



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**“ESTUDIO DE LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE
LOS SUELOS EN EL ÁREA RURAL DE LA COMUNA SAN PABLO-CANTÓN
SANTA ELENA-PROVINCIA DE SANTA ELENA.”**

PROYECTO DE INVESTIGACION

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

AUTOR:

SIMON DIONICIO MACIAS GUARANDA

TUTOR:

MSC.GASTON PROAÑO CADENA

La Libertad, Ecuador

2020



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**“ESTUDIO DE LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE
LOS SUELOS EN EL ÁREA RURAL DE LA COMUNA SAN PABLO-CANTÓN
SANTA ELENA-PROVINCIA DE SANTA ELENA.”**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

AUTOR:

SIMON DIONICIO MACIAS GUARANDA

TUTOR:

MSC.GASTON PROAÑO CADENA

La Libertad, Ecuador

2020

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **SIMON DIONICIO MACIAS GUARANDA**, como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO CIVÍL**.

TUTOR

f. 

MSC. GASTON PROAÑO CADENA

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. 

ARQ. GILDA RUBIRA INFANTE

La Libertad, a los 05 del mes de Febrero del año 2020

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Estudio de caso “ESTUDIO DE LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE LOS SUELOS EN EL ÁREA RURAL DE LA COMUNA SAN PABLO-CANTÓN SANTA ELENA-PROVINCIA DE SANTA ELENA”, elaborado por EL Sr. SIMON DIONICIO MACIAS GUARANDA, egresado de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, me permito declarar que luego de haberlo dirigido, estudiado y revisado, lo apruebo en su totalidad.

TUTOR

f. 

MSC. GASTON PROAÑO CADENA

CO-TUTOR

f. 

DR. KERVIN CHUNGA MORÁN

La Libertad, a los 05 del mes de Febrero del año 2020

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **SIMON DIONICIO MACIAS GUARANDA**.

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “**ESTUDIO DE LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE LOS SUELOS EN EL ÁREA RURAL DE LA COMUNA SAN PABLO-CANTÓN SANTA ELENA-PROVINCIA DE SANTA ELENA**”, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 05 del mes de Febrero del año 2020

EL AUTOR

f. 

Macias Guaranda Simon Dionicio

AUTORIZACIÓN

Yo, **SIMON DIONICIO MACIAS GUARANDA**.

Autorizo a la Universidad Península de Santa Elena a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **"ESTUDIO DE LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE LOS SUELOS EN EL ÁREA RURAL DE LA COMUNA SAN PABLO-CANTÓN SANTA ELENA-PROVINCIA DE SANTA ELENA"** , cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los 05 del mes de Febrero del año 2020

EL AUTOR:

f. _____

Macias Guaranda Simon Dionicio

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

La Libertad, 5 de Febrero de 2020

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de titulación denominado "Estudio de la evaluación del potencial de licuefacción de los suelos en el área rural de la comuna San Pablo-Cantón Santa Elena-Provincia de Santa Elena", elaborado por el Sr. Simón Dionicio Macías Guaranda, egresado de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio URKUND, luego de haber cumplido los requerimientos exigidos de valoración, el presente proyecto ejecutado, se encuentra con el 6% de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

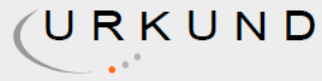
Adjunto reporte de similitud.

Tutor

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Gastón Proaño", is written over a horizontal line.

Ing. Gastón Proaño Cadena. MSc.

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS MACIAS.docx (D63503531)
Submitted: 2/6/2020 3:23:00 AM
Submitted By: gproano@upse.edu.ec
Significance: 6 %

Sources included in the report:

TESIS - Licuefaccion.docx (D13774954)

Instances where selected sources appear:

--

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGIA

RITA MARIDUEÑA TORRES

LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACION Y MENCION EN LENGUAS
Y LINGÜÍSTICA

MASTER EN EDUCACION SUPERIOR,

DOCENTE SUPERIOR.

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGIA

A petición del interesado tengo a bien certificar que he realizado la revisión y el análisis del contenido del presente trabajo de titulación con el tema:

“ESTUDIO DE LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE LOS SUELOS EN EL ÁREA RURAL DE LA COMUNA SAN PABLO-CANTÓN SANTA ELENA-PROVINCIA DE SANTA ELENA.” Del egresado SIMON DIONICIO MACIAS GUARANDA, de la carrera de ingeniería civil de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Que el mencionado trabajo, en el contexto general, cumple con los requisitos lingüísticos dados por la Real Academia Española para uso del idioma español.

Certificación, que se otorga en la ciudad de Santa Elena a los cinco días del mes de Febrero del dos mil veinte, para fines académicos respectivos.

CERTIFICA:



MSc. RITA MARIDUEÑA TORRES.

C.I. 0914788732.

Nº REGISTRO SENECYT

1006-12-86028624

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme salud y sabiduría para poder culminar con éxito este trabajo durante su desarrollo

A mi familia por estar siempre presente a lo largo de la mi carrera universitaria.

A las autoridades y personal Académico de la Universidad Estatal Península de Santa Elena por liderar el proceso de formación profesional.

A la Arquitecta Gilda Rubira, Directora de nuestra carrera por su apoyo y fortaleza para lograr nuestras metas.

A la Ing. Lucrecia Moreno y a su empresa **INGEOTOP** por brindarme el apoyo necesario para la realización de mí trabajo de tesis.

Al Ing. PhD Kervin Chunga, cotutor de tesis porque con sus ideas científicas y profesionales me orientó en el desarrollo de mi trabajo

Al Ing. Eduardo Ortiz, docente de la Universidad Técnica de Manabí por aportar con sus conocimientos científicos a este trabajo de investigación

Al Ing. Gastón Proaño Cadena por su apoyo con sus conocimientos y profesionalismo para la culminación de mi tesis.

Al Ing Wiston Ojeda por su apoyo incondicional y su gran amistad.

Simón Dionicio Macias Guaranda

DEDICATORIA

Este proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Civil es la culminación de una de las etapas más importantes de mi vida, porque me permite desarrollarme como persona y como un profesional con los principios y ética inculcados en nuestra prestigiosa Universidad.

Dedico este trabajo de manera especial a Dios porque gracias el he logrado cristalizar mis metas.

A mis familiares porque gracias a su apoyo se convirtieron en mi fortaleza para alcanzar este propósito.

A mi madre Angelita Guaranda .

Simon Dionicio Macias Guaranda.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

ING. JUAN GARCÉS VARGAS

DECANO DE LA FACULTAD

f. 

ARQ. GILDA RUBIRA INFANTE

DIRECTOR DE CARRERA

f. 

ING. LUCRECIA MORENO ALCIVAR, Mgt

COORDINADOR O DOCENTE DEL ÁREA

f. 

ABG. LIDIA VILLAMAR MORAN, Mgt

SECRETARIO GENERAL (E)

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	III
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	IV
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	V
AUTORIZACIÓN	VI
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO.....	VII
AGRADECIMIENTOS.....	X
ÍNDICE.....	VIII
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	XI
ABREVIATURAS.....	XVII
RESUMEN.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I	4
1. GENERALIDADES.....	4
1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	4
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	4
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.	5
1.4 ALCANCES DEL ESTUDIO DEL PROYECTO.....	5
1.5 HIPÓTESIS.....	5
1.6 OBJETIVOS.	5
1.7 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.	6
CAPITULO II	8
2. GEOGRAFÍA DEL SITIO.....	8
2.1 Ubicación de zona de estudio.....	8
2.2 Área de estudio del proyecto.....	8
2.3 Población de diseño para zona de estudio.....	9
2.4 Método de cálculo de la población futura.....	9
2.5 Clima Provincia de Santa Elena.....	13
2.6 Geomorfología.....	14
CAPITULO III	15
3. MARCO TEÓRICO.....	15
3.1 Compilación de datos geológicos, geotécnicos y geofísicos.....	15
3.2 Métodos de recolección de datos y bibliografía.....	15
3.3 Delimitación de zona de estudio.	15
3.4 Muestreo de Zona de Estudio.....	15
3.5 Parámetros geotécnicos.....	21

3.6	Método basado en el número de golpes del ensayo del SPT	28
3.7	Método simplificado para estimar potencial licuefacción.....	30
3.7.5	Índice de potencial de licuefacción (LPI)	38
CAPITULO IV	44
4.	Sismotectónica y Fuentes Sísmicas.....	44
4.1	Sismicidad histórica.....	44
4.2	Caracterización sísmica de fallas geológicas.....	47
4.3	Aceleración máxima	55
4.4	Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones.....	60
4.5	Establecimiento de los espectros.....	61
CAPITULO V	63
5.	Geología regional.....	63
5.1	Litoestratigrafía.....	63
5.2	Geomorfología de la Provincia de Santa Elena.....	70
5.3	Geomorfología zona de Estudio.....	70
5.4	Principales unidades geomorfológicas de la zona de estudio.....	72
CAPITULO VI	75
6.	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE SUSCEPTIBILIDAD DE LICUEFACCIÓN.....	75
6.1	Estudios de suelos recopilados en la zona de Estudio.....	75
6.2	Manejo y filtrado de información.....	76
6.3	Potencial de licuefacción de suelos en la zona de san pablo.....	78
6.4	Criterio según Tamaño de partículas.....	82
6.5	Características estratigráficas de los suelos de San Pablo.....	85
6.6	Susceptibilidad de deformación cosísmica de suelos recientes	86
6.7	Profundidad del nivel freático.....	87
6.8	Amplitud y duración de la vibración del terreno.....	88
6.9	Correlaciones de los ensayos SPT.....	89
6.10	Correlación limite liquido y limite plástico	89
6.11	Análisis de esfuerzos de los suelos.....	92
6.12	Analisis de el valor N1(60) corregido según su profundidad.....	98
6.13	Velocidad de corte según su profundidad.....	104
6.14	Factor de seguridad según su profundidad.....	111
6.15	Indice potencial de licuefaccion de la zona de estudio.....	116
6.16	Probabilidad de licuefaccion	121
CAPITULO VII	126
7.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	126

CAPITULO VIII	128
8. Conclusiones y recomendaciones.....	128
8.1 Conclusiones.....	128
8.2 Recomendaciones propuestas en este estudio.....	129
8.3 BIBLIOGRAFIA	130
8.4 ANEXOS	139
ANEXO 2. Perfiles geotecnicos utilizados en el proyecto, facilitados por la empresa Ingeotop.sa.....	141

INDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustracion 1. 1: Fase metodológica de evaluación del riesgo de licuefacción para San Pablo, en la provincia de Santa Elena:	7
Ilustracion 2. 1: Área de Estudio Comuna San Pablo.	8
Ilustracion 2. 2: Crecimiento Poblacional de Zona de Estudio.	12
Ilustracion 2. 3: Mapa geomorfológico de la provincia de Santa Elena.....	14
Ilustracion 3. 1: Ubicación geográfica de la Comuna Ayangue,-Urbanizacion Casa de Sol.16	
Ilustracion 3.2: Vista satelital de la Comuna Ayangue.	17
Ilustracion 3.3: Ubicacion geografica del sector Punta Blanca.	17
Ilustracion 3. 4: Vista satelital del sector Punta Blanca.	18
Ilustracion 3.5: Ubicación geografica de San Pablo, localización de perforaciones - Laboratorio de larvas LARVIQUEST SA.	19
Ilustracion 3. 6: vista satelital de San Pablo, Estero Pungay.....	19
Ilustracion 3.7: Ubicación geografica de San Pablo, localización de perforaciones urbanización Rosabelle.	20
Ilustracion 3.8: vista satelital de San Pablo, Estero Pungay y Rio San Pablo.	20
Ilustracion 3.9: Método de Seed & Cetin et al., (2003).....	22
Ilustracion 3.10: Relación entre la potencial de licuación y los valores de N_{spt} para diferentes profundidades z (m).	24
Ilustracion 3. 11: .Gráfica de correlación entre CSR y el $(N1)_{60}$	26
Ilustracion 3. 12 : Variación del coeficiente de reducción de esfuerzos r_d con la profundidad y la magnitud del sismo.	29
Ilustracion 3. 13: Definición de espesores de los sub-estratos licuables.	37
Ilustracion 3. 14: Vivienda con asentamiento en el sector Comuna Ayangue luego del sismo del 31 de Marzo del 2019.....	42
Ilustracion 3. 15: Borde de camaronera Cenaim sector Comuna Palmar Barrio Sta. María se observa fisuras y volcanes de arena luego del sismo del 31 de marzo 2019 de 6.1 Mw en Salinas.....	42
Ilustracion 3. 16 : Roca deslizada desde el cerro de Ayangue producto del sismo del 31 de marzo del 2019.....	43
Ilustracion 4. 1: Mapa de sismos históricos para la península de Santa Elena.....	47
Ilustracion 4. 2: Secuencia sísmica para la zona de santa Elena.	48
Ilustracion 4. 3: Fallas geológicas activas de San José, Achiote y Valdivia, las más cercanas al sitio de estudio.	55
Ilustracion 4. 4: Mapa de aceleraciones en roca calculado desde fallas geológicas activas y zona de subducción.	56
Ilustracion 4. 5: Zonas con igual aceleración sísmica.	57
Ilustracion 4. 6: Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones.....	60
Ilustracion 4. 1: Mapa de sismos históricos para la península de Santa Elena.....	47
Ilustracion 4. 2: Secuencia sísmica para la zona de santa Elena.	48
Ilustracion 4. 3: Fallas geológicas activas de San José, Achiote y Valdivia, las más cercanas al sitio de estudio.	55
Ilustracion 4. 4: Mapa de aceleraciones en roca calculado desde fallas geológicas activas y zona de subducción.	56
Ilustracion 4. 5: Zonas con igual aceleración sísmica.	57
Ilustracion 4. 6: Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones.....	60

Ilustracion 5. 1: Mapa geológico regional referido para el sitio San Pablo. Extracto del mapa de geología de la costa de Ecuador.....	64
Ilustracion 5. 2: Columna estratigráfica de las formaciones geológicas del Bloque de Santa Elena.	69
Ilustracion 5. 3: a)Vista satelital comuna Ayangue, b)vista satelital comuna San Pablo, c) vista satelital ruta spondylus.	74
Ilustracion 6. 1 Curvas granulométricas del Sector San Pablo.....	79
Ilustracion 6. 2 Curvas granulométricas de los sectores Ayangue y Punta Blanca.....	80
Ilustracion 6. 3 Curvas granulométricas del sector San Pablo comparado con las curvas granulométricas patrón para suelos mal gradados propuestos por el código japonés.	80
Ilustracion 6. 4 curvas granulométricas de los sectores Ayangue y Punta Blanca comparados con las cunulométricas patrón para suelos mal gradados propuestos por el código japonés.	82
Ilustracion 6. 5 Criterio de curva de FC(Contenido de fino) según su profundidad.a) San Pablo SPT-1, b) San Pablo SPT-2, c) San Pablo SPT-3 y d) San Pablo SPT-4.....	83
Ilustracion 6. 6 Análisis De la suceptibilidad de licuefaccion basado en los criterios propuestos por seed et al. 2003, los rectángulos celeste se trazan para mostrar las áreas suceptibles a la licufaccion de suelo,mientras que el área blanca indica las no licuables sector Ayangue -Punta Blanca.	90
Ilustracion 6. 7 Análisis De la suceptibilidad de licuefaccion basado en los criterios propuestos por seed et al. 2003, los rectángulos celeste se trazan para mostrar las áreas suceptibles a la licufaccion de suelo,mientras que el área blanca indica las no licuables sector San Pablo.....	91
Ilustracion 6. 8 Criterio de N1(60)corregido según su profundidad.a) San Pablo SPT-1, b) San Pablo SPT-2, c) San Pablo SPT-3 y d) San Pablo SPT-4.	100
Ilustracion 6. 10 Grafica de distribucion de valores NSPT en funcion de su profundidad.	103
Ilustracion 6. 9 Relacion entre la posibilidad de licuacion y los valores NSPT para diferente profundidades z(m).	103
Ilustracion 6. 11 Criterio de la velocidad de corte (Vs) según su profundidad.a) San Pablo SPT-1, b) San Pablo SPT-2, c) San Pablo SPT-3 y d) San Pablo SPT-4.....	105
Ilustracion 6. 12 Perfiles de velocidad de onda de corte vs profundidad.zona san pablo..	110
Ilustracion 6. 13 Resultados de cálculos de factor de seguridad de acuerdo con la profundidad para diferentes unidades litológicas en la ciudad de San Pablo.....	116
Ilustracion 6. 14 Distribucion del índice de potencial de licuefaccion para el área urbano-rural de la Comuna San Pablo.....	120
Ilustracion 6. 15 Relacion entre CSR y la resistencia a la penetracion corregida de la Ciudad de San Pablo-Santa Elena.	122
Ilustracion 6. 16 Resultados de la probabilidad de licuefaccion (PL) según su factor de seguridad para cada pozo en la Ciudad de San Pablo –Santa Elena.	124

INDICE DE TABLAS.

Tabla 2. 1: Números de habitantes, superficie y densidad poblacional por comuna.	9
Tabla 2. 2: Población futura de acuerdo al método aritmético o lineal.....	10
Tabla 2. 3: Población Futura de acuerdo al Método Geométrico.	11
Tabla 2. 4: comparación de valores estimados de acuerdo a los dos métodos.....	12
Tabla 2. 5: Población Futura de Área de Estudio.....	12
Tabla 2. 6: Calculo de densidad Poblacional futura.....	13
Tabla 3. 1: Estudio recopilado de la Vivienda Cristóbal Illinworth-Urbanización Casa de Sol –Ayangue.....	16
Tabla 3.2: Estudio recopilado Residencia de 3 plantas, Familia Abella López-Punta Blanca.	17
Tabla 3. 3: Estudio recopilado LARVIQUEST.S. A-San Pablo.....	18
Tabla 3.4: Estudio recopilado Urbanización Rosabelle- San Pablo.....	19
Tabla 3. 5: Criterios de la norma francesa para suelos arenosos con fracción de arcilla.	22
Tabla 3. 6: Criterios de la norma francesa para suelos arenosos limosos.	22
Tabla 3. 7: Valores de α y β en función del contenido de finos.....	34
Tabla 3. 8: Factor de escala de magnitud (MSF).	35
Tabla 3. 9: Clasificación probabilidad de licuefacción propuesta por Cheng and Juang (2000).....	37
Tabla 3. 10: Categorías potencial de licuefacción basadas en valor LPI propuestas por Iwasaki et al. (1982).....	39
Tabla 3. 11: Categorías potenciales de licuefacción basadas en valor LPI propuestas por Sonmez (2003).....	41
Tabla 4. 1: Sismos moderados a altos documentados en el catálogo CERESIS y registrados por el NEIC en el orden de magnitudes mayores a 5.5, mientras que sismos moderados mayores a 5 son registrados desde la red local de sismogramas del EPN para el Golfo de Guayaquil y parte de la península de Santa Elena.....	46
Tabla 4. 2: Catálogo de fallas activas y capaces de generar terremotos con magnitudes entre los 6.35 a 6.84. La delineación estructural en el terreno puede ser observada en la Ilustración 4.1.	53
Tabla 4. 3: Valores del factor z en función de la zona sísmica.	57
Tabla 4. 4: Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico.	58
Tabla 4. 5: Tipo de Suelo y Factor de Sitio Fa.	59
Tabla 4. 6: Tipo de suelo y factor de sitio.Fd	59
Tabla 4. 7: Tipo de Suelo y Factor de Sitio.Fs.....	60
Tabla 4. 8: Poblaciones ecuatorianas (Provincia de Santa Elena) y valor del factor Z.....	62
Tabla 5. 1: Definiciones geológicas de diversos Autores para el Grupo Ancón.....	63
Tabla 5. 2: Unidades geomorfológicas en la provincia de Santa Elena -zona de estudio.	72
Tabla 6. 1: Coordenadas de las perforaciones de la zona de Estudio.	76
Tabla 6. 2 Resultados estadísticos del Análisis de parámetros del suelo del área de la Comuna San Pablo-Sta. Elena.	77
Tabla 6. 3 Resultados estadísticos del análisis de parámetros del suelo del área de la Comuna Ayangue y Sector Punta Blanca-Sta. Elena.....	77
Tabla 6. 4 Valores promediados de la granulometría de la zona de estudio San Pablo.....	78
Tabla 6. 5 Evaluación de la susceptibilidad de licuación de acuerdo a la granulometría para el Sector Ayangue, Punta Blanca y San Pablo.....	79

Tabla 6. 6	Analisis según tamaño de partículas.SPT/Zona San Pablo.	83
Tabla 6. 7	Analisis de resultados de acuerdo a los criterios de Tokimatsu y Yoshimi 1983 de contenido de finos en las perforacion San Pablo Spt-1.	83
Tabla 6. 8	Analisis de resultados de acuerdo a los criterios Tokimatsu y Yoshimi 1983 de contenido de finos en las perforacion San Pablo Spt-2.	84
Tabla 6. 9	Analisis de resultados de acuerdo a los criterios Tokimatsu y Yoshimi 1983 de contenido de finos en las perforacion San Pablo Spt-3.	85
Tabla 6. 10	Analisis de resultados de acuerdo a los criterios de Tokimatsu y Yoshimi 1983 de contenido de finos en las perforacion San Pablo Spt-4.	85
Tabla 6. 11	Evaluación de la susceptibilidad de licuación de acuerdo al origen de suelo para el Sector Ayangue y San Pablo.	86
Tabla 6. 12	Evaluación de la susceptibilidad de licuación de acuerdo a la edad de suelo. ...	86
Tabla 6. 13	Evaluación de la susceptibilidad de licuación de acuerdo al nivel freatico.	87
Tabla 6. 14	Evaluación de la susceptibilidad de licuación de acuerdo a la aceleración.	88
Tabla 6. 15	Criterios según origen de suelos.	89
Tabla 6. 16	Resumen de tamaño y uniformidad de las partículas del suelo de la zona estudiada.	92
Tabla 6. 17	Analisis de esfuerzos de los suelos según perfil de perforacion San Pablo 1. ..	93
Tabla 6. 18	Analisis de esfuerzos de los suelos según perfil de perforacion San Pablo 2. ..	94
Tabla 6. 19	Analisis de esfuerzos de los suelos según perfil de perforacion San Pablo.	96
Tabla 6. 20	Analisis de esfuerzos de los suelos según perfil de perforacion San Pablo 4. ..	97
Tabla 6. 21	Analisis N1 (60) corregido según su profundidad.zona de estudio San Pablo... ..	98
Tabla 6. 22	Analisis de suceptibilidad de licuacion N1(60) corregido según su profundidad NSPT-San Pablo.	100
Tabla 6. 23	Analisis de suceptibilidad de licuacion N1(60) corregido según su profundidad NSPT-San Pablo 2.	101
Tabla 6. 24	Analisis de suceptibilidad de licuacion N1(60) corregido según su profundidad NSPT-San Pablo 3.	102
Tabla 6. 25	Analisis de suceptibilidad de licuacion N1(60) corregido según su profundidad NSPT-San Pablo 3.	102
Tabla 6. 26	Analisis de velocidad de corte (otha & goto , 1978) según su profundidad.San Pablo.	104
Tabla 6. 27	Analisis de licuefaccion con relacion a los perfiles de velocidad de corte de la perforación NSPT San Pablo -1.	106
Tabla 6. 28	Analisis de licuefaccion con relacion a los perfiles de velocidad de corte de la perforación NSPT San Pablo -2.	107
Tabla 6. 29	Analisis de licuefaccion con relacion a los perfiles de velocidad de corte de la perforación NSPT San Pablo -3.	108
Tabla 6. 30	Analisis de licuefaccion con relacion a los perfiles de velocidad de corte de la perforación NSPT San Pablo -3.	108
Tabla 6. 31	Analisis de parametros para CSR tomando en cuenta una $M_w = 7.5$	111
Tabla 6. 32	Analisis del Factor de seguridad San Pablo -1 según su profundidad.....	112
Tabla 6. 33	Analisis del Factor de seguridad San Pablo -2 según su profundidad.....	113
Tabla 6. 34	Analisis del Factor de seguridad San Pablo -3 según su profundidad.....	114
Tabla 6. 35	Analisis del Factor de seguridad San Pablo -3 según su profundidad.....	115
Tabla 6. 36	Analisis del indice de probabilidad de licuefaccion (LPI) -San Pablo-1.	117

Tabla 6. 37	Analisis del indice de probabilidad de licuefaccion (LPI) -San Pablo-2.	118
Tabla 6. 38	Analisis del indice de probabilidad de licuefaccion (LPI) -San Pablo-3.	119
Tabla 6. 39	Analisis del indice de probabilidad de licuefaccion (LPI) -San Pablo-4.	120
Tabla 6. 40	Analisis de la probabilidad de licuefacci3n de la zona de estudio.	121
Tabla 6. 41	Analisis de probabilidad de licuefaccion PL-zona de estudio.....	123
Tabla 6. 42	Analisis de correlacion entre PL -FS.....	124

INDICE DE ECUACIONES.

Ecuacion 2. 1: Cálculo de Pf mediante el Método Aritmético o Lineal	10
Ecuacion 2. 2: Tasa de cambio de Población.....	10
Ecuacion 2. 3: cálculo de población futura mediante el Método Geométrico.	10
Ecuacion 2. 4: tasa de crecimiento geométrico.....	11
Ecuacion 2.5: cálculo de la Densidad Poblacional.	13
Ecuacion 3. 1: Velocidad de propagación de ondas de corte.....	25
Ecuacion 3. 2: Factor de Corrección.....	25
Ecuacion 3.3: esfuerzo de corte cíclico.....	29
Ecuacion 3. 4: valor promedio de la relación de tensiones cíclicas (CSR).....	30
Ecuacion 3.5 : factor del coeficiente de reducción.	31
Ecuacion 3. 6: Fórmulas de acuerdo a diferentes profundidades de z.	31
Ecuacion 3. 7: Resistencia cíclica del estrato de suelo arenoso.....	31
Ecuacion 3. 8: Resistencia cíclica del estrato de suelo arenoso.....	32
Ecuacion 3. 9: Expresiones deducida por Bazaraa, (1967).....	32
Ecuacion 3. 10: Expresión deducida por Peck et al., (1974).	32
Ecuacion 3. 11: Expresión deducida por Seed et al., (1975).	32
Ecuacion 3. 12: Expresión deducida por Lio & Whitman, (1986)	33
Ecuacion 3. 13: Las expresiones deducida por Skempton, (1986).	33
Ecuacion 3. 14: La expresión deducida por Kayen et al., (1992).	33
Ecuacion 3. 15: CRR, en arenas limpias.....	34
Ecuacion 3. 16: Para arenas limosas o arcillosas.	34
Ecuacion 3. 17: Corrección de escala de magnitud para valores de CRR.	35
Ecuacion 3. 18: Corrección de escala de magnitud para valores de CSR.....	35
Ecuacion 3. 19: Factores correctivos MSF.	35
Ecuacion 3. 20: Factor de seguridad licuefacción (FS).	36
Ecuacion 3. 21: Probabilidad de licuefacción (PL).....	37
Ecuacion 3. 22: Expresión propuesta por Iwasaki.	38
Ecuacion 3. 23: nueva clasificación a la propuesta por Iwasaki.....	40
Ecuacion 3. 24: (Sonmez, 2003) modificación en el término F (z).	40
Ecuacion4. 1: Magnitud estimada (Mw).....	49
Ecuacion 4. 2: Desplazamiento de falla (en metros).....	49
Ecuacion 4. 3: modificaciones y correcciones a la formula para estimar máximas magnitudes. siendo los coeficientes de, a=1.52 y b=4.33.	49
Ecuacion 4. 4: Fallas cizallas.	50
Ecuacion 4. 5: Fallas normales.	50
Ecuacion 4. 6: Fallas inversas.....	50
Ecuacion 4. 7: PGAestimado.	51

ABREVIATURAS

SUCS Unified Soil Classification System (Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos).

AASHTO American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes).

ASTM American Society for Testing Materials (Sociedad Americana para Ensayos de materiales).

LP Límite Plástico.

LL Límite Líquido.

IP Índice de Plasticidad.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

TEMA: “ESTUDIO DE LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE LOS SUELOS EN EL ÁREA RURAL DE LA COMUNA SAN PABLO-CANTÓN SANTA ELENA-PROVINCIA DE SANTA ELENA”

Autor: Simon Dionicio Macias Guaranda

Tutor: Msc.Gaston Proaño Cadena.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con el fin de evaluar el potencial de licuefacción de suelo en la zona costera de la Comuna San Pablo teniendo en cuenta por rasgos geológicos y geotécnicos que la zona referida posee suelos cuaternarios holocenos y que al ser sometidos a movimientos sísmicos son propensos a sufrir licuefacción.

En el mismo se plantea una metodología determinística determinada y estructurada que permita evaluar el potencial de licuefacción de suelo pudiéndose así identificar y delimitar que zonas son potencialmente licuables en las áreas de estudio. Obtenida la información necesaria, post evaluación se da a conocer mediante mapas que lugares están propensos a sufrir licuefacción de suelos, en aquellas zonas que sean vulnerables a sufrir este fenómeno. El objetivo de la tesis es emplear los Sistemas de Información Geográfica para la ayuda en el entendimiento y comprensión de la existencia de factores como la geomorfología, posición del nivel freático y condiciones del suelo que pueden inducir a un riesgo potencial de licuación en la Comuna de San Pablo.

Además se emplearán programas como ArcGIS10.4.1 y Surfer 16 para elaborar los mapas de peligrosidad sísmica de Santa Elena. Que nos permitirán hacer un balance indicativo sobre el potencial o el nivel de licuefacción con respecto a la zona de estudio.

Palabras Claves: Geología, geotecnia, licuefacción, mapas.

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

THEME: “STUDY OF THE EVALUATION OF THE POTENTIAL OF LIQUORING OF THE SOILS IN THE RURAL AREA OF THE COMUNA SAN PABLO-CANTÓN SANTA ELENA-PROVINCE OF SANTA ELENA”

Autor: Simon Dionicio Macias Guaranda.

Tutor: Msc.Gaston Proaño Cadena.

ABSTRACT

This research work was carried out in order to evaluate the potential for soil liquefaction in the coastal zone of the Comuna San Pablo, considering by geological and geotechnical features, that the referred area has Holocene quaternary soils and that when being submitted to seismic movements ,they are prone to liquefaction.

In the same work a determined and structured deterministic methodology is proposed to allows to evaluate the potential of soil liquefaction, being able to identify and define which zones are potentially liquefiable in the study areas. When obtained the necessary information, post evaluation is known through maps, which places are prone to soil liquefaction in those areas that are vulnerable to suffer this phenomenon. The objective of the thesis is to use the Geographic Information Systems to help understand the existence of factors such as geomorphology, position of the water table and soil conditions that can lead to a potential risk of liquefaction in the comuna San Pablo.

In addition, programs such as ArcGIS10.4.1 and Surfer 16 will be used to develop the seismic hazard maps of Santa Elena. That will allow us to make an indicative balance on the potential or level of liquefaction according to the study area.

Keywords: Geology, geotechnics, liquefaction, maps.

INTRODUCCIÓN

La Comuna San Pablo es una zona rural en la parte norte de la Provincia de Santa Elena-Ecuador, con una susceptibilidad muy alta al peligro sísmico, y propensa a sufrir efectos cosísmicos en suelos, causando la licuefacción en arenas o deformación cíclica en arcillas. La composición litológica del material que existe en estas zonas de la costa ecuatoriana (suelos holocenos < 13.000 años) y las características estratigráficas, más el detonante sísmico (factor sísmico: intensidad, magnitud y distancia R_{rup} de placa tectónica a superficie), pueden provocar daños considerables a las construcciones.

Una serie de movimientos sísmicos como el del 31 de marzo del 2019, con epicentro en Salinas de magnitud 6.1 (Mw), son una alerta para los habitantes de este sector y las comunas aledañas al sitio. El nivel de riesgo puede ser menor, si las cimentaciones de toda clase de estructura siguen las especificaciones técnicas de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15, 2011).

Según (Bustos, 2017), una apropiada caracterización de suelo y sus propiedades geotécnicas, son primordiales en el proceso de desarrollo de proyectos constructivos. Por esta razón que se considera necesario crear una zonificación geotécnica en la comuna de San Pablo, provincia de Santa Elena. Una zonificación geotécnica es la subdivisión de un territorio, en áreas que aproximadamente tienen el mismo tipo y distribución espacial de materiales, cuyas propiedades de resistencias y deformaciones son similares y que por ende tendrían un comportamiento mecánico semejante, ante un mismo tipo de sollicitación como por ejemplo un sismo.

La licuefacción, es un proceso natural mediante el cual determinados tipos de suelos pierden su resistencia como consecuencia de un aumento en la presión de los poros, ante una carga dinámica rápida como un sismo, y la consecuente disminución de los esfuerzos de confinamiento. Los fenómenos de licuefacción que resultan de este proceso se pueden clasificar en dos, como sigue:

Licuefacción de flujo y movilidad cíclica, siendo este último el que ocurre más frecuentemente y el esperado para un rango más amplio de condiciones de efecto de sitio. Este ocurre cuando el esfuerzo de corte estático es menor a la resistencia al corte del suelo en su estado licuado, las deformaciones producidas se incrementan

durante el desarrollo del movimiento sísmico y son accionadas por ambos esfuerzos de corte, cíclico y estático.

El fenómeno de movilidad cíclica se genera principalmente en suelos arenosos y areno limosos saturados en agua, o con un nivel freático muy superficial. Sin embargo, también puede ocurrir en suelos finos como arcillas o limos arenosos (Idriss B. &, 2004) pasándose a llamar degradación de rigidez cíclica. Otros factores que condicionan la ocurrencia de licuefacción son: origen del suelo, distribución de tamaño de las partículas, amplitud de la vibración del terreno y edad del depósito (Villagran, 2013).

Distintos métodos han sido desarrollados a lo largo de los años para estimar el potencial de licuefacción de un suelo; el método más ampliamente usado corresponde al método simplificado propuesto por Seed & Idriss y modificado por Boulanger & Idriss (Idriss B. a., 2014), en donde el potencial de licuefacción se mide en términos de demanda, capacidad y factor de seguridad.

La selección de datos geofísicos, geológicos y geomorfológicos permiten una mejor codificación de perfiles de suelos geotécnicos, susceptibles a deformaciones sísmicas como el fenómeno de la licuefacción. En los segmentos tectónicos o áreas sísmicas, con niveles de magnitudes moderados a altos ($6 \leq M_w \leq 8.8$). La licuefacción del suelo se encuentra entre las principales causas de daños en estructuras, asentadas en sedimentos holocenos sueltos y saturados (Bourenane, 2018). En muchos sitios, las áreas rurales vulnerables han tenido un rápido crecimiento poblacional no planificado, como son las ciudades principales de la provincia de Santa Elena. En la dirección de Planificación de los municipios no se han considerado las normativas de grupos de infraestructuras, y los tipos de suelos geotécnicos propensos a efectos de sitios por terremotos; a su vez el incremento del nivel de riesgo por terremotos en las ciudades costeras de Ecuador pueden ser asociados por la amenaza por sismos subducción, o sismos por fallas geológicas corticales.

En recientes años, varias iniciativas gubernamentales han desarrollado normativas de construcciones como las NEC-2002, NEC-2010 y NEC-2015 (Norma Ecuatoriana de la Construcción, CEC, 2001; NEC-11,2015). Los efectos de sitios por los terremotos, son las expresiones sísmicas más comunes en los suelos geotécnicos de compacidad suelta y de edad joven referida al holoceno. La grandeza de estos rasgos cosísmicos

son comparable con la deformación cíclica de arcillas y licuefacción de arenas, de los tipos de suelos geotécnicos D, E y F (NEC-15), como los documentados para la costa del Ecuador, del reciente terremoto de Pedernales del 16 abril 2016 (Mw 7.8), donde los efectos cosísmicos (deslizamientos, licuefacción de suelos, subsidencia y sumideros, grietas en suelo natural y fracturas en asfaltos de carreteras), fueron representados en cartografía por las isosistas de máximas intensidades macrosísmicas (Chunga et al., 2018).

Este trabajo de tesis consiste en evaluar la susceptibilidad de licuación de suelos, considerando los parámetros geomecánicos del suelo, obtenidos desde ocho sondeos geotécnicos proporcionados por la empresa Ingeotop .SA. (San Pablo: 4 sondeos, Punta Blanca: 2 sondeos y Ayangué: dos sondeos); además, la construcción de un mapa LPI (índice potencial de licuefacción) con plataforma GIS y Surfer delineando zonas susceptibles a licuefacción. Para este fin se utilizará el LPI de Iwasaki (1978), los valores de LPI serán relacionados o correlacionados en la cartografía de mapa para los suelos, con susceptibilidad a licuar indicando las características cuantitativas de las capas y el área de posible licuefacción.

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO.

La provincia de Santa Elena puede ser afectada por dos fuentes sísmicas, terremotos de subducción (debido a la convergencia de placas tectónicas) y por terremotos de fallas geológicas (lineamientos estructurales al interno del continente). Referido a los fuertes terremotos de subducción, la provincia de Santa Elena tiene registros históricos del sismo de 7 de enero de 1901 (Mw 7.6–7.8), y del 2 de octubre de 1933 (Mw 6.9).

La secuencia sísmica del 2019, en particular el sismo del 31 de marzo (Mw 6.1 e hipocentro 5 km) con epicentro frente a Salinas, dejaron rasgos de leves agrietamientos y evidencia de licuefacción con pequeños volcanes de arenas (ie., sand boils), asentamiento diferencial en un par de construcciones estructurales, y deslizamientos por caída de rocas.

Referido para el reciente terremoto de Pedernales (Mw7.8), cuyo epicentro se ubicó a 300 km de distancia del sitio de estudio, se registró para el poblado de San Pablo un PGA de 0.02g (IGEPN, Red sísmica nacional del Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional). Las ondas sísmicas llegaron hasta la provincia de Santa Elena, con menor intensidad y frecuencia, pero se pudo evidenciar edificios con daños menores no estructurales, unos pocos fueron afectados drásticamente

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La licuefacción de suelos sísmicamente inducida, provoca daños considerables en construcciones asentadas en suelos de compacidad suelta o consistencia blanda . El problema planteado permitirá conocer las zonas más susceptibles a esta deformación, luego proyectar posibles soluciones en el mejoramiento de los materiales que van a ser parte de la cimentación, permitiendo determinar el potencial licuable en suelo a través de la zonificación de los mismos.

El presente trabajo de investigación propone realizar los estudios de evaluación y mapeo de un potencial de licuefacción, que se podría generar en la Comuna San Pablo y proporcionar información a través de la zonificación de los sectores más vulnerables a este fenómeno cósmico, información que proporcionara

fundamentales datos para planes de mitigación y posibles susceptibilidades de licuefacción en San Pablo.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

La necesidad del estudio, se justifica por los riesgos de licuefacción de suelos que se podrían generar en San Pablo, por la ocurrencia de un sismo de gran magnitud. Fenómeno cosísmico que afectaría enormemente a la zona investigada, el impacto y riesgos que generaría este evento, permitiendo una evaluación y análisis del potencial de licuefacción aportando con la utilización de los nuevos métodos para mitigar el riesgo de licuefacción. Proporcionando un conjunto de opciones, el análisis de ingeniería y el desempeño mejorado proporcionado por muchas de estas técnicas de mitigación. Esta investigación tiene por objeto zonificar los escenarios susceptibles a estos fenómenos, y los mapas de riesgo de licuefacción servirán como herramientas útiles para la gestión y planificación de los suelos en la Comuna San Pablo.

1.4 ALCANCES DEL ESTUDIO DEL PROYECTO.

El alcance de este estudio aplica para la zona comprendida entre las Comunas de San Pablo, Ayangue y sector Punta Blanca (Ver Ilustración 2.1), considerando como datos de entrada la información de ensayos SPT recopilados como parte del estudio.

