSAYO:	MASW-03
FECHA:	miércoles, 22 de Setiembre de 2021
UBICACIÓN:	Sor Ana de Los Angeles

COORDENADAS	
DATUM:	UTM WGS 84 - 19S
ESTE (m):	228736.2
NORTE (m):	8178644.5
ALTURA (m.s.n.m.):	2264.9

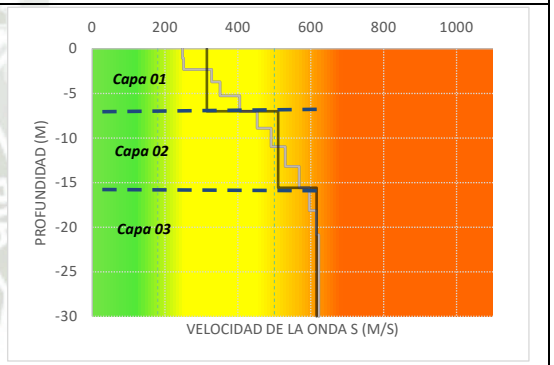
RESULTADOS DEL ENSAYO

Prof. (m)	Vs (m/s)
-1.07	248.00
-2.31	251.00
-3.71	328.00
-5.28	351.00
-7.01	405.00
-8.90	453.00
-10.96	491.00
-13.19	530.00
-15.58	568.00
-18.13	596.00
-20.85	615.00
-23.74	622.00
-26.79	622.00
-30.00	622.00

CURVA DE DISPERSIÓN



PERFIL UNIDIMENSIONAL



Estrato	Espesor (m)	Prof. (m)	Vs (m/s)	DESCRIPCIÓN
1	7.01	7.01	**314.81**	Estrato asociado a arena y grava con residuos solidos.
2	8.57	15.58	**510.58**	Estrato asociado a grava y arena consolidada
3	14.42	-	**615.92**	Estrato asociado a grava y arena de mayor compacidad.
4				
5				

Vs30(m/s)	Tipo de Suelo
480.33	S2

Clasificación Sísmica - Norma técnica E.030 "Diseño sismoresistente"

Tipo de suelo	Denominación del suelo	Vs30(m/s)
S0	Roca dura	Vs > 1500
S1	Roca o suelos muy rígidos	500 < Vs < 1500
S2	Suelos intermedios	180 < Vs < 500
S3	Suelo Blando	Vs < 180
S4	Condiciones excepcionales	EMS

Vs30(m/s)*; Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales

TECHLAB - LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

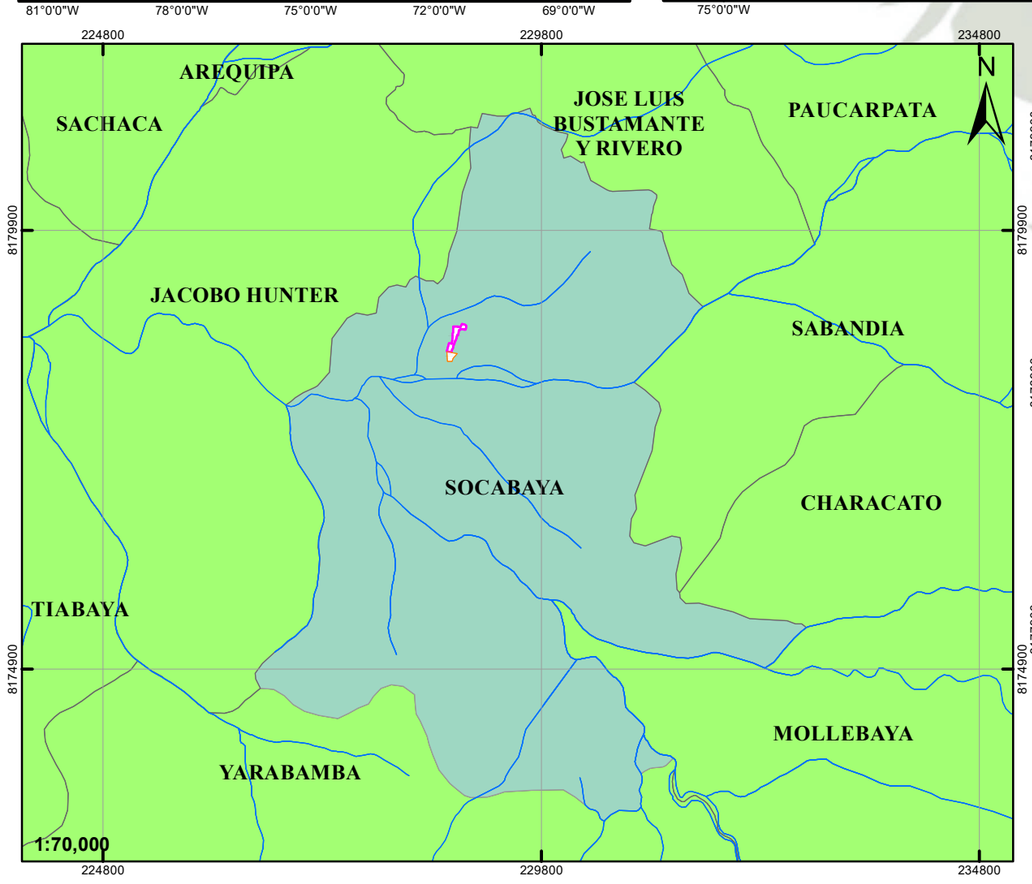
PROYECTO:	ESTUDIO GEOFÍSICO MASW PARA EL PROYECTO "DETERMINACION DEL POTENCIAL DE LICUEFACCION DE SUELOS EN EL AAHH SOR ANA DE LOS ANGELES UBICADO EN EL DISTRTO DE SOCABAYA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA 2021"
PLANO:	**PERFIL UNIDIMENSIONAL DEL ENSAYO MASW-02**

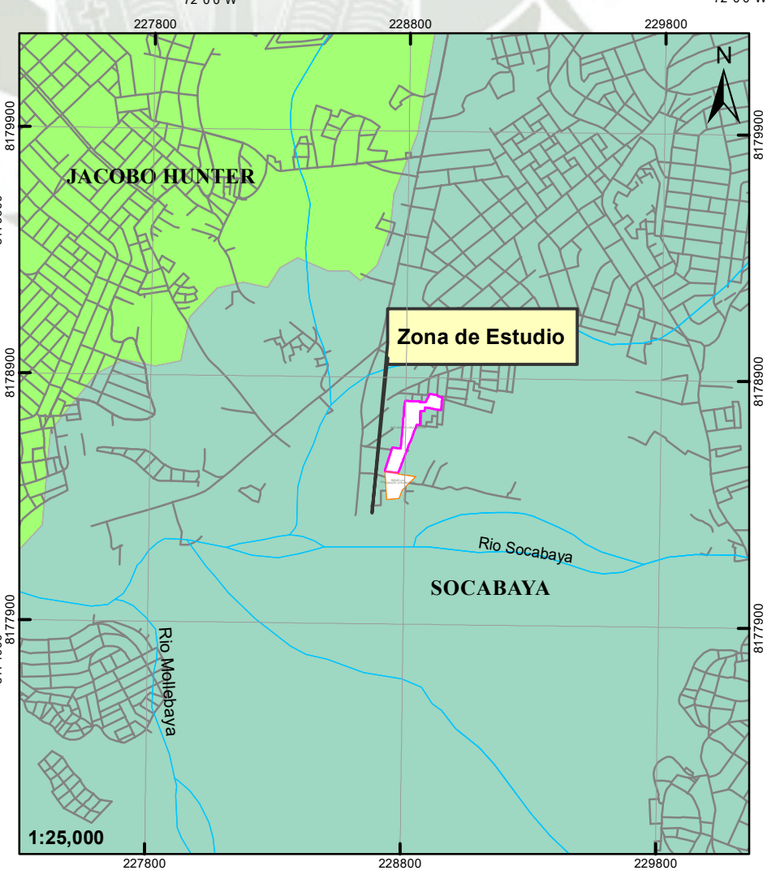
UBICACIÓN:		JEFE DE PROYECTO:	R. TEJADA G.	DATUM:	UTM WGS 84 - 19S	LAMINA:
DIST:	Socabaya	ESPECIALISTA:	Y. TEJADA M.			
PROV:	Arequipa	SUPERVISIÓN:	Y. TEJADA M.	FORMATO:	A4	GF-003
REGIÓN:	Arequipa	DIBUJO:	G. CUTIPA			











UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

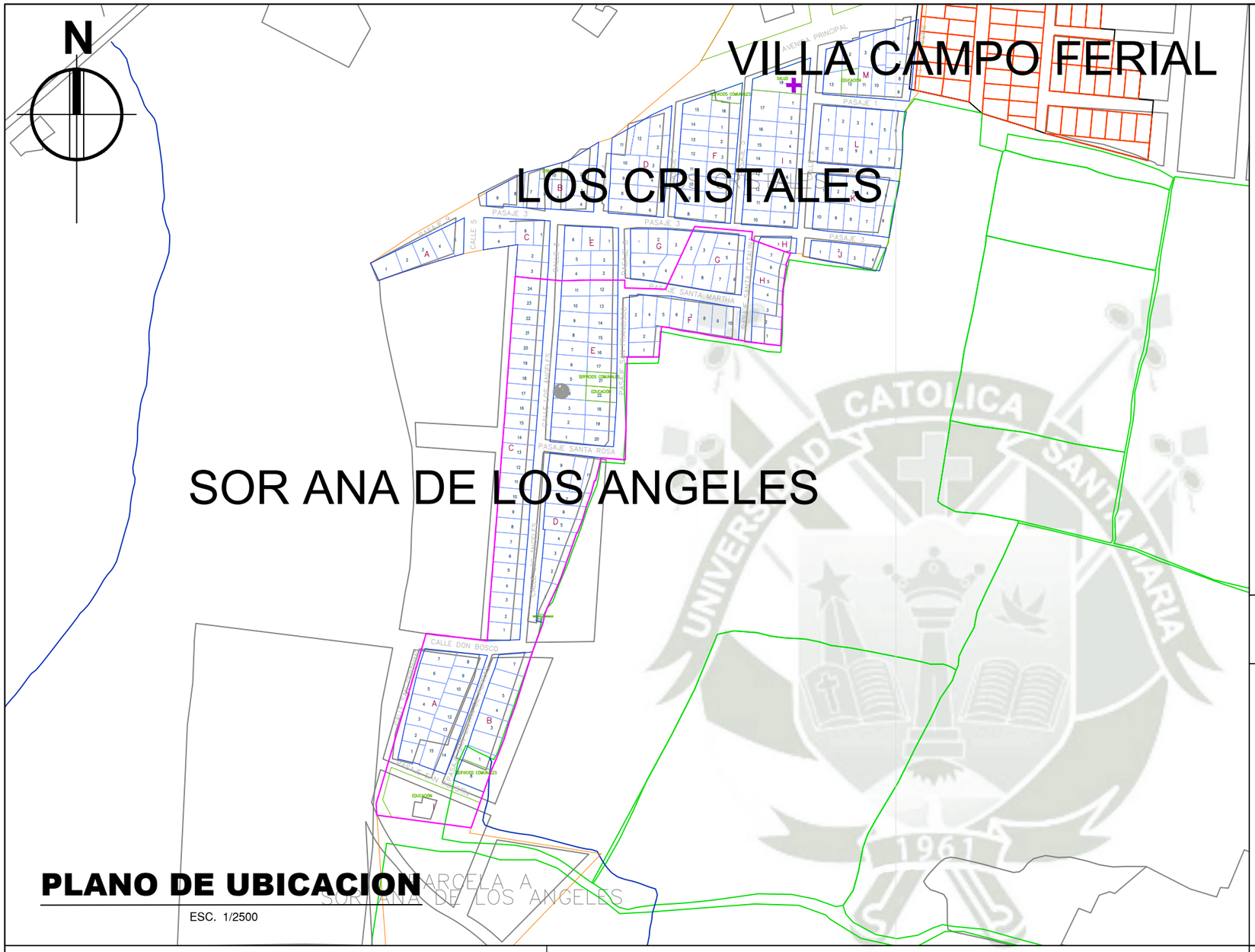
FACULTAD:
Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

ESCUELA:	FECHA:
Ingeniería Civil	Setiembre 2021

PROYECTO DE GRADO:
Determinación del Potencial de Licuefacción en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, Distrito de Socabaya, Provincia y Departamento de Arequipa, 2021