1.5 HIPÓTESIS.

El estudio de la evaluación y mapeo del potencial de licuefacción de la comuna San Pablo, se establece mediante los procedimientos y caracterizaciones de los suelos, a partir de las condiciones geotécnicas las cuales permiten evaluar el potencial de licuefacción ante sismos de grandes magnitudes y zonificar los escenarios susceptibles a estos fenómenos. Los mapas de susceptibilidad de licuefacción aportan con la información necesaria y útil para la gestión y planificación de los suelos de esta comuna.

1.6 OBJETIVOS.

1.6.1 Objetivo general.

Caracterizar las zonas geotécnicas de los suelos de la comuna de San Pablo (provincia de Santa Elena) susceptible a deformación cosísmica, mediante la

estimación del potencial de licuefacción del suelo, desde datos sismológicos, geológicos y de SPT, su asociación a la tectónica activa de la región.

1.6.2 Objetivos específicos

- ❖ Identificar los rasgos geomorfológicos y las unidades litológicas dominantes en la comuna de San Pablo, desde datos de perforaciones geotécnicas, su correlación a ensayos de laboratorio, nivel freático y factores sísmicos.
- ❖ Identificar los parámetros físicos del suelo, en función del índice de resistencia a penetración estándar corregido y normalizado (N1)60.
- ❖ Determinar el índice potencial de licuefacción (LPI), considerando factores geológicos y sísmicos, y delineando zonas geotécnicas en los suelos de san Pablo. utilizando el método de seed & idriss 1971.

1.7 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.

Este estudio comprende tres fases: (i) prospección geológica y geotécnica, (ii) sismotectónica de fuente sísmica, y (iii) construcción de un mapa LPI para el poblado de San Pablo.

La fase 1, de cartografía de unidades litológicas y geológicas, se compiló información de mapa geológicas a escala 1: 250.000, pero para una cartografía a detalle en el área rural de San Pablo se empleó imágenes de satélites y ortofotos en plataforma tecnología GIS proporcionada por la empresa satélite pro. Investigación de tipo deductivo e inductivo; partiendo de los datos recopilados de ensayos SPT proporcionados por INGEOTOP .SA, elaborando una base de datos que abarque todos los factores físicos, que influyen en la ocurrencia del fenómeno de licuefacción.

La fase dos, de modelos y características de segmentos tectónicos o fuentes sísmicas, por sismos de subducción y sismos por fallas geológicas. Para esta fase se creó una base de datos de sismos y de fallas geológicas. Adicional a los análisis, se elaborarán mapas del área los cuales contendrán las condiciones que actúan en la probabilidad de amenaza, mediante la aplicación de mapas desarrollada con el software ArcGIS v.10.4.1, especializado en sistemas de información geográfica (SIG)

La fase tres, se procedió al análisis por medio del método propuesto por Boulanger & Idriss, (2004) y Seed (2003), para la evaluación del potencial de licuefacción en base a los ensayos SPT, permitiendo así, obtener las muestras susceptibles a licuefacción. En base a esto se determinó el factor de seguridad, y el índice de potencial de licuación. Para el desarrollo de este método se utilizó hojas de cálculo en Excel, facilitando los cálculos respectivos.

La evaluación del índice de potencial de licuefacción (LPI), a través de métodos determinísticos basados en el riesgo a partir de procedimientos simplificados en SPT, y mediciones de velocidad de onda de corte, teniendo en cuenta un escenario de riesgo sísmico calculado para un período de retorno de 500 años, que es $a_{max} = 0.35g$ y $0.65g$. Finalmente, la preparación de los mapas de riesgo de licuefacción para San Pablo, mediante la correlación entre los resultados de LPI y las evidencias

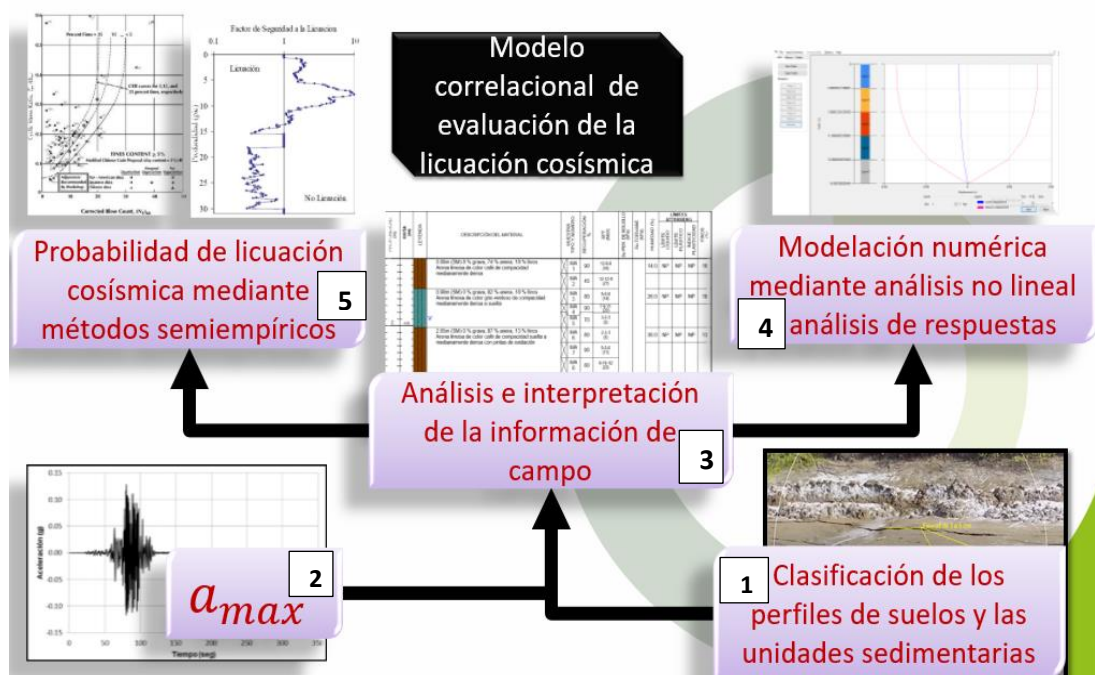


Ilustración 1. 1: Fase metodológica de evaluación del riesgo de licuefacción para San Pablo, en la provincia de Santa Elena:

Autor: Simon Macias Guaranda.

de licuefacción cosísmica documentadas en el Proyecto.

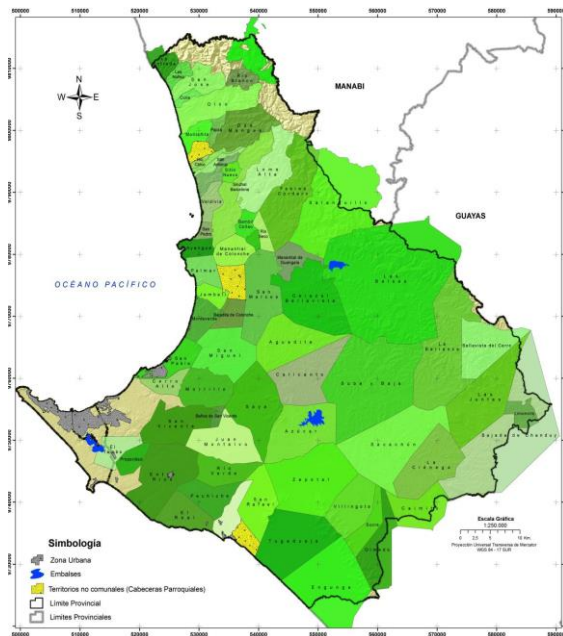
CAPITULO II

2. GEOGRAFÍA DEL SITIO

2.1 Ubicación de zona de estudio.

La Comuna San Pablo, es considerada como una población de la zona norte de la península de Santa Elena, localizada a 16 km del cantón Santa Elena, con un área de 30.3 km² de extensión territorial. La población es de 10000 habitantes, según la subsecretaria de tierras/ censos comunales 2010 y del INEC (2010). San Pablo, limita: por el norte, con la Comuna Monteverde; sur, con la Comuna Cerro Alto;

este, con la Comuna San Miguel y por el oeste, con Océano Pacifico.



ZONA DE ESTUDIO SAN P

Ilustración 2. 1: Área de Estudio Comuna San Pablo.

Fuente: Subsecretaria de Tierras Santa Elena/ Informes de Linderación comunas/ INEC, 1:250.000.2010.

2.2 Área de estudio del proyecto.

El área de estudio de la zona San Pablo, para este proyecto abarca 12.700 ha, que incluye las comunas de Ayangué, (Palmar, Jambelí, Monteverde, ver figura 2.1). El número de habitantes es considerable referente a la población futura por que pertenecen a comunas situadas en el perfil costero de la Península de Santa Elena. Con alto riesgo de licuefacción (Ver Tabla 2.5).

Según el Censo de Población y Vivienda del Ecuador del año 2010, el Ecuador tiene una población de 14'483.499 habitantes, para este proyecto hemos considerado tanto la información referida por INEC como la información de la Subsecretaria de Tierra de la Provincia de Santa Elena que a través de censos comunales e informes de linderos de comunas mismos que se describen en la tabla 2.1 del presente trabajo y que servirá para generar la proyección de la población estimada a futuro de la zona de estudio de este proyecto (2060).(ver tabla 2.5)

2.3 Población de diseño para zona de estudio

El parámetro básico que permite determinar la población futura para la zona de estudio es el conocimiento preciso de la población actual con datos obtenidos a través de censos, lo que nos permite visualizar cual sería la población aproximada en el futuro mediante métodos matemáticos.

Para determinar el crecimiento poblacional de la zona de estudio San Pablo partimos de los datos censales existentes.

Tabla 2. 1: Números de habitantes, superficie y densidad poblacional por comuna.

Nombre Comuna	Población (2010)	Superficie (km ²)	Densidad (hab/km ²)
Ayangue	2.500	15,2	164
Palmar	9.000	22,2	406
Jambelí	2.080	13,8	151
Monteverde	2.800	25	112
San Pablo	10.000	30,3	330

Fuente: Subsecretaria de Tierras Santa Elena/Censos Comunales /Informes de comunas 2010; INEC, 2010.

2.4 Método de cálculo de la población futura

A continuación se realiza el análisis de la población futura, utilizando los métodos conocidos:

2.4.1 Método Aritmético o Lineal

Este método se basa en que la variación de la población con respecto al tiempo es constante e independiente de que tan extenso sea éste, es decir las tasa de crecimiento poblacional son constantes.

Para el cálculo de la población futura se define la siguiente ecuación.

$$Pf = Po + Ka * (tf - to).$$

Ecuacion 2. 1: Cálculo de Pf mediante el Método Aritmético o Lineal

$$Ka = \left(\frac{pf - po}{tf - to} \right)$$

Ecuacion 2. 2: Tasa de cambio de Población.

Donde:

Pf: Población futura o proyectada (hab.)

Po: Población presente (hab.)

to: Tiempo de censo actual (años)

tf: Tiempo de censo proyectado (años)

Ka: Tasa de cambio de la población. Para este método es un valor constante. Se obtiene de los datos de los censos.

Tabla 2. 2: Población futura de acuerdo al método aritmético o lineal.

POBLACION FUTURA PARA ZONA DE ESTUDIO SAN PABLO				
	Ka	(tf-to)	Po 2010	Pf 2060
Datos del Proyecto	1.335	50	10.000,00	76.744,73

Fuente. Simon Macias.

2.4.2 Método Geométrico

El método geométrico se basa en que la tasa de incremento es proporcional a la población. Por lo tanto el crecimiento por unidad de tiempo es proporcional en cada lapso de tiempo.

Para el cálculo de la población futura se define la siguiente ecuación:

$$Pf = Pa * (1+r)^n$$

Ecuacion 2. 3: cálculo de población futura mediante el Método Geométrico.

Donde:

Pf: Población futura o proyectada (Hab)

Pa: Población actual (hab.)

r: Tasa de crecimiento geométrico (%)

n : Período de proyección (años)

Para el cálculo de la tasa de crecimiento anual para el método geométrico se utiliza la siguiente ecuación:

$$r = \left(\frac{P_{cp}}{P_{ca}} \right)^{1/T_{cp} - T_{ca}} - 1$$

Ecuacion 2. 4: tasa de crecimiento geométrico.

Donde:

Pcp o Pf: Población censo futuro siguiente (hab.)

Pca o Po: Población censo actual o inicial (hab.)

r: Tasa de crecimiento geométrico (%)

Tca: Tiempo de censo actual o inicial (años) **Tcp :** Tiempo de censo futuro siguiente

Tabla 2. 3: Población Futura de acuerdo al Método Geométrico.

POBLACION FUTURA PARA ZONA DE ESTUDIO SAN PABLO				
	r	(tf-to)	Pa 2010	Pf 2060
Datos del Proyecto	0,0416	50	10.000,00	76.744,73

Fuente. Simon Macias.

(años).

2.4.3 Análisis poblacional.

De acuerdo a la Tabla 2.4, referimos el siguiente análisis:

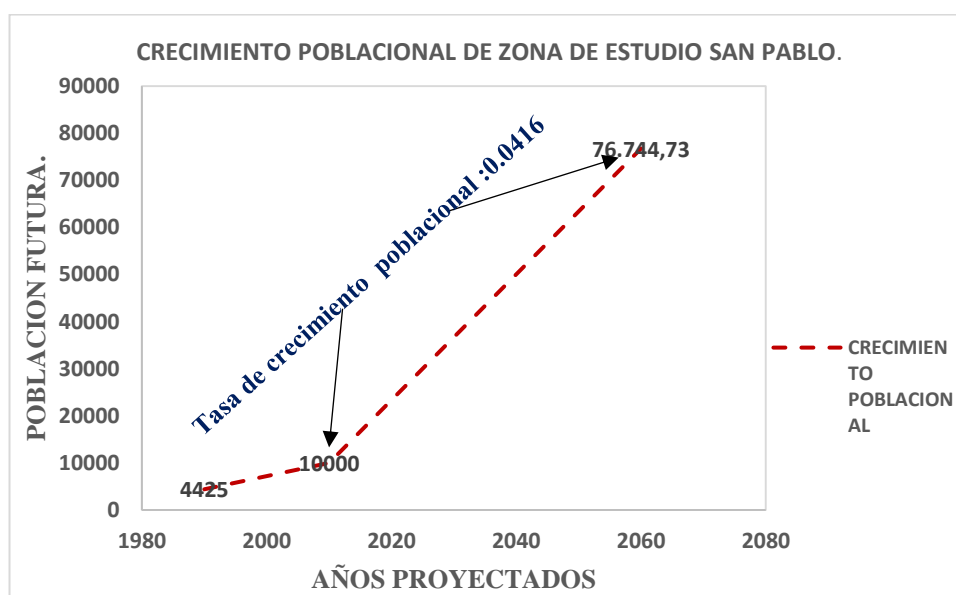
En este caso en ambos métodos ha coincidido el mismo resultado por lo tanto podemos decir que la Comuna San Pablo para el 2060 tendría una población futura aproximada de **76.744.73** Hab con respecto al 2010 que según (INEC, 2010) tenía una población de 10000 Hab, con una tasa de crecimiento de 0.0416% según la proyección anual de la planificación del municipio de Santa Elena 2012, lo que nos

permite vislumbrar en 50 años la cantidad de habitante que estaría expuesta a los peligros sísmicos.

Tabla 2. 4: comparación de valores estimados de acuerdo a los dos métodos.

Análisis comparativo- valores estimados de acuerdo a los dos métodos.		
AÑOS	Aritmético	Geométrico
1990	4425	4425
2010	10000	10000
2060	76.744,73	76.744,73

Fuente. Simon Macias.



Ilustracion 2. 2: Crecimiento Poblacional de Zona de Estudio.

Fuente: Simon Macias.

Tabla 2. 5: Población Futura de Área de Estudio.

COMUNA	Proyeccion Población futura.		
	(1991) Censos Comunales.	(2011)Subsecretaria de tierras/ censos comunales	(2060) Según el Método Aritmético Lineal
COMUNA AYANGUE	1086	2.500	19186,18
COMUNA PALMAR	4588	9.000	69070,26
COMUNA JAMBELI	1539	2.080	15962,9
COMUNA MONTEVERDE	1565	2.800	21488,52
COMUNA SAN PABLO	4425	10.000	76744,73
TOTAL	11638	26380	202452,6

Fuente: subsecretaria de tierras/censos comunales 201&Censos comunales.

2.4.4 Densidad poblacional

Es la cantidad de personas existentes en una ciudad o población en relación con la superficie en la que habitan. Para el caso de la zona de estudio San Pablo se considera el área de población concentrada.

El cálculo de la densidad poblacional se define con la siguiente Ecuación:

$$D = \frac{Pf}{A}$$

Ecuacion 2.5: cálculo de la Densidad Poblacional.

Donde:

Pf: Población futura o proyectada (hab.)

A: Área de la población (Ha)

D: Densidad poblacional (Hab/Ha)

Tabla 2. 6: Calculo de densidad Poblacional futura.

Densidad Poblacional futura.			
Nombre Comuna	Población 2060	Superficie (Km ²)	Densidad futura (Hab/Km ²)
Ayangue	19186,18	15,2	1262
Palmar	69070,26	22,2	3111
Jambelí	15962,9	13,8	1157
Monteverde	21488,52	25	860
San Pablo	76744,73	30,3	2533

Fuente: subsecretaria de tierras Santa Elena /informes de linderación Comunas ,2010.

2.5 Clima Provincia de Santa Elena.

Según (Wolf, 1975) El clima en la Provincia de Santa Elena es seco y árido principalmente por la influencia de la corriente fría de Humboldt, la cual extiende un ramal angosto hacia el Norte desde Cabo Blanco en la costa peruana, hasta Cabo Pasado en la provincia ecuatoriana de Manabí, pasando por el Golfo de Guayaquil y bordeando el territorio que actualmente es la provincia referida.

2.5.1 Temperaturas

Según (Pourrut, 1995). La temperatura atmosférica predominante en Santa Elena oscila entre 23 y 25° C

2.5.2 Precipitaciones.

Según la información cartográfica hecha por el Instituto Ecuatoriano Espacial ((IEE), 2012), utilizando la información suministrada por el INAMHI, El promedio de precipitación anual en la provincia de Santa Elena varía a lo largo del territorio en dirección Oeste-Este, de menor a mayor respectivamente. Las precipitaciones más bajas en la punta de Santa Elena las cuales son inferiores a 200 milímetros por año, mientras que las mayores se encuentran al Noreste de la provincia en la Cordillera Chongón-Colonche y se encuentran en el orden de entre 600 y 800 milímetros anuales.

2.6 Geomorfología

2.6.1 Relieve y alturas

La provincia de Santa Elena tiene una gradiente altitudinal que va desde los 0 msnm en la franja costera, hasta un poco más de 800 msnm en la cordillera Chongón Colonche, ubicada al noreste de la provincia. Al sur de la misma se encuentra la Cordillera de Chanduy, que no sobrepasa los 300 msnm.

En la provincia de Santa Elena, la geomorfología es diversa. Como se observa en la Figura 6, los relieves colinados se distribuyen a lo largo de toda el área analizada.

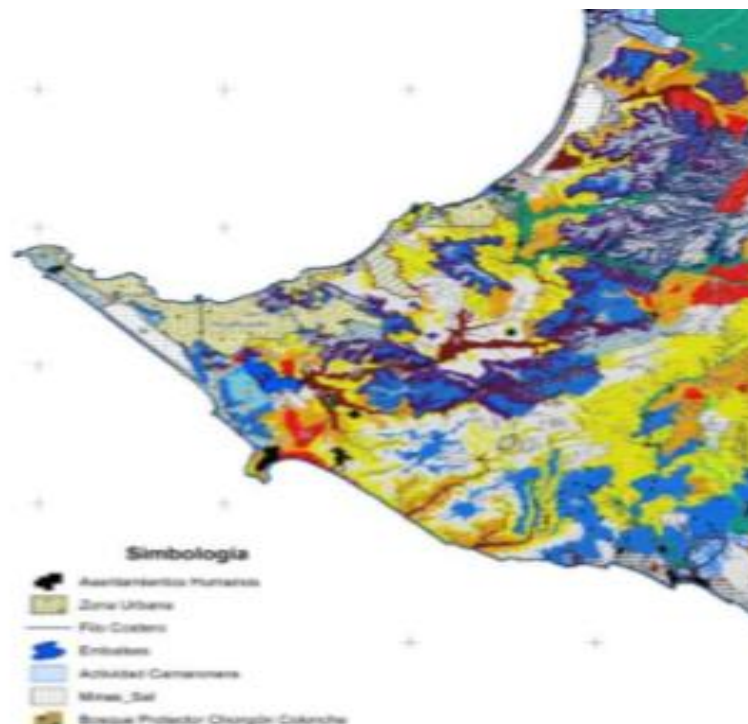


Ilustración 2. 3: Mapa geomorfológico de la provincia de Santa Elena.

Fuente: IEE, 1:25.000, 2012.

CAPITULO III

3. MARCO TEÓRICO.

3.1 Compilación de datos geológicos, geotécnicos y geofísicos.

La metodología de investigación proyectada en el presente trabajo es cualitativo y cuantitativo, y se desarrollan con los ensayos de SPT, para elaborar una base de datos con todos los factores geotécnicos que influyen en la susceptibilidad de los fenómenos de licuefacción.

Los resultados obtenidos desde los parámetros geomecánicos de las muestras, y los análisis de los diferentes métodos existentes, para la evaluación del potencial de licuefacción determinaron el factor de seguridad del potencial de licuefacción en la zona de San Pablo.

3.2 Métodos de recolección de datos y bibliografía.

Para la evaluación de este proyecto se contó con datos reales y confiables, se tomaron y recopilaron trabajos de investigación sobre el tema de estudio, incluyendo las tutorías aportadas por docentes expertos en los temas tratados en este proyecto los mismos que analizaron y evaluaron los resultados obtenidos.

3.3 Delimitación de zona de estudio.

La zona de estudio delimitada en este proyecto considero cinco factores que influyen en la ocurrencia de los fenómenos de licuefacción:

- a. Nivel freático superficial
- b. Distribución del tamaño de las partículas del suelo
- c. Edad de los suelos.
- d. Ubicación del área de estudio con respecto al mar
- e. Origen del suelo (depósitos marinos y fluviales)

La zona de estudio de San Pablo cumple con todas estas características para la realización de este proyecto.

3.4 Muestreo de Zona de Estudio.

Se recopilaron 4 estudios de suelos, los cuales se encuentran en el Anexo 1 y se dividen de la siguiente manera:

❖ “VIVIENDA CRISTÓBAL ILLINWORTH” –Ayangue perforación realizada el 16 de Octubre del 2018 por la empresa INGEOTOP.SA. Ver Tabla 3.1 y Ilustracion 3.1 y 3.2.

❖ “RESIDENCIA DE 3 PLANTAS, FAMILIA ABELLA - LÓPEZ”-Punta Blanca perforación realizada el 17 de Agosto del 2018, por la empresa INGEOTOP.SA. Ver Tabla 3.2 y Ilustración 3.3 y 3.4.

❖ LARVIQUEST.S. A-San Pablo, perforación realizada el 17 de Marzo del 2018 por la empresa INGEOTOP.SA. Ver Tabla 3.3 y Ilustracion 3.5 y 3.6.

❖ "URBANIZACIÓN ROSABELLE"- San Pablo, perforación realizada el 03 de Diciembre del 2018. por la empresa INGEOTOP.SA. Ver Tabla 3.4 y ilustración 3.7 y 3.8.

Tabla 3. 1: Estudio recopilado de la Vivienda Cristóbal Illinworth-Urbanizacion Casa de Sol –Ayangue.

Perforacion recopilada de la Comuna Ayangue					
ESTUDIO	COORDENADAS				
	Perforación	Profundidad	Este	Norte	Nivel freático.
Vivienda del Sr. Cristóbal Illinworth-Comuna Ayangue	1	8	527721	9782368	No se registro
	2	8	527723	9782387	No se registro

Fuente:Ingeotop.sa.

PERFORACION RECOPIlada DE LA COMUNA AYANGUE.



Ilustracion 3. 1: Ubicación geográfica de la Comuna Ayangue,-Urbanizacion Casa de Sol.

Fuente: Google Earth.



Ilustración 3.2: Vista satelital de la Comuna Ayungue.
Fuente: Satélite –pro.

PERFORACION RECOPIADA DEL SECTOR PUNTA BLANCA.

Tabla 3.2: Estudio recopilado Residencia de 3 plantas, Familia Abella López-Punta Blanca.

Perforacion recopilada del sector Punta Blanca.					
ESTUDIO	COORDENADAS				
	Perforación	Profundidad	Este	Norte	Nivel freático.
Residencia de 3 plantas Familia Abella López-Sector Urbanístico Punta Blanca.	1	8	522903	9761780	No se registro
	2	8	522908	9761774	No se registro

Fuente:Ingeotop.sa.



Ilustración 3.3: Ubicacion geografica del sector Punta Blanca.
Fuente : Google Earth.



Ilustracion 3. 4: Vista satelital del sector Punta Blanca.
Fuente: Satélite –pro.

Tabla 3. 3: Estudio recopilado LARVIQUEST.S. A-San Pablo.

Perforacion recopilada de la Comuna San Pablo 1.					
ESTUDIO	COORDENADAS				
	Perforación	Profundidad	Este	Norte	Nivel freático.
Laboratorio de Larvas de camarón Larviquest.sa-sector San Pablo	1	15	527672	9766537	3
	2	15	527728	9766536	3

Fuente:Ingeotop.sa.



PERFORACION RECOPIlada DE LA COMUNA SAN PABLO 1

Ilustracion 3.5: Ubicación geografica de San Pablo, localización de perforaciones - Laboratorio de larvas LARVIQUEST SA.
Fuente: Google Earth.



Ilustracion 3. 6: vista satelital de San Pablo, Estero Pungay.
Fuente:Satelite-Pro.

PERFORACION RECOPIlada DE LA COMUNA SAN PABLO 2

Tabla 3.4: Estudio recopilado Urbanización Rosabelle- San Pablo.

Perforacion recopilada de la Comuna San Pablo 2.					
ESTUDIO	COORDENADAS				
	Perforación	Profundidad	Este	Norte	Nivel freático.
Urbanizacion Rosabelle- Sector San Pablo.	1	6	527950	9766952	4,5
	2	6	527.895	9766984	4,6

Fuente: Ingeotop.sa.



Ilustracion 3.7: Ubicación geográfica de San Pablo, localización de perforaciones urbanización Rosabelle.

Fuente:Google Earth.



Ilustracion 3.8: vista satelital de San Pablo, Estero Pungay y Rio San Pablo.

Fuente: Satélite –pro.



3.5 Parámetros geotécnicos

Representan las condiciones en las que se encuentran los depósitos de suelos licuados localizados debajo de los subsuelos, los parámetros se obtienen utilizando los registros de los ensayos de Penetración Estándar (SPT).

3.5.1 Método de Seed & Cetin et al., (2003)

Este método es aplicable en los siguientes casos:

- ❖ La fracción de finos $\geq 20\%$ con un índice plástico $> 12\%$
- ❖ La fracción de finos $\geq 35\%$ con un índice plástico $< 12\%$

En la Ilustración 3.9 se presenta una gráfica que muestra las conclusiones de los estudios realizados por Seed & Cetin et al, sobre el potencial de licuefacción de suelos con un contenido de finos importantes.

Los suelos que estén dentro de la zona A de la ilustración, son considerados susceptibles a la licuefacción, siempre y cuando la humedad sea: $W_n > 0.80W_l$.

Los suelos dentro de la zona B caen dentro de un rango de transición entre la zona potencialmente licuable y la no licuable.

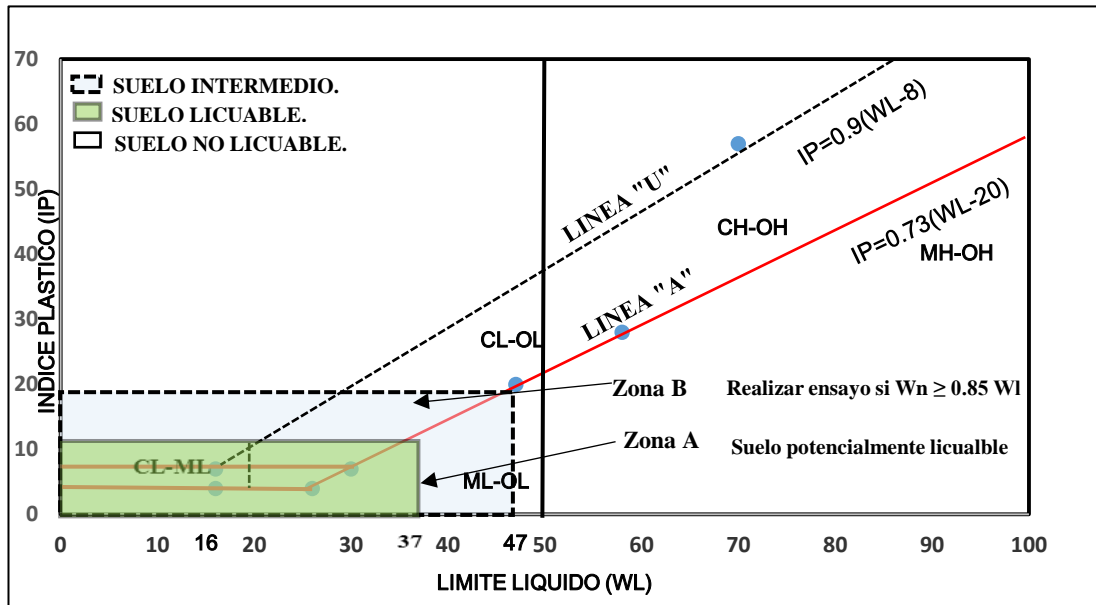


Ilustración 3.9: Método de Seed & Cetin et al., (2003).

Fuente: Carlos Henríquez, (2007).

Experimentalmente se ha demostrado que los suelos situados en esta zona, han sido susceptibles a la licuefacción cuando la humedad $W_n > 0.85W_l$.

3.5.2 Propuesta de norma francesa. Durville et al. (1985).

Según la propuesta de norma francesa los terrenos susceptibles a la licuefacción son:

Terrenos arenosos y limosos con las siguientes propiedades:

Terrenos arenosos con fracción arcillosa caracterizada por

Tabla 3. 5: Criterios de la norma francesa para suelos arenosos con fracción de arcilla.

Suelos arenosos con fracción de arcilla.	
Grado de saturación	S=100 %
Coefficiente de uniformidad	$C_u = D_{60}/D_{10} < 15$
Diametro 50%	$0.05 < D_{50} < 1.5$ mm

Fuente: Liquiter, (2010).

Tabla 3. 6: Criterios de la norma francesa para suelos arenosos limosos.

suelos arenosos limosos.	
Diametro al 15 %	$D_{15} > 0.05$ mm
Límite líquido	$W_l < 35\%$
Contenido de agua natural	$W_n > 0.9W_l$
Punto representativo sobre la carta de plasticidad de Casagrande por debajo de la línea A	$IP < 10.95$ $W_l < 35\%$

Fuente: Liquiter, (2010).

Terrenos arenosos y limosos con las siguientes propiedades.

3.5.3 Métodos de Kishida (1969) y Ohsaki (1970)

Este método está basado en el número de golpes suministrados al terreno mediante ensayos tipo SPT, cuyos resultados son empleados en el análisis de las condiciones de los suelos ante sollicitaciones sísmicas, capaces de generar la licuación del terreno, tal y como ocurrió en el año 1964 en la Ciudad de Niigata (Japón).

Actualmente entre los métodos de predicción usados para el estudio de la ingeniería de suelos están fundamentados en resultados de ensayos de penetración, particularmente, SPT, debido a que son los que cuentan con las bases de datos más amplias y completas, proposición corroborada por Henríquez (2007).

3.5.4 Métodos de Kishida (1969)

Una de estas técnicas fue propuesta en el año 1969 por el científico japonés Kishida, quien propuso que para la ocurrencia de licuación del suelo ante sismos de magnitud $M \geq 7$ es requerido el cumplimiento de las siguientes condiciones:

- ❖ El nivel freático está cerca de la superficie

Las características granulométricas satisfacen las siguientes relaciones:

$$2 \text{ mm} > D_{50} > 0,074 \text{ mm.}$$

$$C_u < 10$$

- ❖ Siendo **D60** y **D10** los tamaños efectivos que dejan pasar, respectivamente, el **60** y el **10** % en peso, de las partículas.
- ❖ El espesor del estrato de suelo no licuable, arriba del licuable, es menor que 8 m
- ❖ La presión efectiva de confinamiento (σ'_c) es menor que 2 Kg/cm²
- ❖ La compacidad relativa (Cr) es menor que el 75 %.
- ❖ Para la profundidad considerada, el número de golpes (N) de la prueba
- ❖ de penetración estándar (SPT), es menor que el valor límite dado por la Figura.

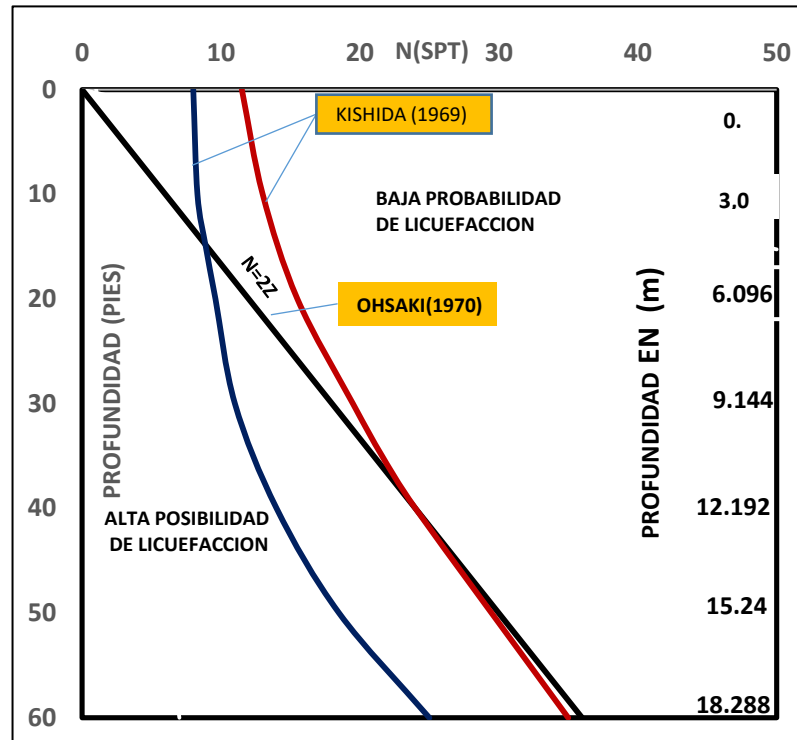


Ilustración 3.10: Relación entre la potencial de licuación y los valores de Nspt para diferentes profundidades z (m).
Fuente: Henríquez (2007)

3.5.5 Métodos de Ohsaki (1970)

En 1970, luego de realizarse estudios independientes, se propone la metodología de Ohsaki, quien consideraba que los suelos se licuaban bajo los siguientes parámetros:

El nivel freático está cerca de la superficie.

Las características granulométricas satisfacen las siguientes relaciones:

$$2 \text{ mm} < D_{60} < 0,2 \text{ mm}$$

$$D_{10} < 0,1 \text{ mm}$$

Siendo D60 y D10 los tamaños efectivos que dejan pasar, respectivamente, el 60 y el 10 % en peso, de las partículas.

El número de golpes en la prueba de penetración estándar (SPT) es menor que dos veces la profundidad z expresada en metros.

3.5.6 Método de Seed et.al. (1983)

Una de las numerosas relaciones matemáticas resultante de reiterados ensayos de campo conocida fue propuesta por el científico Seed en el año 1983. En la actualidad, esta numérica es muy usada para averiguar las condiciones físicas del subsuelo.

Este algoritmo está dado por el siguiente modelo cuantitativo:

$$V_s \text{ (m/seg)} = 56 (N)^{1/2}$$

Ecuacion 3. 1: Velocidad de propagación de ondas de corte.

Donde:

Vs: Velocidad de propagación de ondas de corte

N: Número de golpes suministrados al terreno evaluado.

La Ilustración 3.10, presenta relación no lineal entre las **Vs**, ubicadas en el eje horizontal de las abscisas versus los valores de la relación de esfuerzos cíclicos que producen licuación, ubicados en el eje vertical de las ordenadas.

De acuerdo con Henríquez, C. (2007), en los 15 m superiores de un depósito de suelo potencialmente licuable, $\sigma'v$ se mantiene menor que **1,9 Kg. /cm²** y para presiones menores que dicho valor, **CN** oscila entre **0,7 y 1,3**. Entiéndase por:

CN: Factor de Corrección, que tiene por expresión,

$$CN = 1 - 1,25 \log (\sigma'v/\sigma'v1)$$

Ecuacion 3. 2: Factor de Corrección.

En la cual $\sigma'v1 = 1 \text{ Kg/cm}^2$.

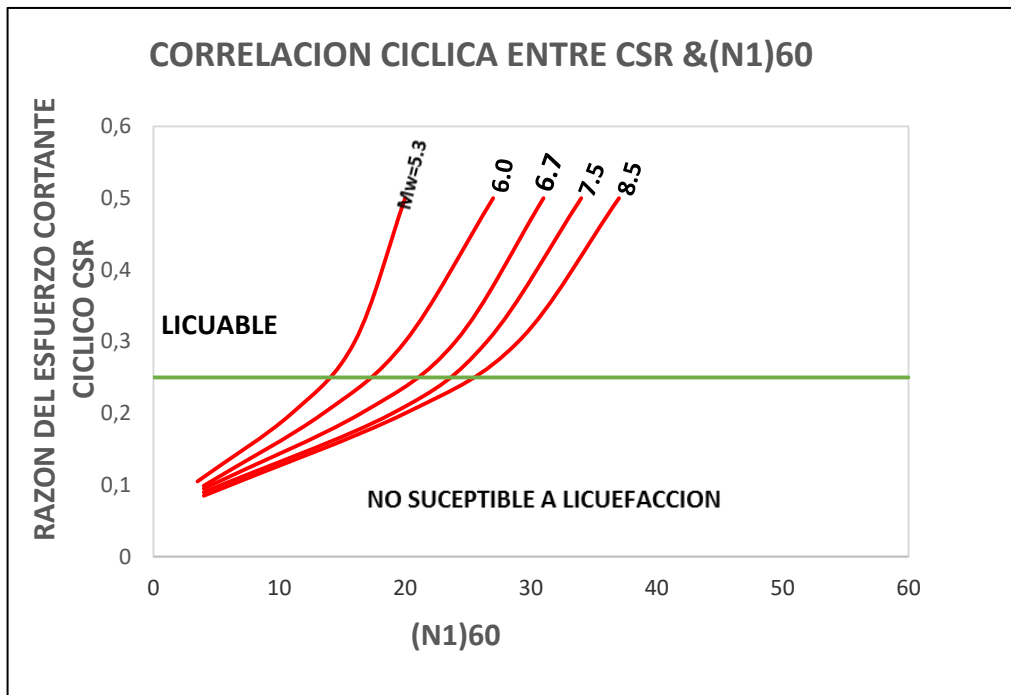
De estas variables se obtendrán:

N1 (Número de golpes corregidos) = **CN * NSPT**;

N1 = Valor de NSPT normalizado, es decir, valor que tendría N bajo una presión efectiva de sobrecarga de **1 Kg/cm²**.

Según Henríquez, C. (2007), considera que aún para sismos con **Mw = 8,5**, no se producirá licuación si la **Vs**, en los 15 metros superiores, supera los **350 m/seg**. Esto coincide con lo establecido en otras investigaciones

Según las cuales las arenas del Holoceno, con valores típicos de V_s entre **200 y 225 m/seg**, son más susceptibles de licuarse que las del Pleistoceno, con V_s mayor que **325 a 350 m/seg**. (Figura 3.11)



Ilustracion 3. 11: .Gráfica de correlación entre CSR y el (N1)60
Fuente: Vallejo L, (2002).

3.5.7 Fase 2: técnicas de evaluación del potencial de licuefacción.

Para estimar el potencial de licuefacción de un suelo existen tres planteamientos principales a considerar:

- ❖ El planteamiento basado en las tensiones,
- ❖ El planteamiento basado en las deformaciones
- ❖ El planteamiento basado en la energía.

En el transcurso de la historia el planteamiento basado en las tensiones ha sido el más utilizado para la evaluación del potencial de licuefacción.

En el planteamiento basado en las tensiones la carga aplicada al suelo por el terremoto y la resistencia del suelo a la licuefacción son caracterizadas en términos de tensiones de corte cíclicas. Este representa el método clásico para la evaluación del potencial de licuefacción, pues ha sido estudiado y validado como una aproximación práctica y útil para la evaluación.

A inicio de 1970 un gran número de métodos fueron desarrollados y utilizados para estimar el potencial de licuefacción de un suelo. La mayoría de estos métodos son derivados y desarrollados a partir del procedimiento simplificado propuesto por Seed & Idriss en el año 1971 (Seed & Idriss, 1971). Este procedimiento es presentado en términos de demanda, capacidad y factor de seguridad, donde la demanda corresponde a:

- a) La carga aplicada al suelo por el terremoto
- b) La capacidad la resistencia del suelo a la licuefacción
- c) El factor de seguridad la razón entre capacidad y demanda.

Este procedimiento se basa en observaciones empíricas y datos obtenidos en laboratorio y terreno y ha sido continuamente refinado como resultado de nuevos estudios y del mayor número de historiales de licuefacción disponibles en la actualidad.

La capacidad del estrato de suelo para resistir la licuefacción en términos de la relación de resistencia cíclica (CRR).

El factor de seguridad (FS) en profundidad para un perfil de suelo puede ser determinado usando la siguiente información:

- ❖ Aceleración máxima horizontal en la superficie,
- ❖ Magnitud del terremoto (M)
- ❖ Número de golpes ensayo SPT
- ❖ Presión de confinamiento
- ❖ Contenido de finos (FC)
- ❖ Límites de plasticidad
- ❖ Distribución partículas (Seed & Idriss, 1971) (Youd, et al., 2001).

3.6 Método basado en el número de golpes del ensayo del SPT

3.6.1 Método de Seed & Idriss, (1971, 1982)

El potencial de licuefacción de un suelo, está en función de dos variables:

- ❖ en la demanda sísmica del suelo, expresada en términos de la relación de esfuerzo de corte cíclico (CSR),

3.6.2 Relación de esfuerzo de corte cíclico, CSR

Para analizar la demanda sísmica del suelo se utiliza el enfoque de esfuerzo cíclico, la carga se caracteriza en relación de esfuerzo de corte cíclico CSR o llamado también relación de esfuerzo de corte sísmico SSR, cuando es originado por un terremoto.

La relación de esfuerzo de corte cíclico **CSR** es el nivel de carga dinámica impuesta por un movimiento sísmico en un suelo, por lo que se debe conocer la amplitud, frecuencia y la duración del movimiento cíclico al que es sometido.

Según (Idriss S. e., 1971)), plantearon un simple procedimiento para poder determinar el esfuerzo de corte cíclico, basado en la hipótesis:

- ❖ De una propagación vertical de ondas sísmicas de corte,
- ❖ una columna de terreno con altura z . se mueve rígidamente en dirección horizontal
- ❖ y por lo tanto el esfuerzo de corte máximo (**amax**) a la profundidad z es dado por:

$$\tau_{max} = \frac{a_{max}}{g} \cdot \gamma \cdot z$$

Ecuacion 3.3: esfuerzo de corte cíclico.

Donde:

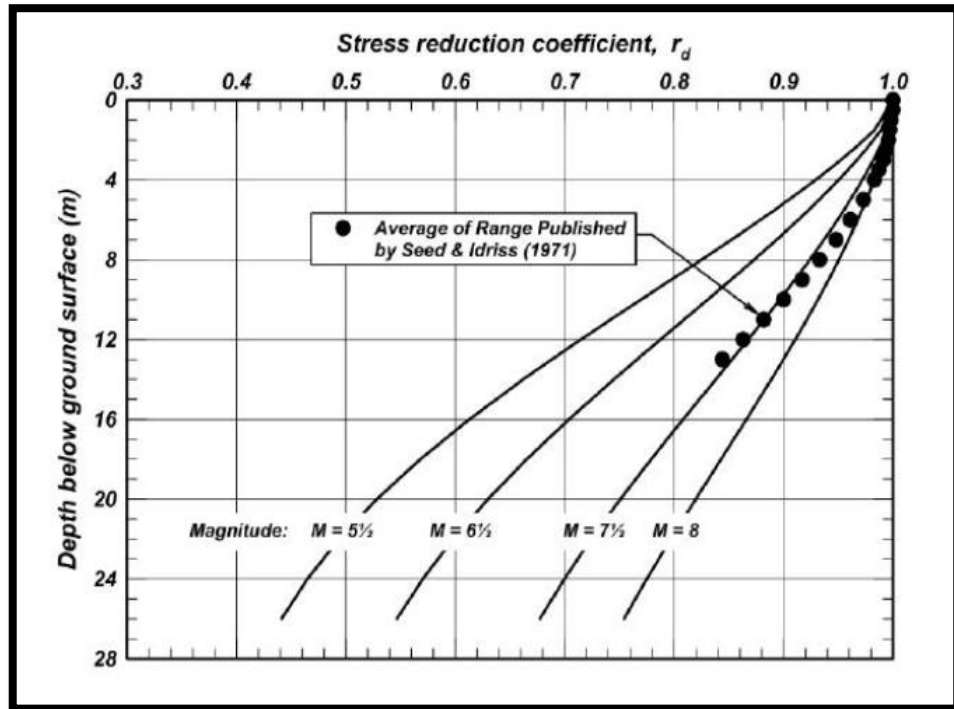
A_{max} = Aceleración máxima en superficie

g = gravedad

γ=Peso seco del terreno.

Ilustracion 3. 12 : Variación del coeficiente de reducción de esfuerzos r_d con la profundidad y la magnitud del sismo.

Fuente: Boulanger, R. & Idriss, I. (2014).



3.7 Método simplificado para estimar potencial licuefacción.

3.7.1 Razón tensiones cíclicas (CSR):

El valor promedio de la relación de tensiones cíclicas (CSR) inducidos por el sismo se estima del análisis de la respuesta dinámica del suelo, o mediante la siguiente expresión:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = CSR = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) r_d$$

Ecuacion 3. 4: valor promedio de la relación de tensiones cíclicas (CSR).

Dónde:

a_{max} = Máxima aceleración registrada en la superficie

g = Aceleración de gravedad

σ_v = Presión total a la profundidad considerada

σ'_v = Presión efectiva a la profundidad considerada

r_d = Factor de reducción efectiva

El factor de reducción r_d corresponde a un factor de corrección por profundidad (z) y magnitud de momento (M_w).

Para determinar el factor del coeficiente de reducción **rd**, existen diferentes fórmulas basadas en el valor de la profundidad **z** dada en metros, que es la misma profundidad que se utiliza para calcular las tensiones verticales total y efectiva. Como la fórmula empírica propuesta por Iwasaki *et al.*, (1978):

$$rd=1-0.015 z$$

Ecuacion 3.5 : factor del coeficiente de reducción.

Youd *et al.*, (1997), planteo las siguientes fórmulas de acuerdo a diferentes profundidades de **z**

Rd de acuerdo a las profundidades de Z	
$rd=1-0.00765z$	para $z \leq 9.5$
$rd=1.174-0.02670z$	para $9.5 < z \leq 23$
$rd=1/744-0.00800z$	para $23 < z \leq 30$

Ecuacion 3. 6: Fórmulas de acuerdo a diferentes profundidades de **z**.

3.7.2 Razón resistencia cíclica (CRR) suelos arenosos.

Se estima la resistencia cíclica del estrato de suelo arenoso para un sismo de magnitud de momento "M" y presión de confinamiento $\sigma v'$ de acuerdo a la propuesta por Boulanger & Idriss (Idriss B. &, 2014).

$$CRR (M, \sigma v') = CRR (M=7.5, \sigma v'=1) * MSF * K \sigma$$

Ecuacion 3. 7: Resistencia cíclica del estrato de suelo arenoso.

En dónde $CRR \{M=7.5, \sigma v'=1\}$ corresponde a la razón de resistencia cíclica calculada para un sismo de magnitud **M = 7.5 [Mw]** y una presión de confinamiento igual a 1 [atm].

El valor de CRR es calculada en función de la magnitud del sismo, el número de golpes, la presión vertical efectiva y el peso específico del suelo, se calcula

inicialmente el número de golpes corregido a la profundidad z deseada mediante la siguiente expresión:

$$(N1)_{60} = C_N (N)_{60}$$

Ecuacion 3. 8: Resistencia cíclica del estrato de suelo arenoso

Donde:

N60 = Número de golpes del ensayo del SPT corregido por factor de energía del orden del 60%.

CN = Coeficiente correctivo.

❖ Para el cálculo del valor de **CN**, varios autores han deducido ciertas expresiones de acuerdo a estudios realizados:

Expresión deducida por Bazaraa, (1967).

<i>Para $\sigma'_{vo}/ Pa \leq 0.75$</i>	<i>Para $\sigma'_{vo}/ Pa > 0.75$</i>
$CN = \frac{4}{1 + 4\left(\frac{\sigma'_{vo}}{Pa}\right)}$	$CN = \frac{4}{3.25 + \left(\frac{\sigma'_{vo}}{Pa}\right)}$

Ecuacion 3. 9: Expresiones deducida por Bazaraa, (1967).

Expresión deducida por Peck *et al.*, (1974).

$$CN = 0.77 \log \left(\frac{20}{\frac{\sigma'_{vo}}{Pa}} \right) \quad \text{para } \frac{\sigma'_{vo}}{Pa} \geq 0.25$$

Ecuacion 3. 10: Expresión deducida por Peck *et al.*, (1974).

Expresión deducida por Seed *et al.*, (1975).

$$CN = 1 - 1.25 \log \left(\frac{\sigma'_{vo}}{Pa} \right)$$

Ecuacion 3. 11: Expresión deducida por Seed *et al.*, (1975).

Expresión deducida por Lio & Whitman, (1986)

$$CN = \left(\frac{Pa}{\sigma/v_0}\right) 0.5$$

Ecuacion 3. 12: Expresión deducida por Lio & Whitman, (1986)

Normalmente consolidados		Sobre consolidados
Para arenas finas	Para arenas gruesa	Para arena
$CN = \frac{2}{\left(1 + \frac{\sigma/v_0}{Pa}\right)}$	$CN = \frac{1.7}{\left(2 + \frac{\sigma/v_0}{Pa}\right)}$	$CN = \frac{1.7}{\left(0.7 + \frac{\sigma/v_0}{Pa}\right)}$

Ecuacion 3. 13: Las expresiones deducida por Skempton, (1986).

Expresión deducida por Skempton, (1986).

Expresión deducida por Kayen *et al.*, (1992).

$$CN = \frac{2.2}{\left(1.2 + \frac{\sigma/v_0}{Pa}\right)}$$

Ecuacion 3. 14: La expresión deducida por Kayen et al., (1992).

Donde:

Pa = Presión atmosférica expresada en la misma unidad de la presión vertical efectiva.

En el Workshop de 1997, se recomienda utilizar la fórmula propuesta Kayen et al., (1992), para el valor de **CN**, y además que los valores no deben ser mayores de 2 para depósitos muy superficiales.

(Stewart, 2004) Recomiendan que para el cálculo de CRR, en arenas limpias se use la ecuación desarrollada por Youd, (2001):

$$CRR = \frac{1}{34 - (N1)60} + \frac{(N1)60}{135} + \frac{50}{(10(N1)60 + (45))} - \frac{1}{200}$$

Ecuacion 3. 15: CRR, en arenas limpias.

La expresión determinada es válida para $(N1)60 < 30$.

Para arenas limosas o arcillosas el valor de $(N1)60$, se debe corregir con la expresión desarrollada por Idriss con la asistencia Seed, para obtener el equivalente de $(N1)60cs$.

$$(N1)60cs = \alpha + \beta (N1)60$$

Ecuacion 3. 16: Para arenas limosas o arcillosas.

Tabla 3. 7: Valores de α y β en función del contenido de finos

Contenido de finos (FC)	α	β
$FC \leq 5 \%$	0	1
$5 \% < FC \leq 35 \%$	$1.76 - \frac{190}{FC^2}$	$0.99 - \frac{FC^{1.5}}{1000}$
$FC > 35 \%$	5	1.2

Fuente: Ing. García Jesús, (2007). Análisis comparativo del fenómeno de licuación en arenas. Aplicación a Tumaco (Colombia)

Donde α y β son coeficientes, que dependen del contenido de finos, y cuyos valores se presentan en la Tabla 3.7

La fórmula dada para el cálculo del valor de CRR, es válido para sismo de magnitud $Mw = 7.5$.

3.7.3 Corrección de escala de magnitud para valores de CSR y CRR.

Como se explicó y determinó en las ecuaciones deducidas anteriormente son para magnitudes $Mw = 7.5$. Para el cálculo de magnitudes distinta es necesario multiplicar por el factor correctivo denominado factor de escala de magnitud (MSF). Para el valor de CRR tenemos:

$$CRR = CRR_{7.5} \times MSF$$

Ecuación 3. 17: Corrección de escala de magnitud para valores de CRR.

Y para el valor de CSR:

$$CSR = CSR_{7.5} \times MSF$$

Ecuación 3. 18: Corrección de escala de magnitud para valores de CSR.

Los factores correctivos MSF, fueron obtenidos por varios investigadores en diversos estudios, los cuales recomiendan utilizar los valores que se presentan en la Tabla 3.8.

Tabla 3. 8: Factor de escala de magnitud (MSF).

FACTOR ESCALA DE MAGNITUD	
Magnitud	MSF
6	1.76-2.1
6,5	1.44-1.6
7	1.19-1.25
7,5	1
8	0,84
8,5	0,72

Fuente: Santibáñez Humberto, (2006). Determinación del potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de SPT.

Para aplicaciones computacionales, se puede utilizar valores promedio dentro del rango recomendado, estos valores pueden ser obtenidos para cualquier magnitud usando la siguiente ecuación:

$$MSF = (7.5/M)^n$$

Ecuación 3. 19: Factores correctivos MSF.

Donde:

M = Magnitud del sismo.

n = Factor de magnitud. El valor de n está definido de acuerdo a lo expuesto por Kramer & Stewart, (2004).

n=2.93	<i>Para M ≤ 7.5</i>
n=2.56	<i>Para M > 7.5</i>

El factor de seguridad a licuefacción propuesto originalmente por Seed e Idriss (Seed & Idriss, 1971) se calcula como la razón entre CSR y CRR como se muestra en la ecuación (3.15).

$$FS = \frac{CSR}{CRR} \quad \text{Finos o arenosos}$$

Ecuación 3. 20: Factor de seguridad licuefacción (FS).

En función del valor obtenido del factor de seguridad es posible interpretar los resultados de forma que:

- ❖ **FS > 1** = clasificable como no licuable.
- ❖ **FS < 1** indican que la capa de suelo es licuable.
- ❖ mientras que un **FS = 1** el equilibrio límite.

Sin embargo, estos valores teóricos no siempre reflejan la realidad, dado que podría existir licuefacción durante un terremoto incluso para cuando.

FS > 1.

Más aun, **FS** no es una herramienta práctica para preparar mapas de susceptibilidad de licuefacción dado que si bien es posible determinar si una capa presentará licuefacción, no es posible determinar la severidad de esta.

Es por esta razón y como objetivo de superar estas limitaciones que distintos autores a lo largo de los años han propuestos nuevos términos y ecuaciones basándose en enfoques probabilísticos y calibraciones con observaciones en terreno que usan como base el **FS** para estimar el potencial de licuefacción o potencial de daños a la licuefacción de un suelo ante un movimiento sísmico.

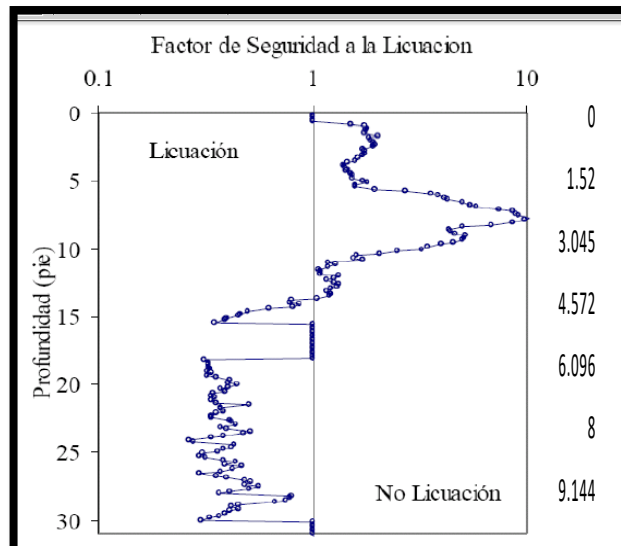


Ilustración 3. 13: Definición de espesores de los sub-estratos licuables.
Fuente: Fernández, A. et. al.

3.7.4 Probabilidad de licuefacción (PL)

Chen and Juang ((Juang C. &, 2000)) y Juang et al. ((Juang, 2003)) En el año 2000 y 2003 respectivamente, realizaron estudios sobre la probabilidad de licuefacción del suelo en función de los valores del factor de seguridad FS. Juang et al. Propusieron la siguiente ecuación, la cual va desde 0 hasta 1.

$$PL = \frac{1}{1 + \left(\frac{FS}{0.96}\right)^{4.5}}$$

Ecuacion 3. 21: Probabilidad de licuefacción (PL).

Tabla 3. 9: Clasificación probabilidad de licuefacción propuesta por Cheng and Juang

Clasificación probabilidad de licuefacción propuesta por Cheng and Juang (2000).		
Rangos probabilidad (PL)	Descripción	Rangos Factor de seguridad (FS)
$0.85 \leq PL \leq 1.00$	Casi certero que habrá licuefacción	$0.653 \geq FS \geq 0.000$
$0.65 \leq PL \leq 0.85$	Muy probable	$0.837 \geq FS \geq 0.653$
$0.35 \leq PL \leq 0.65$	Licuefacción o no licuefacción igualmente probable	$1.102 \geq FS \geq 0.837$
$0.15 \leq PL \leq 0.35$	Poco probable	$1.411 \geq FS \geq 1.102$
$0.00 \leq PL \leq 0.15$	Casi certero que no habrá licuefacción	$\infty \geq FS \geq 1.411$

Fuente: Cheng, C. & Juang, C. (2000).

En base al valor obtenido de PL , la probabilidad de licuefacción de una capa de suelo puede ser definido en base a la clasificación propuesta por Cheng and Juang (Chen & Juang, 2000) mostrada en la Tabla 3.9.

3.7.5 Índice de potencial de licuefacción (LPI)

El índice de potencial de licuefacción (LPI) ayuda a cuantificar la severidad de licuefacción y predecir daños o potencial de fallas en la superficie producto de licuefacción en zonas propensas a sufrir este fenómeno. Acorde a lo originalmente propuesto por Iwasaki en 1978 (Iwasaki, et al., 1978), LPI pondera factores de seguridad y espesores de capas potencialmente licuables en función de la profundidad. Se asume que la severidad de la licuefacción es directamente proporcional a:

- ❖ Espesor acumulado de capas licuadas.
- ❖ Proximidad de capas que presentan licuefacción a la superficie.
- ❖ Cantidad en que el factor de seguridad (FS) es menor a 1.

La expresión propuesta por Iwasaki es la mostrada en la ecuación (3.22)

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

$$1 - FS ; FS \leq 1$$

$$F = 0 ; FS > 1$$

$$w(z) = 10 - 0.5 z$$

Ecuacion 3. 22: Expresión propuesta por Iwasaki.

Dónde:

Z representa la profundidad del punto medio de la capa de suelo medido en metros y **W (z)** un factor de peso que va desde uno (en la superficie) a cero a una profundidad de 20 metros.

El factor de seguridad (**FS**) es determinado más comúnmente a través de métodos simplificados usando ensayos geotécnicos in situ, como el propuesto por Idriss y Boulanger mostrado anteriormente

Tabla 3. 10: Categorías potencial de licuefacción basadas en valor LPI propuestas por Iwasaki et al. (1982).

Categorías potencial de licuefacción basadas en valor LPI propuestas por Iwasaki et al. (1982)& Luna and Frost(1998).		
LPI	Iwasaki et al.	Luna and Frost.
0	Muy bajo	Bajo a nulo
$0 < LPI < 5$	Bajo	Bajo
$5 < LPI < 15$	Alto	Moderado

Fuente: Iwasaki, T. et al. (1982); Luna, R. & Frost, J. (1998).

La interpretación y significado de los valores de **LPI** (Índice potencial de licuefacción) varía dependiendo del modelo empírico usado para determinar **FS** y la ubicación donde los valores de **LPI** fueron calibrados con casos históricos de licuefacción.

El primero en calibrar y proponer una clasificación para los valores de LPI fue Iwasaki et al. (Iwasaki e. a., 1982) quien en 1982 compilando información de 6 terremotos históricos en Japón y estimando CRR para cada capa de suelo a partir de un método empírico basado en valores de SPT alternativo al método simplificado propuesto originalmente por Seed & Idriss ((Idriss S. &., 1971)), correlacionó los valores de LPI con observaciones de daños en la superficie y propuso 4 categorías para clasificar el índice de potencial de licuefacción: “**muy bajo**”, “**bajo**”, “**alto**” y “**muy alto**” (Ver Tabla 3.10). Al respecto se puede comentar que las áreas mostrando distinto grado de susceptibilidad y áreas no susceptibles a licuar pueden ser clasificadas en mapas de susceptibilidad como zonas propensas a licuar. Sin embargo, áreas no susceptibles a licuar no podrían ser caracterizadas. Además, a pesar que las categorías “**alto**” y “**bajo**” están bien definidas

Para integración de LPI en la ecuación (3.16) Luna and Frost ((Frost, 1998)) propusieron una forma de integración discreta donde el perfil de suelo es dividido en un número de capas “N” de acuerdo a la ecuación (3.17).

Dónde:

Hi es el espesor de la capa de suelo discretizada,

FSi el factor de seguridad de licuefacción,

wi el factor de peso ($=10-0.5z_i$) y

zi la profundidad de la capa “i”. Junto con ello, Calibrando valores con datos históricos en California, Norte América proponen una nueva clasificación a la propuesta por Iwasaki y que se muestra en la Tabla 3.23.

$$\sum_{i=1}^N \Sigma w_i * F_i * H$$

$$F_i = 1 - F_{Si}; F_{Si} \leq 1$$

$$F_i = 0; F_{Si} > 1$$

Ecuacion 3. 23: nueva clasificación a la propuesta por Iwasaki.

Con el objetivo de superar las limitaciones de interpretación en los valores de LPI para la clasificación propuesta por Iwasaki y modificada por Luna, es que en el año 2003 Sonmez ((Sonmez, 2003)) modificó el término $F(z)$ en la ecuación (3.16) propuesta originalmente por Iwasaki ((Iwasaki e. a., 1982)) considerando un valor límite igual a **1.2** para separar las categorías de suelo “no licuable” y “ligeramente licuable” según lo siguiente:

$$F(z) = 0; \text{ Para } FS \geq 1.2$$

$$F(z) = 2 * 106 * e^{-18.427 * FS}$$

$$\text{ Para } 1.2 > FS > 0.95$$

$$F(z) = 1 - F_s; \text{ Para } FS < 0.95$$

Ecuacion 3. 24: (Sonmez, 2003) modificación en el término $F(z)$.

Esto le permitió a Sonmez introducir 2 nuevas categorías en la clasificación propuesta por Iwasaki (Iwasaki e. a., 1982)) llamadas: “no licuable” y “moderado”. Los valores límites de LPI para las categorías “alto” y “muy alto” fueron mantenidos. Esta introducción de conservatismo en la ecuación es consistente con las recomendaciones hechas por Seed & Idriss (Idriss S. &., 1982)) de adoptar un FS entre 1.25 y 1.5 para identificar suelos potencialmente licuables. Los valores límites propuestos por Sonmez se muestran en la Tabla 3.11.

Tabla 3. 11: Categorías potenciales de licuefacción basadas en valor LPI propuestas por Sonmez (2003).

valores limites de suelos potencialmente licuables propuestos ,sonmez(2003)	
LPI	Categoría potencial licuefacción
0	No licuable (basado en $FS \geq 1.2$)
$0 < LPI \leq 2$	Bajo
$2 < LPI \leq 5$	Moderado
$5 < LPI \leq 15$	Alto
$LPI > 15$	Muy Alto

Fuente: Sonmez, H. (2003).

Por otro lado, Toprak y Holzer (Holzer, 2003)) compilando información del terremoto de 1989 en Loma Prieta California y estimando **CRR** a partir de una relación empírica basada en valores de ensayos CPT propuesta por Robertson y Wride y recomendada por Youd et al. (Youd, 2001)) estimaron la probabilidad de manifestaciones superficiales de licuefacción en función de LPI y correlacionaron LPI con las observaciones reales en la superficie.

A pesar que el método difiere notoriamente con lo propuesto por Iwasaki (Iwasaki e. a., 1982)), la escala resultante para clasificar el potencial de licuefacción fue similar a la obtenida por Iwasaki.

La probabilidad de daños en la superficie producto de licuefacción fue de 58% cuando LPI fue mayor o igual a 5 y de un 98% cuando es mayor o igual a 15. También descubrieron que la severidad de estos daños generalmente aumenta a medida que el valor de LPI lo hace.

Lee et al. En el año 2004 (Lee, 2003)) siguiendo el mismo procedimiento para estimar CRR que Toprak y Holzer ((Holzer, 2003)) y considerando la probabilidad de licuefacción mostrada en la ecuación (3.21) propuesta por Juang. et al. ((Juang e. a., 2003)) , reemplazaron el término $F(z)$ en la ecuación (3.22) propuesta por Iwasaki et al. ((Iwasaki e. a., 1978)) con PL renombrando el índice de potencial de licuefacción (LPI) como índice de riesgo a la licuefacción definido según la ecuación (3.23) calibraron los valores obtenidos con observaciones de daños por licuefacción en el terremoto de 1999 en Chi-Chi, Taiwán, y encontraron que 85% de los casos en que el suelo fue clasificado como “no licuable” tenían un $LPI > 5$ y que el 30% de estos casos tenían incluso un valor de $LPI > 15$. A motivo de esto concluyeron que el potencial de licuefacción es extremadamente alto para sitios con $LPI > 30$ y bajo para sitios con $LPI < 20$.

3.7.6 Antecedentes de licuación en la comuna San Pablo.



Ilustración 3. 14: Vivienda con asentamiento en el sector Comuna Ayangue luego del sismo del 31 de Marzo del 2019.

Fuente: Simon Macias.



Ilustración 3. 15: Borde de camaronera Cenaim sector Comuna Palmar Barrio Sta. María se observa fisuras y volcanes de arena luego del sismo del 31 de marzo 2019 de 6.1 Mw en Salinas.

Fuente: .Simon Macias.

San Pablo es una zona que se encuentra catalogado como una región de amenaza sísmica alta y a pesar de ser un pueblo joven y a lo largo de la historia se registran eventos que afectaron el sitio cuando aún esta zona rural no era habitada y en lo posterior.

El reciente sismo registrado el 31 de Marzo en Salinas de 6.1 Mw nos mostró un poco el alcance que puede tener un sismo de gran escala con respecto al sector del estudio como nos muestra la fotografía en el sector cercano a la zona de estudio de la Comuna San Pablo (ver ilustraciones 3.15), específicamente en Palmar con grietas q alcanzaron los 3cm y 5 cm, volcanes de arena en el borde de la camaronera de



CENAIM.

Ilustracion 3. 16 : Roca deslizada desde el cerro de Ayangue producto del sismo del 31 de marzo del 2019.

Fuente: Simon Macias.

CAPITULO IV

4. Sismotectónica y Fuentes Sísmicas

3

4

4.1 Sismicidad histórica.

Terremotos históricos documentados en la parte norte de la provincia de Santa Elena y golfo de Guayaquil, inician desde el 11 de junio de 1787 (magnitud estimada 6.5, intensidad macrosísmica de VIII), en su totalidad se han registrado 26 sismos con magnitudes en el orden de $5.5 \leq M \leq 7.8$. Muchos de estos sismos tienen distancias hipocentrales menores a 20 Km de profundidad, son atribuidos a sistemas de fallas corticales y de subducción.

Los terremotos que generaron eventos por tsunamis en el Golfo de Guayaquil y afectaron las costas de Santa Elena, son poco documentados, el terremoto del 7 de enero de 1901 de magnitud 7.8 (otros catálogos estiman 7.6) frente a la península de Santa Elena, no se tiene suficiente documentación que permita evaluar los daños macrosísmicos en el terreno. Otro evento como el tsunamis del 2 de octubre de 1933 (Magnitud 6.9) frente a Salinas, documenta oscilaciones del nivel del mar con alturas de ondas de tsunamis en el orden de los 2 a 2.5 m, penetrando como forma de inundación y no como oleaje turbulento para el borde costero de Santa Elena (Arreaga & Ortiz, 2002; Espinoza, 1992). El tsunamis del 12 de diciembre de 1953 (magnitud 7.8), generado frente a la costa de Tumbes (frontera Ecuador – Perú) reporta ondas de 20 cm de altura para la población La Libertad y rápida inundación para la franja costera de Salinas (Silgado, 1957). El terremoto tsunamis del 7 de

febrero de 1959 (Mw 7.2) no proporciona mayores datos relevantes a efectos cosísmicos en el terreno. Esta escasa información de sismicidad histórica direcciona a buscar otras disciplinas que permitan comprender la recurrencia de grandes terremotos generadores de tsunamis y estimar los máximos niveles de sismicidad.

Desde el catálogo del NEIC, se obtuvo importante información sismológica e instrumental, que indican una alta recurrencia sísmica entre abril 1961 a marzo 1962, donde se reportaron al interior del Golfo de Guayaquil, cuatro [4] terremotos de considerables magnitudes en el orden de los 6 y 6.2 (ver, Tabla No. 1).

En referencia a los efectos en el terreno de esta recurrencia sísmica entre 1961 y 1962, al interno de las provincias costeras cercanas, no ha sido documentados rasgos geológicos considerables sin embargo es probable que los movimientos telúricos de aquella época se presentaran como atenuaciones de mayores duraciones, en particular, en sedimentos cuaternarios de tipo arcillosos no consolidados.

La red sismológica local del EPN, desde su funcionamiento en 1988, ha registrado sismos con magnitudes menores a 5,6, estos datos permiten indicar que la recurrencia de terremotos con magnitudes mayores a 6 corresponde a intervalos de recurrencias más largos siendo el último documentado el 12.03.1962. Esta información podría permitir subestimaciones en los niveles de sismicidad ya que por la falta de suficientes cantidades de sismos instrumentales podrían considerar al Golfo de Guayaquil y la provincia de San Elena, como una zona de niveles de sismicidad moderada a baja. Aquí la importancia y recomendación de caracterizar las fallas activas que permitirían obtener valiosa información sobre el potencial sísmico de cada estructura sismogénica, es decir estimar las máximas magnitudes y las máximas aceleraciones en rocas que podrían generar en un determinado sitio de interés. La información sismológica disponible de la RENSIG (llamado así también el EPN del Instituto Geofísico del Ecuador) comprende actualmente sismos con $M_s \geq 4$.

El último sismo considerable fue registrado el 21.05.2005 con Mw 6.3 y distancia focal (H) de 39 Km (Fuente: NEIC, National Earthquake Information Center). Muchos de estos sismos hipocentrales son producto de la dinámica entre choques y posterior subducción a través del plano de Benioff de la placa oceánica de Nazca contra el segmento continental conformado por el Bloque Norandino en el Norte y la placa sudamericana al Sur.

Tabla 4. 1: Sismos moderados a altos documentados en el catálogo CERESIS y registrados por el NEIC en el orden de magnitudes mayores a 5.5, mientras que sismos moderados mayores a 5 son registrados desde la red local de sismogramas del EPN para el Golfo de Guayaquil y parte de la península de Santa Elena.

Fecha	Lat.	Long.	Mg	Prof.	Catálogo
09.07.1653	-2.19	-79.89	5.7	ND	CERESIS
11.06.1787	-2.38	-80.11	6.5	20	
07.01.1901	-2.00	-82.00	7.8	25	CERESIS
22.07.1924	-2.00	-80.00	6.5	ND	CERESIS
02.10.1933	-2.00	-81.00	6.9	15	CERESIS
03.10.1933	-1.75	-80.75	6.3	ND	CERESIS
30.01.1943	-2.00	-80.50	6.2	100	CERESIS
12.12.1953	-3.40	-80.60	7.8	30	CERESIS
12.03.1957	-1.59	-80.15	6.2	60	CERESIS
26.08.1957	-2.00	-81.00	6	ND	CERESIS
07.02.1959	-3.70	-81.71	7.4	33	CERESIS
12.08.1959	-3.00	-80.50	5.7	33	CERESIS
21.06.1960	-2.00	-80.50	6.1	ND	CERESIS
10.09.1960	-2.50	-82.00	5.7	33	CERESIS
08.04.1961	-2.60	-81.00	6.2	25	CERESIS
22.04.1961	-2.80	-80.80	5.8	30	CERESIS
21.05.1961	-3.10	-80.90	6	27	CERESIS
02.06.1961	-3.00	-80.40	6.2	37	CERESIS
10.12.1970	-3.97	-80.66	7.1	15	CERESIS
12.03.1962	-2.90	-80.20	6.2	25	CERESIS
18.08.1980	-1.98	-80.03	5.5	74	CERESIS
06.05.1981	-1.96	-80.99	5.8	36	CERESIS
26.08.1982	-2.69	-79.87	5.8	70	NEIC
06.11.1989	-2.76	-80.74	5	ND	EPN
10.02.1990	-3.18	-80.86	5.6	ND	EPN
16.02.1990	-3.19	-80.69	5	ND	EPN
15.08.1990	-3.08	-80.63	5	19	EPN

Fecha	Lat.	Long.	Mg	Prof.	Catálogo
10.02.1990	-3.17	-80.83	5.5	56	NEIC
13.10.1990	-3.24	-80.85	5.1	ND	EPN
18.08.1992	-2.84	-80.47	5.1	0.4	EPN
27.04.1993	-2.60	-80.64	5.3	0.3	EPN
24.06.1993	-2.93	-80.32	5.4	12.3	EPN
11.08.1994	-2.20	-81.57	5	11.8	EPN
26.03.1995	-2.05	-79.75	5.3	3.3	EPN
14.06.1995	-3.50	-80.56	5.3	0.3	EPN
27.06.1995	-3.11	-80.47	5.3	ND	EPN
13.08.1995	-2.89	-80.75	5	16	EPN
05.08.1996	-2.06	-81.37	5.5	6.6	EPN
05.08.1996	-2.00	-81.00	6.3	33	NEIC
15.02.1997	-2.77	-80.83	5.4	10	EPN
16.09.1998	-3.50	-79.68	5	18.9	EPN
17.03.2002	-3.42	-79.96	5.3	17.7	EPN
11.08.2004	-3.15	-81.07	5	35.9	EPN
24.01.2005	-2.33	-80.65	5.6	28	NEIC
24.01.2005	-2.45	-80.87	5.2	20.1	EPN
09.04.2005	-3.55	-80.30	5	13.3	EPN
13.05.2005	-3.39	-80.62	5.2	13.3	EPN
21.05.2005	-3.29	-80.99	6.3	39	NEIC
21.05.2005	-3.51	-81.33	5.5	9.3	EPN
29.05.2005	-3.12	-81.03	5.2	5.6	EPN
15.08.2007	-3.09	-80.65	5	18.3	EPN
26.01.2008	-2.95	-80.69	5.4	18	EPN
18.07.2008	-2.05	-80.59	5.1	15.7	EPN

Fuente: Dr.Kervin Chunga.

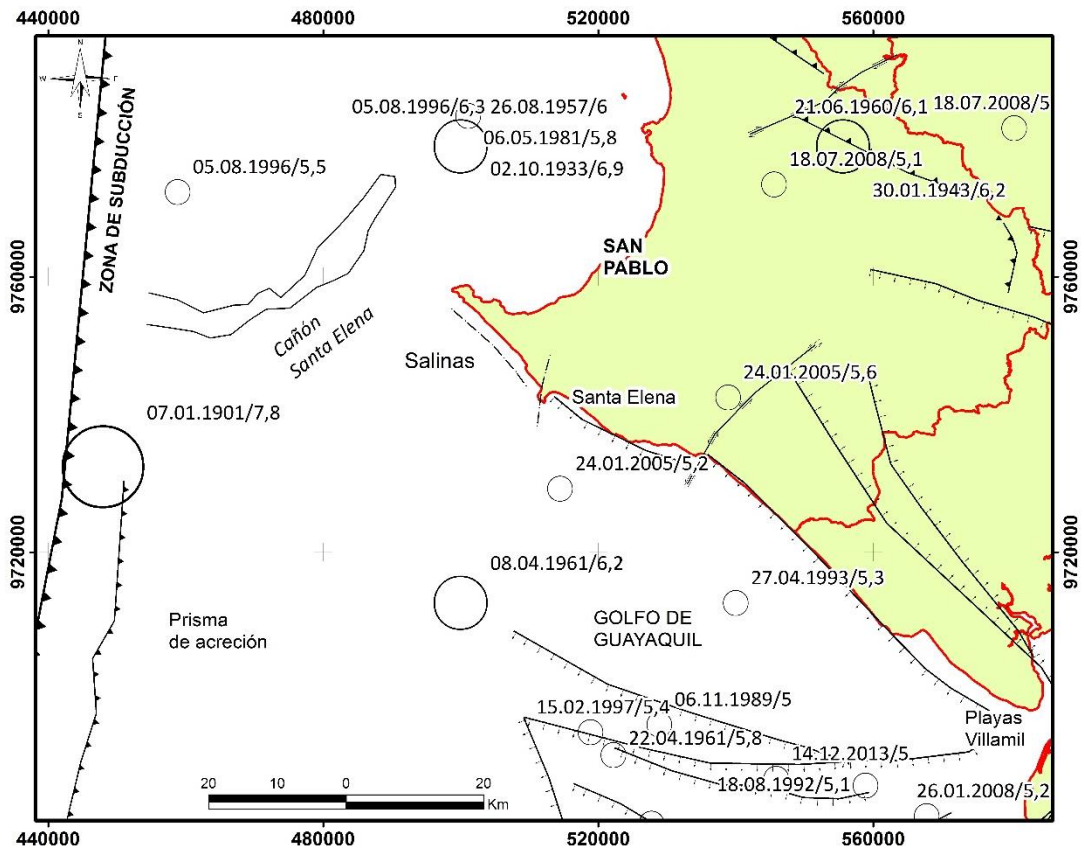


Ilustración 4. 1: Mapa de sismos históricos para la península de Santa Elena.
Fuente: Dr.Kervin Chunga.

4.2 Caracterización sísmica de fallas geológicas.

Un método determinístico es aplicado en esta sección para estimar máximos niveles de sismicidad, desde análisis de fallas geológicas activas y capaces de generar sismos considerables. Esta técnica comprende la aplicación de ecuaciones de regresiones aplicadas a los parámetros geométricos y cinemáticos de fallas geológicas activas y capaces determinando máximas magnitudes (Leonard, 2010; Stirling et al., 2013; Well & Coppermish, 1994; Wesnousky, 2008) y máximas aceleraciones en rocas (Fukushima & Tanaka, 1990), PGA, Peak Ground Acceleration.