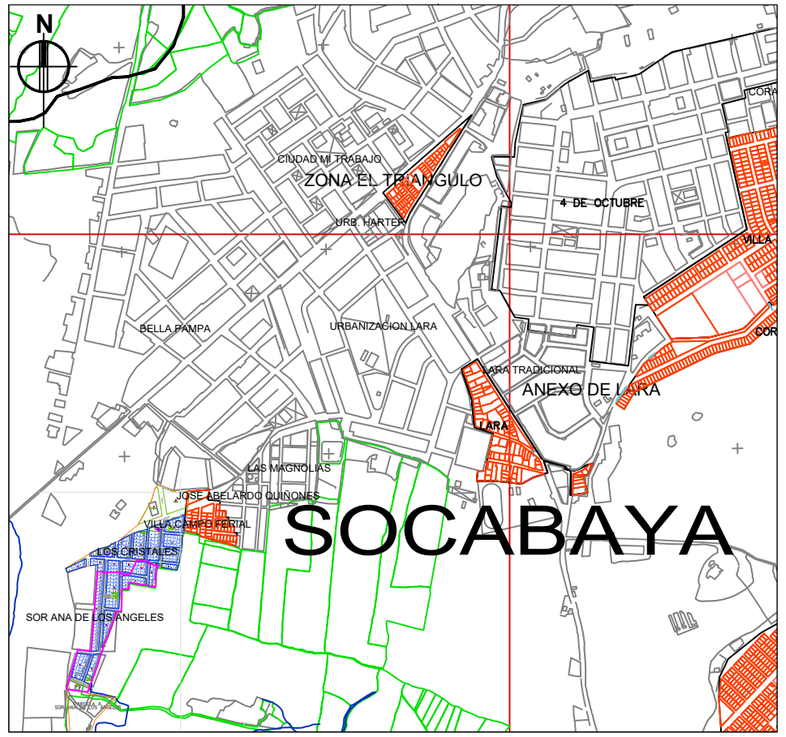
ELABORADO POR:	MAPA:
Delgado Montesinos, Victor Leoneld Gil Florez, Jeanette	**M-01**

DATUM:	PROYECCIÓN:	ESCALA:
WGS 84	UTM Zona 19 - Sur	Indicada



PLANO DE UBICACION

ESC. 1/2500



ESQUEMA DE LOCALIZACION

ESC:1/15000

ZONIFICACIÓN : ZRE–RI2 (ZONA DE REGLAMENTACION ESPECIAL RIESGOS TIPO 2)

SECTOR :

DEPARTAMENTO	: AREQUIPA
PROVINCIA	: AREQUIPA
DISTRITO	: SOCABAYA
AA.HH.	: AA.HH. SOR ANA DE LOS ANGELES
SECTOR	:
MANZANA	:
LOTE	:
SUBLOTE	: ------
PROPIETARIOS	

CUADRO NORMATIVO

PARAMETROS	RNC	PROYECTO
ZONIFICACION		
AREA DE ESTRUCTURACION URBANA		
USOS		
DENSIDAD NETA		
COEF. DE EDIFICACION		
AREA LIBRE		
ALTURA MAXIMA		
RETIRO MINIMO FRONTAL		
ESTACIONAMIENTO		

CUADRO DE AREAS (m2)

PISOS	AREAS DECLARADAS					
	Existente	Demolición	Nueva	Amp./ Rem.	Parcial	Total

AREA TOTAL	19677.49 m2
AREA CEDIDA A VÍA	4554.58 m2
AREA DE TERRENO UTIL ACTUAL	15122.91 m2
PERIMETRO UTIL	3853.91 ml

FIRMA PROP:

FIRMA Y SELLO PROY:

PROYECTO:

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN EL ASENTAMIENTO HUMANO SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO DE SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021

PLANO:

UBICACION Y LOCALIZACION

LAMINA :

U-01

ESCALA

INDICADA

FECHA

NOVIEMBRE 2021

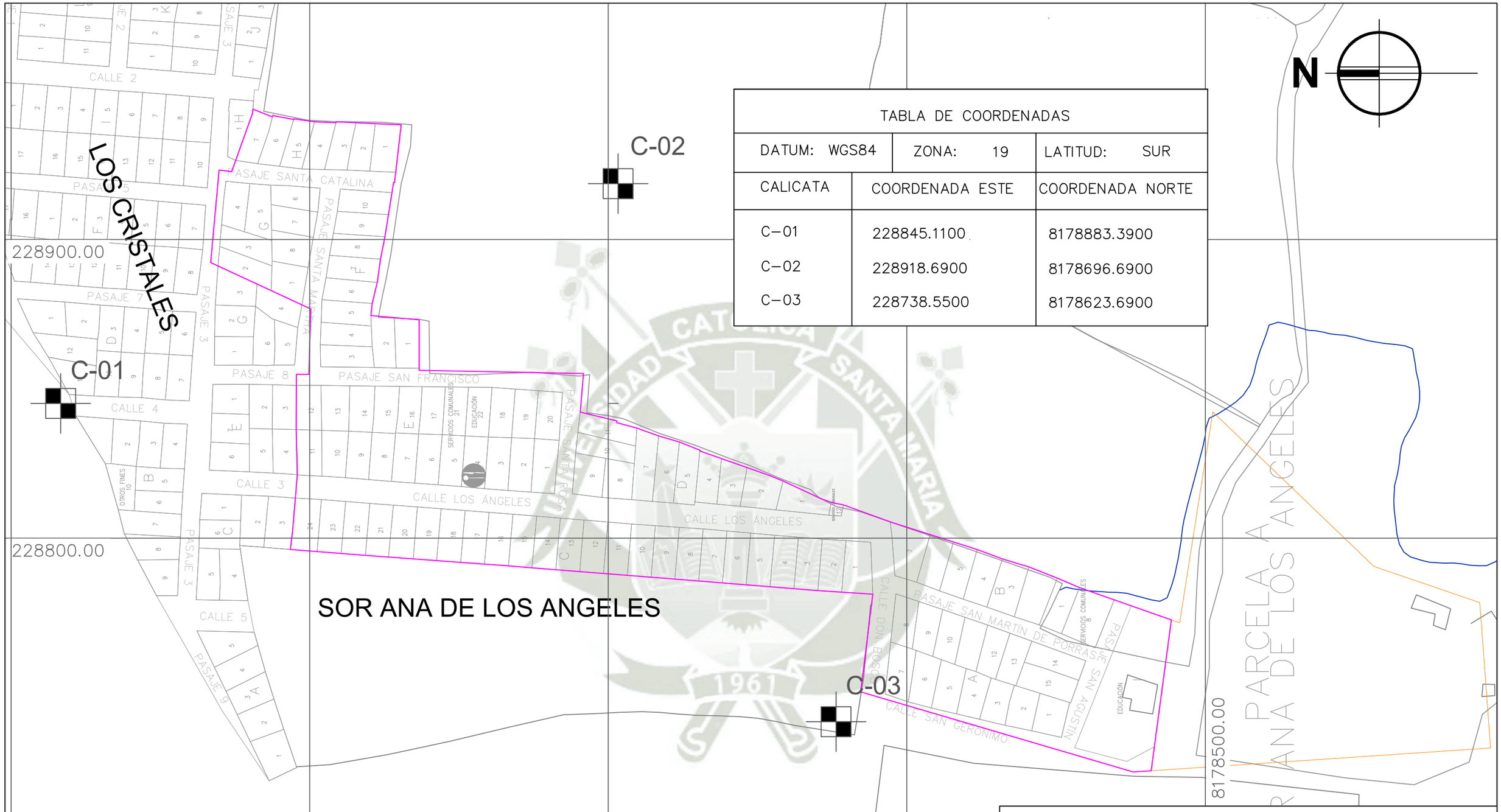


TABLA DE COORDENADAS		
DATUM: WGS84	ZONA: 19	LATITUD: SUR
CALICATA	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE
C–01	228845.1100	8178883.3900
C–02	228918.6900	8178696.6900
C–03	228738.5500	8178623.6900

PLANO DE EXPLORACIÓN - CALICATAS

ESC. 1/1250

PROYECTO:

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN EL ASENTAMIENTO HUMANO SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO DE SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021

PLANO: PUNTOS DE EXPLORACIÓN – CALICATAS

ESCALA: INDICADA

FECHA: DICIEMBRE–2021

LÁMINA: U–02

TABLA DE COORDENADAS		
DATUM: WGS84	ZONA: 19	LATITUD: SUR
PERFORACION	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE
P-01	228778.0000	8178816.0000
P-02	228725.0000	8178531.0000
P-03	228700.0000	8178750.0000

N

LOS CRISTALES

PARCELA SOR ANA DE LOS ANGELES

CALLE 2 · CALLE 3 · CALLE 4 · CALLE LOS ÁNGELES · CALLE DON BOSCO · CALLE SAN GERONIMO

PASAJE 3 · PASAJE 5 · PASAJE 7 · PASAJE 8 · PASAJE 9 · PASAJE SANTA CATALINA · PASAJE SANTA MARTHA · PASAJE SAN FRANCISCO · PASAJE SANTA ROSA · PASAJE SAN MARTÍN DE PORRAS · PASAJE SAN AGUSTÍN

SERVICIOS COMUNALES · EDUCACIÓN · OTROS FINES

228900.00

228800.00

228700.00

P-01

SOR ANA DE LOS ANGELES

P-02

P-03

8178900.00 · 8178800.00 · 8178700.00 · 8178600.00 · 8178500.00

PLANO DE EXPLORACIÓN - PERFORACIONES

ESC. 1/1250

PROYECTO:

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN EL ASENTAMIENTO HUMANO SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO DE SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021

PLANO:	LÁMINA:
PUNTOS DE EXPLORACIÓN – PERFORACIONES	U–03
ESCALA: INDICADA	FECHA: DICIEMBRE–2021

TABLA DE COORDENADAS		
DATUM: WGS84	ZONA: 19	LATITUD: SUR
CALICATA	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE
A–01	228798.3100	8178856.8800
A–02	228841.4500	8178676.7600
A–03	228736.1500	8178644.4900

N

A-01

A-02

A-03

228900.00

228800.00

228700.00

8178500.00

8178600.00

8178700.00

LOS CRISTALES

SOR ANA DE LOS ANGELES

PARCELA SOR ANA DE LOS ANGELES

CALLE 2

PASAJE 5

PASAJE 7

PASAJE 2

PASAJE 8

PASAJE SANTA CATALINA

PASAJE SANTA MARTHA

PASAJE SAN FRANCISCO

PASAJE SANTA ROSA

CALLE 4

CALLE 3

CALLE LOS ÁNGELES

CALLE LOS ÁNGELES

PASAJE 3

CALLE 5

PASAJE 9

CALLE DON BOSCO

CALLE SAN GERÓNIMO

PASAJE SAN MARTÍN DE PORRAS

PASAJE SAN AGUSTÍN

SERVICIOS COMUNALES 21

EDUCACIÓN 22

OTROS FINES

SERVICIOS COMUNALES

EDUCACIÓN

PLANO DE EXPLORACIÓN - MASW

ESC. 1/1250

PROYECTO:

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN EL ASENTAMIENTO HUMANO SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO DE SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021

PLANO:

PUNTOS DE EXPLORACIÓN – MASW

LÁMINA:

U–04

ESCALA:

INDICADA

FECHA:

DICIEMBRE–2021

TABLA DE COORDENADAS		
DATUM: WGS84	ZONA: 19	LATITUD: SUR
PERFORACION	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE
A–01	228798.3100	8178856.8800
A–02	228841.4500	8178676.7600
A–03	228736.1500	8178644.4900
C–01	228845.1100	8178883.3900
C–02	228918.6900	8178696.6900
C–03	228738.5500	8178623.6900
P–01	228778.0000	8178816.0000
P–02	228725.0000	8178531.0000
P–03	228700.0000	8178750.0000

N

C-02

A-02

C-01

A-01

A-03

C-03

P-01

P-02

P-03

SOR ANA DE LOS ANGELES

LOS CRISTALES

228800.00

228700.00

8178900.00

8178800.00

8178700.00

8178600.00

8178500.00

CALLE 2

CALLE 4

CALLE 3

CALLE LOS ÁNGELES

PASAJE SANTA CATALINA

PASAJE SANTA MARTHA

PASAJE SAN FRANCISCO

PASAJE SANTA ROSA

PASAJE SAN MARTIN DE PORRAS

PASAJE SAN AGUSTIN

CALLE DON BOSCO

CALLE SAN GERONIMO

PARCELA SOR ANA DE LOS ANGELES

PLANO DE EXPLORACIÓN - GENERAL

ESC. 1/1250

LEYENDA

- CALICATA
- PERFORACIÓN
- AUSCULTACIÓN

PROYECTO:

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN EL ASENTAMIENTO HUMANO SOR ANA DE LOS ÁNGELES, DISTRITO DE SOCABAYA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2021

PLANO:

PUNTOS DE EXPLORACIÓN – GENERAL

LÁMINA:

U–05

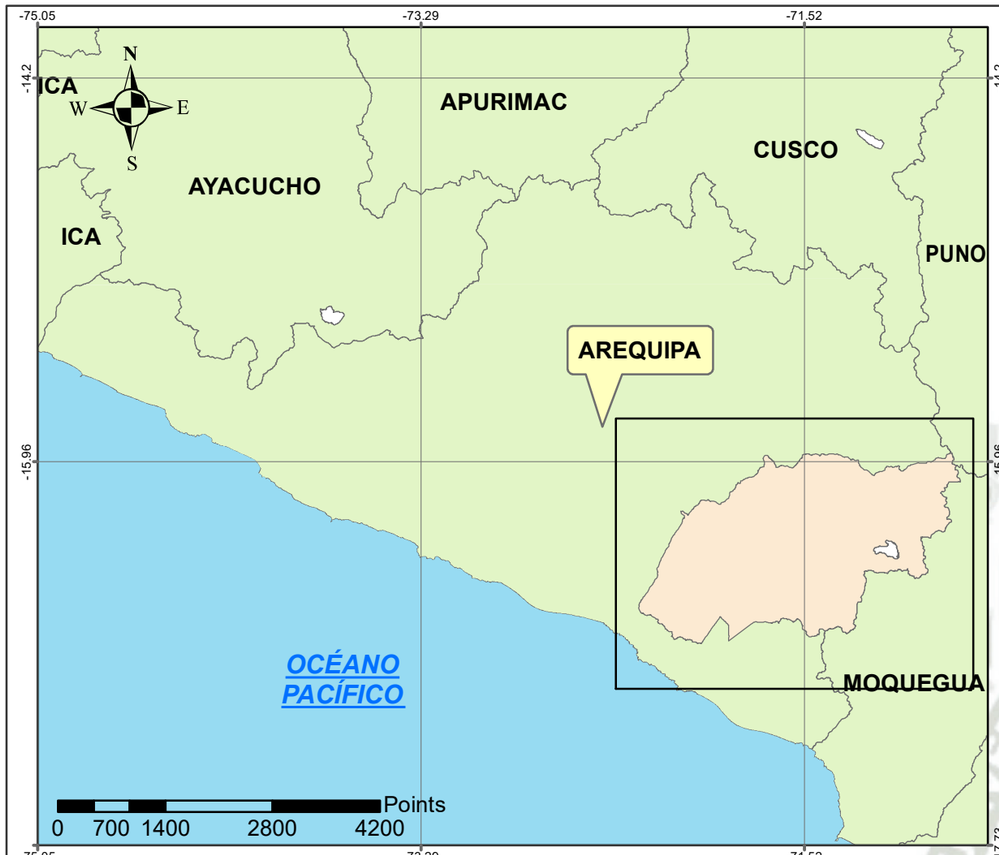
ESCALA:

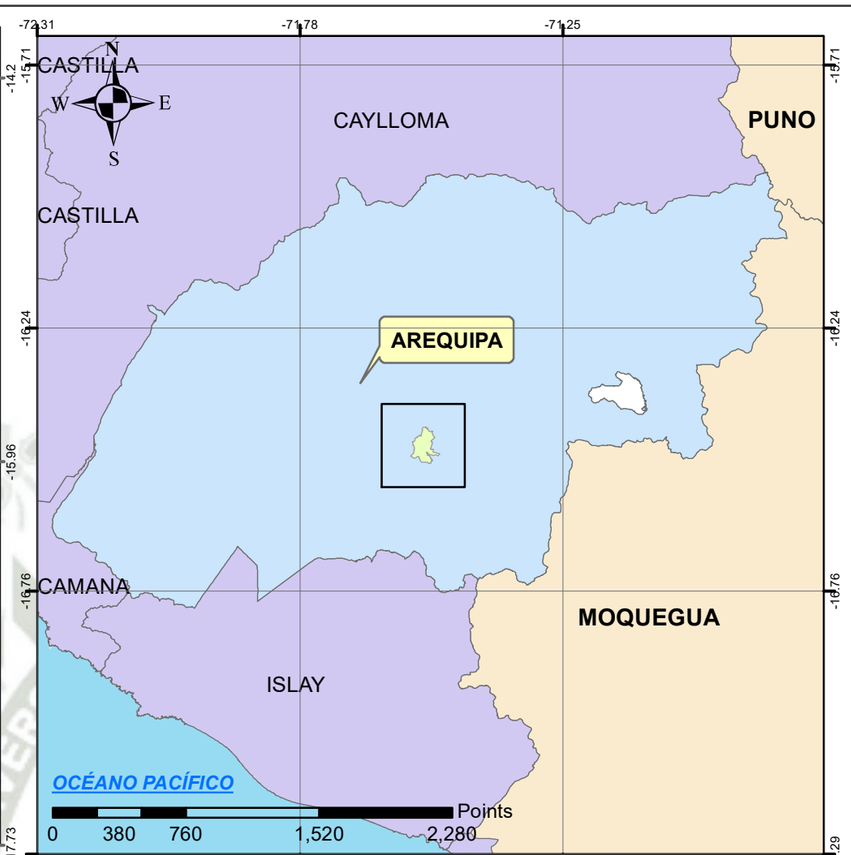
INDICADA

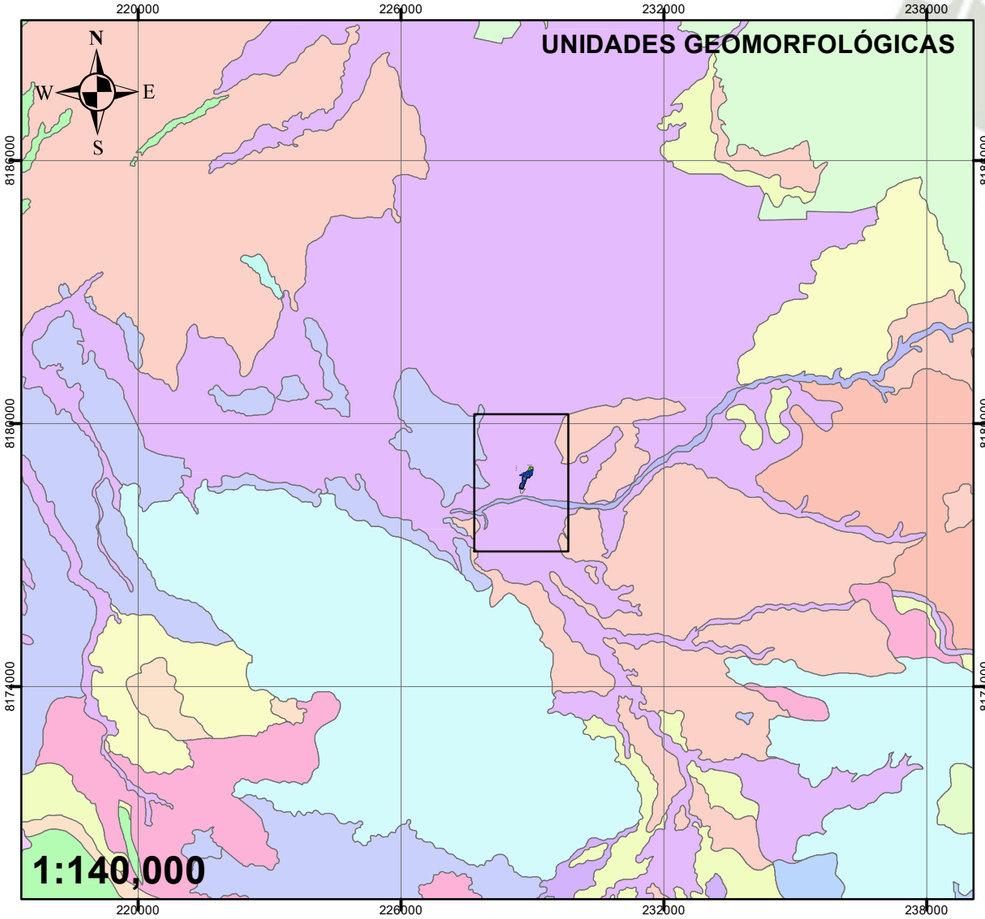
FECHA:

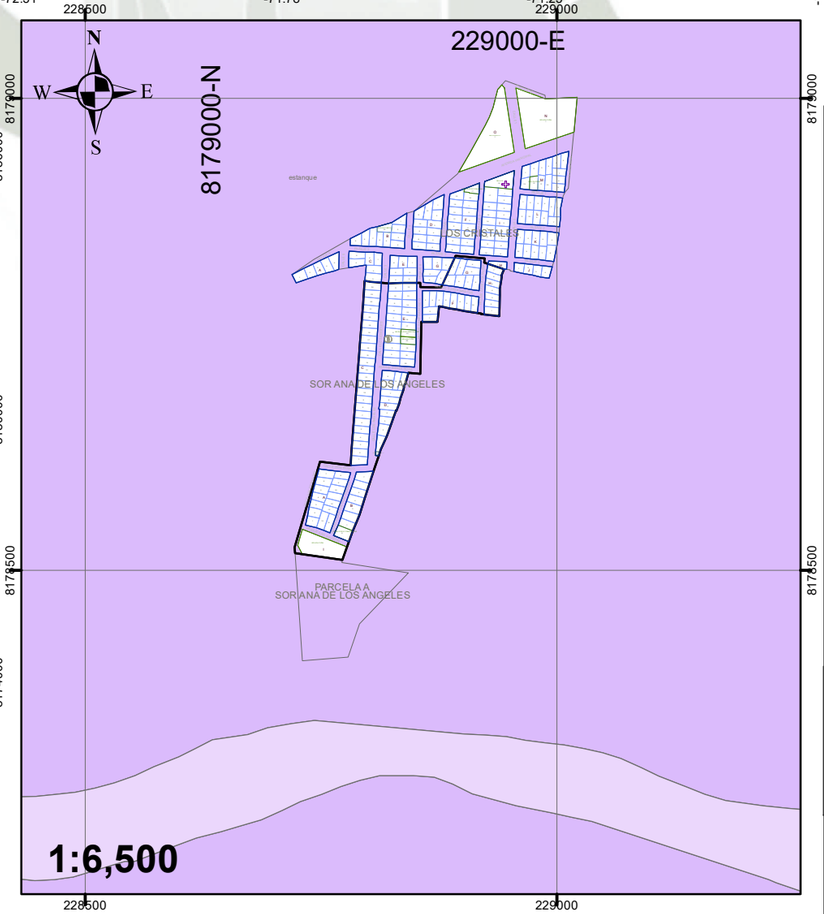
DICIEMBRE–2021

MAPA DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DEL ASENTAMIENTO HUMANO SOR ANA DE LOS ÁNGELES









N°	Unidad	Descripción
01	T-fl	Terraza Fluvial
02	V-gfl	Vertiente Glacio-fluvial

Unidades Geomorfológicas

T-fl
V-gfl

Publicado por ZEE y GEOGPSPERÚ (s.f.)

Planicie Aluvial (SIAR, 2018)

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD:
Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

ESCUELA:
Ingeniería Civil

FECHA:
Noviembre 2021

PROYECTO DE GRADO:

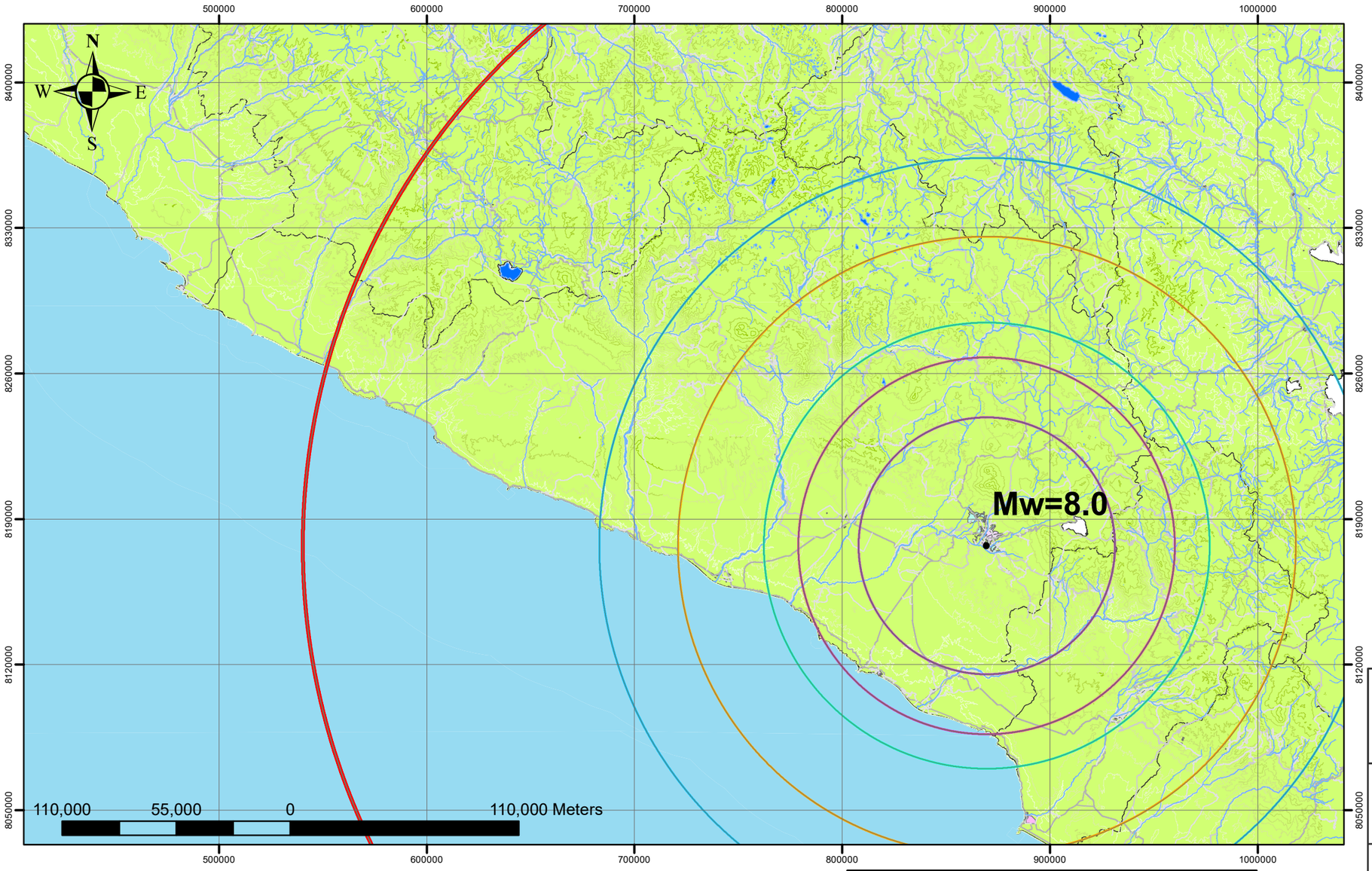
Determinación del Potencial de Licuefacción de Suelos en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, Distrito de Socabaya, Provincia y Departamento de Arequipa, 2021