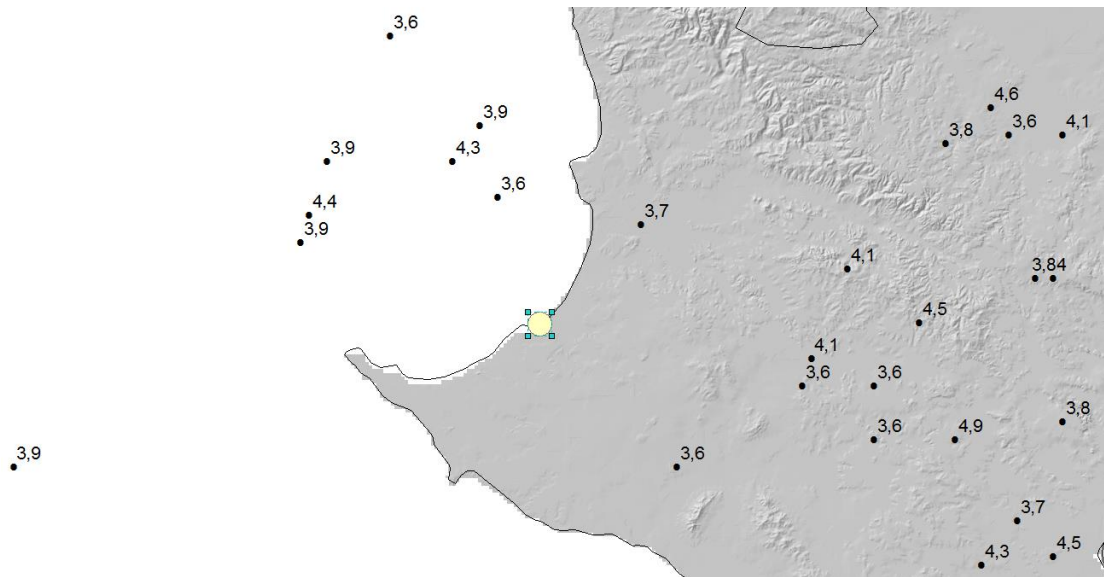
Para una mejor comprensión de la terminología geológica estructural que aplicamos en nuestro análisis para el cantón Santa Elena, se define falla “capaz” y fuente potencial de futuros terremotos, aquella estructura que evidencia dislocaciones o desplazamientos superficiales durante los últimos 30.000 años (Agencia Internacional de Energía Atómica, siglas en inglés IAEA, 2002), y/o si la sismicidad histórica o instrumental está asociada a una falla determinada (ie. Chunga 2010). Por otra parte, una falla se considera “potencialmente activa” y se considera una fuente

potencial de futuros terremotos si se evidencian dislocaciones superficiales por lo menos una vez en los últimos 50.000 años (IAEA, 2002; Robert & Michetti, 2004; Michetti et al., 2007).

Los parámetros sísmicos de las fallas han sido consultados desde los parámetros geométricos para cada una de las fallas seleccionadas, incluyen: (1) la proyección espacial de longitud de la falla en el terreno, (2) geometría y cinemática de la falla, (3) la inmersión estructural y ángulo estimado del desplazamiento de la falla “en análisis de mecanismo focal es denominado rake”, y (4) el ancho de la estructura sismogénica. Con estos parámetros y aplicando las ecuaciones descritas en la sección precedente, se ha determinado magnitud, intensidad macrosísmica y aceleración (PGA, Peak Ground Acceleration). Las fallas segmentadas tienen magnitud inferior, por lo tanto la tasa de deslizamiento de la falla requiere de muchos sismos de menor magnitud para acomodar un acumulativo momento sísmico (Well & Coppersmith, 1994).

Ilustracion 4. 2: Secuencia sísmica para la zona de santa Elena.

Fuente: Simon Macias.



El acercamiento más usual para estimar la máxima magnitud es a través de una comparación de la longitud de la ruptura de la falla y su magnitud asociada; confirmando lo anteriormente mencionado, se estima las máximas magnitudes para cada una de las fallas corticales individualizadas en este estudio y el máximo desplazamiento vertical basadas en relaciones empíricas de regresión de magnitud-terremoto-ruptura/desplazamiento de falla geológica, propuesta por Well & Coppersmith (1994).

$$(M_w) = 5.08 + 1.16 * \text{LOG} (L_f)$$

Ecuación 4. 1: Magnitud estimada (M_w)

$$D_f = \text{EXP}(-1.38 + 1.02 * \text{LOG}(L_f))$$

Ecuación 4. 2: Desplazamiento de falla (en metros).

Donde L_f , es la longitud de la falla geológica capaz.

Leonard (2010) propone modificaciones y correcciones a la formula precedente para estimar máximas magnitudes.

$$M_w = a * \log (L_f) + b;$$

Ecuación 4. 3: modificaciones y correcciones a la formula para estimar máximas magnitudes. siendo los coeficientes de, $a=1.52$ y $b=4.33$.

Wesnousky (2008), propone la relación de escala de terremotos para cada tipo de fallas capaces, tales como:

$$M_w = 5.56 + 0.87 * \text{Log}(L_f)$$

Ecuación 4. 4: Fallas cizallas.

$$M_w = 6.12 + 0.47 * \text{Log}(L_f)$$

Ecuación 4. 5: Fallas normales.

$$M_w = 4.11 + 1.88 * \text{Log}(L_f)$$

Ecuación 4. 6: Fallas inversas.

Para este estudio consideramos las fórmulas propuestas por Wesnosuky (2008), que considerada cada tipo de falla y define que una falla de la misma longitud puede tener diferentes magnitudes dependiendo del tipo de fallas, sean inversas, normales o cizallas dextrales sinistralas. La delineación espacial de las fallas fue realizada en una plataforma GIS. El desplazamiento de la falla “dip-slip Fault” es la inmersión estructural de las fallas y el movimiento de la falla “rake” es asociado a los campos de esfuerzos de tracción compresión y cizallas.

Estas ecuaciones de regresiones indican que no todos los tipos de fallas de una misma dimensión pueden generar sismos de un mismo valor de grado de magnitud (Stirling et al., 2013; Wesnousky, 2008), esta teoría es aplicada para las fallas capaces delineadas en el cantón de Sucre, donde se define que aquellas fallas de tipo inversa son consideradas potencialmente capaces de generar terremotos mayores que aquellas de igual longitud, pero de tipos cizallas y normales.

Otra medición de los terremotos son las máximas aceleraciones en roca (Peak Ground Acceleration, PGA), aquí se ha aplicado la ecuación propuesta por Fukushima & Tanaka (1990). Estos valores de aceleraciones máximas en rocas son confrontables con el mapa de zonación sísmica del Ecuador (Código Ecuatoriano de

la Construcción NEC, 2011). La ecuación de Fukushima & Tanaka (1994), es detallada como sigue:

$$\text{PGA}_{\text{estimado}} = \frac{(10^{(0,41 * \text{Me} - \text{LOG}_{10}(\text{Hf} + 0,032 * 10^{(0,41 * \text{Me})} - 0,0034 * \text{Hf} + 1,3))})}{980}$$

Ecuación 4. 7: PGAestimado.

Hf, es el hipocentro o profundidad en kilómetros de la falla geológica.

Me, magnitud estimada desde longitud de falla.

Los datos obtenidos de magnitudes y PGA han sido interpolados aplicando los programas ArcMap GIS y Surfer, usando el método “gridding” para generar mapas de isovalores. Estos mapas de Mw y PGA son bien confrontados con la tectónica activa de la región.

Id.	Falla capaz	Tipo	Longitud de falla (Km)	Prof. falla (Km)	Ancho de falla	Máximo desplaz. (m) Well & Coppermish, 1994	Magnitud estimada propuestas por Well & Coppermish, 1994	Magnitud estimada desde dimensión y distancia focal de falla	Niveles de confiabilidad desde análisis sismológicos y morfológicos	Bibliografía, referencia citada	PGA Fukushima & Tanaka (1990)
1	F. San Jose	Inversa	34,25	20	12	1,2	6,86	6,84	deducida	Eguez et al., 2003	0,28
2	F. Valdivia	Cizalla dextral	24,57	20	10	1,0	6,69	6,69	deducida	Chunga 2010	0,26
3	F. Bachiller	Inversa	28,18	18	10	1,1	6,76	6,71	cierta	Chunga 2010	0,28
4	F. El Achote	Inversa	12,36	16	6	0,8	6,35	6,30	deducida	Chunga 2010	0,25
5	F. Colonche	Inversa	27,48	16	10	1,1	6,75	6,64	cierta	Chunga 2010	0,30
6	F. Colinas	Inversa	12,28	20	6	0,8	6,34	6,39	deducida	Chunga 2010	0,21
7	F. Carrizal	Normal	36,28	16	14	1,2	6,89	6,76	deducida	Litton 1986	0,32
8	F. Guayaquil	Inversa	29,05	30	10	1,1	6,78	6,94	cierta	Chunga 2010	0,20
9	F. Babahoyo	Cizalla dextral	58,77	23	20	1,5	7,13	7,13	deducida	Dumont et al., 2005	0,29
10	F. Montalvo	Inversa	35,75	25	18	1,2	6,88	6,95	deducida	Chunga 2010	0,24
11	F Chillanes	Inversa	50,25	18	20	1,4	7,05	6,96	cierta	Winkler 2005	0,32
12	F San Antonio	Normal	43,70	18	10	1,3	6,98	6,90	deducida	Winkler 2005	0,31
13	F. Puna - El Triunfo	Cizalla dextral	63,00	18	16	1,6	7,17	7,05	deducida	Litton 1986	0,34
14	F. Boliche	Cizalla dextral	57,50	18	16	1,5	7,12	7,01	deducida	Litton 1986	0,33
15	F. Milagro	Cizalla dextral	74,00	18	16	1,7	7,25	7,12	deducida	Litton 1986	0,35
16	F. Estero Salado	Normal	52,00	18	13	1,4	7,07	6,97	deducida	Dumont et al., 2005	0,32

17	F. Progreso	Normal	49,88	18	15	1,4	7,05	6,95	cierta	Litton 1986	0,32
18	F. La Cruz	Normal	69,93	18	16	1,7	7,22	7,10	cierta	Litton 1986	0,34
19	F. Zapotal	Cizalla sinestral	28,03	20	12	1,1	6,76	6,75	deducida	Litton 1986	0,26
20	F. Salinas	Inferida	16,17	20	10	0,9	6,48	6,51	deducida	Litton 1986	0,23

Id.	Falla capaz	tipo	Longitud de falla (Km)	Prof. falla (Km)	Ancho de falla	Máximo desplaz. (m) Well & Coppermist h, 1994	Magnitud estimada Well & Coppermist h, 1994	Magnitud estimada desde dimensión y distancia focal de falla	Niveles de confiabilidad desde análisis sismológicos y morfológicos	Bibliografía, referencia citada	PGA Fukushima & Tanaka (1990)
21	F. Anconcito	Inferida	11,08	20	10	0,7	6,29	6,35	deducida	Litton 1986	0,21
22	F. Chanduy	Normal	22,00	20	8	1,0	6,64	6,64	cierta	Litton 1986	0,25
23	F. Playas	Normal	58,92	20	14	1,5	7,13	7,07	cierta	Litton 1986	0,31
24	F. Puna Norte	Cizalla dextral	29,00	15	16	1,1	6,78	6,64	cierta	Litton 1986	0,32
25	F. Zapote	Cizalla dextral	36,50	15	16	1,2	6,89	6,74	deducida	Litton 1986	0,33
26	F. El Tabor	Normal	41,35	18	14	1,3	6,96	6,87	cierta	Litton 1986	0,31
27	F. Balao	Inferida	50,23	15	10	1,4	7,05	6,88	deducida	Litton 1986	0,35
28	F. Naranjal	Inversa	31,00	18	10	1,2	6,81	6,75	cierta	Eguez et al., 2003	0,29
40	F. Prisma	Inversa	128	10	30	2,2	7,52	7,11	cierta	Chunga 2010	0,47

Tabla 4. 2 a y b: Catálogo de fallas activas y capaces de generar terremotos con magnitudes entre los 6.35 a 6.84. La delineación estructural en el terreno puede ser observada en la Ilustración 4.1.

Fuente:

Dr.Kervin

Chunga.

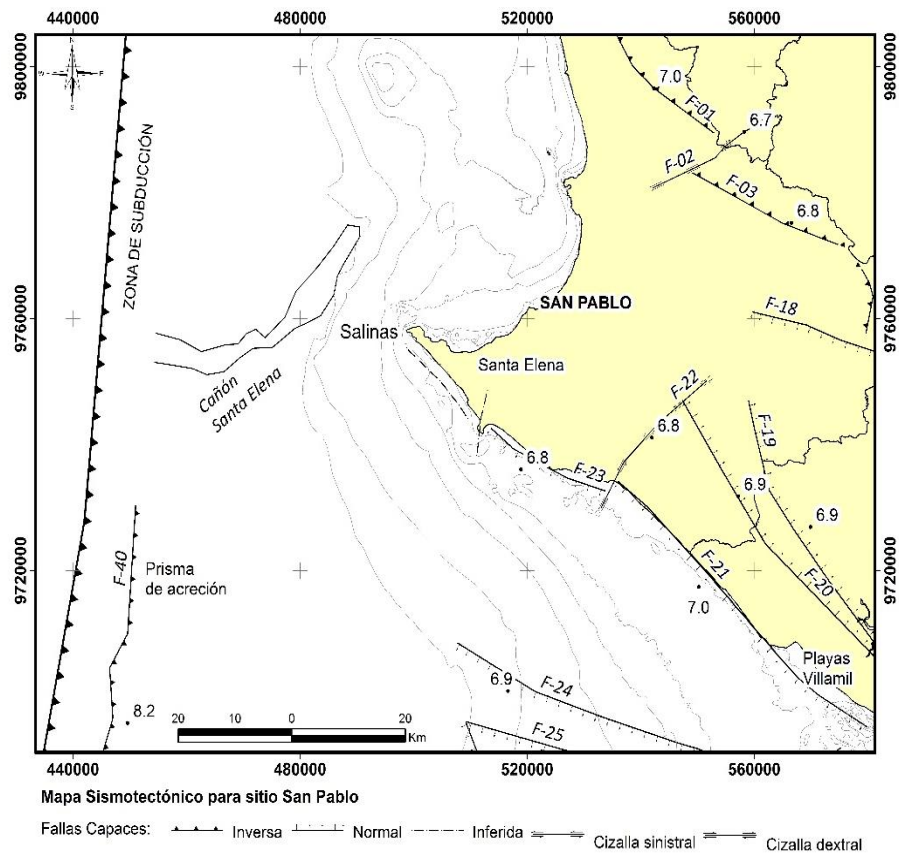


Ilustración 4. 3: Fallas geológicas activas de San José, Achioté y Valdivia, las más cercanas al sitio de estudio.

Fuente: Dr.Kervin Chunga.

Las fallas F02, F03, F18, F22, F23 y F24 son las más cercanas al sitio de estudio, San Pablo, pueden generar terremotos en el orden de magnitudes 6.7 a 6.9 y aceleraciones entre 0.24 a 0.32 g.

4.3 Aceleración máxima

Uno de los parámetros más importantes a determinar es la aceleración máxima del terreno; amax.

Para la evaluación de amax se utilizan diversas metodologías entre las cuales podemos citar las siguientes:

- ❖ **Terremotos históricos:** estudio de terremotos pasados
- ❖ **Terremotos máximos posibles:** el mayor terremoto que razonablemente puede esperarse

- ❖ **Terremoto máximo probable:** establecido sobre la base del estudio de fallas cercanas
- ❖ **Mapas de riesgos sísmicos:** valores de a_{max} de estudios probabilísticos para un periodo dado.

Según la Norma Ecuatoriana de Construcción, nec-15. Los estudios geotécnicos para diseño sismo-resistente en el Ecuador se han dividido en seis zonas sísmicas, caracterizadas por el valor del factor de zona «Z».

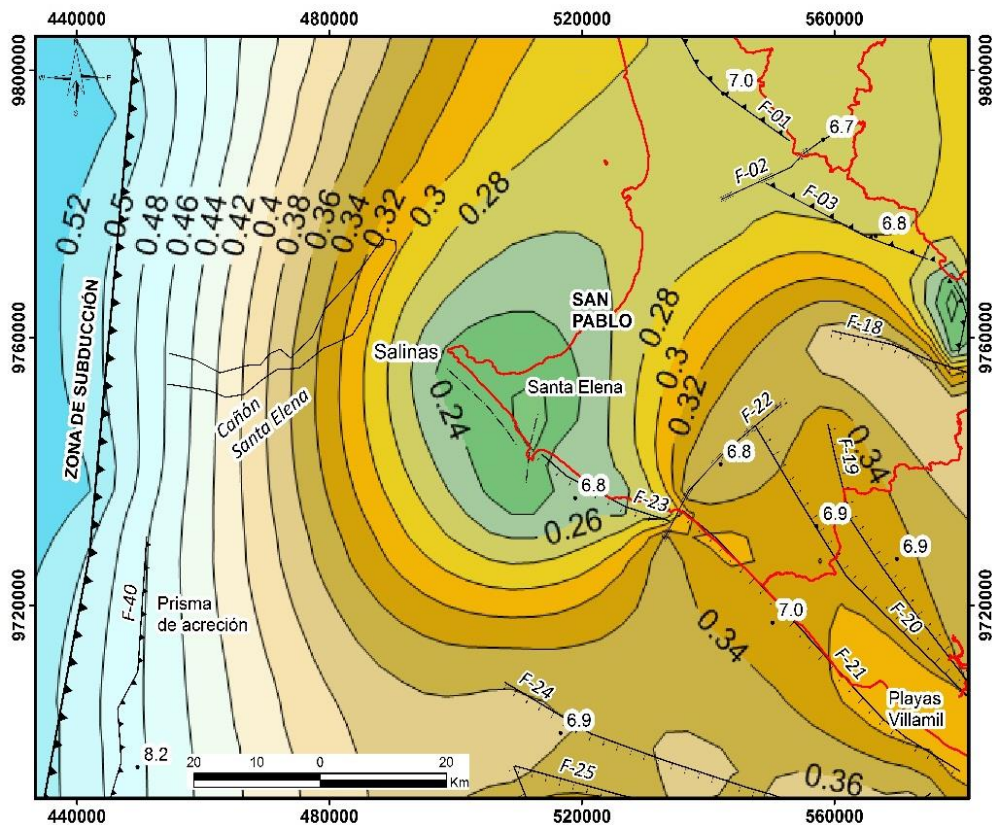


Ilustración 4. 4: Mapa de aceleraciones en roca calculado desde fallas geológicas activas y zona de subducción.

Fuente: Simon Macias.

El valor z representa la aceleración máxima esperada, a nivel de roca, pga_{rock} , para el sismo de diseño, expresada como fracción de la gravedad.

El mapa es el resultado del estudio de peligro sísmico para el Ecuador, con un 10% de excedencia en 50 años, periodo de retorno de 475 años. Con aceleración de 0,5g en el litoral ecuatoriano.

TABLA 4. 3: Valores del factor z en función de la zona sísmica.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor Factor Z	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	≤0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

FUENTE: NEC, 2010.

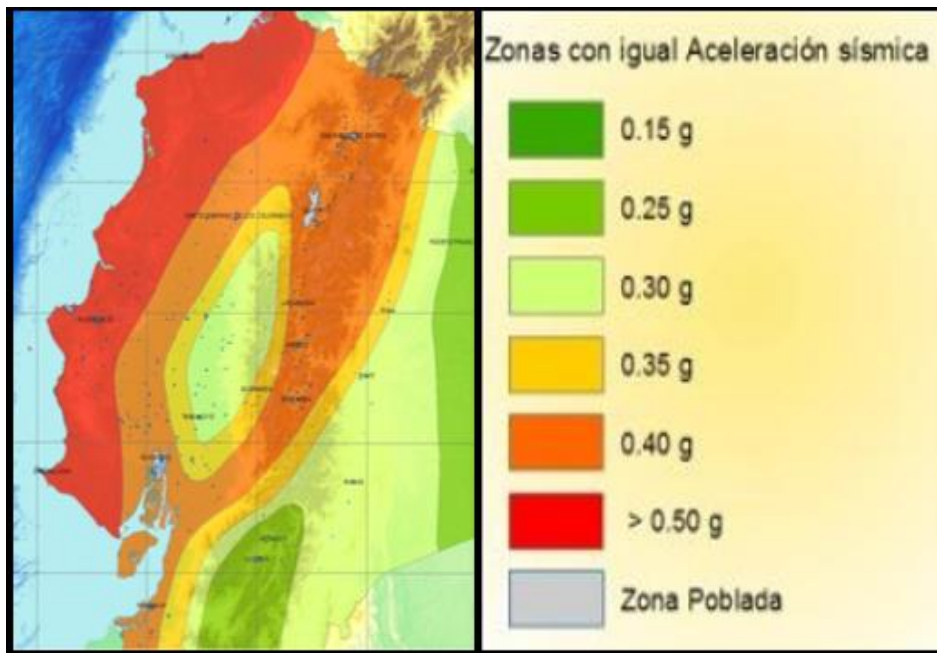


Ilustración 4. 5: Zonas con igual aceleración sísmica.

Fuente: NEC, 2010.

Se definen seis tipos de perfil de suelo los cuales se presentan en la Tabla 4.4.

Según la (NEC, 2015). Los parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a los 30 m superiores del perfil para los perfiles tipo A, B, C, D y E. Aquellos perfiles que tengan estratos claramente diferenciables deben subdividirse, asignándoles un subíndice i que va desde 1 en la superficie, hasta n en la parte inferior de los 30 m superiores del perfil.

Para el perfil tipo F se aplican otros criterios, como los expuestos en la sección 10.6.4 Requisitos específicos: respuesta dinámica para los suelos de tipo F y la

respuesta no debe limitarse a los 30 m superiores del perfil en los casos de perfiles con espesor de

suelo significativo.

Tabla 4. 4: Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico.

Tipo de perfil	'Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ KPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ KPa} > S_u \geq 50 \text{ KPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ KPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H >3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H >7.5 m con índice de Plasticidad IP >75)	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H >30m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Fuente: NEC 2015.

Diseño de Aceleraciones para Suelos Tipos B, C, D y E, con las especificaciones de la Norma NEC-15.

Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortó.

En la **Tabla 4.5** se presentan los valores del coeficiente **Fa** que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca,

Tabla 4. 5: Tipo de Suelo y Factor de Sitio Fa.

Tipo de perfil de los suelos	Zona Sísmica y factor Z.					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	$\geq 0,50$
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,4	1,3	1,25	1,23	1,2	1,18
D	1,6	1,4	1,3	1,25	1,2	1,12
E	1,8	1,4	1,25	1,1	1	0,85
F	Ver Tabla 4.4: Clasificación de los perfiles de Suelo					

Fuente: NEC-2015

tomando en cuenta los efectos de sitio.

Fd: desplazamientos para diseño en roca.

En la Tabla 4.6 se presentan los valores del coeficiente **Fd** que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

Tabla 4. 6: Tipo de suelo y factor de sitio.Fd

Tipo de perfil de los suelos	Zona Sísmica y factor Z.					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	$\geq 0,50$
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,36	1,28	1,19	1,15	1,11	1,06
D	1,62	1,45	1,36	1,28	1,19	1,11
E	2,1	1,75	1,7	1,65	1,6	1,5
F	Ver Tabla 4.4: Clasificación de los perfiles de Suelo					

Fuente: NEC-2015

Fs: comportamiento no lineal de los suelos.

Tabla 4. 7: Tipo de Suelo y Factor de Sitio.Fs

Tipo de perfil	Zona Sísmica y factor Z.					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	>= 0,50
A	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
B	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
C	0,85	0,94	1,02	1,06	1,11	1,23
D	1,02	1,06	1,11	1,19	1,28	1,4
E	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
F	Ver Tabla 2: Clasificación de los perfiles de Suelo					

Fuente: NEC-2015.

En la **Tabla 4.7** se presentan los valores del coeficiente **Fs**, que consideran el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos

4.4 Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones.

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones **Sa**, expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, se proporciona en la Figura 4.6, consistente con:

- ❖ el factor de zona sísmica **Z**,
- ❖ el tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura,
- ❖ la consideración de los valores de los coeficientes de amplificación de suelo **Fa, Fd, Fs**.

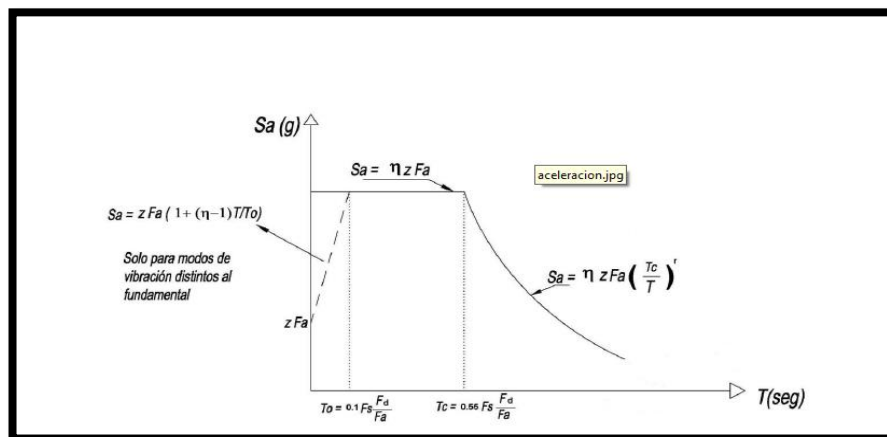


Ilustración 4. 6: Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones.

Fuente: NEC-2015.

Dónde: η

Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado.

Fa Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio

Fd Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio

Fs Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos

Sa Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura

T Periodo fundamental de vibración de la estructura

T0 Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

TC Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

Z Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g

4.5 Establecimiento de los espectros.

Para el establecimiento del espectro mencionado y de sus límites, se consideraron los siguientes criterios:

- ❖ **Estudio de las formas espectrales elásticas** de los sismos ecuatorianos registrados en la Red Nacional de Acelerógrafos
- ❖ A través de la recopilación de los registros de aceleración disponibles de sismos ecuatorianos, especialmente en roca y suelo firme, se estudiaron las formas espectrales de los mismos aplicando técnicas de promediado espectral (Yépez F. , 2000)
- ❖ Simulación estocástica de acelerogramas artificiales y estudio de formas espectrales
- ❖ A partir de los registros de aceleración reales disponibles y de la información sismológica del sismo real y del sismo mayor a simular (caída de esfuerzos, momento sísmico), se simularon registros artificiales mediante procesos estocásticos y funciones de Green. La simulación de varias familias de registros permitió estudiar la forma espectral de sismos mayores (Yépez, 2000)
- ❖ Estudio de las formas espectrales elásticas de las normativas ASCE 7-10 de los Estados Unidos y la NSR-10 de Colombia, ambas del 2010.

Se estudiaron (a base de **Dickenson, S (1994), Seed et al. (1997 y 2001), Tsang et al. (2006), Tena-Colunga, et al. (2009) y Vera Grunauer, X (2010), Huang et.al., (2010):**

- ❖ las formas espectrales,
- ❖ los factores de amplificación dinámica de las aceleraciones espectrales,
- ❖ las frecuencias fundamentales de vibración,
- ❖ la meseta máxima,
- ❖ la ecuación de la curva de caída
- ❖ los factores de comportamiento inelástico de suelos

Debido a la imposibilidad de utilizar la ductilidad para disminuir la ordenada espectral elástica para periodos cortos con fines de diseño y, únicamente para el análisis sísmico estático y para el análisis sísmico dinámico del modo fundamental de vibración, se eliminó el ramal izquierdo de ascenso de los espectros elásticos de respuesta típicos y se estableció que la meseta máxima llegue hasta valores de periodos de vibración cercanos a cero. (NEC, 2015)

Tabla 4. 8: Poblaciones ecuatorianas (Provincia de Santa Elena) y valor del factor Z.

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	Z
SAN PABLO	SANTA ELENA	SANTA ELENA	SANTA ELENA	0,5
AYANGUE	COLONCHE	SANTA ELENA	SANTA ELENA	0,5

FUENTE: NEC-2015.

CAPITULO V

5. Geología regional.

5.1 Litoestratigrafía.

De acuerdo al mapa geológico preparado para este estudio, las formaciones geológicas regionalmente predominantes, varían entre secuencias volcánicas y sedimentarias (Fm Cayo), y sedimentarias de las formaciones Grupo Ancón y Zapotal (próximas al sitio de estudio San Pablo), muchas de estas formaciones son cubiertas en planicies y terrazas por depósitos aluviales. Las edades de estas formaciones varían entre Cretácico al Cuaternario (Holoceno). La información bibliográfica que se utilizó es basada en el estudio de Geología de Santa Elena al suroeste del Ecuador por Antenor Alemán (2000), Baldock (1983), así como el estudio geológico de Reyes et al. (2012). La terminología para las formaciones geológicas para el Bloque de Santa Elena es múltiples, para una mayor comprensión se resumen por categoría de autores, como sigue para el Grupo Ancón:

SAUER (1965)		CANFIELD (1966)		
	GRUPO ANCÓN	Miembro Arenisca Punta Ancón	FORMACIÓN SECA	GRUPO ANCÓN
Capas Socorro		Miembro Lutitas Seca		
Clay Pebble Beds		Miembro Clay Pebble Beds	FORMACIÓN SOCORRO	
Middle Grits		Miembro Santo Tomás		

Tabla 5. 1: Definiciones geológicas de diversos Autores para el Grupo Ancón.

Fuente: Antenor Alemán (2000), Baldock (1983).

Desde un punto de vista de la geología regional, el sitio en estudio se encuentra dominada por diferentes unidades geológicas:

- Formación Cayo Kpn (Miembro Calentura y Cayo Sensu Strictu)
- Grupo Ancón (Miembros Clay Pebble Bed, Socorro y Seca) Eac
- ❖ Formación Zapotal Ozp
- ❖ Depósitos Aluviales Qal

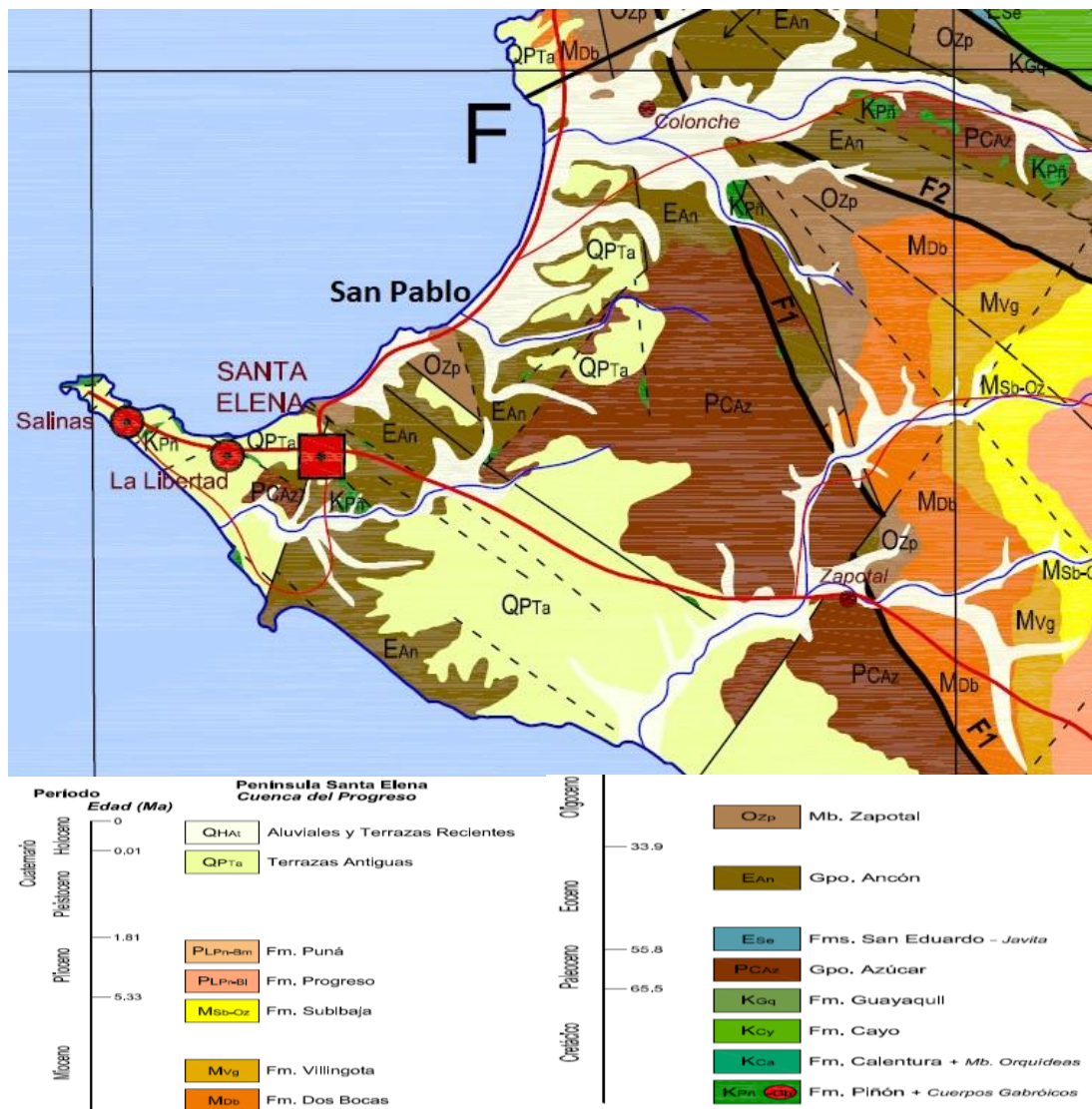


Ilustración 5. 1: Mapa geológico regional referido para el sitio San Pablo. Extracto del mapa de geología de la costa de Ecuador.

Fuente:propuesto por Reyes et al. (2012).

Las descripciones litológicas, bioestratigráficas y de edades absolutas son detalladas a continuación.

Formación Cayo (Cretácico superior: Senoniense - Maestrichtiense)

El nombre de Cayo fue propuesto por Landes (1946), por International Ecuadorian Petroleum Company (I.E.P.C.) que la describe como una gran secuencia (cerca de 3.000 metros) de sedimentos marinos y volcanoclásticos; brechas volcánicas basales están subyacidas por brechas y conglomerados de grano fino, areniscas tobáceas y grauwacas; la parte superior es menos volcánica, en la que dominan argilitas

pizarrosas silicificadas de color verdoso que pasan arriba dentro de los cherts del Miembro Guayaquil, que comprende argilitas altamente silicificadas, limonitas y cherts, que en ciertos lugares sobrepasan los 1.000 metros de espesor.

La Formación Cayo contiene una abundante fauna de Radiolarios (*Staurodictya*, *Spondiscus*, *Stylotrochus* y otros) y Foraminíferos (*Rzehakina*, *Bulimina*, *Eponides*, *Anomalinoidea*) los que señalan una edad que varía del Senoniense al Maestrichtiense. La presencia de pillow lavas, diques y columnas basálticas dentro de las argilitas Cayo muestran que el volcanismo continuó tanto en la región costera como en la sierra durante el Cretácico superior. La Formación volcánico – sedimentaria Cayo fue depositada en la parte occidental hacia el lado oceánico del Arco Volcánico de la Macuchi en una cuenca ante – arco en desarrollo (Oriental) no solamente por el arco – isla, sino también por el eje positivo emergente de la Cordillera Real.

Estudiada a detalle mediante una cartografía de Guayaquil (Benítez, 1990; F Alvarado, 1990; M. Mite, 1990). El estudio realizado en Guayaquil permitió levantar las columnas estratigráficas de las formaciones Cayo y Guayaquil que pueden ser observadas en la nueva autopista llamada Vía Perimetral. Allí se reconocen en la Fm Cayo el Miembro Basal lutítico y el Miembro Cayo ss volcanoclástico. Esta secuencia estratigráfica también es observada al sur de Isidro Ayora y Pedro Carbo (al interno de la cordillera costanera Chongón Colonche), a 20 km de distancia a través de los ríos Guaraguau, Zamoreño, Derecha y otros que cortan perpendicularmente la secuencia volcánico – sedimentaria.

Miembro Basal Calentura (Cretácico Superior)

Reconocido por Thalman (1946) en la parte Norte de Guayaquil. Las rocas estudiadas por no corresponden a un miembro "basal" sino a una intercalación de lutitas entre paquetes de areniscas y conglomerados cerca de la base del Miembro Cayo ss y que fueron mapeadas y datadas como Coniaciano por M. Ordoñez en Benítez (1990) en base al foraminífero *Globotruncana cf. renzi*, dándole una edad del Cenomaniano Superior-Turoniano.

Este microfósil es llamado ahora *Marginotruncana renzi* con un rango Turoniano Medio-Coniaciano, por M. Carón (1991). Marks (1956) determinó en el mismo sitio una edad Turoniano Superior en base a *Inoceramus plicatus*, *I. roemeri* e *I. striata*.

En el Cerro Jordán presenta una litología de lutitas silíceas, tobas finas y areniscas tobáceas turbidíticas, mientras que hacia el tope se encuentran calizas y lutitas negras, algo bituminosas, con microfósiles, escamas de peces e intercalaciones de areniscas turbidíticas volcano-clásticas. En este sitio, (Gamber. 1990) reportaron los siguientes nanofósiles: *Lithastrinus floralis*, *Eiffellithus eximius*, *Marthasterites furcatus* y *Quadrum gartneri* de edad Coniaciano y *Corollithion achylosum* y *Lithastrinus planus* del Turoniano.

El Miembro Cayo Sensu Strictu.

El Miembro Cayo ss sobreyace al Miembro Basal, presenta en Guayaquil 2.400 m de potencia y aflora con pocas interrupciones en la Vía Perimetral entre el Cerro Jordán y la Vía a Salinas.

Unidad C1 En la base del Miembro Cayo ss.-se presentan unos 700 m de brechas volcánicas y aglomerados de rocas andesíticas, cuyos elementos son a menudo redondeados hasta decenas de metros. Hacia el tope de esta unidad se encuentran megaturbiditas con granoclasificación.

Unidad C2 (500 m); en la base se presentan unos 20 m de lutitas algo calcáreas con microfauna de radiolarios y foraminíferos correlacionables con el "Miembro Calentura" de Thalman y cuya edad definida por *Globotruncana cf. renzi*, es Turoniano Medio-Coniaciano (Carón, 1991) y más precisamente Turoniano Superior en base a moluscos *Inoceramus* (Marks, 1956); por sus características litológicas y paleontológicas es un buen marcador estratigráfico dentro de la Fm Cayo. La mayor parte de la unidad está constituida por tobas y areniscas tobáceas (grauwacas) gradadas, de composición litofeldespática y matriz vítrea-smectítica y por lutitas tobáceas intercaladas.

Unidad C3 (600 m) consiste de megaturbiditas decamétricas granoclasificadas, cuyos componentes son de origen volcano-clástico de color típicamente verdoso, también rojizos. Microscópicamente son grauwacas lito-feldespáticas con matriz smectítica o vítrea; la composición de los fragmentos líticos es variada y comprende andesitas basálticas porfiríticas, dacitas vítreas algo vesiculares localmente fluidales, o con textura perlítica; algunas lavas vesiculares alteradas presentan pumpellita; también se presentan ocasionalmente fragmentos de moluscos.

Unidad C4 (300 m) muestra un incremento de lutitas tobáceas y tobas cineríticas, intercaladas en secuencias estrato-decrecientes con grauwacas y tobas. Se considera el tope de la formación las megaturbiditas que afloran muy bien en la Ciudadela Bellavista. La edad de las unidades C3 y C4 no ha sido determinada en Guayaquil y sería Santoniano a Campaniano por posición estratigráfica.

Grupo Ancón (Eoceno Medio superior)

Bajo este nombre se agrupan tres formaciones que se pueden diferenciar solamente en la Cuenca Ancón: Clay Pebble Beds, Socorro y Seca (Smith y Williams 1947, en Bristow y Hoffstetter 1977).

Miembro Clay Pebble Bed (Eoceno Medio - superior)

Su litología consiste de arcillas verdes grises afectadas por espejos de fricción, guijarros de arcilla, cuarzo, cuarzita, conglomerados, chert, calizas y olistolitos de areniscas turbidíticas (tipo miembro superior Socorro). Este miembro se define como una brecha sedimentaria compuesta de fragmentos de todas las formaciones preexistentes, lo que se sugiere que se trata de un depósito originado por movimientos tectónicos que acontecieron en la Cuenca Ancón. La edad de este miembro según Cushman y Stainforth (1951), Polugar (en Small, 1962) (según el Léxico Estratigráfico Bristow y Hoffstetter 1977) es Eoceno Medio superior.

Miembro Socorro (Eoceno Medio superior)

Este miembro agrupa la lutita Seca Falsa y el Miembro Socorro Superior de Marchant (1957). Es la Socorro slice de Azad, (1968) y Colman (1970) y se encuentra incluida dentro del Complejo Olistostrómico de Santa Elena (en Bristow y Hoffstetter, 1977). Su localidad tipo es la quebrada Socorro en la Cuenca Ancón y tiene una edad limitando el Eoceno Medio superior. Según Manley, 1957 las lutitas conocidas como lutita Seca Falsa están en el tope del Eoceno medio y las areniscas y lutitas turbidíticas de Socorro Superior están en la base del Eoceno superior.

Los Foraminíferos de las capas arenosas enseñan una mezcla del Eoceno Medio superior (Bristow y Hoffstetter 1977 p. 318). Además se observan en la base del miembro Socorro deformaciones plásticas y pliegues disarmónicos.

Miembro Seca (Eoceno superior)

Se trata de lutitas turbidíticas distales (las más alejadas de sus fuentes de origen) y de areniscas y lutitas parecidas a las de Socorro como en Punta Mambra. En algunos horizontes se ven pequeños olistolitos de la Formación Socorro. Tres biofacies se reconocen en este miembro: nerítico, arrecifal y de radiolarios. Según los Foraminíferos y un reptil, la edad de este miembro es de Eoceno superior (Bristow y Hoffstetter 1977).

Formación Zapotal (Oligoceno superior – Mioceno medio)

Está expuesta alrededor de las márgenes de la cuenca Progreso, el Miembro Zapotal consiste de conglomerados basales, areniscas y lutitas sobrepasando los 1.000 metros de espesor. La fauna (principalmente Moluscos) indica una edad Oligoceno superior a Mioceno inferior (Bristow y Hoffstetter, 1.977). Representa el 11% del territorio provincial con 39.600 hectáreas, se localiza distribuido a lo largo del territorio, encontrándose así al sur, en la cuenca del Zapotal a la altura del poblado del mismo nombre y al norte de la represa El Azúcar, en donde entra a la cuenca del Javita, ubicándose en dirección sureste-noreste al sur y al norte de la represa San Vicente. Luego se dirige hacia el norte en las vertientes occidentales de la cordillera Chongón Colonche en donde se forman varias cuencas hidrográficas entre la Cordillera y el Océano Pacífico. Está conformada principalmente por areniscas blandas de grano fino a grueso dependiendo el lugar, color pardo amarillento y café amarillento, con intercalaciones de conglomerados. También se pueden encontrar lutitas pardo rojizo claras con intercalaciones de areniscas arcillosas

Olsson (1931) reporta los siguientes megafósiles cerca de las villa Zapotal: *Sanguinolaria tumbezana*, *Mactrell tumbezia*, *Leda* sp., *Tagelus* sp., *Donax* sp., *Macoma meroensis* y *Corbula* sp. La Formación Zapotal es interpretada como una depositación de abanico aluvial cerca de la línea costera, es discordante y supreyace al Grupo Ancón y transicionalmente supreyace a las formaciones Villingota y Dos Bocas.

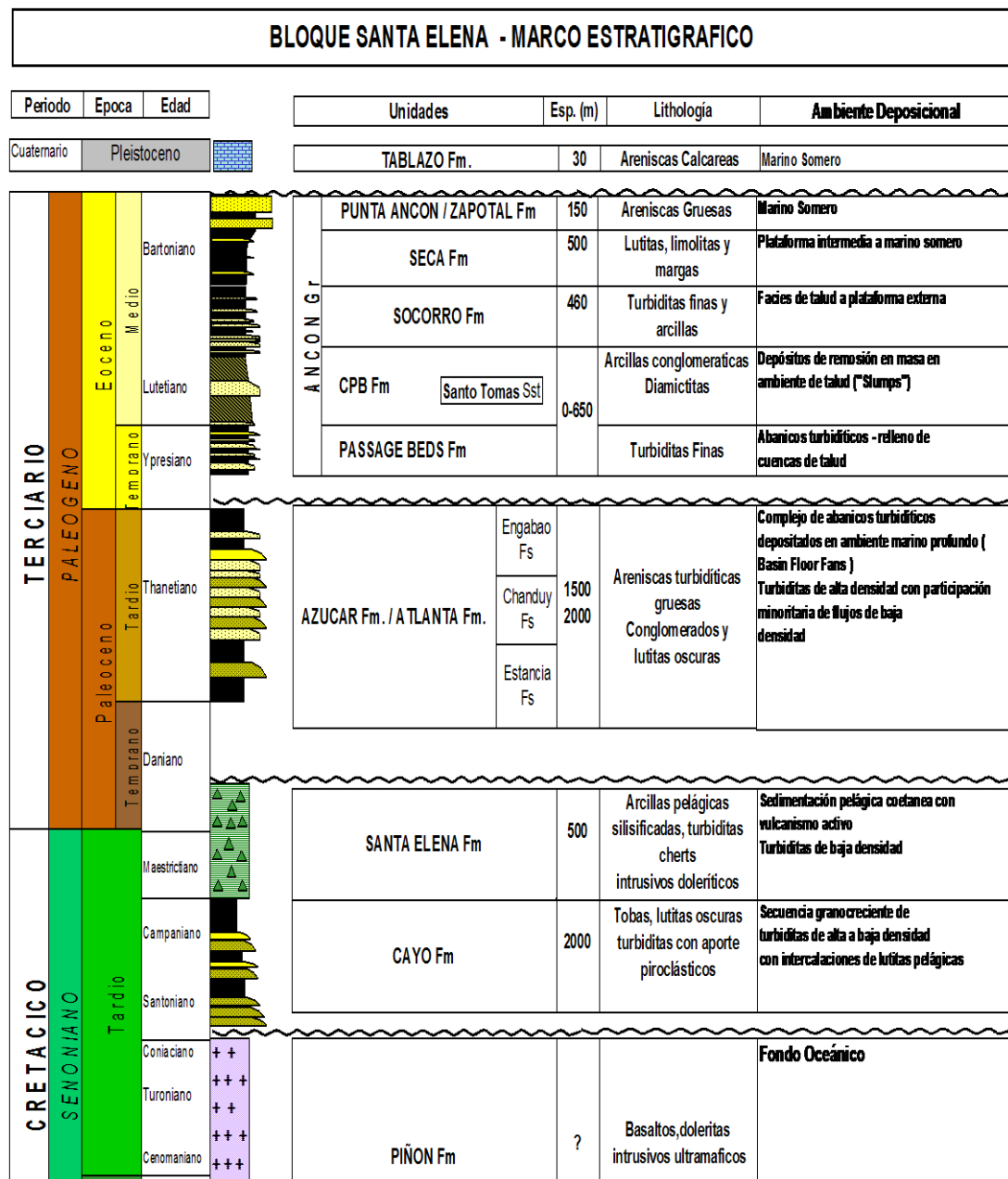
Depósitos Aluviales (Cuaternario)

Comprenden depósitos aluviales de ríos de materiales erosionados y arrastrados de las colinas altas adyacentes, litológicamente están conformados por clastos y bloques heterogéneos (de diferente geología), aristas redondeados de rocas de lutitas, areniscas, grauwas, hialoclásticas, calizas y limolitas. Información de espesores que

indican potencias de hasta 10 metros, son indicadas en el informe geofísica preparada para este proyecto de presa.

Desde un punto de vista del análisis estratigráfico, estos clastos y cantos rodados presentan una deposición caótica como consecuencia de arrastres de materiales a través de un valle estrecho conformada por bloques grandes y pequeños de forma irregular provenientes desde los flancos NE de las elevaciones de la cordillera costera de Chongon Colonche y depositadas en las zonas de terrazas y los bajos valles fluviales.

Desde un punto de vista del análisis de la geología local, el sitio en estudio se encuentra dominada por las unidades geológicas rocosas, Formación Seca del Grupo Ancón y el Miembro Zapotal de la formación Tosagua. San Pablo, es caracterizada



Ilustracion 5. 2: Columna estratigráfica de las formaciones geológicas del Bloque de Santa Elena.

Fuente: ie, Benavides et al., 2014.

por sus depósitos recientes de arenas de playas y arenas limosas de ambiente fluvial.

5.2 Geomorfología de la Provincia de Santa Elena.

La geomorfología de la provincia de Santa Elena es producto de continuos levantamientos y hundimientos, resultado de esto se generaron plegamientos formando anticlinales y sinclinales en terreno ocurridos en el terciario.

Los relieves peninsulares por lo general varían constantemente, el perfil costero está caracterizado por semillanuras que fueron formadas por depósitos aluviales cuaternarios, alternando su geomorfología con colinas menores a 80 metros, como se demuestra en la geomorfología del Ecuador (ver fig. 6), estos cambios se dan por las fallas geológicas presentes en el área.

La costa interna peninsular tiene grandes llanuras ligeramente onduladas y alomadas con una extensa y espesa de capa de forestación tropical, la mayor parte ha sido despejada por causas naturales en el perfil costero.

Las transgresiones marinas terciarias, indican en acumulación de sedimentos, influencia que alcanza hasta unos 50 kilómetros como término medio la línea de costa

5.3 Geomorfología zona de Estudio.

La geomorfología en la zona de estudio al igual que el resto de la costa ecuatoriana es paralelo al eje de los Andes, mostrando diferentes accidentes geográficos tales como: Cabos, Bahías, Ensenadas, Puntas, etc. Este perfil costero presenta dos tipos principales de costas: abruptas y bajas. Y presentando algunas características de los rasgos geomorfológicos presentes en el área del proyecto.

- ❖ **Costas Abruptas** Se caracterizan porque presenta una plataforma continental estrecha continuando en el mar la topografía terrestre, este tipo de Acantilado es debido a estructuras perpendiculares a la costa en la que predomina la erosión marina sobre la sedimentación, este tipo de costa es muy abundante en el área de Palmar y Ayangue.
- ❖ **Costas Bajas** Comprenden en dos tipos: las fluvio-marinas (estuarios y esteros) y las depositaciones marino eólicas.

- **Las fluvioamarinas** incluyen costas de configuración irregular muy bajas, planas con islas canales y esteros donde hay equilibrio entre la depositación y la circulación oceánica como en la desembocadura del estero de Palmar
- y **las depositaciones marino eólicas** que son amplias y muy arenosas.

UNIDAD GENETICA	SIMBOLO /CODIGO	UNIDAD MORFOLOGICA
Denutativo	Ct	Cerro testigo
Corresponde a colinas de diversas alturas y pendientes, y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en grado variables por los procesos erosivos.	R1	Relieve ondulado
	R2	Relieve Colinado muy bajo
	R3	Relieve colinado bajo
	R4	Relieve Colinado medio
	R5	Relieve colinado alto
	Se	superficie de erosión
	Vse	Vertiente de Superficie de erosión
Estructural litológico	C1	Superficie de cuesta.
Obedece a un patrón estructural del basamiento de los estratos y al plegamiento de rocas sedimentarias consolidadas y metamórficas	C2	Frente de cuesta
	C3	Vertiente de cuesta
	C4	Superficie disectadas de cuesta
	K1	Superficie de Chevron
	K2	Frente de Chevron
	K3	Vertiente de chevron
	S1	Superficie de Mesa
	S2	Superficie disectada de Mesa
	S3	Vertiente de mesa
S4	Testigo de corniza de mesam	
Depositacional o acumulativo	Ges	Glacial de esparcimiento
Se refiere a formas originadas por sedimentación del material transportados por agentes erosivos como el agua y el viento , que constituyen medios de acarreo	Sg	Superficie de colmatación
	Cy	Superficie de cono de deyección
	Ta	Terraza alta
	Tm	Terraza Media
	Tb	Terraza baja y cauce actual
	T1	Terrazas Indiferenciadas
	V1	Valle Fluvial (indiferenciado)
MARINO	Cm1	Superficie de cuesta Marina
	Cm2	Escarpe de cuesta Marina
	Sm1	Superficie de mesa marina
	Sm2	Superficie disectadas de mesa marina
	Sm4	Vertiente de mesa marina
Denutativo-Acumulativo	Cv	Coluvio aluvial
incluye terrenos originado de procesos de desgaste de la superficie terrestre y	Cr	coluvión

acumulación de material.		
<i>Litoral</i>	A	Acantilado
	CrI	Cordones litorales
	Plc	Planicie
	Py	Playa
	SlT	Salitral

Tabla 5. 2: Unidades geomorfológicas en la provincia de Santa Elena -zona de estudio.

Fuente: IEE, 2012.

5.4 Principales unidades geomorfológicas de la zona de estudio.

Entre las principales unidades geomorfológicas de la zona San Pablo se considera las siguientes para su estudio:

a) **Los relieves colinados bajos y muy bajos** Poseen desde pendientes muy suaves, hasta pendientes de 40%. Se distribuyen en todo el territorio, sin embargo son más abundantes en las cuencas del río Zapotal y hacia el perfil costero, desde la represa El Azúcar, hacia áreas de Ancón y Atahualpa y hacia el nor-oeste, desde el poblado de San Vicente hacia San Pablo. Desde este último poblado, hacia el norte, estas colinas se expanden hacia norte de forma paralela a la línea costera, en donde tiene 800 metros aproximadamente entre sí, en el punto más cercano. En la cuenca del río Javita se la encuentra hacia los bordes del límite de la cuenca en toda la superficie. Hacia el norte todavía aparecen estos relieves aunque en menor cantidad.

b) **Las cuestras** pertenecen al período terciario y están formadas por series monoclinales de escaso buzamiento con desniveles relativos que van desde los 15 metros a los 100 metros. Sus pendientes son menores al 40%.

c) **Las mesas marinas** del cuaternario se localizan al oeste de la provincia desde cerca a la población de Monteverde en donde baja hacia el sur pasando por Baños de San Vicente, y al pasar por el margen izquierdo del río Salado a la altura del poblado San Vicente, gira en dirección a la costa pasando por la capital provincial de Santa Elena. Aparecen más al oeste en la Puntilla de Santa Elena, desde la cabecera Parroquial de Anconcito, paralelo a la línea costera, hasta el punto de La Chocolatera.

d) **Las cuestras marinas** son de origen marino y pertenecen al pleistoceno cuaternario, Formación Tablazo, están formados por micro conglomerados a brechas con cemento calcáreo blanca gris muy compacta y arenisca calcárea de grano fino a medio. Se encuentran solamente entre la presa Velasco Ibarra al sur de la cabecera cantonal de La Libertad y las mesas marinas que se ubican a la altura del punto conocido como Punta Carnero, al margen izquierdo del Estero del mismo nombre

e) **Los coluvio-aluviales y coluviones**, pertenecen a los relieves de tipo Denudativo-Acumulativo, Estos relieves son terrenos originados a partir de los procesos de desgaste de la superficie terrestre mediante los distintos agentes y tipos de erosión, y, la posterior acumulación del material en los drenajes. Estas unidades se encuentran distribuidas en toda la provincia en las áreas que ocupan los drenajes de ríos y esteros.

f) **Los terrazas y valles fluviales** en la provincia de Santa Elena se ubican generalmente en dirección Este-Oeste. En otros casos se pueden ubicar en direcciones perpendiculares a las cuencas principales. Pertenecientes al período cuaternario y estas compuestas por arcillas, limos, arenas y gravas principalmente. Sus pendientes no son mayores al 5% y su desnivel relativo es menor a 5 metros. Las superficies más representativas se localizan en las cuencas del río Zapotal y Javita En las dos cuencas encontramos alrededor de 28.000 hectáreas correspondientes a terrazas y valles fluviales. Estas unidades, al ser depósitos acumulativos actuales, presentan las mejores características

g) **Los valles y terrazas** se distribuyen en los 3 afluentes principales de esta cuenca, siendo estos los ríos Grande de Sube y Baja, Jurcas y Guacamay, los cuales se convierten en el río Zapotal aguas abajo.

h) **Acantilado de Mar (Am)** Un acantilado es un escarpe litoral de pendiente abrupta es modelado por la acción del viento de la sobre los elementos del relieve continental. En las rocas sedimentarias deleznales, menos coherentes, la verticalidad es menos acentuada, hasta reducirse a los 45° (100%), incluso a los 30° en las regiones áridas. Además, los y los fenómenos de carcavamiento producen un perfil irregular. Si se alternan rocas deleznales y coherentes, dispuestas horizontalmente, aparecen numerosos

resaltes en la línea del acantilado como los de las comunas Ayangue y Palmar.

i) **Llanuras Costeras (Llc)** Esta topografía agrupa los relieves de llanura con pendientes que van de 0 a 15%, las cuales se originaron principalmente por la acción acumulativa de los agentes erosivos externos. En la costa peninsular se distinguen formas llanas debido a la acción marina y la acumulación aluvial y eólica.

j) **Playas Arenosas (PI)** Una playa es un depósito de no consolidados y, que se extiende (se considera en este caso solo zona de estudio) desde la base de Punta Blanca hasta la comuna Ayangue o el límite donde termina la vegetación hasta una profundidad por donde los sedimentos ya no se mueven. Esta profundidad varía entre las diferentes playas depende de la batimetría, geomorfología y el oleaje. También se encuentran generalmente en bahías protegidas del oleaje y se suelen formar en zonas llanas. También en las riberas de los ríos como en el Estero de Palmar y en el Río Javita y Río San Pablo.



Ilustración 5. 3: a) Vista satelital comuna Ayangue, b) vista satelital comuna San Pablo, c) vista satelital ruta spondylus.

Fuente: Satelite-pro.

CAPITULO VI

6. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE SUSCEPTIBILIDAD DE LICUEFACCIÓN.

Para establecer si las zonas estudiadas son susceptibles al fenómeno de licuefacción, fué necesario recopilar la información requerida, por lo que se obtuvo los datos necesarios de los estudios de suelos de los sectores ya establecidos sin embargo se pudo considerar un factor muy importante en las 8 perforaciones como el nivel freático, por lo tanto las perforaciones de Ayangue y del sector Urbanístico Punta Blanca solo van a ser referidas para demostrar que en estos sectores es poca la susceptibilidad a licuarse de estos suelos ,contrario a las perforaciones de San Pablo que analizamos con más detalle geológica y geotécnicamente.

5.

6.1 Estudios de suelos recopilados en la zona de Estudio.

Para la caracterización de las zonas susceptibles a la licuación de los estudios de suelos recopilados, se analizó tomando en cuenta los siguientes factores con los parámetros para cada característica de suelos, como:

- ❖ Fc: fracción de partículas finas N° 200.
- ❖ NF:nivel freático.
- ❖ Sr: Grado de Saturación.
- ❖ γ : Densidad.
- ❖ LL: Limite de liquidez.
- ❖ PI: Limite de Plasticidad.
- ❖ N1 (60): Penetración Estándar Corregido.
- ❖ Vs: Velocidad de Onda de corte y Compresión simple.

En este estudio lo principal a evaluar fue el nivel freático de cada perforación por ser un factor muy importante para la ocurrencia de este fenómeno. En la tabla 6.1 se detalla las perforaciones recopiladas con las coordenadas respectivas y las profundidades de cada uno de los ensayos.

Tabla 6. 1: Coordenadas de las perforaciones de la zona de Estudio.

Perforaciones	coordenadas (UTM)		Profundidad (m)
	Este	Norte	
P1-SPT-AYANGUE	527721	9782368	8
P2-SPT-AYANGUE	527723	9782387	8
P1-SPT-PUNTA BLANCA	522903	9761780	8
P2-SPT-PUNTA BLANCA	522908	9761774	8
P1-SPT-SAN PABLO	527672	9766537	15
P2-SPT-SAN PABLO	527728	9766536	15
P3-SPT-SAN PABLO	527950	9766952	6
P4-SPT-SAN PABLO	527895	9766984	6

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

6.2 Manejo y filtrado de información.

Dada la información recopilada y la dispersión de datos en los ensayos SPT y aplicando las siguientes condiciones a los valores medidos de penetración se estipula lo siguiente:

- ❖ Se consideran todos los sondajes SPT recopilados y se usa un valor promedio característico para todos los parámetros tomando en cuenta las normas requeridas para cada ensayo.
- ❖ Se usa la correlación para determinar la susceptibilidad de licuación de los suelos ensayados.

En la tabla 6.2 y 6.3 se detalla en forma general las características de los suelos de cada perforación promediadas para el respectivo análisis de parámetros de los suelos de la zona de estudio, en la comuna San Pablo.

En la tabla 6.2 se detalla que en las perforaciones de Ayangue y Punta Blanca no se registró nivel freático, sin embargo en la perforación punta blanca 1 y 2 se reporta una saturación 81.70 y 72.42 respectivamente, perforaciones que fueron realizadas el 24 de Agosto del 2018, en una época cálida y seca. Además se registran los promedio de las partículas finas, N1 (60) y Vs. Valores que se analizarán más adelante en este capítulo.

Tabla 6. 3 Resultados estadísticos del análisis de parámetros del suelo del área de la Comuna Ayangue y Sector Punta Blanca-Sta. Elena.

Resultados estadísticos del análisis de parámetros del suelo del área de la Comuna San Pablo-Sta Elena.									
N°	Parametros del suelo Litología	Nivel Freatico. (m)	Fc	Sr	yd	IP	LL	Vs	NI _{SPT60}
			(%) Min-Max Promedio	(%) Min-Max Promedio	(g/cm ³) Min-Max Promedio	(%) Min-Max Promedio	(%) Min-Max Promedio	m/S Min-Max Promedio	Min-Max Promedio
1	P-01 SPT -AYANGUE	No se resgistro	2.8-4.8 4,09	24,14-54,44 39,29	1,74-1,88 1,786	NP-NP. NP.	NP-NP NP.	323-365 335,750	41-65 46,500
2	P-02 SPT-AYANGUE	No se resgistro	2.04-5.0 4,29	23.14-67 45,07	1,78-1,88 1,83375	NP-NP. NP.	NP-NP. NP.	333-410 350,750	37-91 54,375
3	P-01 SPT-PUNTA BLANCA	No se resgistro	60.02-94.97 77,66	86,4-91,929 81,70	1,54-2,08 1,75375	11- 34 20,125	26-50 35,250	183-376 286,714	9-60 25,857
4	P-02 SPT-PUNTA BLANCA	No se resgistro	60.85-95.97 79,12	1,36-111,679 72,42	2.03-2.13 1,86	21-27 24,75	36-45 41,75	224-326 269,833	16-38 23,83

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

En la tabla 6.3, se registran niveles freáticos en el subsuelo de las perforaciones a 3m (San Pablo 1 y 2) , a 4.5m y 4.6m (San Pablo 3 y 4) respectivamente, se observa que solo en la perforación San Pablo-2 se encuentra en condiciones de saturación próxima al 100% con un 96.35 % que esta cercana al parámetro de suelos licuables según la Propuesta de la Norma francesa. Durville et al. (1985) y el porcentaje de saturación de las perforaciones San Pablo 1-3 y 4 están por debajo del parametro donde normalmente se produce licuefacción, lo que condiciona que la poca probabilidad de licuefaccion en el área donde se realizaron estas perforaciones.

Tabla 6. 2 Resultados estadísticos del Análisis de parámetros del suelo del área de la Comuna San Pablo-Sta. Elena.

Resultados estadísticos del análisis de parámetros del suelo del área de la Comuna San Pablo-Sta Elena.									
N°	Parametros del suelo Litología	NIVEL FREATICO (m)	Fc	Sr	yd	IP	LL	Vs	Nspt(1)60 corregido
			(%) Min-Max Promedio	(%) Min-Max Promedio	(g/cm ³) Min-Max Promedio	(%) Min-Max Promedio	(%) Min-Max Promedio	m/S Min-Max Promedio	Min-Max Promedio
5	P-01 SPT-SAN PABLO	3,00	2.1-80.9 10,353	11,26-68,40 39,83	1.34-2.02 1,703	NP-25 NP	NP-53 NP	183-405 313,733	9.0-81.0 44,8
6	P-02 SPT-SAN PABLO	3,00	2.1-65.6 18,25	7.95-184.75 96.35	1.46-1.84 1,65	4-26 16,50	28-62 46,75	168-311 250,533	9.0-39.0 23,2
7	P-03 SPT-SAN PABLO	4,50	1.26-23.07 8,17	10,23-79,03 44,63	1.48-1.83 1,69	NP-10 0,00	NP-29 0,00	183-415 270,67	11.0-90.0 34
8	P-04 SPT-SAN PABLO	4,60	1.49-6.87 3,87	2.32-109.027 55,67	1,44-1,90 1,76	NP-NP. NP	NP-NP. NP	168-397 318,17	9.0-83.0 48,67

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

6.3 Potencial de licuefacción de suelos en la zona de san pablo.

La granulométrica de los suelos presentes en la zona de San Pablo se obtuvo de la información recopilada de los estudios de suelos que contienen la estratigrafía y características mecánicas de diversos sitios pertenecientes a la zona referida.

La granulometría de las perforaciones indican que el suelo de la zona San Pablo tiene una clasificación SP (semi-permeable), arena limpia mal graduada de acuerdo al sistema de clasificación (SUCS). La forma de las partículas de arena varía de angular a sub-angular según Falcón y Ramírez(2012) establece algunos criterios para su mejor entendimiento, así como la gráfica de las fajas granulométricas del código Japonés 2007, que establecen los límites licuables para suelos uniformes y mal graduados. Los valores promediados de las curvas granulométricas de la zona de estudio se encuentran en la tabla 6.4.

Como se detalla en la tabla 6.4, de acuerdo a su granulometría las perforaciones de la comuna Ayangue y el sector de Punta Blanca reflejan un índice bajo de licuefacción mientras que en la zona de la Comuna de San Pablo considerablemente tiene un índice de medio a alto, las mismas en las cuales profundizaremos nuestra investigación por reunir condiciones o características para ser estudiadas como posibles a sufrir licuefacción.

En la tabla 6.5 se detallan la granulometría de cada perforación misma que servirá para crear las curvas granulométricas de estos valores promediados y que serán comparadas más adelante con las fajas granulométricas caracterizadas según los parámetros del potencial de licuación propuestos por el código japonés MLIT (2007) y que nos reflejaran si las zonas de estudio evaluadas están en el rango de

Tabla 6. 4 Valores promediados de la granulometría de la zona de estudio San Pablo.

Susceptibilidad de licuacion de acuerdo a la granulometria segun Falcon y Ramirez (2012), para el sector Ayangue,Punta Blanca y San Pablo		
SECTOR	GRANULOMETRIA O TAMAÑO DE PARTICULAS	RANGO DE CRITERIOS DE SUCEPTIBILIDAD DE LICUACION SEGÚN SU GRANULOMETRIA
P1-SPT-AYANGUE	Composición variable entre finos limo-arcillosos y arenas con gravas	BAJO(1)
P1-SPT-PUNTA BLANCA	Composición variable entre finos limo-arcillosos y arenas con gravas	BAJO(1)
P1-SPT-SAN PABLO	Arenas limpias, finos limosos, arenas con finos o arenas con gravas y finos	ALTO(3)

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

susceptibles a la licuefacción o no susceptibles.

Tabla 6. 5 Evaluación de la susceptibilidad de licuación de acuerdo a la granulometría para el Sector Ayangue, Punta Blanca y San Pablo.

Valores promediados de la granulometría de la zona de estudio San Pablo.									
Tamiz en pulg	Tamiz en mm	Muestra N°1 Pasa	Muestra N°2 Pasa	Muestra N°3 Pasa	Muestra N°4 Pasa	Muestra N°5 Pasa	Muestra N°6 Pasa	Muestra N°7 Pasa	Muestra N°8 Pasa
3/4"	200.000	100.00	100.0	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	127.000	94.27	91.94	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	100.000	90.71	91.46	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
N4	47.500	91.62	87.6	97.56	97.51	94.31	99.26	99.72	99.06
N10	20.000	94.00	69.8	95.25	93.36	95.34	97.01	98.43	97.85
N40	0.4250	42.05	33.4	90.19	88.24	69.94	85.89	84.18	89.57
N200	0.0750	26.00	4.3	79.12	77.66	10.34	18.31	3.87	8.17

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

En las ilustraciones 6.1 y 6.2 se muestran las curvas granulométricas de las perforaciones de la zona Ayangue, Punta Blanca y San Pablo. Sondeos que al hacer la evaluación nos muestran las características de los subsuelos que servirá para hacer un análisis comparativo con las fajas granulométricas según el código Japonés 2007.

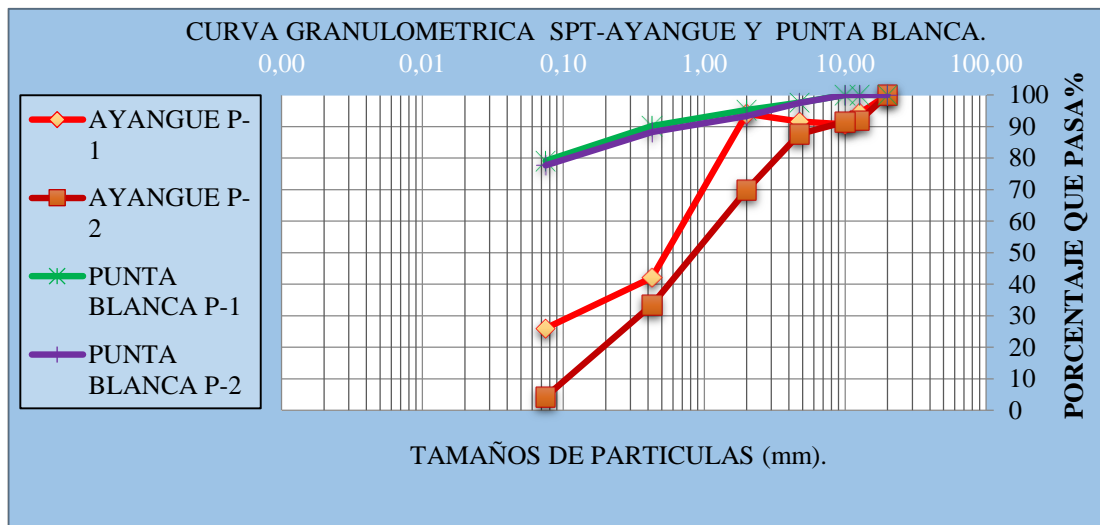
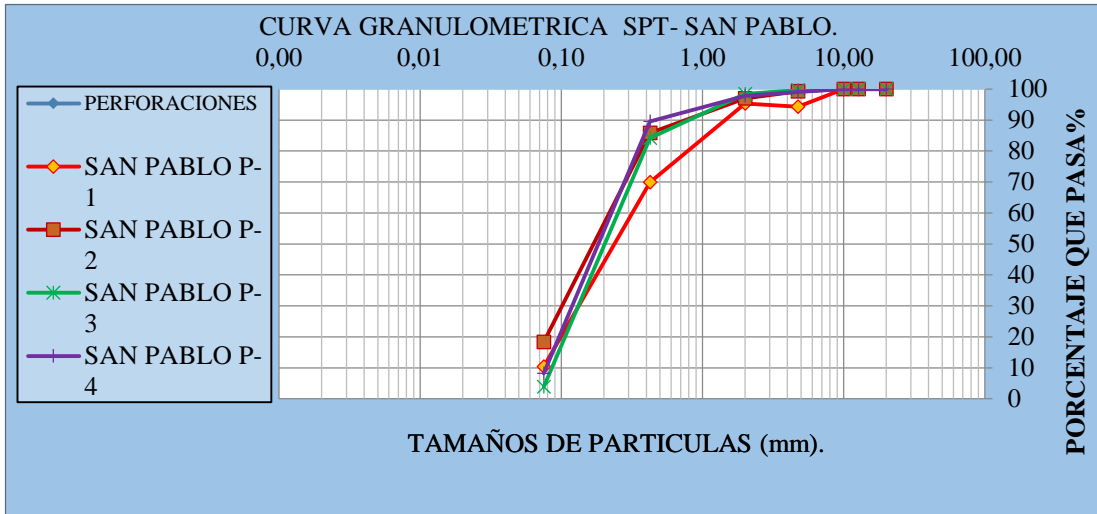


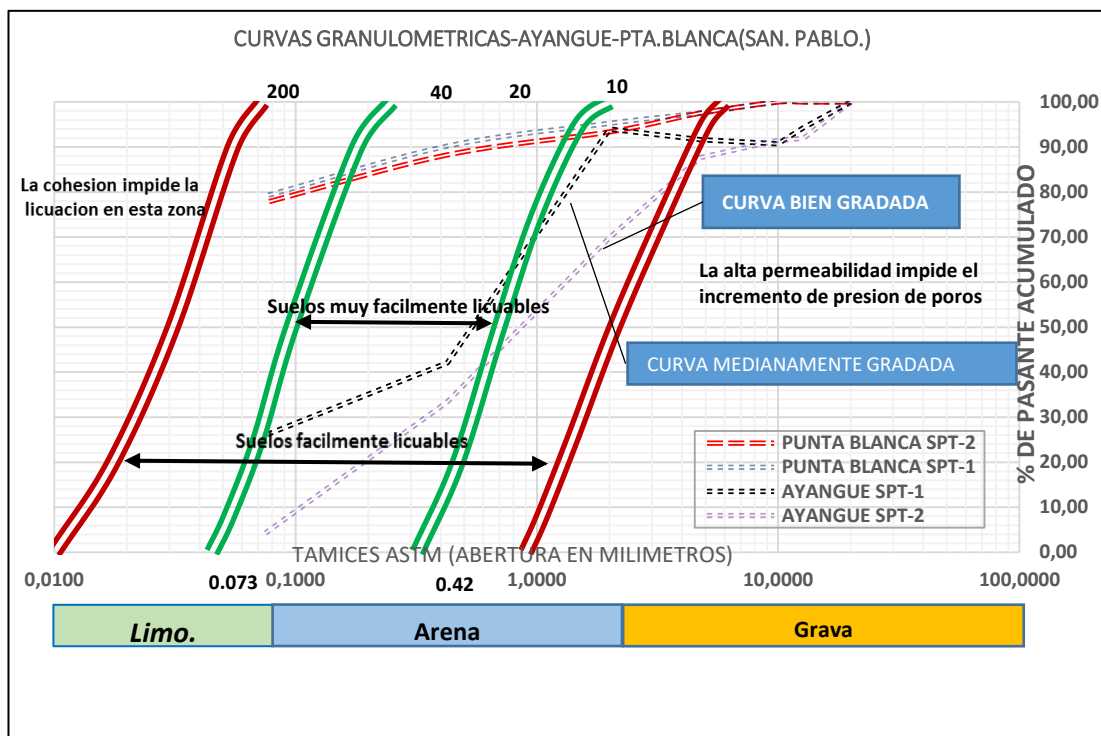
Ilustración 6. 1 Curvas granulométricas de los sectores Ayangue y Punta Blanca.

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

Para determinar la influencia en la licuefacción de arenas en la Zona San Pablo. Se generaron 2 graficas de curvas granulométricas, en el sector identificado como Snf



Ilustracion 6. 2 Curvas granulométricas del Sector San Pablo.
Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

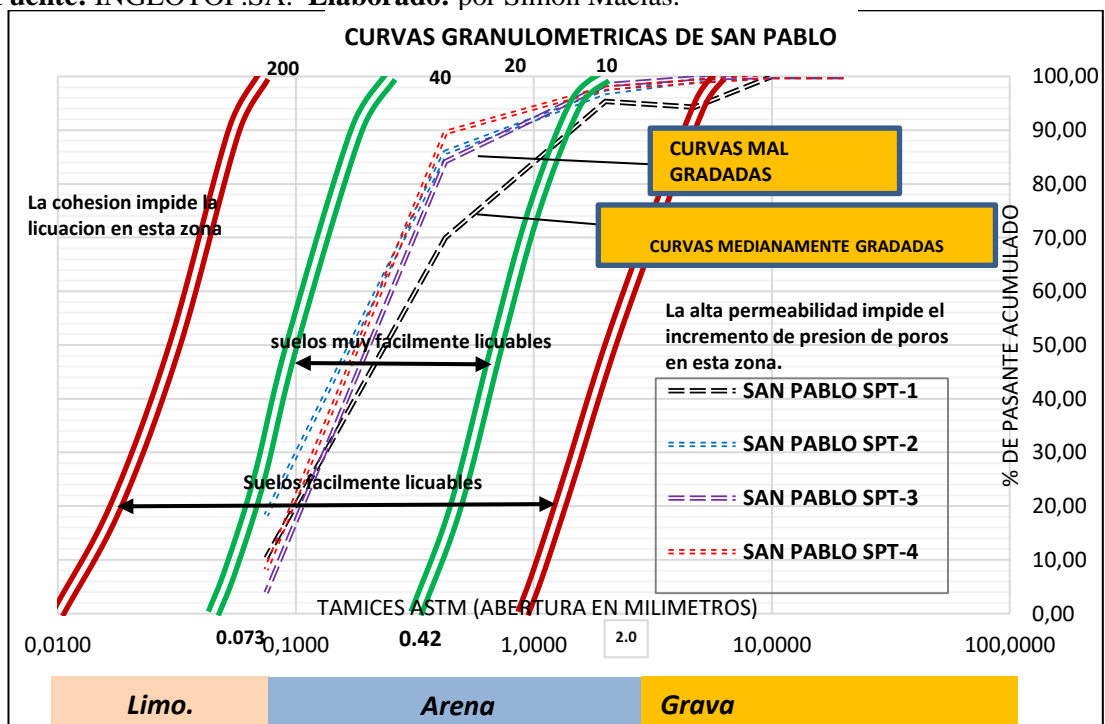


Ilustracion 6. 3 curvas granulométricas de los sectores Ayangue y Punta Blanca comparados con las fajas granulométricas patrón para suelos mal gradados propuestos por el código japonés 2007.
Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

(Sin nivel freático), se obtuvo las siguientes curvas que demuestran que estas están en el rango de suelo fácilmente licuables pero con un condicionante no registraron nivel freático en sus estratos por lo tanto es casi nulo o poco probable que exista de alguna manera licuación en estos suelos. Como lo muestra la ilustración 6.3.

En el sector identificado como Cnf (Con nivel freático) se obtuvo las siguientes curvas que demuestran que están en parte media de la faja patrón con el rango de suelos muy licuables y que son curvas mal gradadas y medianamente gradadas como es el caso de San Pablo, representado en la ilustración 6.4

ilustracion 6. 4 Curvas granulométricas del sector San Pablo comparado con las curvas granulométricas patrón para suelos mal gradados propuestos por el código japonés 2007.
Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.



6.4 Criterio según Tamaño de partículas.

Según el criterio de tamaño de partículas estas son evaluadas individualmente de

Tabla 6. 6 Analisis según tamaño de partículas.SPT/Zona San Pablo.