ELABORADO POR:
Delgado Montesinos, Victor Leoneld
Gil Florez, Jeanette

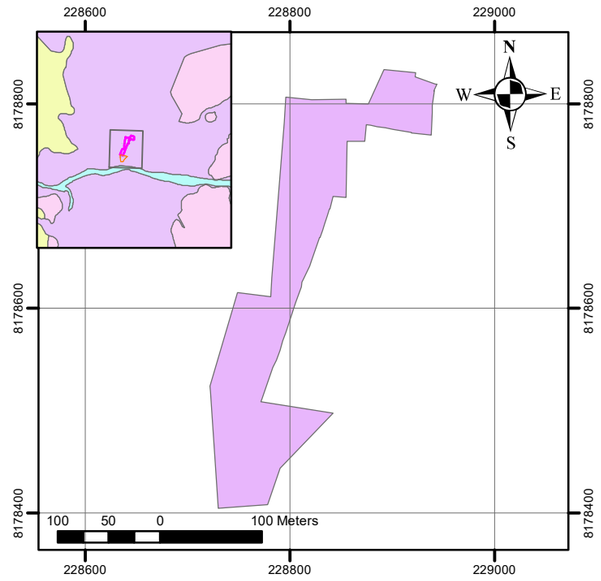
MAPA:
M-02

DATUM:	PROYECCIÓN:	ESCALA:
WGS 84	UTM Zona 19 - Sur	Indicada

MAPA DE ZONIFICACIÓN GENERAL



UNIDAD GEOMORFOLÓGICA



CRITERIO DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA			UNIDAD GEOLÓGICA	
Símbolo	Etiqueta	Descripción	Etiqueta	Descripción
	V-gfl	Vertiente Glacio-Fluvial	Qh-al	Depósito Aluvial

Fuente: INGENMET, 2021

	RANGO	POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN
SUSCEPTIBILIDAD A LA LICUEFACCIÓN	B	Licuefacción Posible

Fuente: TC4 of ISSMGE, 1999

LEYENDA - DISTANCIAS MÁXIMAS (TC4 of ISSMGE, 1999)

AUTOR:	DISTANCIA MÁXIMA (Km)	SIMBOLO:
Kuribayashi - Tatsuoka (1975)	61.66	
Liu & Xie (1984)	90.52	
Ambraseys (1988)	328.02	
Wakamatsu (1991)	186.21	
Wakamatsu (1993)	107.15	
Youd (1991)	148.44	

PELIGRO SÍSMICO (SENCICO, 2014)	
Fuente Sismogénica:	Subducción
Tipo según Ubicación	Intraplaca
Área Sismogénica:	F-10
Magnitud Momento Sísmico (Mw)	8.0

CRITERIO DE INTENSIDAD (TC4 of ISSMGE, 1999)		
Edad del Depósito:	Intensidad:	Área Inducida a licuarse:
Holoceno	IX (MM) (> VII MM)	SI

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD:
Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

ESCUELA:
Ingeniería Civil

FECHA:
Noviembre 2021

PROYECTO DE GRADO:

Determinación del Potencial de Licuefacción de Suelos en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, Distrito de Socabaya, Provincia y Departamento de Arequipa, 2021

ELABORADO POR:
Delgado Montesinos, Victor Leoneld
Gil Florez, Jeanette

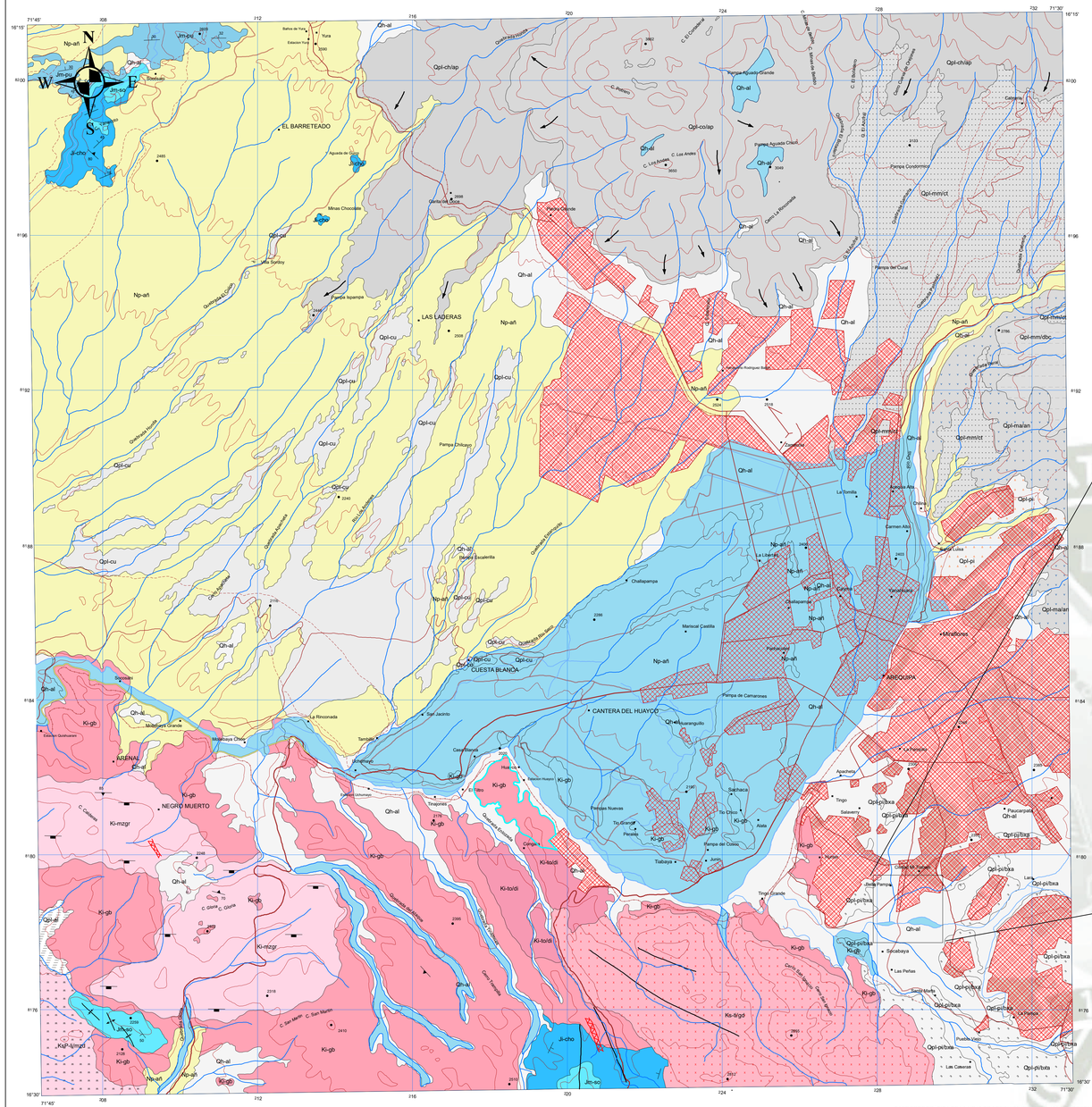
MAPA:
M-03

DATUM:	PROYECCIÓN:	ESCALA:
WGS 84	UTM Zona 19 - Sur	Indicada

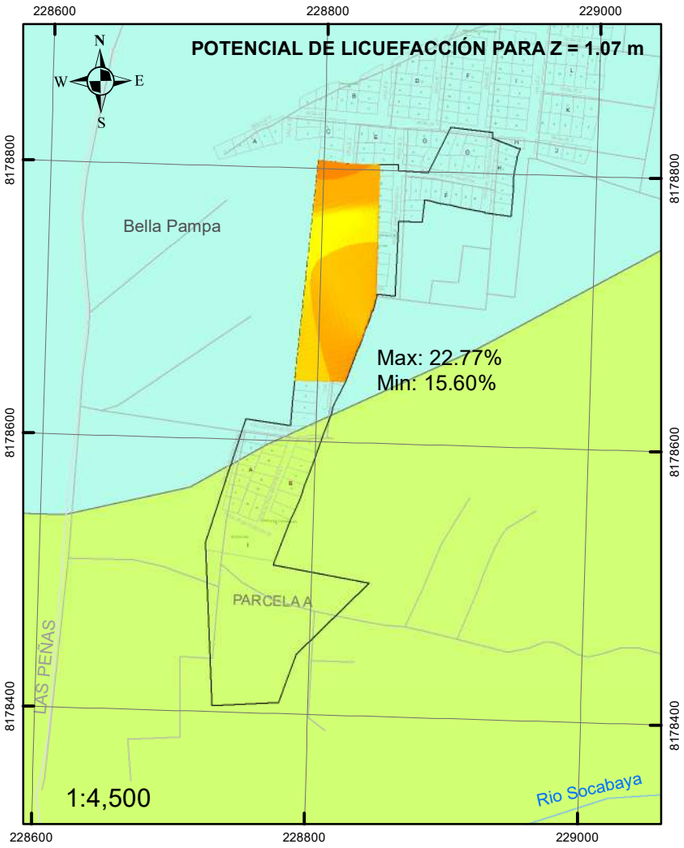
CARTA GEOLÓGICA DEL PERÚ

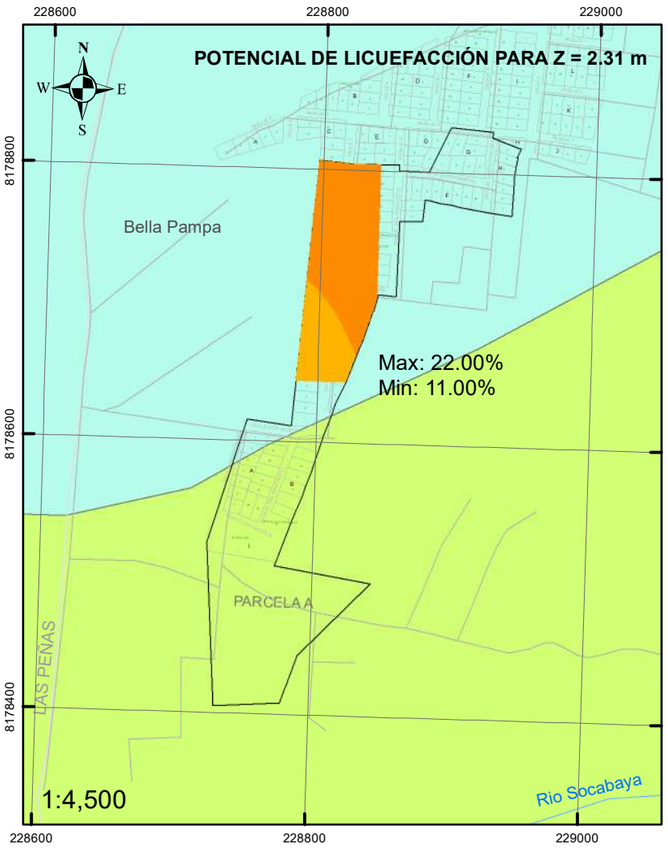
MAPA GEOLÓGICO DEL CUADRÁNGULO DE AREQUIPA