ANALISIS SEGÚN EL TAMAÑO DE PARTICULA =N°200				
PROFUNDIDAD	SPT-1 SAN PABLO	SPT-2 SAN PABLO	SPT-3 SAN PABLO	SPT-4 SAN PABLO
1	2.3	2.3	1.26	1.84
2	2.5	2.9	1.71	1.81
3	9.7	4.1	3.48	4.53
4	10.7	8.6	23.07	6.87
5	6.5	4.4	8.95	1.49
6	7.2	4.8	10.55	6.65
7	6.3	8.8		
8	10.5	7.9		
9	7.6	10		
10	2.1	6.9		
11	5	2.1		
12	47.6	4.2		
13	65.6	2.2		
14	48.6	5.2		
15	41.6	80.9		

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

acuerdo a su granulometría.

En la tabla 6.6 de manera generaliza se distribuye los valores obtenidos de cada perforación de los CF mismos que nos permitirán hacer un análisis más detallados en la investigación.

SPT san pablo-1-2-3 y 4.

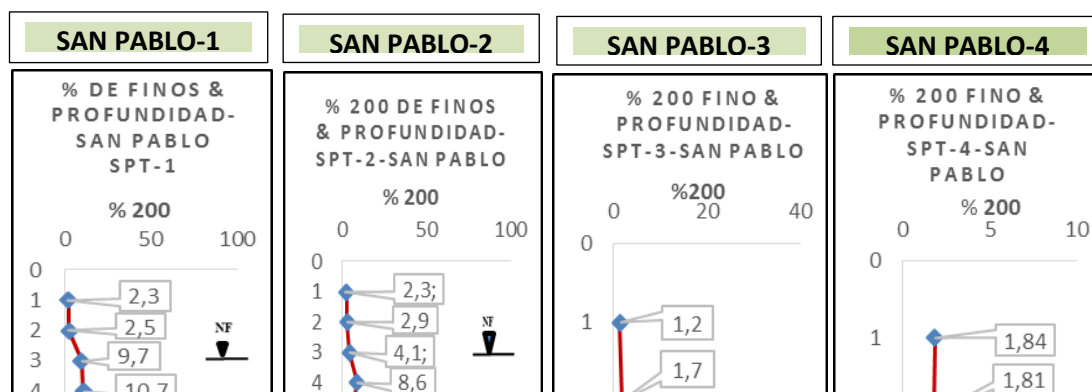


Tabla 6. 7 Analisis de resultados de acuerdo a los criterios de Tokimatsu y Yoshimi 1983 de contenido de finos en las perforacion San Pablo Spt-1.

PROFUNDIDAD	CF-SPT-1 SAN PABLO	COMENTARIO
1	2.3	licuable por contenido de fino
2	2.5	licuable por contenido de fino
3	9.7	licuable por contenido de fino
4	10.7	licuable por contenido de fino
5	6.5	licuable por contenido de fino
6	7.2	licuable por contenido de fino
CordenadasUTM N=9766537 E=527672	CordenadasUTM N=9766536 E=527728	CordenadasUTM N=9766952 E=527950
12	47.6	No licuable por contenido de fino
13	65.6	No licuable por contenido de fino
14	48.6	No licuable por contenido de fino
15	41.6	No licuable por contenido de fino

De acuerdo con lo analizado en la ilustración 6.5a y la tabla 6.7 por medio de los parámetros de Tokimatsu y Yoshimi 1983 se concluye que de 1m a 11m de profundidad en la perforación San Pablo -1 estos suelos son susceptibles a la licuación y de 12m a 15m son suelos que tienden a no ser licuables.

Tabla 6. 8 Analisis de resultados de acuerdo a los criterios Tokimatsu y Yoshimi 1983 de contenido de finos en las perforacion San Pablo Spt-2.

PROFUNDIDAD	CF-SPT-2 SAN PABLO	COMENTARIO
1	2.3	licuable por contenido de fino
2	2.9	licuable por contenido de fino
3	4.1	licuable por contenido de fino
4	8.6	licuable por contenido de fino
5	4.4	licuable por contenido de fino
6	4.8	licuable por contenido de fino
7	8.8	licuable por contenido de fino
8	7.9	licuable por contenido de fino
9	10	licuable por contenido de fino
10	6.9	licuable por contenido de fino
11	2.1	licuable por contenido de fino
12	4.2	licuable por contenido de fino
13	2.2	licuable por contenido de fino
14	5.2	licuable por contenido de fino
15	80.9	No licuable por contenido de fino

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

De acuerdo con lo analizado en la ilustración 6.5 b y la tabla 6.8 podemos concluir que de 1m a 14m de profundidad en la perforación San Pablo -2 son suelos susceptibles a la licuación y a los 15m estos suelos tienden a no ser licuables.

Conforme con lo analizado en la ilustración 6.5c y la tabla 6.9 podemos concluir que de 1m a 3m y de 5m a 6m de profundidad en la perforación San Pablo -3 son suelos

son licuables , mientras que solo el estrato que se encuentra a 4m estos tienden a no ser licuables.

Tabla 6. 9 Analisis de resultados de acuerdo a los criterios Tokimatsu y Yoshimi 1983 de contenido de finos en las perforacion San Pablo Spt-3.

PROFUNDIDAD	CF-SPT-3 SAN PABLO	COMENTARIO
1	1.26	licuable por contenido de fino
2	1.71	licuable por contenido de fino
3	3.48	licuable por contenido de fino
4	23.07	No licuable por contenido de fino
5	8.95	licuable por contenido de fino
6	10.55	licuable por contenido de fino

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

en la ilustración 6.5d y la tabla 6.10 podemos concluir que de 1m a 6m en la perforación San Pablo -4 estos suelos todos son licuables por contenido de finos.

Tabla 6. 10 Analisis de resultados de acuerdo a los criterios de Tokimatsu y Yoshimi 1983 de contenido de finos en las perforacion San Pablo Spt-4.

PROFUNDIDAD	CF-SPT-4 SAN PABLO	COMENTARIO
1	1.84	licuable por contenido de fino
2	1.81	licuable por contenido de fino
3	4.53	licuable por contenido de fino
4	6.87	licuable por contenido de fino
5	1.49	licuable por contenido de fino
6	6.65	licuable por contenido de fino

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

6.5 Características estratigráficas de los suelos de San Pablo.

De acuerdo al criterio sobre los orígenes de los suelos en la zona urbana-rural de San Pablo, al análisis realizado del estudio recopilado y las características de suelo de este sector, Se puede visualizar que este está compuesto por depósitos marinos, depósitos aluviales, que están relacionados con los depósitos coluviales

caracterizados por constituir una depositación de conglomerados, arenas, limos y arcillas de baja densidades y de acuerdo con la tabla realizada por Falcón y Ramírez, (2012), da un rango de media a baja(en sectores como Ayangue y Pta. Blanca) y de alto a medio (en el sector de la Comuna San Pablo) de ocurrencia del fenómeno de licuefacción. (Ver Tabla 6.11)

Tabla 6. 11 Evaluación de la susceptibilidad de licuación de acuerdo al origen de suelo para el Sector Ayangue y San Pablo.

Evaluación de la susceptibilidad de licuación de acuerdo al origen de suelo para el sector Ayangue y San Pablo según Falcon y Ramirez 2012		
SECTOR	ORIGEN DE SUELO	RANGO DE CRITERIOS DE SUCEPTIBILIDAD DE LICUACION
SPT-AYANGUE P1 y P2	Terrazas marinas, fluviales lacustres y de remoción en masa	MEDIO(2) A BAJO(1)
	Depósitos glaciofluviales, morrénicos y fluvio-glaciales	
SPT-PUNTA BLANCA P1 y P2.	Terrazas marinas, fluviales lacustres y de remoción en masa	MEDIO(2) A BAJO (1)
	Depósitos glaciofluviales, morrénicos y fluvio-glaciales	
SPT-SAN PABLO P1,P2,P3 y P4.	Depósitos sedimentarios marinos Depósitos fluviales activos Depósitos lacustres y de remoción en masa Rellenos antrópicos (relaves) Depósitos eólicos y deltaicos	ALTO (3)

Fuente: Falcón y Ramírez, (2012). **Elaborado:** por Simon Macias.

6.6. Susceptibilidad de deformación cosísmica de suelos recientes

Según la información geológica obtenida en la zona de San Pablo se determinó que

Susceptibilidad de que los depósitos poco cohesivos saturados sean susceptibles de licuefacción por edad geológica según Falcon y Ramirez, 2012					
PERFORACION	TIPO DE DEPOSITO	<500	HOLOCENO	PLEISTOCENO	PRE-PLEISTOCENO
SPT-AYANGUE P1 y P2.	TERRAZAS MARINAS Y LLANURAS	-	BAJA	MUY BAJA	MUY BAJA
SPT-PUNTA BLANCA P1 y P2.	TERRAZAS MARINAS Y LLANURAS	-	BAJA	MUY BAJA	MUY BAJA
SPT-SAN PABLO	COSTAS, PLAYA, ESTUARIOS Y COLUVIALES	ALTA	MODERADA	BAJA	MUY BAJA

Fuente: Falcón y Ramírez, (2012). **Elaborado:** por Simon Macias.

la edad de los depósitos se encuentra en los periodos entre el pleistoceno (Ayangue); pleistoceno (Punta blanca); holoceno, <500 años (cuaternario) (San Pablo), de acuerdo a la clasificación de Youd & Perkins 1978, se la considera con un rango de muy bajo, muy bajo y moderado a alto respectivamente su riesgo de licuefacción. (Ver Tabla 6.1 2).

6.7 Profundidad del nivel freático.

El nivel freático es un factor importante a considerar al momento de evaluar la susceptibilidad a la licuefacción, ya que el fenómeno sólo ocurre en un ambiente saturado. Durante la realización del presente estudio, se recopilaron datos de los niveles freáticos en base a sondeos realizados en varios sitios de la zona.

Realizando el respectivo análisis se observó que el nivel freático de la zona estudio (Sector San Pablo) se encuentra en un rango de 3 a 4.60 m de profundidad, de acuerdo a la tabla realizada por Tinsley *et al.*, lo clasifican con un riesgo de licuefacción de muy alto a moderado.

En los sectores Ayangue y Punta Blanca no se reportaron niveles freáticos en el lugar

RASGOS DE LA SUCEPTIBILIDAD DE LICUACION DE ACUERDO AL NIVEL FREATICO SEGÚN TINSLEY ET AL.						
PERFORACION	NIVEL FREATICO	HOLOCENO		PLEISTOCENO		TERCIARIO
		FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	Y PRE TERCARIO
SPT-AYANGUE P1 y P2.	NO SE REPORTO	-	-	-	-	-
SPT-PUNTA BLANCA P1 y P2.	NO SE REPORTO	-	-	-	-	-
SPT-SAN PABLO P1,P2,P3 y P4.	DE 3 M A 4.6 M	MODERADO	MODERADO	POCO	MUY POCO	MUY POCO

Fuente: Tinsley et al.. **Elaborado:** por Simon Macias.

de las perforaciones P1 y P2 ya que estos sondeos fueron realizados en la parte alta de los referidos.

6.8. Amplitud y duración de la vibración del terreno.

De acuerdo a las investigaciones realizadas por el Dr. Chunga, 2018 en base las placas tectónicas de subducción y falla cercana y con mayor influencia a las costas de nuestra zona de estudio se pudo obtener como resultado, y según la tabla de Santucci de Magistris *et al.*, (2013), se consideran un grado de máxima a media la susceptibilidad de licuefacción en la zona de estudio.

En la tabla 6.14 se resume los resultados de los análisis realizados con respecto a los criterios de acuerdo a la aceleración. según los parámetros de sanducci de Magistris *et al.* por sus características la zona de estudio San Pablo se la considera media 0,329 pero para los cálculos se trabaja con un PGA de 0.35 g.

Tabla 6. 14 Evaluación de la susceptibilidad de licuación de acuerdo a la aceleración.

RANGO DE CRITERIOS DE SUCEPTIBILIDAD DE LICUACION BASADOS EN LA ACELERACION SEGÚN SANDUCCI DE MAGISTRIS ET AL		
SECTOR	PGA	Rango
P1-P2-SPT-AYANGUE	0.08 g	Bajo
P1-P2-SPT-PUNTA BLANCA	0.08 g	Bajo
P1-P2-P3 y P4-SPT-SAN PABLO	0.329 g	Media

Fuente: Magistris *et al.*, 2013. Dr. Kervin Chunga, 2018. **Elaborado:** por Simon Macias.

En la tabla 6.15 se evaluo con los parámetros ya mencionados como origen de suelo edad de deposito, nivel freático, granulometría y la aceleración de manera general.

Se pudo observar que la zona de San Pablo probablemente es la más susceptible al fenómeno de licuación de acuerdo a estos rangos .

6.9 Correlaciones de los ensayos SPT

Existen muchas correlaciones empíricas entre el índice de penetración y diversos parámetros geotécnicos. Debe entenderse claramente que estas relaciones son

Tabla 6. 15 Criterios según origen de suelos.

PARAMETROS	ORIGEN DE SUELO		GRANULOMETRIA DE LOS DEPOSITOS	NIVEL FREATICO	EDAD DE DEPOSITO	ACELERACION
P1-P2-SPT-AYANGUE	Terrazas marinas, fluviales lacustres y de remoción en masa, depósitos coluviales		Composición variable entre finos limo-arcillosos y arenas con gravas	no se reporto	Pleistoceno-Holoceno	0,08g
RANGO	medio(2)	bajo (1)	bajo (1)	-	-	-
P1-P2-SPT-PUNTA BLANCA	Terrazas marinas, fluviales lacustres y de remoción en masa, depósitos coluviales		Composición variable entre finos limo-arcillosos y arenas con gravas	no se reporto	Pleistoceno-Holoceno	0,08g
RANGO	medio(2)	bajo (1)	bajo (1)	-	-	-
P1-P2-P3 y P4-SPT-SAN PABLO	Depósitos sedimentarios litorales actuales. Depósitos fluviales activos Depósitos lacustres y de Rellenos antrópicos (relaves) Depósitos eólicos y deltaicos		Arenas limpias, finos limosos, arenas con finos o arenas con gravas y finos	3 a 4.6 m	holoceno - <500	0,32g
RANGO	Alto (3)		Alto (3)	Moderado-Moderado	Alto-Moderado	Máxima -Media

Elaborado: por Simon Macias.

aproximadas y su uso resulta adecuado cuanto mayor sea la experiencia.

6.10 Correlación limite liquido y limite plástico

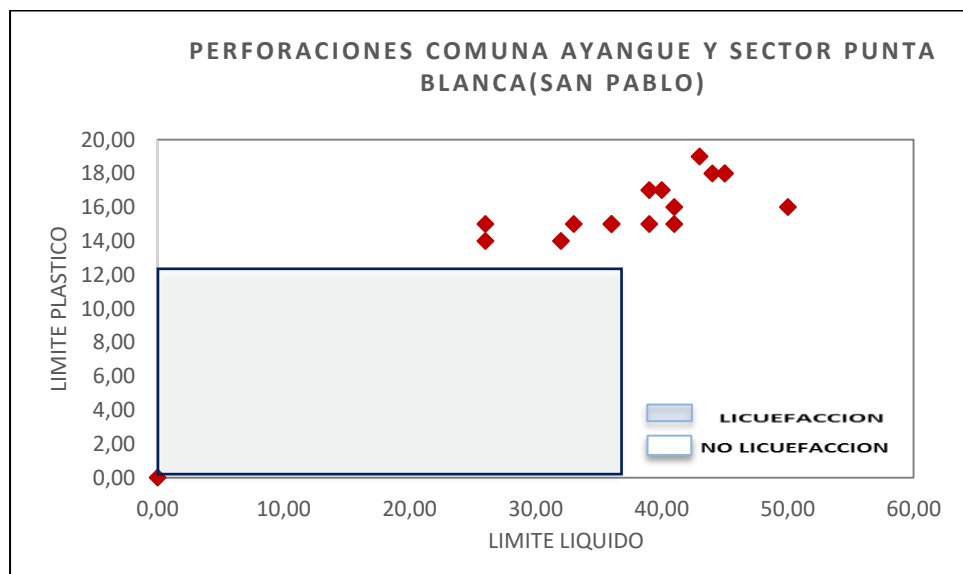
Varios investigadores de ciencias que estudian la susceptibilidad a la licuefacción de las unidades geológicas de las deposiciones ambientales recientes, propusieron

criterios para su clasificación (Young y Pekinés, 1978; Takamatsu, 1992; CDMG 1999). De acuerdo con estas pautas, el área rural de San Pablo cumple con los siguientes criterios:

El área urbano-rural parece haber sido construida sobre las unidades geológicas, tales como depósitos de aluviones, depósitos marinos y antiguos depósitos de aluviones del Holoceno y depósitos de arena (Holoceno) en toda la franja costera.

El agua subterránea tiene de 3 a 4.6 metros de profundidad en el sector San Pablo, en Ayangue y punta blanca no se registró nivel freático y la aceleración máxima del suelo (PGA) tiene una probabilidad del 10% de ser excedida en 50 años en el rango entre 0.24 y 0.32 g (NEC-11, 2015; García et al., 2016; Parra et al., 2016; Beauval et al., 2018),

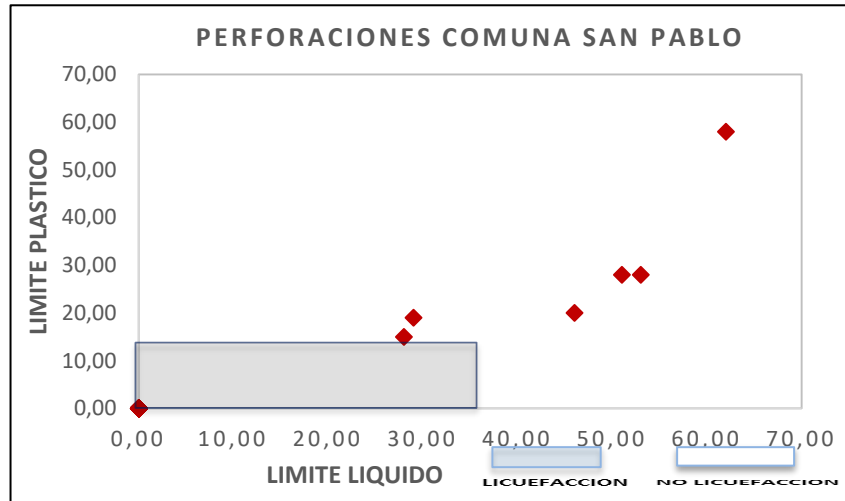
En un primer enfoque para estas unidades geológicas se clasifica como suelos licuables si están saturados de acuerdo con Seed et al. (2003), que indica que el comportamiento de plasticidad de las partículas de suelo de tamaño fino es más importante que el porcentaje de tamaño de arcilla. Existen numerosos casos de licuefacción con más de 10% de arcilla de tamaño fino. Teniendo en cuenta estos criterios, los suelos con un contenido de fino de más del 35% son particularmente potencialmente licuables cuando su límite de líquido es inferior a 37 y el índice de plasticidad es menor que 12 ($LL \leq 37$ y $PI \leq 12$), mientras que el contenido de agua es alto en relación con su Límite Líquido ($w_c > 0.8 LL$).



Ilustracion 6. 6 Análisis De la susceptibilidad de licuefacción basado en los criterios propuestos por seed et al. 2003, los rectángulos celeste se trazan para mostrar las áreas

susceptibles a la licufaccion de suelo,mientras que el área blanca indica las no licuables sector Ayangue -Punta Blanca.

Fuente: Seed et al.. **Elaborado:** por Simon Macias.



Ilustracion 6. 7 Análisis De la susceptibilidad de licuefaccion basado en los criterios propuestos por seed et al. 2003, los rectángulos celeste se trazan para mostrar las áreas susceptibles a la licufaccion de suelo,mientras que el área blanca indica las no licuables sector San Pablo.

Fuente: Seed et al.. **Elaborado:** por Simon Macias.

En el análisis de las perforaciones en la ilustración 6.6. Ayangue y Punta Blanca, podemos observar en la referida que la mayoría de puntos están fuera del cuadro celeste lo que significa que es poco probable que ante un evento como un sismo el proceso de licuefacción se manifieste pues no cumple con los parámetros necesarios para este caso. según los criterios de Seed & Cetin et al., (2003)

En la ilustración 6.7, estas perforaciones si poseen nivel freático pero podemos decir que en esta evaluación presenta escasamente pocos puntos correlacionados que se encuentren dentro del rectángulo celeste que es el área licuable, en virtud a eso es probable como también no probable que la zona de San pablo en general sea propensa a sufrir licuefacción pero va a depender mucho de su saturación y de ciertos factores a estimar según los parámetros de Seed & Cetin et al., (2003).

En un segundo enfoque que se sigue en este estudio para la evaluación del índice de potencial de licuefacción de unidades de suelo basado en los resultados obtenidos por pruebas de laboratorio, con respecto a las características de tamaño de grano y los valores de los límites de Atterberg del elemento del suelo, considerando la geotecnia parámetros propuestos por Wang, 1979; Seed and Idriss, 1982, y Chen y Juang

Tabla 6. 16 Resumen de tamaño y uniformidad de las partículas del suelo de la zona estudiada.

TAMAÑO DE LA PARTICULA								
CUADRO DE RESUMEN								
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7	MUESTRA 8
D60:mm	0,96	1,3			0,499	0,411	0,278	0,232
D30 mm:	0,37	0,48			0,194	0,134	0,135	0,12
D10 mm	0,18	0,13			0,085	0,081	0,083	0,082
Grado de curvatura (Cc):	0,67	0,7	Mal gradadas.		0,74	0,71	0,71	0,74
Coefficiente de uniformidad (Cu):	4,83	7,45			4,190	3,03	2,9	2,76
ANALISIS DE LA PARTICULA					UNIFORME	UNIFORME	UNIFORME	UNIFORME

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias. (2000).

En la tabla 6.16. Los análisis de los suelos demuestran que San Pablo en sus 4 perfiles son mal gradados y uniformes de acuerdo a los parámetros (Seed, 2003). tomando en cuenta el D10 ,D30 , D60, Cc(Grado de curvatura),Cu (coeficiente de uniformidad) promediados para cada perforación.

6.11 Análisis de esfuerzos de los suelos.

Para el análisis de los esfuerzos de los suelos de las perforaciones específicamente las de San Pablo se realizó 4 tablas, las referidas contienen el material que se encuentra en cada estrato, el esfuerzo efectivo, presión de poros, esfuerzo total y el

Tabla 6. 17 Analisis de esfuerzos de los suelos según perfil de perforacion San Pablo 1.

Analisis de esfuerzos de los suelos según perfil de perforacion San Pablo 1									
Z(PROF)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	N. F.	N1(60)	TIPO DE MATERIAL	γ kg/m3	σ _{vo} Kg/m2	U Kg/m2	σ' _{vo} Kg/m2	σ _{vo} /σ' _{vo}
0.0-0.5	Capa vegetal								
0.5-1	ARENA FINA BEIGE DE HUMEDAD BAJA DE COMPACIDAD SUELTA.	NF.	11	SP	1480	740	0	740	1
1.0-2.0	ARENA FINA GRIS DE HUMEDAD BAJA DE COMPACIDAD SUELTA A MEDIANAMENTE DENSA		12	SP	1445	3630	0	3630	1
2.0-3.0			9	SP					
3.0-4.0	ARENA FINA GRIS CON PRESENCIA DE CONCHILLA DE	NF.	52	SP	1715	7060	2000	5060	1,39
4.0-5.0	HUMEDAD BAJA DE COMPACIDAD DENSA		48	SP					
5.0-6.0	ARENA FINA GRIS CON PRESENCIA DE LIMO DE HUMEDAD		52	SP	1653	12024	5000	7024	1,71
6.0-7.0	BAJA DE COMPACIDAD DENSA		48	SP					
7.0-8.0			42	SP					
8.0-9.0	ARENA FINA GRIS CON PRESENCIA DE CONCHILLA DE		42	SP	1795	22794	11000	11794	1,93
9.0-10.0	HUMEDAD BAJA DE COMPACIDAD DENSA A MUY DENSA		74	SP					
10.0-11.0			78	SP					
11.0-12.0			81	SP					
12.0-13.0			41	SP					
13.0-14.0		43	SP						
14.0-15.0	ARCILLA GRIS CON PRESENCIA DE ARENA FINA DE HUMEDAD MEDIA DE CONSISTENCIA DURA		39	CH	2020	24814	12000	12814	1,93

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

resultado de la división de los esfuerzos totales y efectivos para emplear como datos de la ecuación 3.4 El valor promedio de la relación de tensiones cíclicas (**CSR**).

En la tabla 6.17, Se describe los esfuerzos de los materiales de cada estrato de la perforación SPT- San Pablo-1.

- De 0,5m a 1m de profundidad esta compuesto por una arena fina beige de humedad baja y de compacidad suelta.
- En el estrato de 1m a 3m de profundidad esta compuesto por una arena fina gris de baja humedad de compacidad suelta a medianamente densa.

- En el estrato de 3m a 5m de profundidad esta compuesto por arena fina gris con presencia de conchilla de humedad baja de compacidad densa.
- En el estrato de 5m a 8m de profundidad esta compuesta de arena fina gris con presencia de limo de humedad baja compacidad densa.
- En el estrato de 8m a 14m de profundidad esta compuesto de arena fina gris con presencia de conchilla de baja humedad de compacidad densa a muy densa y
- En el estrato de 14m a 15m de profundidad esta compuesto de arcilla gris con presencia de arena fina de humedad media de consistencia dura. En este caso el valor en la tabla que utilizaremos para la ecuación 3.3 es la división realizada entre los esfuerzos total y

Tabla 6. 18 Analisis de esfuerzos de los suelos según perfil de perforacion San Pablo 2.

Z(PROF)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	N. F.	N1(60)	TIPO DE MATERIAL	γ (kg/m3)	σ _{vo} kg/m2	U kg/m2	σ'vo kg/m2	σ _{vo} /σ'vo
0.0-0.5	CAPA VEGETAL								
0.5-1	ARENA FINA GRIS DE HUMEDAD BAJA DE COMPACIDAD SUELTA A MEDIANAMENTE DENSA	NF.	9	SP	1490	2235	0	2235	1
1.0-2.0			13	SP					
2.0-3.0	ARENA FINA GRIS CON PRESENCIA DE CONCHILLA DE HUMEDAD MEDIA DE COMPACIDAD DE MEDIANAMENTE DENSA A DENSA	NF.	22	SP	1490	3725	0	3725	1
3.0-4.0			31	SP					
4.0-5.0			23	SP					
5.0-6.0			32	SP					
6.0-7.0			26	SP					
7.0-8.0			27	SP					
8.0-9.0			38	SP					
9.0-10.0			36	SP					
10.0-11.0			39	SP					
11.0-12.0			ARENA FINA LIMOSA GRIS DE HUMEDAD ALTA DE COMPACIDAD SUELTA						
12.0-13.0	ARCILLA GRIS CON PRESENCIA DE ARENA FINA Y GRAVA DE HUMEDAD ALTA DE CONSISTENCIA COMPACTA		9	CH	1640	20285	10000	10285	1,970
13.0-14.0	ARENA FINA ARCILLOSA GRIS CON PRESENCIA DE CONCHILLA		15	SC	1780	22065	11000	11065	1,990
14.0-15.0	ARENA FINA ARCILLOSA GRIS CON PRESENCIA DE CONCHILLA DENSA		21	SC	1780	23845	12000	11845	2.013

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

efectivos su resultante es igual a 1,93.

En la tabla 6.18. Se describe los esfuerzos de los materiales de cada estrato de la perforación SPT- San Pablo-2.

- De 0.5m a 2m esta compuesto por una arena fina gris de humedad baja y de compacidad suelta a medianamente densa.
- En el estrato de 2m a 11m de profundidad esta compuesto por una arena fina gris con presencia de conchilla de humedad media de compacidad medianamente densa a densa.
- En el estrato de 11m a 12m de profundidad esta compuesto por arena fina limosa gris de humedad alta de compacidad suelta.
- En el estrato de 12m a 13m de profundidad esta compuesta de arcilla gris con presencia de arena fina y grava de humedad alta de consistencia compacta.
- En el estrato de 13m a 14m de profundidad esta compuesto de arena fina arcillosa gris de humedad media y consistencia muy compacta y
- En el estrato de 14m a 15m de profundidad esta compuesto de arena fina arcillosa gris con presencia de conchilla de humedad media de compacidad medianamente densa. En este caso el valor en la tabla que utilizaremos para la ecuación 3.3 es la división realizada entre los esfuerzos total y efectivos será igual a 2,01.

En la tabla 6.19. Se describe los esfuerzos de los materiales de cada estrato de la perforación SPT- San Pablo-3.

- De 0.5m a 1m de profundidad esta compuesto por una arena fina gris mal graduada de humedad media y de compacidad medianamente densa.
- En el estrato de 2m a 3m de profundidad esta compuesto por una arena fina verdosa con presencia de conchilla mal graduada de humedad media de compacidad medianamente densa.

- En el estrato de 3m a 4m de profundidad esta compuesto por arena arcillosa con presencia de arcilla gris de humedad alta de compacidad medianamente densa.
- En el estrato de 4m a 5m de profundidad esta compuesta de arena gris verdosa mal graduada con vetas presencia de conchilla y muy densa.
- En el estrato de 5m a 6m de profundidad esta compuesto de arena arcillosa gris verdosa mal graduada con algo de grava y limo y presencia de conchilla, de humedad media y compacidad muy densa. En este caso el valor en la tabla que utilizaremos para la ecuación 3.3 sera igual a 1.19.

Análisis de esfuerzos de los suelos según perfil de perforación San Pablo 3								
Z(PROF)	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	N1(60)	TIPO DE MATERIAL	γ (kg/m ³)	Σv_0 kg/m ²	U kg/m ²	σ'_{v0} kg/m ²	σ_{VO}/σ'_{VO}
0.0-0.5	CAPA VEGETAL							
0.5-1	ARENA FINA COLOR GRIS MAL GRADUADA; DE HUMEDAD BAJA DE COMPACIDAD SUELTA	11	SP	1480	740	0	740	1
1.0-2.0	ARENA FINA COLOR GRIS MAL GRADUADA DE HUMEDAD MEDIA; DE COMPACIDAD MEDIANAMENTE DENSA	18	SP	1770	2510	0	2510	1
2.0-3.0	ARENA FINA VERDOSA CON PRESENCIA DE CONCHILLA MAL GRADUADA DE HUMEDAD MEDIA; DE COMPACIDAD MEDIANAMENTE DENSA	12	SP	1560	4070	0	4070	1
3.0-4.0	ARENA ARCILLOSA CON PRESENCIA DE ARCILLA GRIS; DE HUMEDAD ALTA DE COMPACIDAD MEDIANAMENTE DENSA	23	SC	1770	5840	0	5840	1
4.0-5.0	ARENA FINA GRIS VERDOSA MAL GRADUADA CON VETAS DE ARCILLA Y PRESENCIA DE CONCHILLA Y LIMO; DE HUMEDAD ALTA DE COMPACIDAD MUY DENSA	90	SP	1770	6755	0	6755	1
				1830	7670	500	7170	1.069
5.0-6.0	ARENA ARCILLOSA COLOR GRIS VERDOSA MAL GRADUADA CON ALGO DE GRAVA Y LIMO Y PRESENCIA DE CONCHILLA; DE HUMEDAD MEDIA DE COMPACIDAD MUY DENSA	50	SP	1750	9420	1500	7920	1.19

Tabla 6. 19 Análisis de esfuerzos de los suelos según perfil de perforación San Pablo.

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

Tabla 6. 20 Analisis de esfuerzos de los suelos según perfil de perforacion San Pablo 4.

PROF Z(m)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	TIPO DE MATERIAL	γ (kg/m ³)	Σv_o kg/m ²	U kg/m ²	σ'_{vo} kg/m ²	σ_{VO}/σ'_{VO}
0.0-0.5	CAPA VEGETAL						
0.5-1	ARENA FINA SECA COLOR GRIS MAL GRADUADA; DE HUMEDAD BAJA DE COMPACIDAD SUELTA	SP	1480	740	0	740	1
1.0-2.0	ARENA FINA COLOR GRIS MAL GRADUADA DE HUMEDAD ALTA; DE COMPACIDAD MEDIANAMENTE DENSA'	SP	1770	2510	0	2510	1
2.0-3.0	ARENA FINA COLOR GRIS VERDOSA CON PRESENCIA DE CONCHILLA MAL GRADUADA DE HUMEDAD ALTA; DE COMPACIDAD MUY DENSA	SP	1560	4070	0	4070	1
3.0-4.0	ARENA FINA COLOR GRIS MAL GRADUADA CON PRESENCIA DE LIMO; DE HUMEDAD MEDIA DE COMPACIDAD MUY DENSA	SP	1770	5840	0	5840	1
4.0-5.0	ARENA FINA GRIS VERDOSA MAL GRADUADA; DE COMPACIDAD MUY DENS	SP	1770	6755	0	6755	1
			1830	7670	500	7170	1,07
5.0-6.0	ARENA FINA COLOR GRIS VERDOSA MAL GRADUADA CON LIMO Y PRESENCIA DE CONCHILLA; DE HUMEDAD MEDIA DE COMPACIDAD MUY DENSA	SP	1750	9420	1500	7920	1.189

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

En la tabla 6.20. Se describe los esfuerzos de los materiales de cada estrato de la perforación SPT- San Pablo-4.

- De 0.5m a 1m de profundidad esta compuesto por una arena fina gris mal graduada de humedad media y de compacidad medianamente densa.
- En el estrato de 2m a 3m de profundidad esta compuesto por una arena fina verdosa con presencia de conchilla mal graduada de humedad media de compacidad medianamente densa.
- En el estrato de 3m a 4m de profundidad esta compuesto por arena arcillosa con presencia de arcilla gris de humedad alta de compacidad medianamente densa.

- En el estrato de 4m a 5m de profundidad esta compuesto de arena gris verdosa mal graduada con vetas presencia de conchilla y muy densa.
- En el estrato de 5m a 6m de profundidad esta compuesto de arena arcillosa gris verdosa mal graduada con algo de grava y limo y presencia de conchilla, de humedad media y compacidad muy densa. En este caso el valor en la tabla que utilizaremos para la ecuación 3.3 será igual a 1.189.

6.12 Analisis de el valor $N_{1(60)}$ corregido según su profundidad.

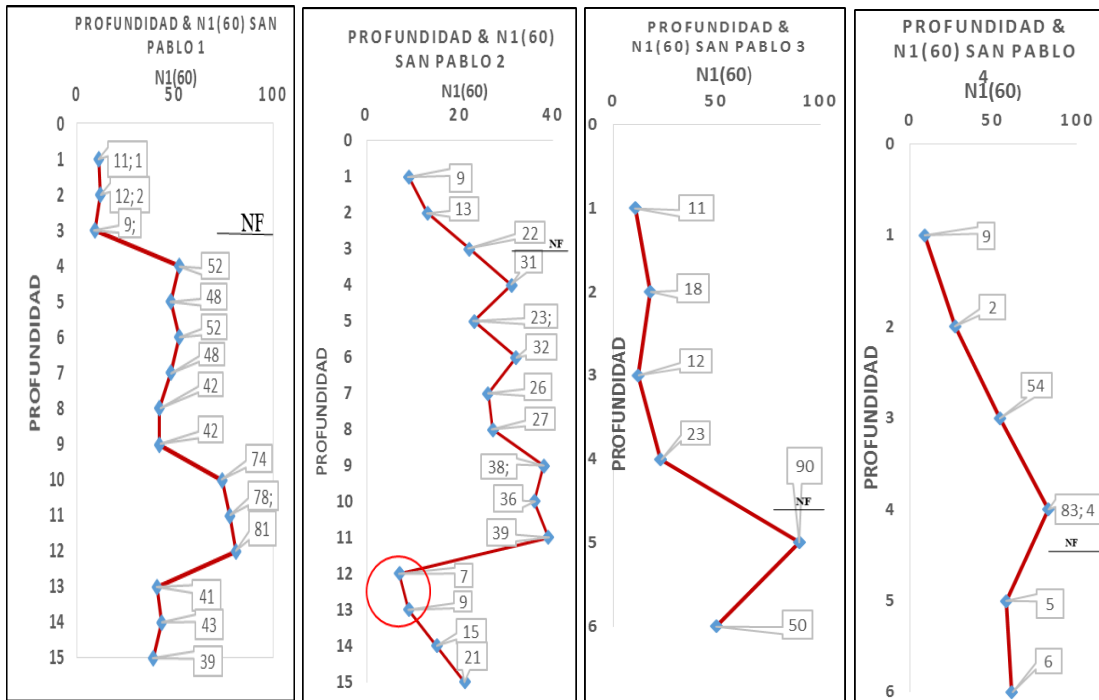
En las siguientes tablas se evaluara el $N_{1(60)}$ corregido según su profundidad las misma serán representadas en las ilustraciones de los perfiles ,con el análisis de licuación y no licuación de los números de golpes.

La tabla 6.21 representa de manera general las perforaciones de suelo de la comuna San Pablo con los números de golpes respectivos.

Tabla 6. 21 Analisis N_1 (60) corregido según su profundidad.zona de estudio San Pablo.

ANALISIS N_1 (60) CORREGIDO SEGÚN SU PROFUNDIDAD.ZONA DE ESTUDIO, SAN PABLO.				
PROFUNDIDAD	SPT SAN PABLO 1	SPT SAN PABLO 2	SPT SAN PABLO 3	SPT SAN PABLO 4
1	11	9	11	9
2	12	13	18	27
3	9	22	12	54
4	52	31	23	83
5	48	23	90	58
6	52	32	50	61
7	48	26		
8	42	27		
9	42	38		
10	74	36		
11	78	39		
12	81	7		
13	41	9		
14	43	15		
15	39	21		

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.



Ilustracion 6. 8 Criterio de N1(60) corregido según su profundidad. a) San Pablo SPT-1, b) San Pablo SPT-2, c) San Pablo SPT-3 y d) San Pablo SPT-4.

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

Tabla 6. 22 Analisis de susceptibilidad de licuacion N1(60) corregido según su profundidad NSPT-San Pablo.

N1(60) SEGUN SU PROFUNDIDAD		
PROFUNDIDAD	N1(60)	COMENTARIO
1	11	NO LICUABLE
2	12	NO LICUABLE
3	9	LICUABLE
4	52	NO LICUABLE
5	48	NO LICUABLE
6	52	NO LICUABLE
7	48	NO LICUABLE
8	42	NO LICUABLE
9	42	NO LICUABLE
10	74	NO LICUABLE
11	78	NO LICUABLE
12	81	NO LICUABLE
13	41	NO LICUABLE
14	43	NO LICUABLE
15	39	NO LICUABLE

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

N1(60) CORREGIDO-SAN PABLO -1,2,3 y 4.

SAN PABLO-1
SAN PABLO-2
SAN PABLO-3
SAN PABLO-4

En la tabla 6.22 y la ilustración 6.8.a, el análisis refiere que los números de golpes de la perforación San Pablo-1.

- En el estrato de 1m a 3m de profundidad estos son licuable por que los números de golpes son bajos 11,12 y 9. Los referidos son materiales sueltos y medianamente densos al estar en el limite tienen un comportamiento mecanico contractivo, pero con una condicionante no hay nivel freático lo que limita la ocurrencia de licuación.
- En el estrato de 3m a 15m de profundidad estos materiales prácticamente no son licuables por que sus números de golpes son mayores a 30 son materiales de mediana densidad , densos y muy densos.
- Se descarta licuación en esta perforación por las condicionantes ya referidas.

Tabla 6. 23 Analisis de suceptibilidad de licuacion N1(60) corregido según su profundidad

PROFUNDIDAD	N1(60)	COMENTARIO
1	9	LICUACION
2	13	NO LICUACION
3	22	NO LICUACION
4	31	NO LICUACION
5	23	NO LICUACION
6	32	NO LICUACION
7	26	NO LICUACION
8	27	NO LICUACION
9	38	NO LICUACION
10	36	NO LICUACION
11	39	NO LICUACION
12	7	LICUACION
13	9	LICUACION
14	15	NO LICUACION
15	21	NO LICUACION

NSPT-San Pablo 2

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

En la tabla 6.23 y la ilustración 6.8.b, el análisis refiere que los números de golpes de la perforación San Pablo -2.

- En el estrato de 1m de profundidad se considera licuable por el numero de golpe igual a 9 pero no registra nivel freático su probabilidad es casi nula también en el estrato de 12m a 13m de profundidad se considera como potencial licuable de acuerdo a su números de golpes 7 y 9 su saturación en estos estratos al 100% con magnitudes estimadas de 7.5 y 8.
- En los estratos de 4m a 11m y de 14 a 15 se considera a estos no licuables con números de golpes altos >20 materiales medianamente densos a densos.
- Dada las características y la evaluación respectiva se considera a esta perforación licuable.

Tabla 6. 25 Analisis de suceptibilidad de licuacion N1(60) corregido según su profundidad NSPT-San Pablo 3.

PROFUNDIDAD	N1(60)	COMENTARIO
1	11	NO LICUACION
2	18	NO LICUACION
3	12	NO LICUACION
4	23	NO LICUACION
5	90	NO LICUACION
6	50	NO LICUACION

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

Tabla 6. 24 Analisis de suceptibilidad de licuacion N1(60) corregido según su profundidad NSPT-San Pablo 3.

PROFUNDIDAD	N1(60)	COMENTARIO
1	9	LICUACION
2	27	NO LICUACION
3	54	NO LICUACION
4	83	NO LICUACION
5	58	NO LICUACION
6	61	NO LICUACION

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

En la tabla 6.24 y la ilustración 6.8 c, el análisis refiere que los números de golpes de la perforación San Pablo -3.

- En los estratos de 1m a 6m de profundidad se considera no licuables a todos por 2 condicionante.
- Numero de golpes altos y sin nivel freático.

- Dada las características de esta perforación es poca la probabilidad de licuación en el lugar de este ensayo.

En la tabla 6.25 y la ilustración 6.8.d, el análisis refiere que los números de golpes de la perforación San Pablo -4.

- En el estrato de 1m de profundidad es licuable pero esta condicionado por el nivel freático.
- En el estrato de 2m a 6 metros no son licuables por el numero de golpes
- Dada las características de esta perforación es poca la probabilidad de licuación en el lugar de este ensayo.

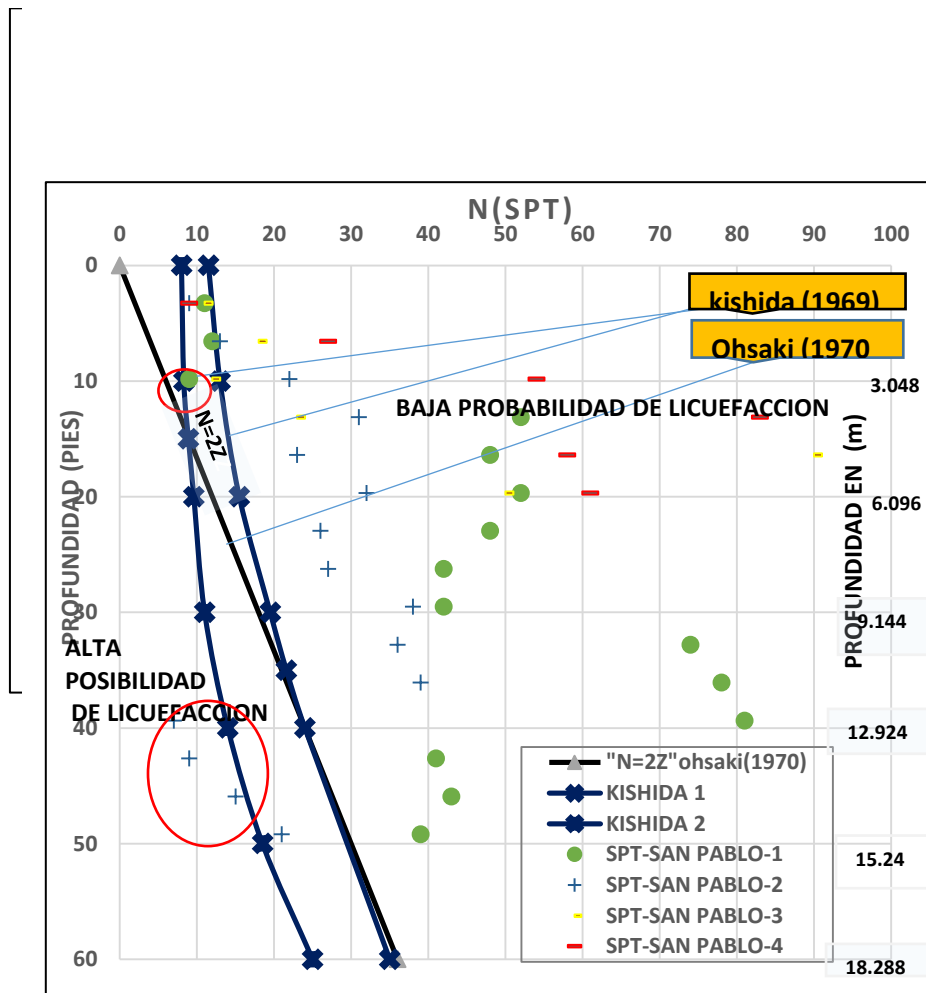


Ilustración 6. 9 Relacion entre la posibilidad de licuacion y los valores NSPT para diferente profundidades z(m).

Elaborado: por Simon Macias.

Ilustración 6. 10 Grafica de distribucion de valores NSPT en funcion de su profundidad.

Elaborado: por Simon Macias.

En la ilustración 6.9 comparamos los resultados de las perforaciones con la relación de Kishida(1969) y Ohsaki(1970) y prácticamente los resultados no cambian y podemos volver a señalar que la perforación San Pablo -2 es la mas propensa a sufrir licuefaccion.el circulo muestra que en el 11m y 13m estos estratos están en una zona muy licuable.

En la ilustración 6.10 se muestra todos los valores perfiles N1(60) corregidos de todas las perforaciones se aprecia que el perfil San Pablo -2, es el mas propenso a sufrir licuefaccion en el análisis se considera desde el 10.5 m hasta 13.5 m como un estrato critico.

6.13 Velocidad de corte según su profundidad.

La velocidad de corte según su profundidad se analiza en la tabla 6.26,de manera general. las referidas serán evaluadas individualmente grafica y analíticamente revisando los parámetros que nos definirán si son licuables o no y sus limitaciones correspondientes.

Tabla 6. 26 Analisis de velocidad de corte (otha & goto , 1978) según su profundidad.San Pablo.

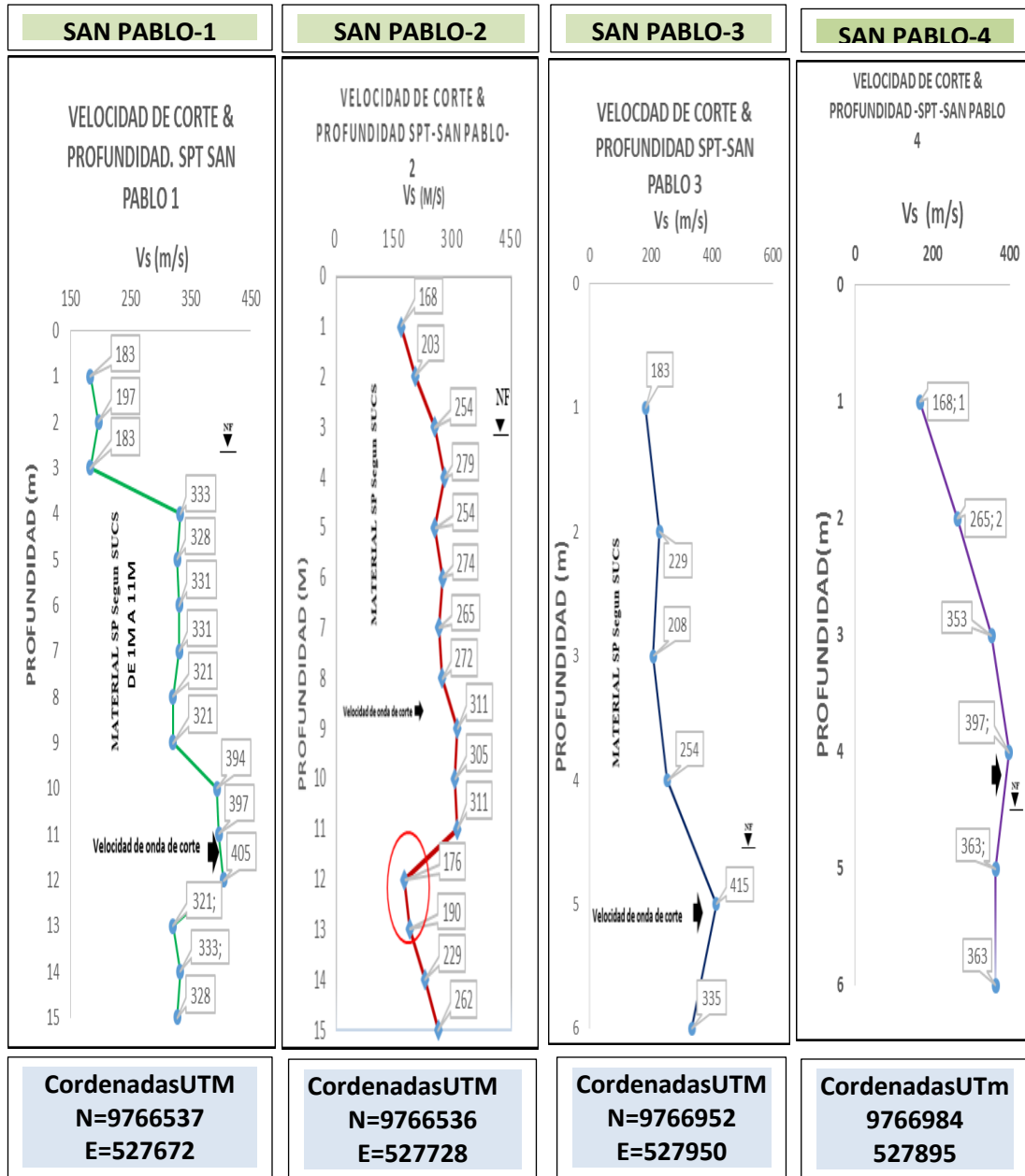
PROF	VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE SEGÚN m/s (OHTA & GOTTO).			
Z	S.PA-1	S-PA-2	S.PA-3	S.PA-4
1	183	168	183	168
2	197	203	229	265
3	183	254	208	353
4	333	279	254	397
5	328	254	415	363
6	331	274	335	363
7	331	265		
8	321	272		
9	321	311		
10	394	305		
11	397	311		
12	405	176		
13	321	190		
14	333	229		
15	328	262		

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

La velocidad de ondas de corte V_s es uno de los parámetros más importantes para clasificar suelos y rocas en el subsuelo.

El factor principal que controla el efecto de sitio es la velocidad de ondas de corte (V_s) en los sedimentos superficiales, es por esto que son ampliamente utilizadas en el mundo para modelar el comportamiento del suelo cuando el sismo hace presencia.

En este caso estudiaremos la velocidad de onda de corte de la zona de estudio San Pablo utilizando los resultados recopilados de los SPT SAN PABLO 1-2-3 y 4 según (OHTA & GOTO, 1978) y luego analizaremos grafica y analíticamente los parámetros ((Enriquez, 2007), proyecto Rismur)según la profundidad de sus estratos.



Ilustracion 6. 11 Criterio de la velocidad de corte (V_s) según su profundidad.a) San Pablo SPT-1, b) San Pablo SPT-2, c) San Pablo SPT-3 y d) San Pablo SPT-4.

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

La caracterización de la zona de la perforación SPT-San Pablo-1, se realizó mediante la interpretación de los resultados que se muestran en la tabla 6.27. Ilustración 6.11.a y definidos con los parámetros de Enriquez, 2007. La estructura somera de la velocidad de corte del sitio consta de la siguiente manera:

En la primera perforación SPT San Pablo-1.

- En el 1m hasta 3m de profundidad tiene un valor promedio de 188 m/s lo que indica según los parámetros que esta en una zona con alta licuefacción.
- En el 3m hasta 4m de profundidad su índice tiende de 183 m/s a 333 m/s a un bajo potencial de licuefacción.
- En el 4m hasta el 9m de profundidad se mantiene con un v_s promedio de 338 m/s y tiende a mantener un bajo potencial de licuefacción.
- En el 9m al 12m se puede observar con un v_s promedio de 399 m/s que prácticamente esta en una zona sin potencial de licuefacción.
- del 13m al 15m con un v_s promedio de 327 la tendencia es hacia una zona con un índice bajo de licuefacción.

Tabla 6. 27 Analisis de licuefaccion con relacion a los perfiles de velocidad de corte de la perforación NSPT San Pablo -1.

Tabla 6. 28 Analisis de licuefaccion con relacion a los perfiles de velocidad de corte de la perforación NSPT San Pablo -2.

PROFUNDIDAD	Vs	OBSERVACION	LIMITANTE
1	168	Zona de muy alto potencial de licuació	Pero condicionado por nivel freático
2	203	Alto potencial de licuación	Pero condicionado por nivel freatico
3	254	Moderado potencial de licuación	Pero condicionado por nivel freatico
4	279	Bajo potencial de licuación	
5	254	Moderado potencial de licuación	Pero condicionado por numero de golpes alto.
6	274	Bajo potencial de licuación.	
7	265	Moderado potencial de licuación	Pero condicionado por numero de golpes alto.
8	272	Bajo potencial de licuación	
9	311	Bajo potencial de licuación	
10	305	Bajo potencial de licuación	
11	311	Bajo potencial de licuación	
12	176	Zona de muy alto potencial de licuació	Cumple condiciones ,suelo licuable
13	190	Alto potencial de licuación	Cumple condiciones ,suelo licuable
14	229	Moderado potencial de licuación	Pero condicionado por números de golpes
15	262	Moderado potencial de licuación	Pero condicionado por números de golpes

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

La caracterización de la zona de la perforación SPT-SAN PABLO-2, se realizó mediante la interpretación de los resultados que se muestran en la tabla 6.28.

- En la perforación SPT SAN PABLO-2,observamos que el Vs en el 1m de profundidad tiene un valor de 168 m/s lo que indica según los parámetros que está en una zona con muy alta licuefacción.
- En el 2m con 203 m/s su índice es alto potencial de licuefacción.
- En el 3m hasta el 8m se mantiene con un Vs promedio de 266 m/s y tiende a tener un moderado potencial de licuefacción.
- del 9m al 11 se puede observar con un Vs promedio de 309 m/s un bajo potencial de licuación.

- del 12m al 15m hay una tendencia de 176 m/s a 262 m/s desde una zona muy licuable a un moderado potencial de licuefaccion respectivamente.

Tabla 6. 29 Analisis de licuefaccion con relacion a los perfiles de velocidad de corte de la perforación NSPT San Pablo -3.

PROFUNDIDAD	Vs	OBSERVACION	LIMITANTE
1	183	Alto potencial de licuación	Pero condicionado por nivel freático.
2	229	Moderado potencial de licuación	Pero condicionado por nivel freático
3	208	Alto potencial de licuación	Pero condicionado por nivel freático
4	254	Moderado potencial de licuación	Pero condicionado por números de golpes
5	415	Zona sin licuación	
6	335	Bajo potencial de licuación	

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

La caracterización de la zona de la perforación SPT-san pablo-3, se realizo mediante la interpretación de los resultados que se muestran en la tabla 6.29. Ilustracion 6.11.c

La estructura somera de la velocidad de corte del sitio consta de la siguiente manera:

- En la tercera perforación SPT- San Pablo-3, observamos que el Vs en el 1m de profundidad tiene un valor de 183 m/s lo que indica según los parámetros que esta en una zona con alta licuefacción.
- En el 2m de profundidad su índice tiende de 229 m/s a un moderado potencial de licuefacción.
- En el 3m de profundidad 208 m/s tiende a un alto potencial de licuefacción.
- en el 4m se puede observar con un vs de 254 m/s que prácticamente esta en una zona de moderado índice de licuación.
- En el 5m con un vs de 415 m/s la tendencia es hacia una zona con

Tabla 6. 30 Analisis de licuefaccion con relacion a los perfiles de velocidad de corte de la perforación NSPT San Pablo -3.

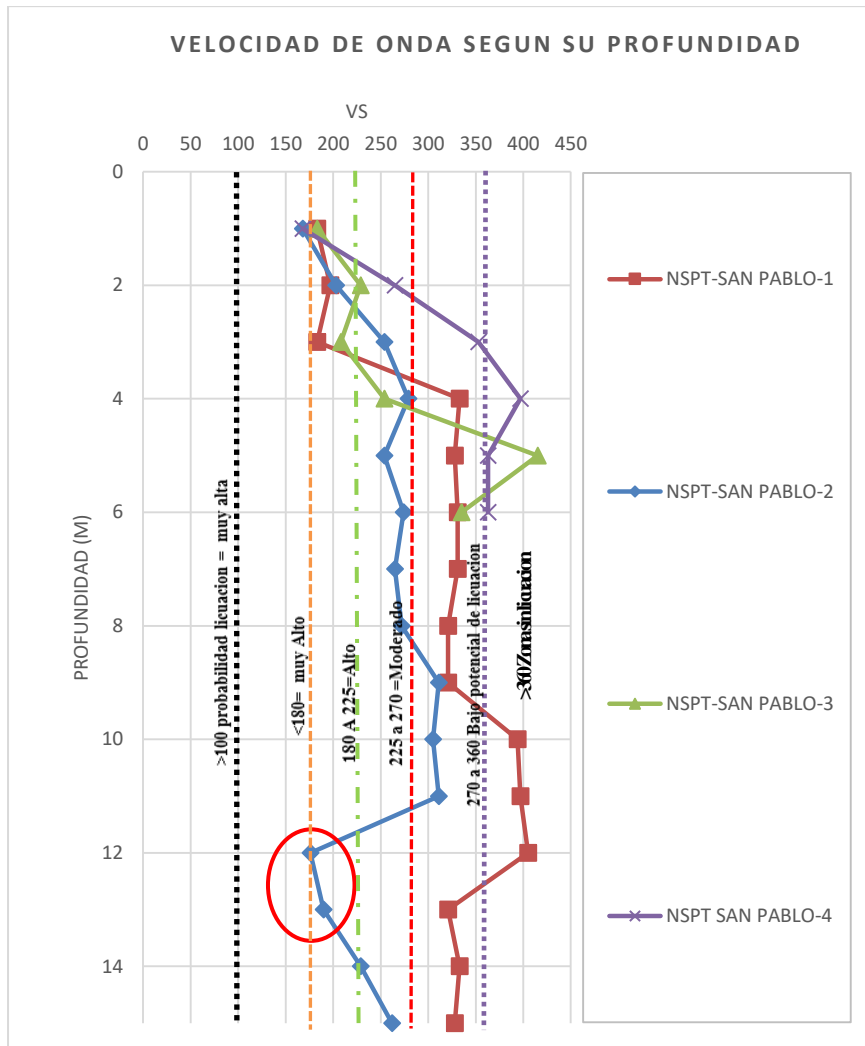
PROFUNDIDAD	Vs	OBSERVACION	LIMITANTE
1	168	Muy alto potencial de licuación	Pero condicionado por nivel freático.
2	265	Moderado potencial de licuación	Pero condicionado por nivel freático.
3	353	Bajo potencial de licuación	
4	397	Zona sin licuación	
5	363	Zona sin licuación	
6	363	Zona sin licuación	

un índice sin licuación En el 6m prácticamente se mantiene en una zona baja de licuación.

La caracterización de la zona de la perforación SPT-San Pablo-4, se realizó mediante la interpretación de los resultados que se muestran en la tabla 6.30. Ilustración 6.11.d

- En la cuarta perforación SPT- San Pablo-4, observamos que el V_s en el 1m de profundidad tiene un valor de 168 m/s lo que indica según los parámetros que esta en una zona con muy alta licuefacción.
- En el 2m de profundidad su índice tiende de 265 m/s a un moderado potencial de licuefacción.
- En el 3m de profundidad tiene un valor de 353 m/s tiende a un bajo potencial de licuefacción.
- en el 4m hasta el 6m de profundidad se puede observar con un v_s promedio de 374 m/s que prácticamente esta en una zona sin índice de licuación.

En la ilustración 6.12 se puede observar claramente la tendencia de cada perforación desde el rango muy alto hasta la zona sin licuación por tanto podemos decir que la perforación más propensa al fenómeno de licuación sería San Pablo-2, San Pablo-1, no es propenso por que sus números de golpes son > 10 , San Pablo 3-4 tienen una tendencia marcada desde un rango alto sus 2 primeros metros hasta un rango bajo de licuefacción los 4 últimos metros.



Ilustracion 6. 12 Perfiles de velocidad de onda de corte vs profundidad.zona san pablo.
Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

6.14 Factor de seguridad según su profundidad.

Para evaluar el factor de seguridad de acuerdo a su profundidad y a los parámetros (Seed & Idriss, 1971) requeridos para la zona de estudio de la Comuna San Pablo se realizan de manera analítica y gráficamente.

En la tabla 6.31 empleamos las ecuaciones 3.5, 3.6 y se emplea una aceleración deducida de 0.35 para estos cálculos, el rd fue evaluado de acuerdo a la profundidad de cada sondeo ,finalmente con la ecuación 3.4 obtenemos el CSR de cada una de las perforaciones referidas.

Tabla 6. 31 Analisis de parametros para CSR tomando en cuenta una Mw= 7.5 .

PERFORACIONES	0,65	σ_v/σ'_{vo}	amax/g	rd/MSF	CSR
(P1-SPT-AYANGUE)	0,65	1	0,35	1,11	0,25
(P2-SPT-AYANGUE)	0,65	1	0,35	1,11	0,25
(P1-SPT-PUNTA BLANCA)	0,65	1	0,35	1,11	0,25
(P2-SPT-PUNTA BLANCA)	0,65	1	0,35	1,11	0,25
(P1-SPT-SAN.PABLO)	0,65	1,94	0,35	0,91	0,4
(P2-SPT-SAN.PABLO)	0,65	2,01	0,35	0,91	0,41
(P3-SPT-SAN PABLO)	0,65	1,19	0,35	1,12	0,3
(P4-SPT-SAN PABLO)	0,65	1,18	0,35	1,12	0,3

Fuente: INGEOTOP.SA. **Elaborado:** por Simon Macias.

En las siguientes tablas generadas para las perforaciones San Pablo 1,2,3 y 4 se emplean las ecuaciones 3.15 y 3.20 para poder determinar el factor de seguridad promedio de cada sondeo y evaluar si es susceptible al fenómeno de licuefacción o no adiccionlmente con las limitantes que puede tener cada una de las referidas.

Tabla 6. 32 Analisis del Factor de seguridad San Pablo -1 según su profundidad.

FACTOR DE SEGURIDAD.SAN PABLO-1						
Z	N1SPT60	CRR	CSR(7,5)	Fs	Observación	Limitante
1	11	0,12	0,4	0,31	Licuable según Fs	Pero condicionado por números de golpes.
2	12	0,13	0,4	0,33	Licuable según Fs	Pero condicionado por números de golpes
3	9	0,1	0,4	0,26	Licuable según Fs	Pero condicionado por NF.
4	52	0,32	0,4	0,81	Licuable según Fs	Pero condicionado por números de golpes
5	48	0,28	0,4	0,7	Licuable según Fs	Pero condicionado por números de golpes
6	52	0,32	0,4	0,81	Licuable según Fs	Pero condicionado por números de golpes
7	48	0,28	0,4	0,7	Licuable según Fs	Pero condicionado por números de golpes
8	42	0,18	0,4	0,45	Licuable según Fs	Pero condicionado por números de golpes
9	42	0,18	0,4	0,45	Licuable según Fs	Pero condicionado por números de golpes
10	74	0,52	0,4	1,3	No licuable	
11	78	0,55	0,4	1,38	No licuable	
12	81	0,57	0,4	1,44	No licuable	
13	41	0,16	0,4	0,39	Licuable según Fs	Pero condicionado por números de golpes
14	43	0,2	0,4	0,51	Licuable según Fs	Pero condicionado por números de golpes
15	39	0,08	0,4	0,21	Licuable según Fs	Pero condicionado por números de golpes
	44,8	0,27	0,4	0,67		

Elaborado: por Simon Macias.

En la tabla 6.32 , el factor de seguridad de la perforación de San Pablo -1 con respecto a los parámetros según su profundidad están en un rango de licuables por que sus valores son menores a 1 desde.

- el 1m hasta 9m ,de 10m a 12m los valores analizados de estos estratos refieren que no son licuables.
- En el 13m al 15m de profundidad estos suelos son prácticamente licuables , pero en su mayoría esta condicionado por que los valores de $N_{1(60)}$ son >10 .

Tabla 6. 33 Analisis del Factor de seguridad San Pablo -2 según su profundidad.

FACTOR DE SEGURIDAD.SAN PABLO-2						
Z	NISPT60	CRR	CSR(7,5)	Fs	Observación	Limitante
1	9	0,1	0,41	0,25	Licuable según Fs	Pero condicionado por nivel freatico
2	13	0,14	0,41	0,34	Licuable según Fs	Pero condicionado por nivel freatico
3	22	0,24	0,41	0,58	Licuable según Fs	Pero condicionado por nivel freatico
4	31	0,56	0,41	1,35	No Licuable según Fs	
5	23	0,26	0,41	0,62	Licuable según Fs	Pero condicionado por Numeros de golpes
6	32	0,73	0,41	1,77	No licuable según Fs	
7	26	0,31	0,41	0,75	Licuable según Fs	Pero condicionado por Numeros de golpes
8	27	0,34	0,41	0,82	Licuable según Fs	Pero condicionado por Numeros de golpes
9	38	0,03	0,41	0,06	Licuable según Fs	Pero condicionado por Numeros de golpes
10	36	-0,24	0,41	0,57	Licuable según Fs	Pero condicionado por Numeros de golpes
11	39	0,08	0,41	0,2	Licuable según Fs	Pero condicionado por Numeros de golpes
12	7	0,09	0,41	0,21	Licuable según Fs	Suelo muy licuable por cumplir parámetros .
13	9	0,1	0,41	0,25	Licuable según Fs	Suelo muy licuable por cumplir parámetros .
14	15	0,16	0,41	0,39	Licuable según Fs	Pero condicionado por Numeros de golpes
15	21	0,23	0,41	0,55	Licuable según Fs	Pero condicionado por Numeros de golpes
	23,2	0,21	0,41	0,5		

Elaborado: por Simon Macias.

En la tabla 6.33 , el factor de seguridad de la perforación de San Pablo -2 con respecto a los parámetros según su profundidad están en un rango de licuables por que sus valores son menores a 1 desde

- En el 1m hasta 3m de profundidad ,el 4m no es licuable pues su valor es 1.35 mayor de 1.

- En el 5m de profundidad es licuable por ser menor a 1.
- En el 6m de profundidad no es licuable por tener un valor mayor que 1.
- En el 7m a 11m de profundidad no son licuables.
- En el 12m a 13m de profundidad los valores analizados de estos estratos refieren que son licuables y cumplen con todas las condiciones y
- En el 15m estos suelos son prácticamente licuables por encontrarse con valores menores a 1.

Tabla 6. 34 Analisis del Factor de seguridad San Pablo -3 según su profundidad.

FACTOR DE SEGURIDAD.SAN PABLO-3						
Z	N1SPT60	CRR	CSR(7,5)	Fs	observación	Límitante.
1	11	0,12	0,3	0,4	Licuable según Fs	Pero condicionado por números de golpes y NF
2	18	0,19	0,3	0,63	Licuable según Fs	Pero condicionado por números de golpes y NF
3	12	0,13	0,3	0,43	Licuable según Fs	Pero condicionado por números de golpes y NF
4	23	0,26	0,3	0,85	Licuable según Fs	Pero condicionado por números de golpes
5	90	0,64	0,3	2,13	No licuable	
6	50	0,3	0,3	1	Licuable según Fs	Pero condicionado por números de golpes
	34	0,27	0,3	0,91		

Elaborado: por Simon Macias.

En la tabla 6.34 , el factor de seguridad de la perforación de San Pablo -3 con respecto a los parámetros según su profundidad están en un rango de licuables por que sus valores son menores a 1.

- En el 1m hasta 4m ,el 5m no es licuable pues su valor es 2.13 mayor de 1.
- En el 6m es licuable por estar en el rango limite de suelos suceptibles a este fenomeno pero están condicionados por sus números de golpe.

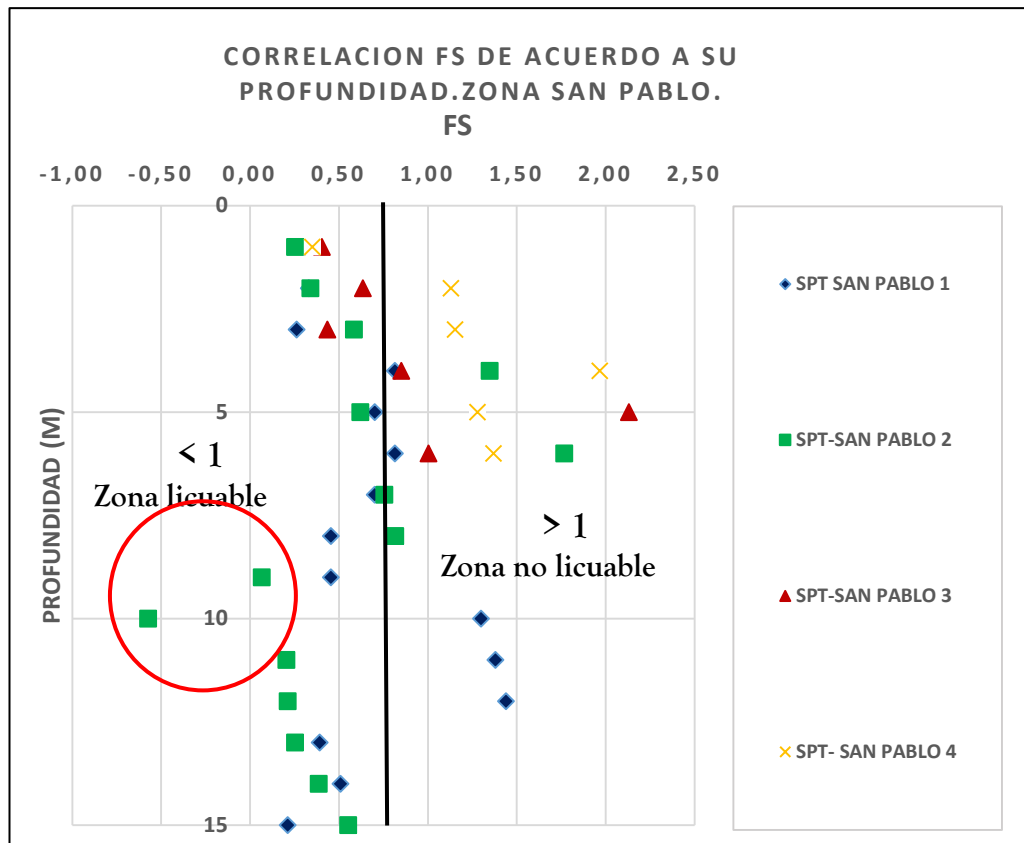
Tabla 6. 35 Analisis del Factor de seguridad San Pablo -3 según su profundidad.

FACTOR DE SEGURIDAD.SA PABLO-4						
Z	N1SPT60	CRR	CSR(7,5)	Fs	Observación	Limitante
1	9	0,1	0,3	0,35	Licuable según Fs	Pero condicionado por NF
2	27	0,34	0,3	1,13	No Licuable según Fs	
3	54	0,35	0,3	1,15	No Licuable según Fs	
4	83	0,59	0,3	1,97	No Licuable según Fs	
5	58	0,38	0,3	1,28	No Licuable según Fs	
6	61	0,41	0,3	1,37	No Licuable según Fs	
	48,67	0,36	0,3	1,21		

Elaborado: por Simon Macias.

En la tabla 6.35 , el factor de seguridad de la perforación de San Pablo -4 con respecto a los parámetros según su profundidad está en un rango de licuable por que su valor 0.35 que es menor a 1m y de 2m a 6m sus valores están por arriba de 1 lo que significa que no existirá licuación en esta perforación.

En la ilustración 6.13 se representan las perforaciones de san pablo 1-2-3 y 4 , claramente se puede observar que la línea negra es el limite entre la zona licuable y la zona no licuable y nos permite también ver como y hacia donde están orientados los perfiles San Pablo 1-2-3 se encuentran en una zona potencialmente licuable y gran parte de san pablo 4 yace en zona sin licuación todo estos datos proporcionados en el análisis según el factor de seguridad.



Ilustracion 6. 13 Resultados de cálculos de factor de seguridad de acuerdo con la profundidad para diferentes unidades litológicas en la ciudad de San Pablo.
Elaborado: por Simon Macias.

6.15 Índice potencial de licuefacción de la zona de estudio.

En la tabla 6.36 de la perforación San Pablo -1 se detalla el análisis del índice potencial de licuefacción en la que se toma en cuenta los siguientes datos generados de los referidos como:

- ❖ Números de golpes corregidos.
- ❖ CRR.
- ❖ CSR CON $M_w=7.5$
- ❖ Fs(factor de seguridad).

El índice potencial de licuefacción detalla a continuación las siguientes características licuables o no licuables de cada estrato:

- 1m: índice potencial de licuefacción =6,59 se clasifica como LPI alto de acuerdo a los parametros utilizados en la investigación de Tokida et al 1982.

- 2m:LPI =12.08 se considera alto por los parámetros ya mencionados.
- 3m: LPI=18.83 Se observa que el LPI es muy alto es licuable.
- 4m a 7m=0 esta parte de el suelo no es licuable según estos parámetros.
- 8m a 9m= 26.19 y 27.10 respectivamente se observa que el LPI es muy alto es licuable.
- 10-11 y 12m= 0 este estrato del suelo no es licuable.
- 13-14-15=27.70-20.68 y 29.59 tienen un LPI muy alto según estos parámetros esta parte de los estratos son licuables.

Tabla 6. 36 Analisis del indice de probabilidad de licuefaccion (LPI) -San Pablo-1.

Analisis del indice de probabilidad de licuefaccion (LPI) -San Pablo-1.								
PROFUNDIDAD (Z)	N1SPT60	CRR	CSR(7,5)	Fs	F	W	Iwasaki, Tokida et al. 1982) LPI	Observación
1	11	0,12	0,4	0,31	0,69	9,5	6,59	Alto, pero con condiciones no licuables sin NF,numero de golpe muy altos
2	12	0,13	0,4	0,33	0,67	9	12,08	Alto, pero con condiciones no licuables sin NF,numero de golpe muy altos
3	9	0,1	0,4	0,26	0,74	8,5	18,83	Muy alto;pero con condiciones no licuables sin NF
4	52	0,32	0,4	0,81	0	8	0	No licuable
5	48	0,28	0,4	0,7	0	7,5	0	No licuable
6	52	0,32	0,4	0,81	0	7	0	No licuable
7	48	0,28	0,4	0,7	0	6,5	0	No licuable
8	42	0,18	0,4	0,45	0,55	6	26,19	Muy alto;pero con condiciones no licuables por números de golpes.
9	42	0,18	0,4	0,45	0,55	5,5	27,01	Muy alto; pero con condiciones no licuables por números de golpes.
10	74	0,52	0,4	1,3	0	5	0	No licuable
11	78	0,55	0,4	1,38	0	4,5	0	No licuable
12	81	0,57	0,4	1,44	0	4	0	No licuable
13	41	0,16	0,4	0,39	0,61	3,5	27,7	Muy alto, pero con condiciones no licuables por números de golpes.
14	43	0,2	0,4	0,51	0,49	3	20,68	Muy alto, pero con condiciones no licuables por números de golpes.
15	39	0,08	0,4	0,21	0,79	2,5	29,59	Muy alto, pero con condiciones no licuables por números de golpes.

Elaborado: por Simon Macias.

En la tabla 6.37 de la perforación San Pablo -2 .El índice potencial de licuefacción detalla a continuación las siguientes características licuables o no licuables de cada estrato:

- 1m a 3m : índice potencial de licuefacción =7.11;11.90;10.63 respectivamente se clasifica como LPI alto de acuerdo a los parámetros utilizados en la investigación de Tokida et al 1982.
- 4m:LPI =0 estrato de suelo no licuable.
- 5m: LPI=14.28 Se observa que el LPI es alto es licuable.
- 6m=0 esta parte de el suelo no es licuable según estos parámetros.
- 7m a 8m= 11.16 y 8.85 respectivamente se observa que el LPI es alto es licuable.
- 9-a-15m=46,31;78.69;39.46;37.86;34.05;25.08;16.87 tienen un LPI muy alto según estos parámetros esta parte de los estratos son muy

Análisis del índice potencial de licuefacción-San Pablo-2								
PROFUNDIDAD (Z)	N1SPT60	CRR	CSR(7,5)	Fs	F	W	Iwasaki, Tokida et al. 1982) LPI	observación
1	9	0,1	0,41	0,25	0,75	9,5	7,11	Alto, pero condicionado sin NF
2	13	0,14	0,41	0,34	0,66	9	11,9	Alto, pero condicionado sin NF número de golpes >10.
3	22	0,24	0,41	0,58	0,42	8,5	10,63	Alto, pero condicionado sin NF número de golpes >10.
4	31	0,56	0,41	1,35	0	8	0	No licuable
5	23	0,26	0,41	0,62	0,38	7,5	14,28	Alto, pero condicionado su número de golpes es >10.
6	32	0,73	0,41	1,77	0	7	0	No licuable
7	26	0,31	0,41	0,75	0,25	6,5	11,16	Alto, pero condicionado su número de golpes es >10.
8	27	0,34	0,41	0,82	0,18	6	8,85	Alto pero condicionado su número de
9	38	0,03	0,41	0,06	0,94	5,5	46,31	Muy alto, pero condicionado su número de golpes es >10
10	36	-0,24	0,41	-0,57	1,57	5	78,69	Muy alto,pero condicionado su número de golpes es >10
11	39	0,08	0,41	0,2	0,8	4,5	39,46	Muy alto, pero condicionado su número de golpes es >10
12	7	0,09	0,41	0,21	0,79	4	37,86	Muy alto y licuable
13	9	0,1	0,41	0,25	0,75	3,5	34,05	Muy alto licuable
14	15	0,16	0,41	0,39	0,61	3	25,8	Muy alto,pero condicionado su número de golpes es >10
15	21	0,23	0,41	0,55	0,45	2,5	16,87	Muy alto ,pero condicionado su número de golpes es >10

Elaborado: por Simon Macias.

licuable.

En la tabla 6.38 de la perforación San Pablo -3, el índice potencial de licuefacción detalla a continuación las siguientes características licuables o no licuables de cada estrato:

- 1m a 3m: índice potencial de licuefacción =5.67;6.58;14.44 respectivamente se clasifica como LPI alto de acuerdo a los parámetros utilizados en la investigación de Tokida et al 1982. su índice es alto
- 4m:LPI =4.81 estrato de suelo tiene un índice moderado de licuefacción.
- 5m y 6m: LPI=0 suelos no licuables.

Tabla 6. 38 Analisis del indice de probabilidad de licuefaccion (LPI) -San Pablo-3.