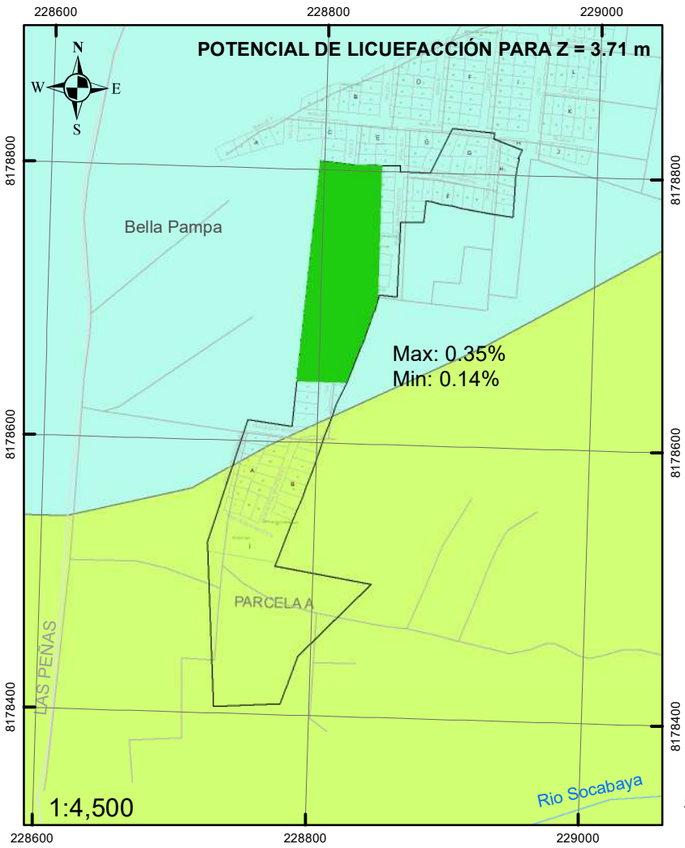
EDICIÓN-1 HOJA 33-s-II


N
S
W
E
EL BARRETEADO
LAS LADERAS
CUESTA BLANCA
CANTERA DEL HUAYCO
AREQUIPA
Np-afl
Qpl-cu
Qpl-cu/ap
Qpl-ch/ap
Qpl-co/ap
Qh-al
Qpl-mm/ct
Qpl-mm/dbc
Qpl-ma/an
Qpl-pi
Qpl-pi/bxa
Ki-gb
Ki-mzgr
Ki-to/di
Ki-to/di
Ks-ti/gd
Ji-cho
Jm-pu
Jm-so
KsP-li/mzd
Qpl-pi/bxa
Qpl-pi/bxa
Qpl-pi/bxa

ZONIFICACIÓN RIGUROSA







POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS OBTENIDOS A PARTIR DEL ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS DE SUPERFICIE (MASW)

LEYENDA

POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS

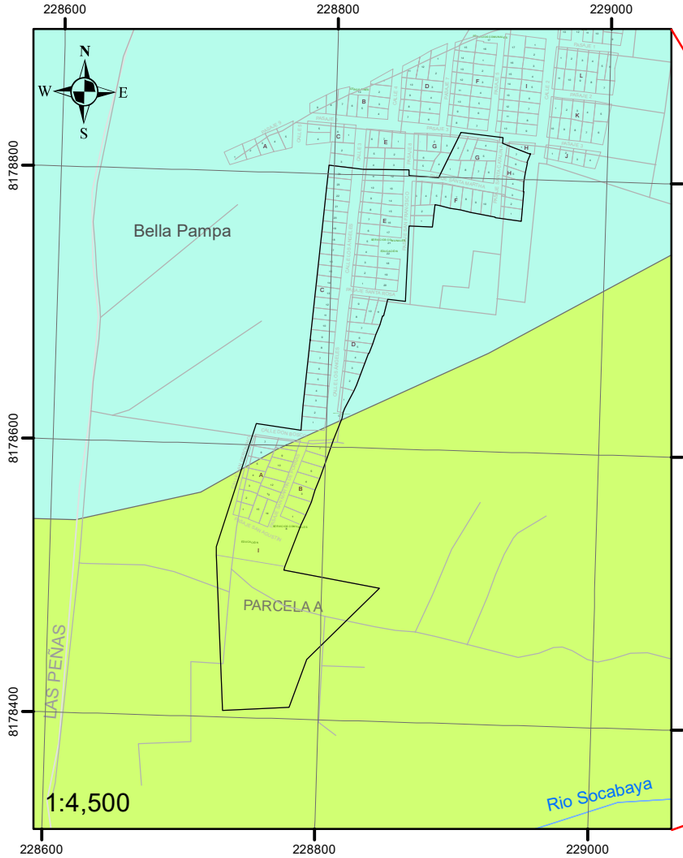
- Muy Bajo
- Bajo
- Moderado
- Alto
- Zonas a ampliar estudio

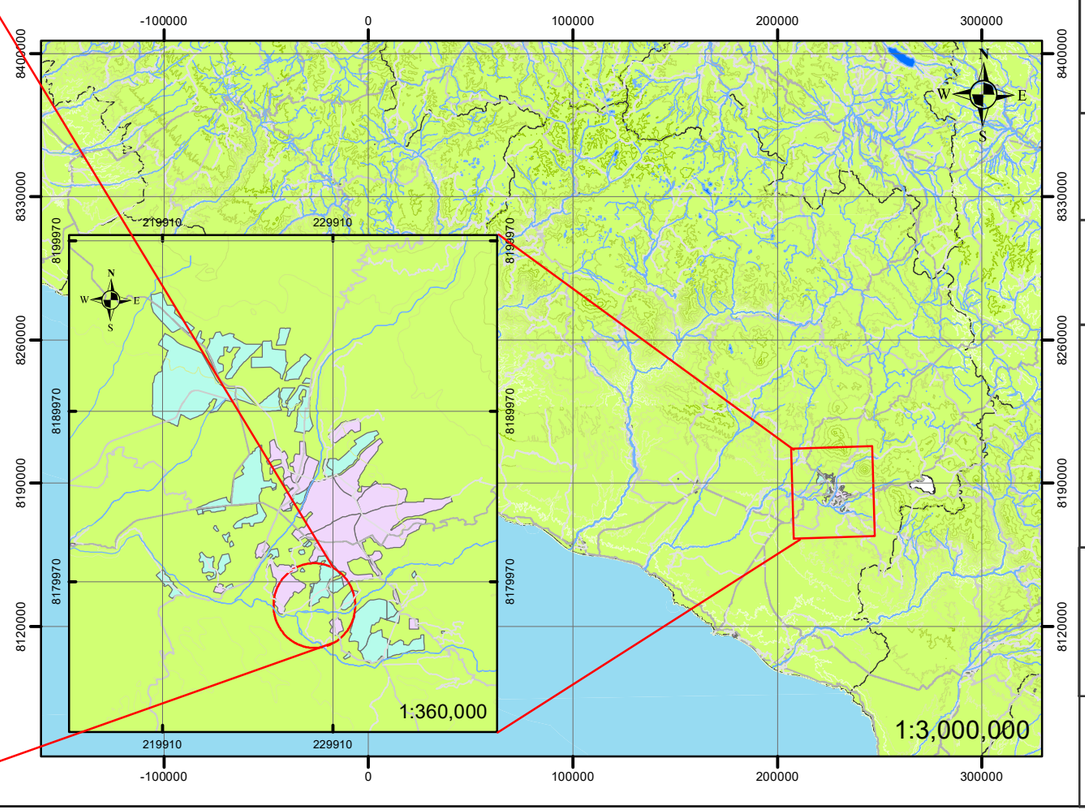
NTE E.050 (2020)

TABLA 13
CLASIFICACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN

Licuación	P_L
Alta	> 50%
Moderada	10% < P_L ≤ 50%
Baja	5% < P_L ≤ 10%
Muy baja	< 5%

Ref.: Iwasaki (1984)





UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD:
Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

ESCUELA:
Ingeniería Civil

FECHA:
Diciembre 2021

PROYECTO DE GRADO:

Determinación del Potencial de Licuefacción de Suelos en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, Distrito de Socabaya, Provincia y Departamento de Arequipa, 2021

ELABORADO POR:
Delgado Montesinos, Victor Leoneld
Gil Florez, Jeanette

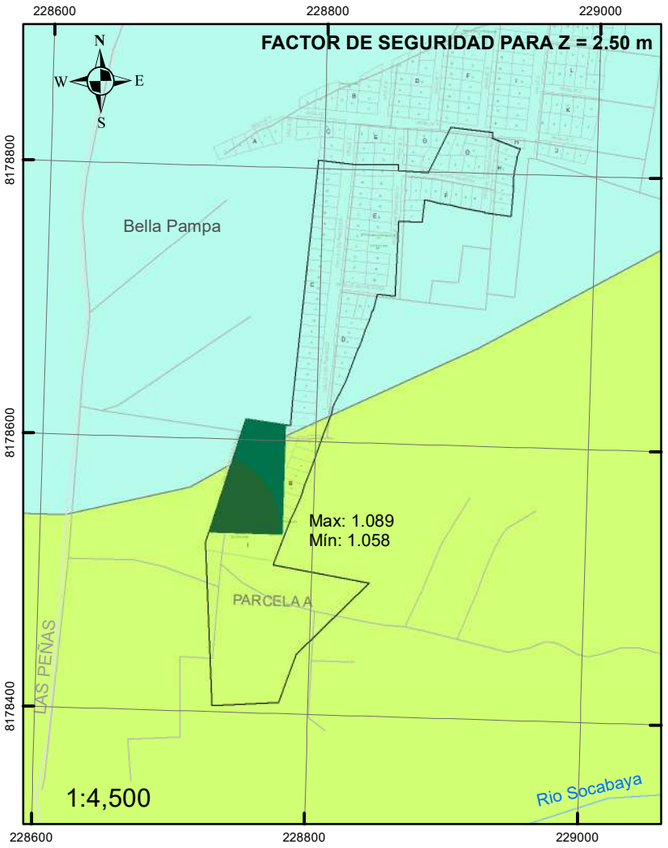
MAPA:
M-05

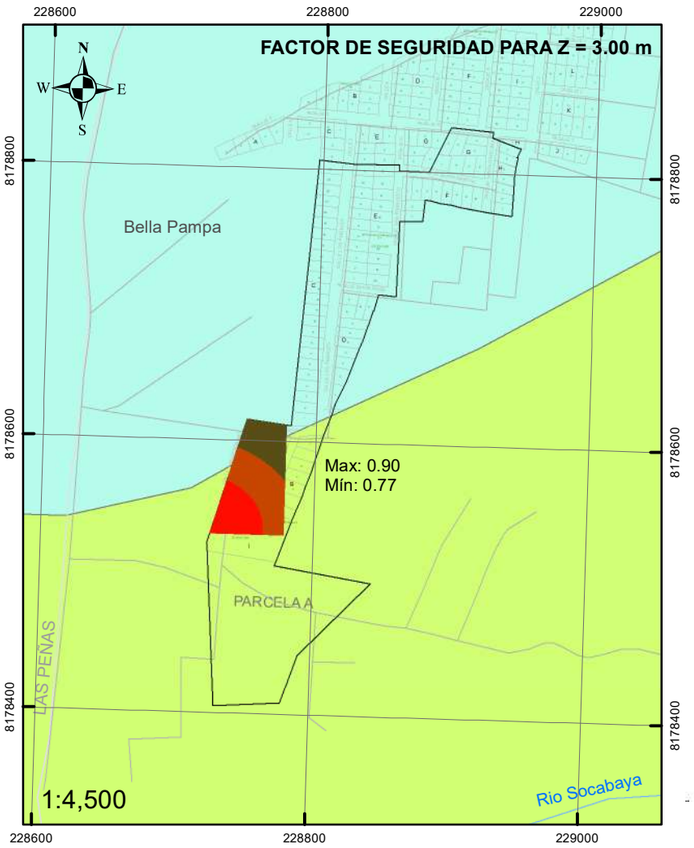
DATUM:
WGS 84

PROYECCIÓN:
UTM Zona 19 - Sur

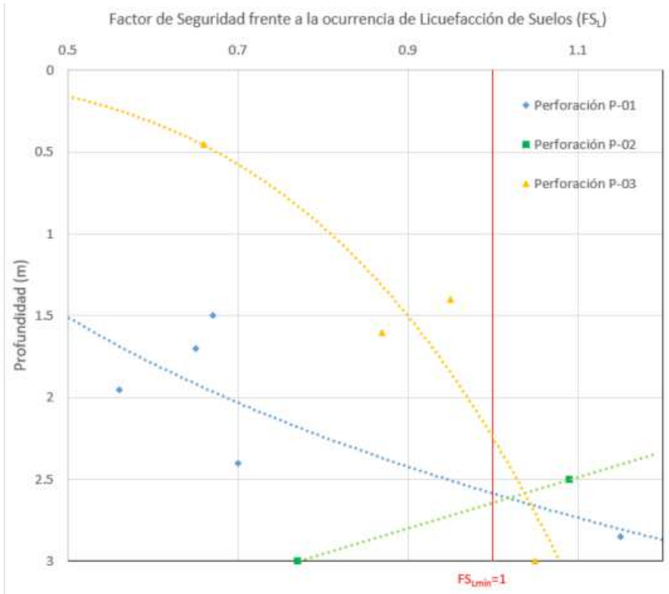
ESCALA:
Indicada

ZONIFICACIÓN RIGUROSA





CURVAS DE TENDENCIA PARA LOS VALORES DE FACTOR DE SEGURIDAD DE LAS PERFORACIONES P-01, P-02 Y P-03



FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA OCURRENCIA DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS

CATEGORÍA DE EDIFICACIÓN	C

LEYENDA

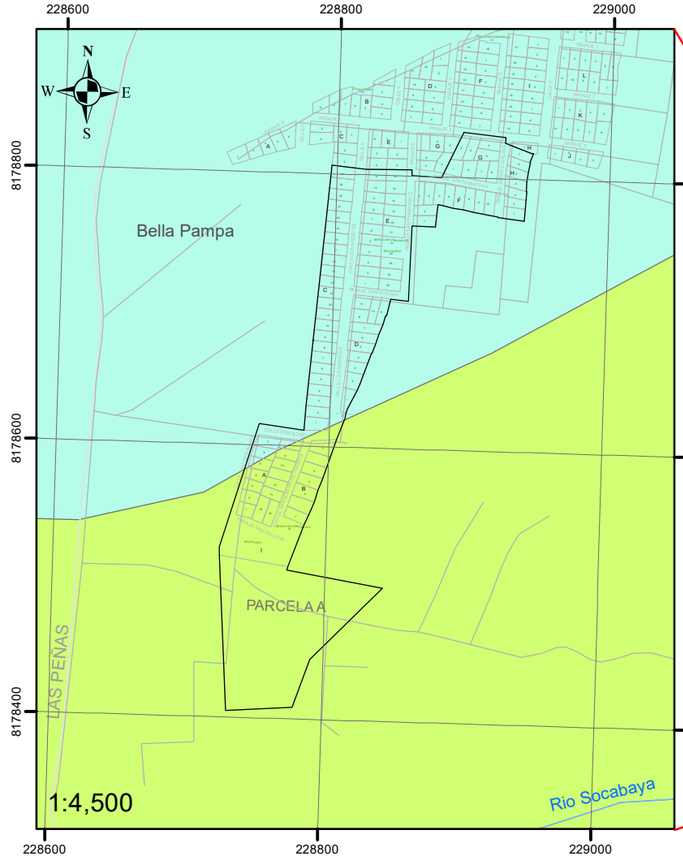
FACTOR DE SEGURIDAD

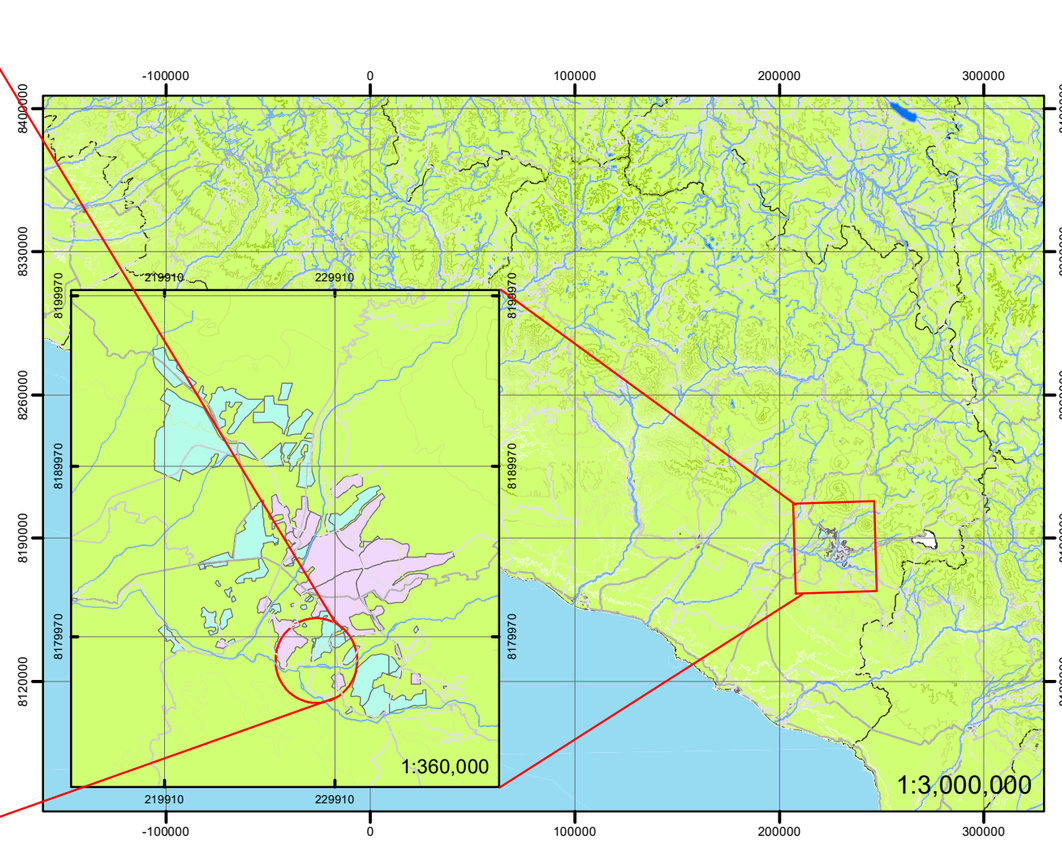
- Suelo Apto
- Suelo No Apto
- Zonas a ampliar estudio

NTE E.050 (2020)

TABLA 13.A

CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES (E.030)	FS_L mínimo
A	1.25
B	1.15
C	1.00





UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD:
Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

ESCUELA:
Ingeniería Civil

FECHA:
Diciembre 2021

PROYECTO DE GRADO:

Determinación del Potencial de Licuefacción de Suelos en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, Distrito de Socabaya, Provincia y Departamento de Arequipa, 2021

ELABORADO POR:

Delgado Montesinos, Victor Leoneld
Gil Florez, Jeanette

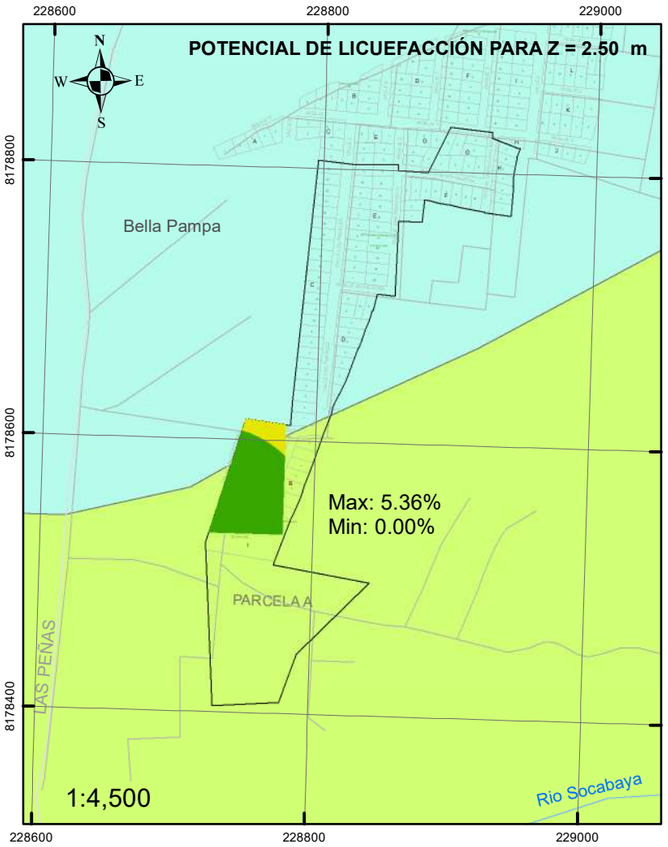
MAPA:
M-06

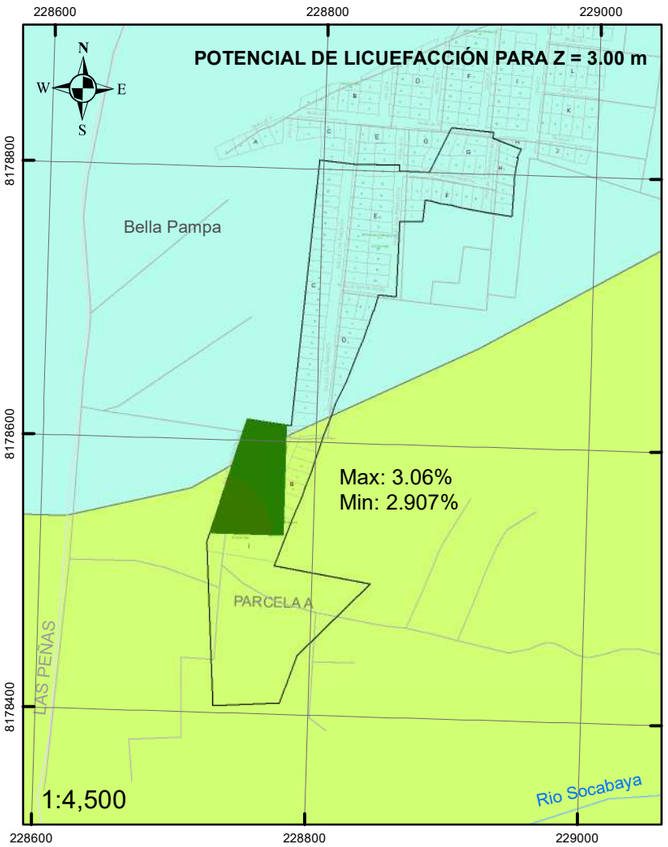
DATUM:
WGS 84

PROYECCIÓN:
UTM Zona 19 - Sur

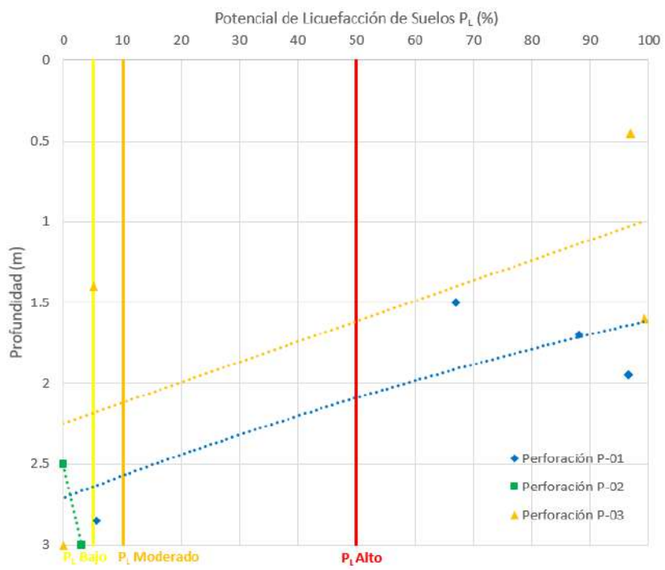
ESCALA:
Indicada

ZONIFICACIÓN RIGUROSA





CURVAS DE TENDENCIA PARA LOS VALORES DE POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS OBTENIDOS MEDIANTE LOS RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE DATO DE PERFORACIONES P-01, P-02 Y P-03



POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DETERMINADOS A PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOSEN LAS PERFORACIONES P-01, P-02 Y P-03

LEYENDA

POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS

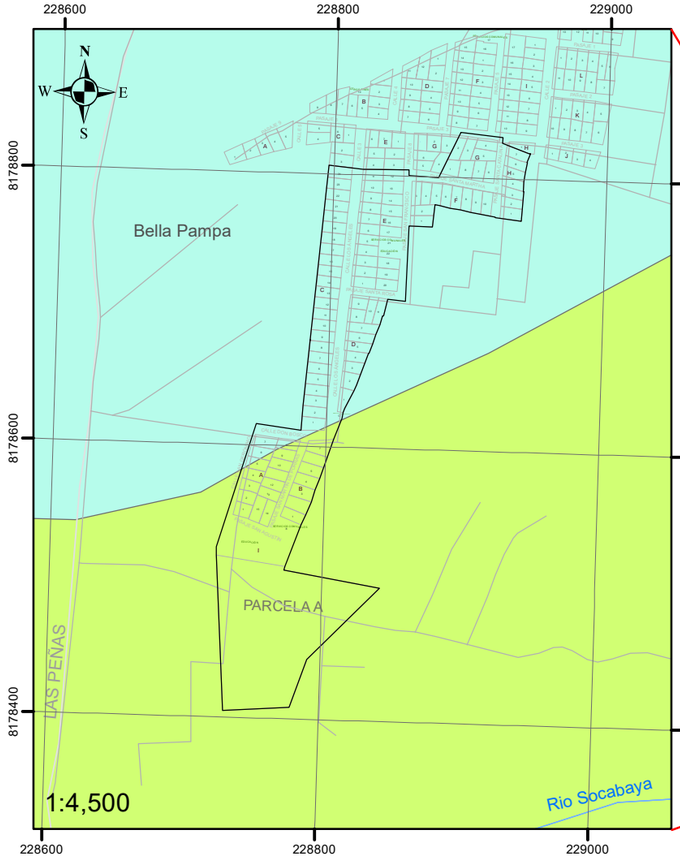
- Muy Bajo
- Bajo
- Moderado
- Alto
- Zonas a ampliar estudio