Analisis del indice de probabilidad de licuefaccion-San Pablo-3								
PROFUNDIDAD (Z)	N1SPT60	CRR	CSR(7,5)	Fs	F	W	Iwasaki, Tokida et al, 1982) LPI	observación
1	11	0,12	0,3	0,4	0,6	9,5	5,67	alto
2	18	0,19	0,3	0,63	0,37	9	6,58	alto
3	12	0,13	0,3	0,43	0,57	8,5	14,44	alto
4	23	0,26	0,3	0,85	0,15	8	4,81	Moderado
5	90	0,64	0,3	2,13	0	7,5	0	No licuable
6	50	0,3	0,3	1	0	7	0	No licuable

Elaborado: por Simon Macias.

En la tabla 6.38 de la perforación San Pablo-4, el índice potencial de licuefacción detalla a continuación las siguientes características licuables o no licuables de cada estrato:

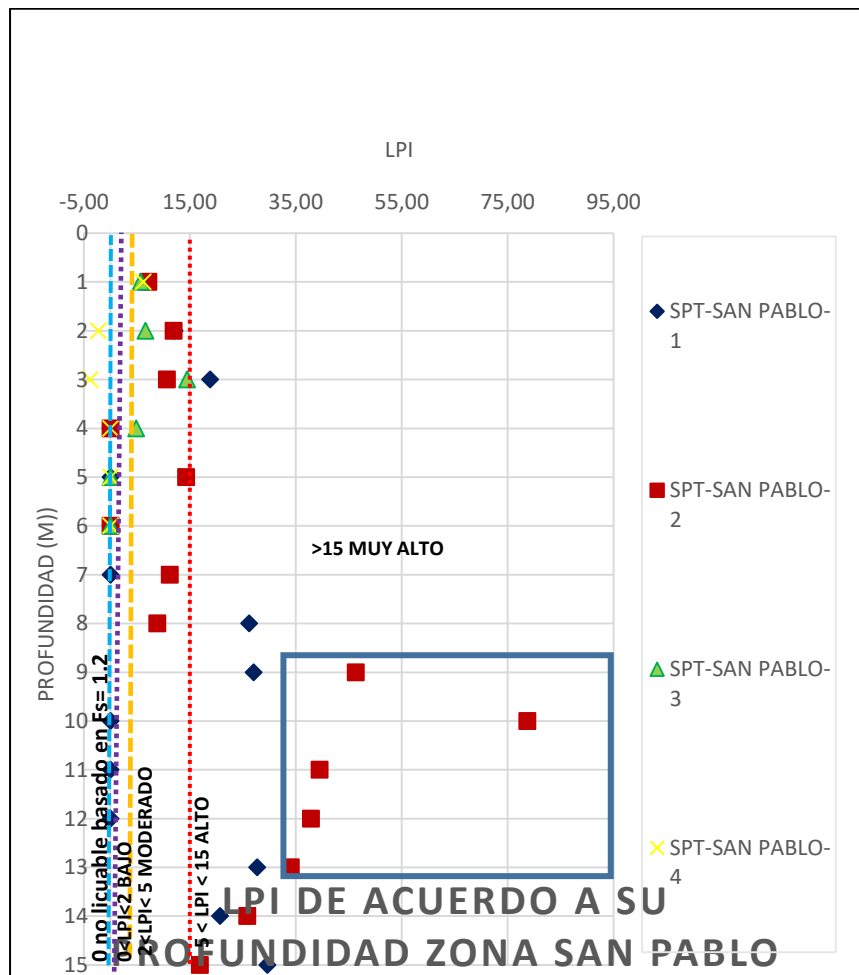
- 1m : índice potencial de licuefacción =6.19 se clasifica como LPI alto de acuerdo a los parámetros utilizados en la investigación de Tokida et al 1982.
- 2m y 3m:LPI =-2.32; y 3.86 estos estrato de suelo tiene un índice bajo de licuefacción.

- 4m,5m y 6m: LPI=0 suelos no licuables.

Tabla 6. 39 Analisis del indice de probabilidad de licuefaccion (LPI) -San Pablo-4.

Analisis del indice de probabilidad de licuefaccion-San Pablo-4.								
PROFUNDIDAD (Z)	N1SPT60	CRR	CSR(7,5)	Fs	F	W	Iwasaki, Tokida et al. 1982) LPI	observación
1	9	0,1	0,3	0,35	0,65	9,5	6,19	alto
2	27	0,34	0,3	1,13	-0,13	9	-2,32	bajo
3	54	0,35	0,3	1,15	-0,15	8,5	-3,86	bajo
4	83	0,59	0,3	1,97	0	8	0	No licuable
5	58	0,38	0,3	1,28	0	7,5	0	No licuable
6	61	0,41	0,3	1,37	0	7	0	No licuable

Elaborado: por Simon Macias.



Ilustracion 6. 14 Distribucion del índice de potencial de licuefaccion para el área urbano-rural de la Comuna San Pablo.

Elaborado: por Simon Macias.

En la ilustración 6.14 se puede apreciar la parte marcada en el rectángulo de borde azul como zona licuable en los valores LPI considerados con mayor riesgos en la Comuna San Pablo, las perforaciones 1 y 2 son posibles tienen un índice alto al 3m pero, San Pablo-1 tiende a la zona no licuable por lo que se estaría descartando licuación contrario a San Pablo-2 que los primeros 3m tienden a ser altos y luego su tendencia hasta el 8m es moderada a partir del 8m al 10m hay un pico con tendencia a muy alto y de allí decae hasta el rango bajo es decir del 10m al 15m, San Pablo-3, de 1m a 3m tiene tendencia a un índice alto y de 3m a 6m su tendencia a una zona no licuable para el caso de San Pablo 4 como podemos observar su tendencia es desde el 2m al 6m no licuable.

6.16 Probabilidad de licuefacción .

Tabla 6. 40 Analisis de la probabilidad de licuefacción de la zona de estudio.

CSR(MW=7.5)					
Profundidad	POZO	N1SPT60	CSR(7.5)	FS	CRR
8	N°1	47	0,25	0,88	0,22
8	N°2	54	0,25	1,12	0,28
8	N°3	26	0,25	0,88	0,22
8	N°4	24	0,25	0,84	0,21
15	N°5	45	0,4	0,68	0,27
15	N°6	23	0,41	0,51	0,21
6	N°7	34	0,3	0,9	0,27
6	N°8	49	0,3	1,2	0,36

Elaborado: por Simon Macias.

En la tabla 6.40 . los datos generados anteriormente que se utilizan para el análisis son los siguientes:

- ❖ N1(60) corregido.
- ❖ CSR(7.5)
- ❖ Fs(de los estratos de cada perforación de la zona de estudio).
- ❖ & el CRR.

Evaluamos solo los de la zona de estudio San Pablo para poder generar la ilustración 6.15, correlacion CSR(Mw-7.5) & N1(60). según los parámetros de sommez

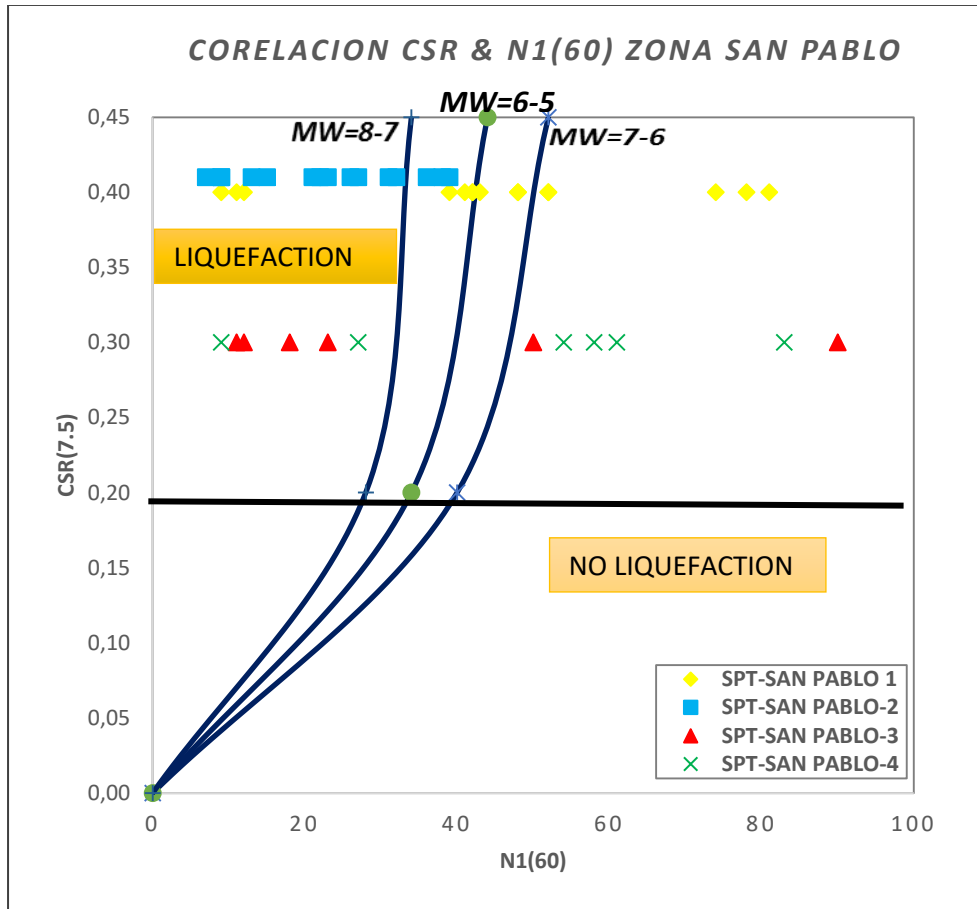


Ilustración 6. 15 Relacion entre CSR y la resistencia a la penetracion corregida de la Ciudad de San Pablo-Santa Elena.
Elaborado: por Simon Macias.

En la ilustración 6.23 se realizo la relación entre CSR y la resistencia a la penetración corregida se estima que la probabilidad de licuefacción en la zona San Pablo 1-2-3 y 4 para diferentes magnitudes Son Mw= 5 a 6; Mw= 6 a 7 ; y Mw= 7-8 comparadas con que solo en la perforación San Pablo -2 hay un alto porcentaje de licuación dependiendo mucho de su magnitud .

Tabla 6. 41 Analisis de probabilidad de licuefaccion PL-zona de estudio.

PROBABILIDAD DELICUEFACCION (PL)						
PERFORACIONES	N _{1SPT60} Min-Max Promedio	CRR Promedio	CSR(7,5) Promedio	FS Promedio	Tipo de suelo según SUCS	Probabilidad de Licuefaccion
P1-SPT-AYANGUE	37-65, 47	0,22	0,25	0,88	SP	0,623
P2-SPT-AYANGUE	37-91. 54	0,28	0,25	1,12	SP	0,338
P1-SPT-PUNTA BLANCA	7-60. 26	0,22	0,25	0,88	SP	0,605
P2-SPT-PUNTA BLANCA	16-38. 24	0,21	0,25	0,84	SP	0,642
P1-SPT-SAN PABLO	9-81. 45	0,27	0,4	0,68	SP	0,834
P2-SPT-SAN PABLO	7-9. 8.0	0,21	0,41	0,51	SP	0,948
P3-SPT-SAN PABLO	11-90. 34	0,27	0,3	0,9	SP	0,561
P4-SPT-SAN PABLO	9-83. 49	0,36	0,3	1,2	SP	0,263

Elaborado: por Simon Macias.

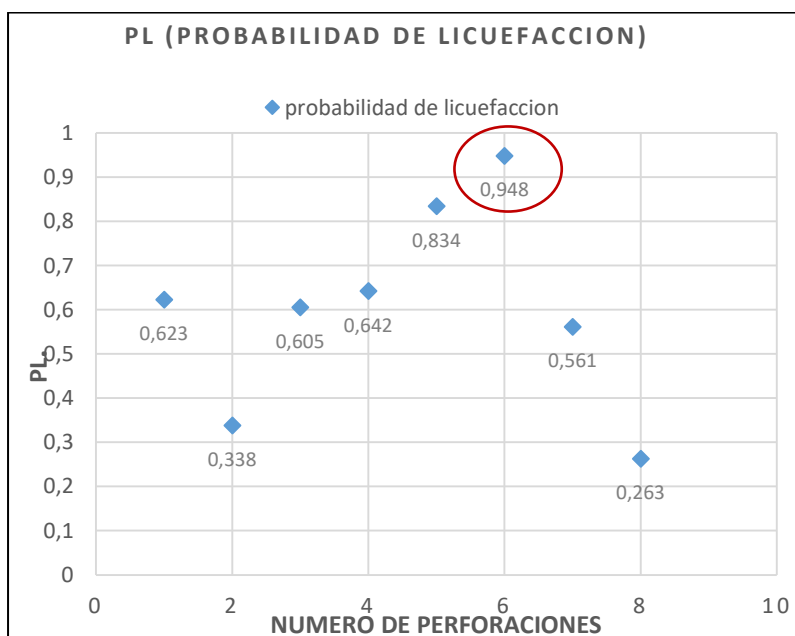
Para realizar el análisis de la probabilidad de licuefaccion tomamos en cuenta los valores promedios de los N₁₍₆₀₎ corregidos , los CRR promedios , los CSR promedios y los tipos de suelos en en cual se detalla en la tabla 6.41, como podemos observar con las perforaciones de San Pablo 1-2-3 y 4 que son las perforaciones que registran nivel freático se puede apreciar que San Pablo-1 es licuable pero esta condicionado por los números de golpes y San Pablo -2 es el mas probable a sufrir licuefaccion por estar en el rango muy alto a licuar y como también apreciamos Ayangue 1 y 2 , Punta Blanca 1 y 2 y San Pablo 3 y 4 practicamente seria poco probables tomando en cuenta los parámetros pero condicionados por otras características.

Obtenidos los datos en la tabla 6.42 . Referimos y comparamos la probabilidad de licuefaccion con el factor de seguridad promediado y según los parámetros de sommez 2014 se puede decir lo referido anteriormente la perforación San Pablo- 2 es la mas propensas a sufrir licuefaccion en este estudio.

Tabla 6. 42 Analisis de correlacion entre PL –FS.

PERFORACIONES	PL (Probabilidad de Licuefaccion)	Factor de Seguridad	RANGOS DE PROBABILIDAD (PL)	RANGOS DE PROBABILIDAD (FS)
SPT AYANGUE -1	0,623	0,86	Probable o no probable ,pero condicionado por tener numeros de golpes >10,y sin presencia de nivel freatico.	Probableo no probable ,pero condicionado por tener numeros de golpes >10,y sin presencia de nivel freatico.
SPT AYANGUE -2	0,338	1,12	poco probable	poco probable
SPT PUNTA BLANCA-1	0,605	0,87	probable o no probable,pero condicionado por tener numeros de golpes >10,y sin presencia de nivel freatico.	probable o no probable,pero condicionado por tener numeros de golpes >10,y sin presencia de nivel freatico.
SPT PUNTA BLANCA-2	0,642	0,84	probable o no probable,pero condicionado por tener numeros de golpes >10,y sin presencia de nivel freatico.	probable o no probable,pero condicionado por tener numeros de golpes >10,y sin presencia de nivel freatico.
SPT SAN PABLO-1	0,834	0,67	Muy probable, pero condicionado por tener numeros de golpes >10.	Muy probable, pero condicionado por tener numeros de golpes >10.
SPT SAN PABLO-2	0,948	0,5	Casi certero que habrá licuefaccion	Casi certero que habrá licuefaccion
SPT SAN PABLO-3	0,561	0,9	probable o no probable,pero condicionado por tener numeros de golpes >10.	probable o no probable,pero condicionado por tener numeros de golpes >10.
SPT SAN PABLO-4	0,263	1,21	Poco probable.	Poco probable

Elaborado: por Simon Macias.



Ilustracion 6. 16 Resultados de la probabilidad de licuefaccion (PL) según su factor de seguridad para cada pozo en la Ciudad de San Pablo –Santa Elena.

Elaborado: por Simon Macias.

En la ilustración 6.16 . se demuestra mediante una relación grafica de la probabilidad de licuefaccion y el numero de perforaciones, que San Pablo 1 y 2 tendrian una probabilidad de licuefaccion de acuerdo a estos análisis del estudio.

CAPITULO VII

6.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Este trabajo de investigación determinó los parámetros característicos del suelo tales como granulometría, edad de depósito del suelo, nivel freático y aceleración de la zona de estudio lo que nos permitió comprender geológicamente concluyendo que la Comuna San Pablo si es propensa a sufrir licuefacción a través de estos parámetros con el único condicionante su nivel freático está por debajo de los 3m lo que no le permite tener una saturación al 100% como mencionan algunos autores para que el lugar donde se realizaron las perforaciones sea propenso a ser susceptible a la licuefacción sin embargo la perforación San Pablo -2 reúne todas las condiciones para que en un evento sísmico calculado de $M_w=7.5$ sea capaz de generar licuación en el área referida.

Se logró modelar y graficar estratigrafías y parámetros del suelo, en función del índice de resistencia a penetración estándar corregido y normalizado $(N1)_{60}$ mediante las correlaciones según la profundidad de cada perforación en la zona de San Pablo se determinó que San Pablo -1 no es potencialmente licuable por que sus valores de números de golpes son >10 y en la perforación San Pablo-2 se pudo determinar que es potencialmente licuable por reunir todas las características adecuadas para el evento desde el 10,50m hasta el 13,5 m sus estratos presentan saturación al 100%, geológicamente es propenso por que son suelos cuaternarios holocenos además el $N1(60)$ corregidos son bajos < 10 en los estratos referidos, la velocidad de corte es baja entre 176 y 190 localizada en un rango potencialmente licuable lo que permite concluir que esta perforación es potencialmente licuable según todos los parámetros analizados, San Pablo 3 y 4 prácticamente se concluye que en el sector de perforación es poco probable que se genere licuación por no reunir las condiciones para un evento sísmico.

Se determinó el potencial de licuefacción LPI mediante perfiles geotécnicos basados en los datos geotécnicos en la Zona de estudio San Pablo y se pudo comprobar mediante estos análisis que San Pablo 1 no es licuable por factores como el número de golpes y NF y San Pablo-2 es prácticamente la zona más propensa a sufrir

licuefaccion en sus suelos su LPI es muy alto y san Pablo 3 y4 practicamente tienen una probabilidad baja de licuacion

Se logró zonificar el potencial de licuefacción según las condiciones geotécnicas y geológicas del área de estudio. referido concluyendo que San Pablo si es un lugar que podría generar licuación pero en sectores donde su saturación este según algunos autores saturado su suelo por lo general entre un 95 a 100% , en lugares como el rio de San Pablo ,y Pacoa (estero PUGAY) donde existen todos los elementos posible geológicas y geotécnicamente para una licuefacion.

CAPITULO VIII

8.

8. Conclusiones y recomendaciones.

8.1 Conclusiones.

De acuerdo a los resultados obtenidos se obtuvo los siguientes criterios o conclusiones:

El estudio de licuefacción de suelos arenosos saturados como el del Proyecto San Pablo son relevantes y deben ser considerados muy importantes para su mayor estudio, mitigación o para para identificar con mayor exactitud las zonas en la cual pueden ser susceptibles los suelos a su ocurrencia.

A partir del análisis de licuefacción de suelos se observa que dada las características geológicas y geomorfológicas de los suelos encontrados en la zona costera de San Pablo, las zonas más pobladas y aledañas al mar vienen a ser las que poseen un nivel alto a ser considerado un suelo potencialmente licuable. En tanto para las zonas costeras de Ayangué y Punta Blanca según las características geológicas poseen suelos con rango nivel bajo o pocos probables a ser licuables.

El área más afectada por este fenómeno se encuentran situadas cercanas o sobre terrenos inundables, lo que provoca que sean lugares susceptibles a la licuefacción, dado que la presencia de un nivel freático alto(en condiciones temporalmente lluviosas) en el subsuelo es determinante para la iniciación de dicho fenómeno.

Dado el análisis de potencial de licuefacción de suelos para la zona costera de San Pablo en el caso de un sismo de 50 años de periodo de retorno, la ocurrencia de licuefacción de suelos es muy alta.

Cabe recalcar que los factores de seguridad para ambas zonas en estudio están por debajo del valor de 1 (usado como valor límite del cual la licuefacción no ocurriría) y con valores de índice de potencial de licuación iguales a cero o menores de cinco. Estos resultados indican que se producirán daños en la superficie y un Alto potencial de licuefacción de los suelos.

8.2 Recomendaciones propuestas en este estudio.

Ahora toca a los ingenieros civiles estructurales determinar cuáles son las medidas de prevención más importantes a realizar para que, conociendo la realidad de San Pablo y el perfil costero de la Península de Santa Elena recomienden la ejecución de obras a realizar y conductas a seguir para contrarrestar las pérdidas materiales y de vidas de la población que va a estar expuesta a este fenómeno natural extremo.

Con los datos obtenidos anteriormente, la comuna San Pablo está propensa a sufrir licuefacción a profundidades entre 3 a 8 metros, por lo tanto es necesario tomar medidas para mitigar los daños. En este caso, se proponen técnicas de mejoramiento del terreno, proporcionando aumento de la resistencia, disminución de la deformabilidad, disminución de la permeabilidad, y mitigando el potencial de colapso.

Se proponen diferentes técnicas de mejoramiento del terreno para mitigar daños como son: compactación dinámica, vibro flotación y vibro sustitución, los más recomendados internacionalmente.

Estos tratamientos son interesantes en el caso de arenas finas limosas con alto potencial de licuefacción, ya que además de aumentar la resistencia al corte fuertemente por la inclusión de las columnas de grava, se obtienen elementos verticales que sirven para disipar las presiones de poros que pueden originar licuefacción por sismo, llegando a profundidades hasta los 10 metros.

8.3 BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Aguiar, R., C. Castro, Ch. Garzón, W. Yanchatuña, L. Cumbal, and J. La Fave. (2009). Magnitud máxima en zonas fuentes para estudios de peligrosidad sísmica del Ecuador. *Rev Cienc ESPE Univ Fuerzas Armadas* 12 (2): 109–121.
- ❖ AFPS. (1995). Guidelines for seismic microzonation studies. AFPS French association for earthquake engineering.
- ❖ Bahadori, H., Hasheminezhad, A., & Karimi, A. (2017). Development of an integrated model for seismic vulnerability assessment of residential buildings: Application to Mahabad City, Iran. *Journal of Building Engineering*, 12, 118-131.
- ❖ Bahadori, H., & Hasheminezhad, A. (2016). Standard Penetration Test-Based Assessment of Seismic Soil Liquefaction Potential of Urmia, Iran.
- ❖ Beauval, C., J. Marinière, H. Yepes, L. Audin, J. M. Nocquet, A. Alvarado, S. Baize, J. Aguilar, J. C. Singaicho, and H. Jomard. (2018). “A New Seismic Hazard Model for Ecuador.” *Bulletin of the Seismological Society of America* 108 (3A): 1443–1464.
- ❖ Béjar-Pizarro M., Álvarez G.J., Staller A., Luna M., Pérez-López R., Monserrat O., Chunga K. (2018). InSAR-Based Mapping to Support Decision-Making after an Earthquake. *Remote Sensing* 10(6). DOI: 10.3390/rs10060899
- ❖ Bourenane, H., Bouhadad, Y. & Tas, M. (2018). Liquefaction hazard mapping in the city of Boumerdès, Northern Algeria. *Bull Eng Geol Environ* 77(4), 1473-1489. <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1137-x>
- ❖ Bristow, C. R., R. Hoffstetter, T. Feininger, and M. T. Hall (1977). *Léxico estratigráfico del Ecuador*, Centre National de la recherche scientifique (in Spanish).
- ❖ Cando-Jácome, M., Martínez-Graña, A. (2019). Differential interferometry, structural lineaments and terrain deformation analysis applied in Zero Zone 2016 Earthquake (Manta, Ecuador). *Environ Earth Sci* 78, 499, doi:10.1007/s12665-019-8517-4

- ❖ Carena, S. (2011) - Subducting-plate topography and nucleation of great and giant earthquakes along the South America trench. *Seismol. Res. Lett.*, 82 (5) 629-637, doi:10.1785/gssrl.82.5.629.
- ❖ CEC. (2001). Código Ecuatoriano de la Construcción. Requisitos generales de diseño: peligro sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos de cálculos para diseño sismo resistente. Registro Oficial No. 382 de 2 de agosto de 2001.
- ❖ Chlieh M., Mothes P.A., Nocquet J.-M., Jarrin P., Charvis P., Cisneros D., Font Y., Collot J.-Y., Villegas-Lanza J.-C., Rolandone F., Vallée M., Regnier M., Segovia M., Martin X., Yepes H. (2014). Distribution of discrete seismic asperities and aseismic slip along the Ecuadorian megathrust. *Earth Planet. Sci. Lett.* 400, 292_301.
- ❖ Chen CJ, Juang CH. (2000). Calibration of SPT-and CPT-based liquefaction evaluation methods. In: Mayne PW, Hryciw R, editors. *Innovation sand application sin geotechnical site characterization*, vol.97. Reston: Geotechnical Special Publication, ASCE; p.49–64.
- ❖ Chunga, K.; Livio, F.A.; Martillo, C.; Lara-Saavedra, H.; Ferrario, M.F.; Zevallos, I.; Michetti, A.M. (2019). Landslides Triggered by the 2016 Mw 7.8 Pedernales, Ecuador Earthquake: Correlations with ESI-07 Intensity, Lithology, Slope and PGA-h. *Geosciences*, 9, 371. Doi: 10.3390/geosciences9090371
- ❖ Chunga K., Ochoa-Cornejo F., Mulas M., Toulkeridis T., Menéndez E. (2019). Characterization of seismogenic crustal faults in the gulf of Guayaquil, Ecuador. *Andean Geology*, 46 (1): 66-81. DOI: <http://dx.doi.org/10.5027/andgeoV46n1-2991>
- ❖ Chunga K., Livio F., Mulas M., Ochoa-Cornejo, Besenzon D., Ferrario M., Michetti AM. (2018). Earthquake ground effects and intensity of the 16 April 2016, Mw 7.8 Pedernales Earthquake (Ecuador): implications for the source characterization of large subduction earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America* 108 (6): 3384-3397, doi: 10.1785/0120180051
- ❖ Chunga, K., T. Toulkeridis, X. Vera-Grunauer, M. Gutierrez, N. Cahuana, and A. Alvarez (2017). A review of earthquakes and tsunami records and characterization of capable faults on the

- northwestern coast of Ecuador, *J. Sci. Tsunami Hazards* 36, no. 3, 100–127.
- ❖ Chunga K. (2010). Shallow crustal earthquakes and seismic zonation for Ecuador through the integration of geological, seismological and morphostructural data (in Italian). University of Insubria. Ph.D. Thesis, p. 165.
 - ❖ CDMG. (1999). Guidelines for analyzing and mitigating liquefaction hazards. California Dept Conservation, Division of Mines, Special Publication 117, p 63.
 - ❖ Dakshanamurthy, V. &. (1973). A simple method of identifying an expansive soil. *Soils and Foundations*, 13(1), 97-104.
 - ❖ Egred, J. (2009). Catálogo de Terremotos del Ecuador 1541–2009, Internal Report, Escuela Politecnica Nacional, Instituto Geofísico.
 - ❖ Eguez, A., A. Alvarado, H. Yepes, M. N. Machette, C. Costa, R. L. Dart, and L. A. Bradley (2003). Database and map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions, *U.S. Geol. Surv. Open-File Rept.* 3, 289 pp., available at <https://pubs.usgs.gov/of/2003/ofr-03-289/> (last accessed August 2018).
 - ❖ Fukushima Y. and Tanaka T. (1990). A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan, *Bull.Seism.Soc. Am.*, Vol. 80, No. 4, 757-783.
 - ❖ GAD-PTV (2018). Estudio de Microzonificación Sísmica del cantón Portoviejo. GAD Municipal del cantón Portoviejo. <http://microzonificacion.portoviejo.gob.ec/>
 - ❖ García-Bustos S., Landín J., Moreno R., Chong A.S.E., Mulas M., Mite M, Cárdenas N. (2018): Statistical analysis of the largest possible earthquake magnitudes on the Ecuadorian coast for selected return periods, *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, DOI: 10.1080/17499518.2018.1542500
 - ❖ Garcia, J., G. Weatherhill, M. Pagani, L. Rodriguez, V. Poggi, and the SARA Hazard Working Group (2017). Building an open seismic hazard model for South America: The SARA-PSHA model, 16th

- World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, 9–13 January, Paper Number 2145, 13 pp.
- ❖ Gutscher, M.A., Malavieille, J.S.L. and Collot, J.-Y., 1999: Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie ridge collision. *Earth Planet. Sci. Lett.* 168: 255–270.
 - ❖ Hernández, E. H. (2017). Behavior of Clayey Soil Existing in the Portoviejo Canton and Its Neutralization Characteristics. *International Research Journal of Engineering, IT and Scientific , Research (IRJEIS)*, 3(6), 1-10.
 - ❖ Hey, R. (1977). Tectonic evolution of the Cocos-Nazca spreading center, *Geol. Soc. Am. Bull.* 88, no. 12, i–vi.
 - ❖ <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
 - ❖ IGEPN. 2018. Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional. Quito. <http://www.igepn.edu.ec/solicitud-de-datos>.
 - ❖ INEC (2010). Base de Datos – Censo de Población y Vivienda del Ecuador. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda/>
 - ❖ Iwasaki T, T. K. (1982). Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods. *Procrd International Conference on microzonation*, 3:1310–1330.
 - ❖ Juang, C. H., Yuan, H., Lee, D-H., & Lin, P. S. (2003). Simplified cone penetration test-based method for evaluating liquefaction resistance of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129(1), 66-80. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2003\)129:1\(66\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2003)129:1(66))
 - ❖ Kelleher, J. (1972). Rupture zones of large South American earthquakes and some predictions. *Journal of Geophysical Research*, vol 77, No. 11, pp. 2087-2103.
 - ❖ Kelson, K., R. C. Witter, A. Tassara, I. Ryder, C. Ledezma, G. Montalva, D. Frost, N. Sitar, R. Moss and L. Johnson (2012). Coseismic tectonic surface deformation during the 2010 Maule, Chile, Mw 8.8 earthquake. *Earthquake Spectra*, 28(S1), S39-S54.
 - ❖ Leonard, M. 2010. Earthquake fault scaling: Self consistent relating of rupture length width, average displacement, and moment release.

- Bulletin of the Seismological Society of America 100 (5A): 1971-1988.
- ❖ Liao S, W. R. (1986). Overburden correction factor for SPT in sand. *J Geotech Eng ASCE*, 112(3):373–377.
 - ❖ Mendoza, C., and J. W. Dewey (1984). Seismicity associated with the great Colombia–Ecuador earthquakes of 1942, 1958, and 1979: Implications for barrier models of earthquake rupture, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 74, no. 2, 577–593.
 - ❖ Michetti, A. M., E. Esposito, L. Guerrieri, S. Porfido, L. Serva, R. Tatevossian, E. Vittori, F. Audemard, T. Azuma, J. Clague, et al. (2007). Environmental Seismic Intensity Scale 2007—ESI 2007, *Memorie Descrittive della Carta Geologica d’Italia, Vol. 74*, Servizio Geologico d’Italia– Dipartimento Difesa del Suolo, APAT, Rome, Italy, 7–54, available at http://www.isprambiente.gov.it/en/publications/technical-periodicals/descriptive-memories-of-the-geological-map-of/intensity-scale-esi-2007?set_language=en (last accessed August 2018).
 - ❖ Moncayo Theurer, M., Velasco, G., Mora, Carlos, Montenegro, M., Cordova, J. (2017). Terremotos mayores a 6.5 en escala Richter ocurridos en Ecuador desde 1900 hasta 1970. *Ingeniería*, 21. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46753192005>> ISSN 1665-529X
 - ❖ NEC-11 (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción. Registro Oficial No. 413 del 10 de enero de 2015. Recovered from <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
 - ❖ Nocquet, J. M., J. C. Villegas-Lanza, M. Chlieh, P. A. Mothes, F. Rolandone, P. Jarrin, D. Cisneros, A. Alvarado, L. Audin, F. Bondoux, et al. (2014). Motion of continental slivers and creeping subduction in the northern Andes, *Nature Geosci.* 7, no. 4, 287–291.
 - ❖ Obermeier, S.F. (1996). Use of Liquefaction-Induced Features for Paleo Seismic Analysis—An Overview of How Seismic Liquefaction Features Can Be Distinguished from Other Features and How Their Origin Can Be Used to Infer the Location and Strength of Holocene

- Paleo-Earthquakes. *Engineering Geology*, 44, 1-76.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0013-7952\(96\)00040-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0013-7952(96)00040-3)
- ❖ Parra, H., M. Benito, and J. Gaspar-Escribano (2016). “Seismic Hazard Assessment in Continental Ecuador.” *Bulletin of Earthquake Engineering* 14 (8): 2129–2159. doi:10.1007/s10518-016-9906-7.
 - ❖ Papathanassiou, Valkaniotis, Chaztipetros, & Pavlides (2010). Liquefaction susceptibility map of Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 43, 1383-1392.
 - ❖ Pennington, W. D. (1981). Subduction of the eastern Panama basin and seismotectonics of northwestern South America, *J. Geophys. Res.* 86, no. B11, 10,753–10,770.
 - ❖ Ruffilli, A. 1948. *Lecciones de Estructuras*. Universidad de Guayaquil (Inédito): 422 p.
 - ❖ Rondon F., Avila J., Yegres L., Schmitz, Barros J. (2019). Determination of the basement depth in Portoviejo, Ecuador, using active seismic methods. Conference: 8th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG), Quito, Ecuador.
 - ❖ Sana, H., & Nath, S. K. (2016). Liquefaction potential analysis of the Kashmir valley alluvium, NW Himalaya. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 85, 11-18.
 - ❖ Seed HB, I. I. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *J Soil Mech Found Div ASCE* 97(SM9):, 1249–1273.
 - ❖ Seed HB, T. K. (1985). The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. *J GeotechEng Div ASCE* 111(12), 1425–1445.
 - ❖ Seed HB, Idriss IM (1971) Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *J Soil Mech Found Div ASCE* 97(SM9):1249–1273
 - ❖ Seed HB, Tokimatsu K, Harder LF, Chung RM (1985) The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. *J GeotechEng Div ASCE* 111(12):1425–1445
 - ❖ Seed RB, Cetin KO, Moss RES, Kammerer AM, Wu J, Pestana JM, Riemer MF, Sancio RB, Bray JD, Kayen RE, Faris A (2003). Recent

- advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework. In: Proceedings of 26th annual ASCE L.A. Geotechnical Spring Seminar, Long Beach, p 71
- ❖ Serva, L. (2019). History of the Environmental Seismic Intensity Scale ESI-07. *Geosciences* 9(5): 210, doi:10.3390/geosciences9050210
 - ❖ Serva L., E. Vittori, V. Comerci, E. Esposito, L. Guerrieri, A. M. Michetti, B. Mohammadioun, G. C. Mohammadioun, S. Porfido, and R. E. Tatevossian (2016). Earthquake Hazard and the Environmental Seismic Intensity (ESI) Scale, *Pure Appl. Geophys.* 173(5) 1479 - 1515, doi: 10.1007/s00024-015-1177-8.
 - ❖ Stainforth, R. M. (1948). Applied micropaleontology in coastal Ecuador. *Journal of Paleontology*, 113-151.
 - ❖ Stirling, M.; Goded, T.; Berryman, K.; Litchfield, N. 2013. Selection of earthquake scaling relationships for seismic-hazard analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America* 103 (6): 2993-3011. doi: 10.1785/0120130052.
 - ❖ Swenson, J. L., and S. L. Beck (1996). Historical 1942 Ecuador and 1942 Peru subduction earthquakes and earthquake cycles along Colombia–Ecuador and Peru subduction segments, *Pure Appl. Geophys.* 146, no. 1, 67–101.
 - ❖ Toulkeridis, T., Chunga, K., Rentería W., Rodriguez F., Mato F., Nikolaou S., Antonaki N., Diaz-Fanas G., Cruz D, Howitt M., Besenon D. (2017). Mw 7.8 Muisne, Ecuador 4/16/16 earthquake observations: Geophysical clustering, intensity mapping, tsunami, 16th World Conf. on Earthquake Engineering, 16WCEE 2017, Santiago, Chile, 9–13 January 2017.
 - ❖ Veloza, G.; Styron, R.; Taylor, M.; Mora, A. 2012. Open-source archive of active faults for northwest South America. *GSA Today* 22 (10): 4-10.
 - ❖ Wakamatsu, K. (1992). Evaluation of liquefaction susceptibility based on detailed geomorphological classification. In: Proceedings of the Annual Meeting of Architectural Institute of Japan, pp. 1443–1444 (in Japanese).

- ❖ Wang, W (1979). Some Findings in Soil Liquefaction. Report Water Conservancy and Hydro-electric Power Scientific Research Institute, Beijing, China, 1-17
- ❖ Wesnousky, 2008. Displacement and geometrical characteristics of earthquake surface ruptures: issues and implications for seismic-hazard analysis and the process of earthquake rupture. *Bulletin of the Seismological Society of America* 98 (4): 1609-1632. doi: 10.1785/0120070111
- ❖ Whittaker J.E. Benthic Cenozoic Foraminifera from Ecuador. Taxonomy and distribution of smaller benthic Foraminifera from coastal Ecuador (late Oligocene – Late Pliocene). *British Museum (Nature History) publ.*, 1988; 194 p., London.
- ❖ Ye, L. Kanamori H., Avouac J.-P., Li L., Fai Cheung K., Lay T. (2016) The 16 April 2016, Mw 7.8 (Ms 7.5) Ecuador earthquake: a quasi-repeat of the 1942 Ms 7.5 earthquake and partial re-rupture of the 1906 Ms 8.6 Colombia_Ecuador earthquake. *Earth Planet. Sci. Lett.* 454, 248_258
- ❖ Yepes, H., Audin, L., Alvarado, A., Beauval, C., Aguilar, J., Font, Y., Cotton, F. (2016): A new view for the geodynamics of Ecuador: implication in seismogenic sources definition and seismic hazard assessment. - *Tectonics*, 35, 5, pp. 1249—1279.
- ❖ Youd TL, I. I. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *J Geotech Geoenviron Eng ASCE*, 127(10):817–833.
- ❖ Youd TL, Perkins DH (1978) Mapping liquefaction-induced ground failure potential. *J Geotech Eng Div ASCE* 104(GT4):433–446.
- ❖ Youd TL, Idriss IM, Andrus RD, Arango I, Castro G, Christian TV, Dobry R, Finn WDL, Harder LF, Hynes ME, Ishihara K, Koester JP, Liao SSC, Marcuse WF III, Marti GR, Mitchell JK, Moriwaki Y, Power MS, Robertson PK, Seed RB, Stokoe KH II (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of

liquefaction resistance of soils. J Geotech Geoenviron Eng ASCE
127(10):817–833

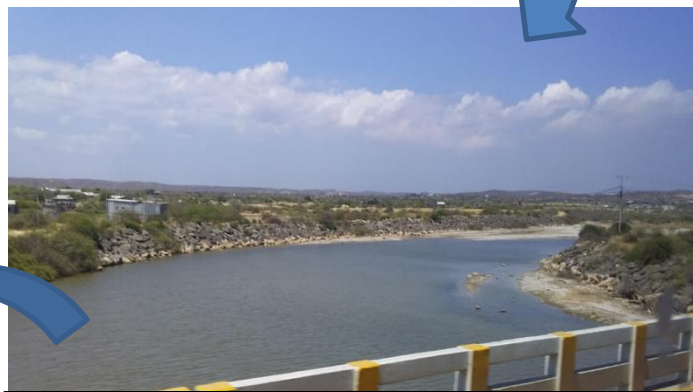
ANEXOS

(FOTOGRAFÍA DE SITIO Y PERFORACIONES GEOTÉCNICAS