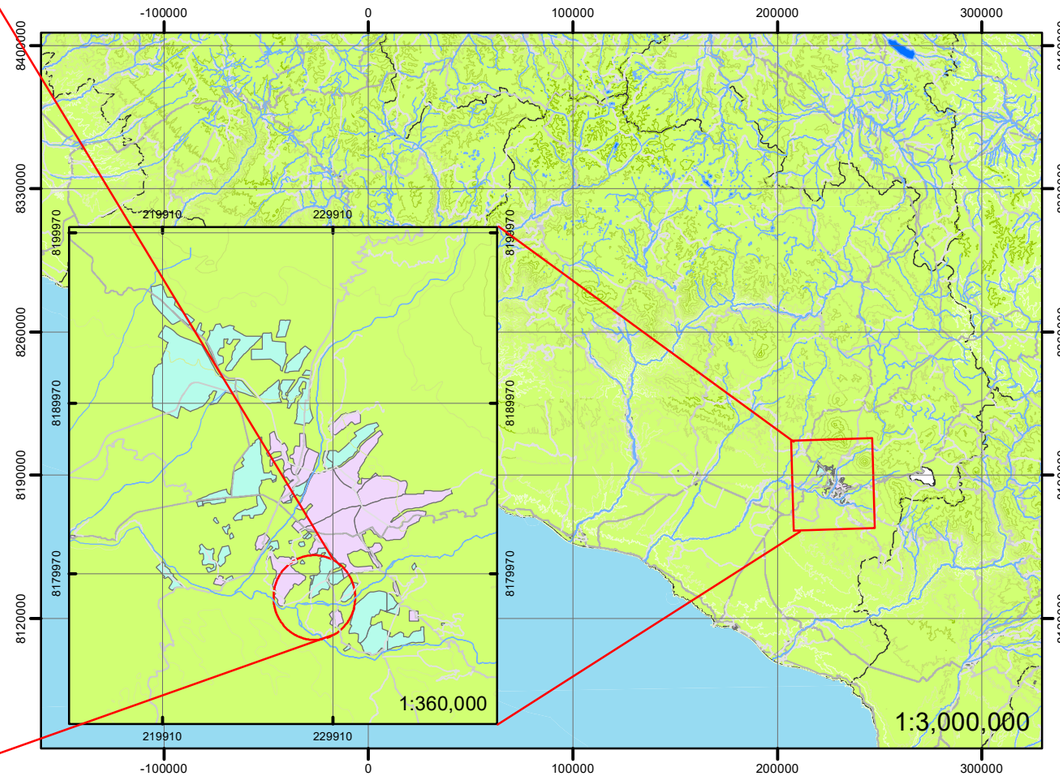
NTE E.050 (2020)

TABLA 13
CLASIFICACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN

Licuación	P_L
Alta	> 50%
Moderada	10% < P_L ≤ 50%
Baja	5% < P_L ≤ 10%
Muy baja	< 5%

Ref.: Iwasaki (1984)





UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD:
Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

ESCUELA:
Ingeniería Civil

FECHA:
Diciembre 2021

PROYECTO DE GRADO:
Determinación del Potencial de Licuefacción de Suelos en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, Distrito de Socabaya, Provincia y Departamento de Arequipa, 2021

ELABORADO POR:
Delgado Montesinos, Victor Leoneld
Gil Florez, Jeanette

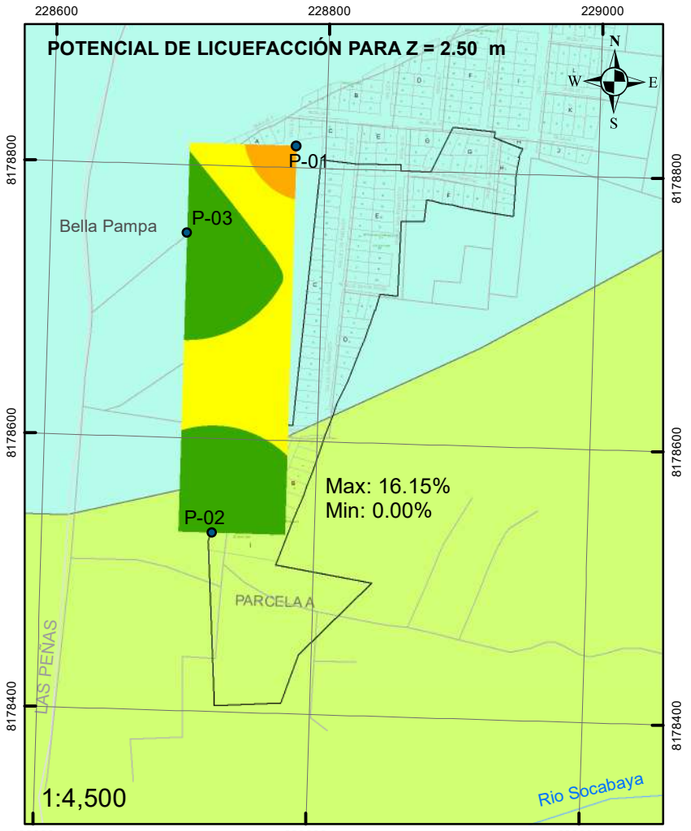
MAPA:
M-07

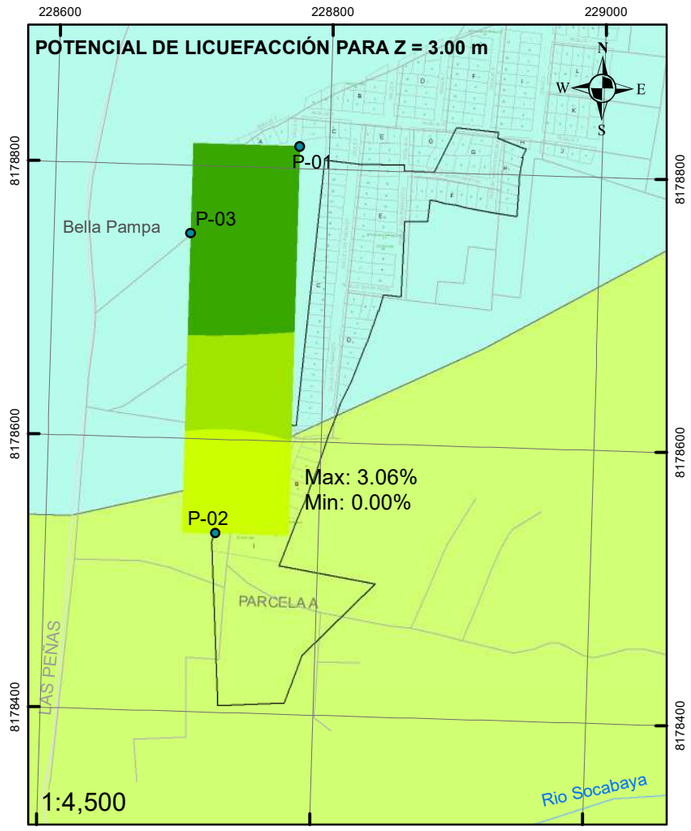
DATUM:
WGS 84

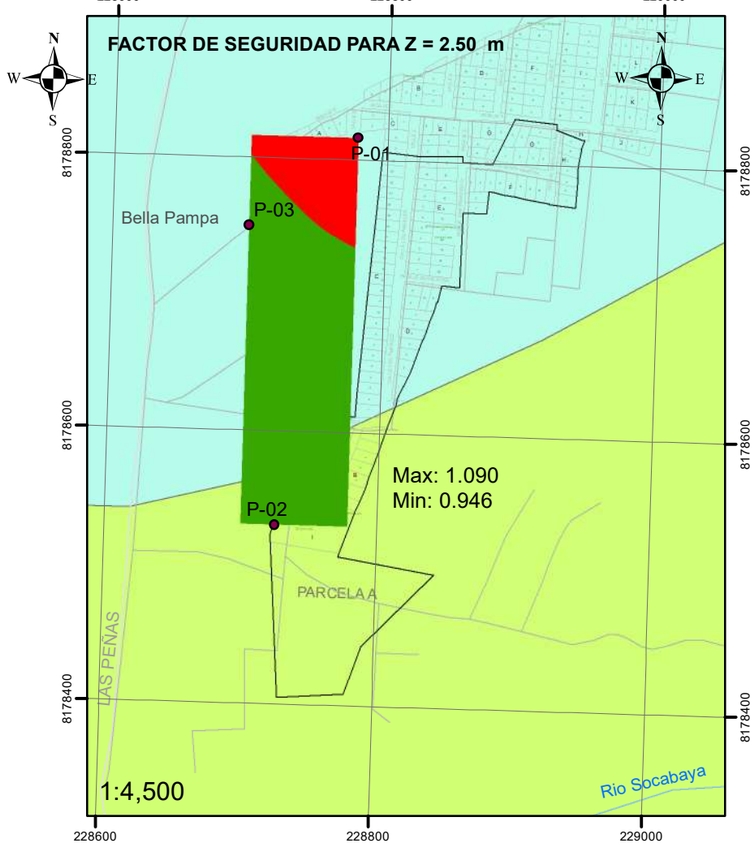
PROYECCIÓN:
UTM Zona 19 - Sur

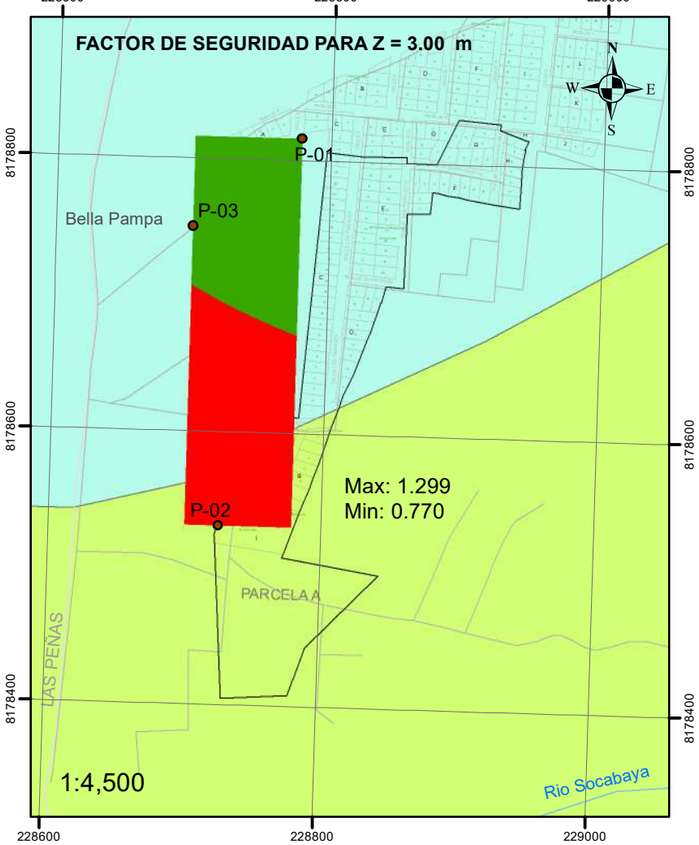
ESCALA:
Indicada

ZONIFICACIÓN RIGUROSA - INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA









FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA OCURRENCIA DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS

LEYENDA

FACTOR DE SEGURIDAD

- Suelo Apto
- Suelo No Apto
- Zonas a ampliar estudio

POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DETERMINADOS A PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOSEN LAS PERFORACIONES P-01, P-02 Y P-03

LEYENDA

POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS

- Muy Bajo
- Bajo
- Moderado
- Alto
- Zonas a ampliar estudio

NTE E.050 (2020)

TABLA 13.A

CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES (E.030)	FS_L mínimo
A	1.25
B	1.15
C	1.00

NTE E.050 (2020)

TABLA 13
CLASIFICACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN

Licuación	P_L
Alta	> 50%
Moderada	10% < P_L ≤ 50%
Baja	5% < P_L ≤ 10%
Muy baja	< 5%

Ref.: Iwasaki (1984)

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD:
Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

ESCUELA:
Ingeniería Civil

FECHA:
Enero 2022

PROYECTO DE GRADO:

Determinación del Potencial de Licuefacción de Suelos en el Asentamiento Humano Sor Ana de los Ángeles, Distrito de Socabaya, Provincia y Departamento de Arequipa, 2021

ELABORADO POR:
Delgado Montesinos, Victor Leoneld
Gil Florez, Jeanette

MAPA:
M-08

DATUM:
WGS 84

PROYECCIÓN:
UTM Zona 19 - Sur

ESCALA:
Indicada

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 16

DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Municipalidad de
Socabaya

Socabaya
Sostenible

"AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA"

Socabaya, 05 de octubre del 2021

CARTA N° 313- 2021-MDS/A-SG

Señora:
VICTOR LEONELD DELGADO MONTESINOS
CALLE ACAPULCO 416-A – JACOBO HUNTER
Celular: 973863040

Presente. -

Asunto : Se entrega información solicitada por Acceso a la Información Publica
Referencia: Reg. T. D. N° 8266; Reg. Acceso N° 082-2021

Mediante el presente me dirijo a usted para saludarlo a nombre de la Municipalidad Distrital de Socabaya.

Así mismo, en atención a la solicitud de la referencia, estando a lo normado en la Ley N° 27806; Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública y modificatoria, de acuerdo a lo informado en **INFORME N° 491-2021-MDS-/A-GM-GDU-SEPYGRD,** por la Sub Gerencia de Edificaciones Privadas y GRyD. de la Municipalidad Distrital de Socabaya, estando el Recibo de Caja 001 N° 092818, se remite a su persona la información requerida por acceso a la información pública, que va a 01 folio en A3 del "**PLANO CATASTRAL DEL ASENTAMIENTO HUMANO SOR ANA DE LOS ÁNGELES".**

Sin otro particular, quedo de Usted.

Atentamente;

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SOCABAYA
Abog. Yadira Velazco Agramonte de Moscoso
SECRETARIA GENERAL

MUNICIPALIDAD DE SOCABAYA

RUC: 20190520286 / Teléfono: (054) 435655
Calle San Martin Mz. L, Lt. 12, P.T. Socabaya

Contribuyente 001 Nº 0092818

RECIBO DE CAJA NRO 001-0092818

NOMBRES O RAZON SOCIAL : VICTOR LEONELD DELGADO MONTESINOS
DIRECCION FISCAL :

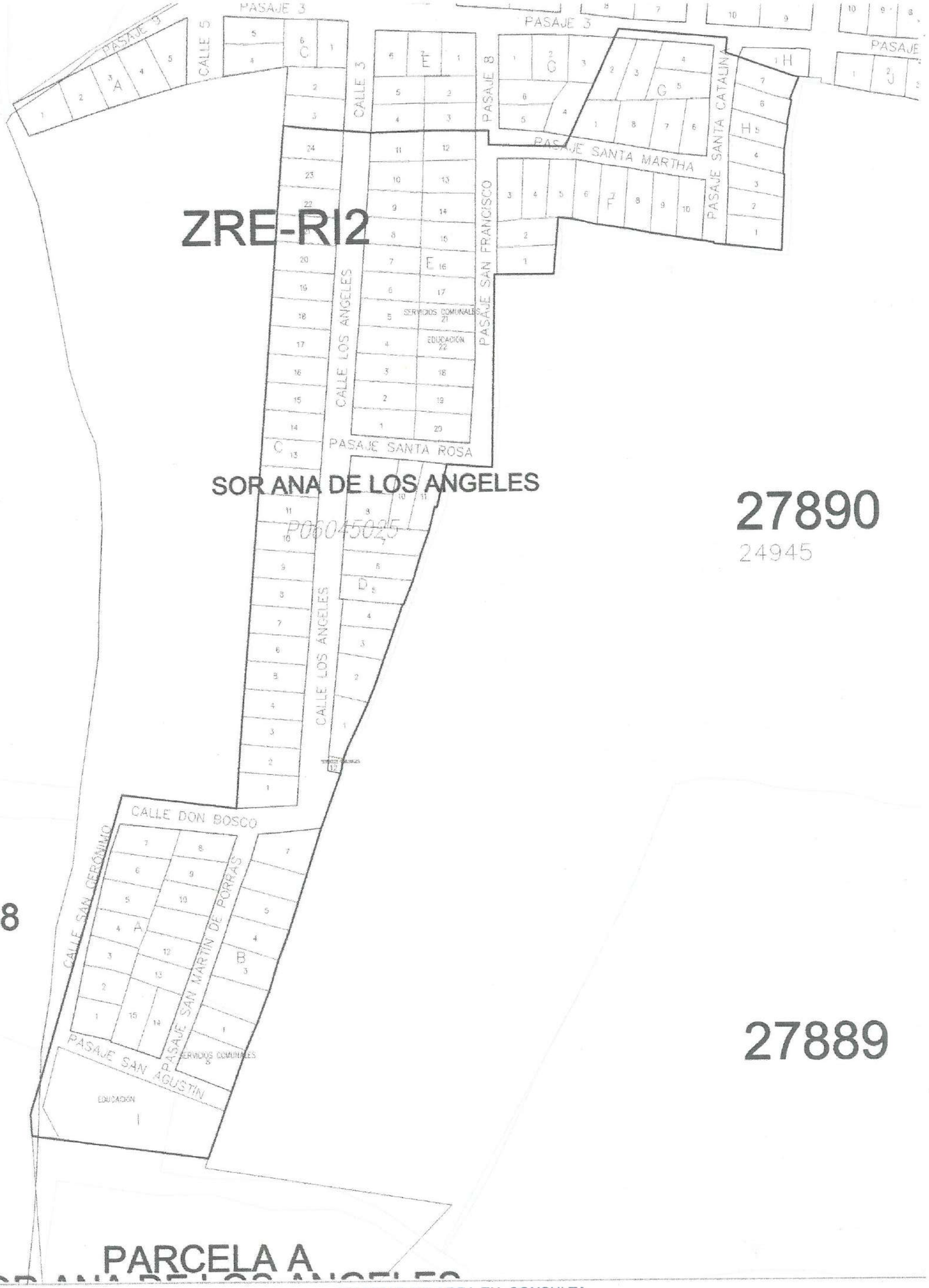
CUENTA	CODIGO	CONCEPTO - DESCRIPCION	TOTAL
1.3.210.199	082	Copias Simple de Documento (Sec. Gral) [illegible] 2021	1.00
		TOTAL A PAGAR:	1.00

Son: UNO CON 0/100 SOLES

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SOCABAYA
SEDE PRINCIPAL
05 OCT. 2021
CAJA
CANCELADO

Observaciones:INFORME N°491-2021-MDS/A-GM-GDU-SEPYGRD
Socabaya 5 de octubre del 2021 09:31:38.958 Digitador: CLD25

Fuertes por herencia



CROQUIS DE AREA EN CONSULTA

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

PANEL FOTOGRÁFICO

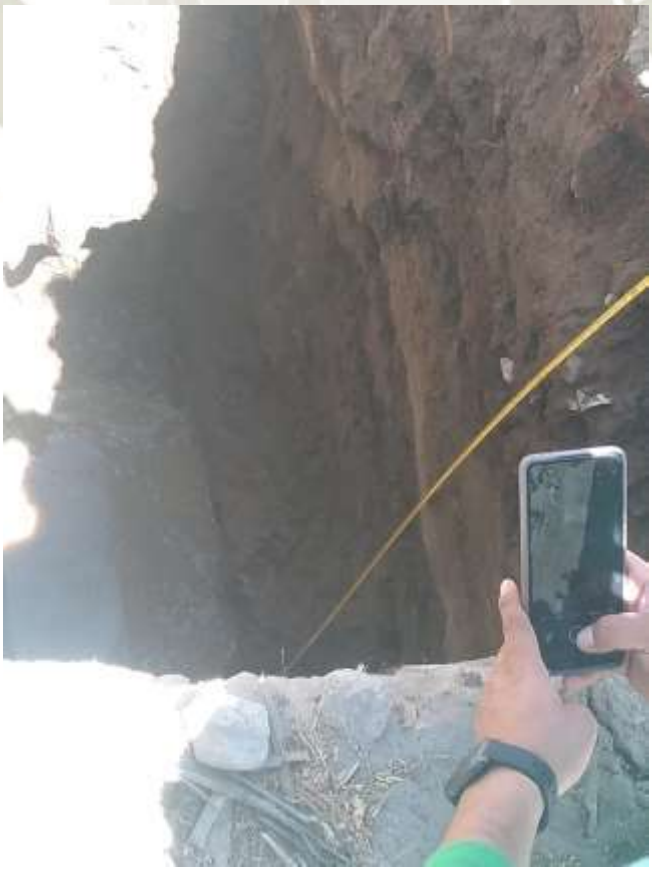
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Excavación de Calicata C – 01



Presencia de agua en la Calicata C – 01

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Calicata C – 01



Material de relleno, Calicata C – 01

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Material de relleno, Calicata C – 01



Suelo con agua, Calicata C – 01

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Excavación de la Calicata C – 02



Excavación de la Calicata C – 02

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Suelo húmedo, Calicata C – 02



Excavación de la Calicata C – 03

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Material de relleno húmedo, C – 03



Suelo con agua (presencia de piedras alargadas), C – 03

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Ensayo de MASW, colocación de geófonos



Ensayo de MASW, instalación de geófonos sobre el terreno

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Ensayo de MASW, golpe de comba



Ensayo de MASW, Conexión a la computadora que registra

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Ensayo de MASW, auscultación A – 01



Tendido de cable, auscultación A – 01

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Distanciamiento de geófonos, auscultación A – 01



Colocación de geófonos, auscultación A – 01

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
E SANTA MARÍA



Ensayo de MASW, auscultación A – 02



Tendido de geófonos, auscultación A – 02

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Muestras en bolsa de plástico, obtenidas de calicatas



Muestras de calicatas secadas en horno

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Ensayo de Contenido de humedad, peso de muestra secada en horno



Ensayo de Granulometría, selección de tamices

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Ensayo de Granulometría, secuencia de tamices de agregado grueso



Ensayo de Densidad máxima y mínima

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Ensayo de Densidad máxima



Ensayo de Límite Líquido

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Ensayo de Límite Líquido, muestra de suelo en la cuchara de Casagrande



Ensayo de Límite Líquido, muestra para determinar el contenido de humedad

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Ensayo de Límite Plástico



Ensayo de Corte directo, selección de muestra de suelo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Ensayo de Corte directo, preparación de muestra



Ensayo de Corte directo, colocación de muestra

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Ensayo de Corte directo, colocación de sobrecarga



Ensayo de Corte directo, muestra de suelo ensayada

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Ensayo de Corte directo, resultado de la muestra ensayada



Ensayo de Gravedad específica, peso de fiola + agua

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Ensayo de Gravedad específica, fiola + suelo



Ensayo de Gravedad específica, removiendo la fiola + suelo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Ensayo de Penetración Estándar, perforación P – 01



Muestra de suelo extraída para la perforación P – 02

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Piedras extraídas para la perforación P – 02



Piedras extraídas para la perforación P – 02

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Muestra en tubo de pared delgada, perforación P – 02



Muestra en tubo de pared delgada, perforación P – 02

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Extracción del Tubo de pared delgada, perforación P – 02



Muestra en Tubo de pared delgada, perforación P – 02

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
E SANTA MARÍA



Muestra en Tubo de pared delgada, perforación P – 02



Ensayo de Penetración Estándar, perforación P – 03

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



>Z

Ensayo de Penetración Estándar, perforación P – 03



Ensayo de Penetración Estándar, perforación P – 03

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Ensayo de Penetración Estándar, perforación P – 03

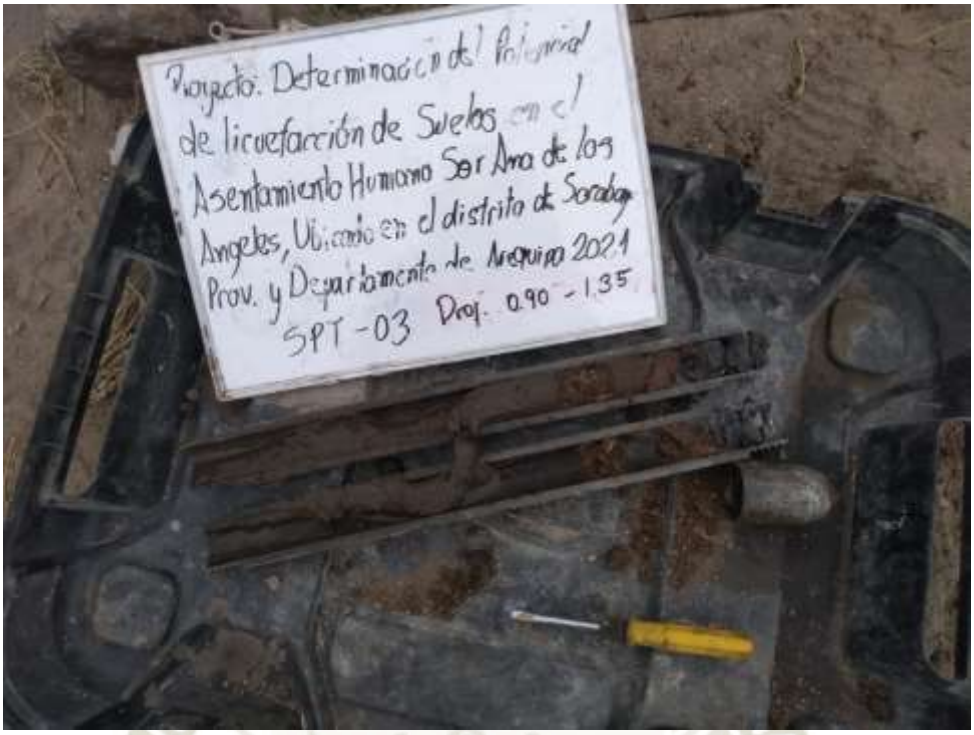


Perforación P – 03, tubo de pared delgada con muestra de suelo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Ensayo de Penetración Estándar, perforación P – 03



Perforación P – 03, muestra de suelo en tubo de pared delgada

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Perforación P – 03, muestra de suelo en tubo de pared delgada



Perforación P – 03, muestra de suelo del último estrato

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis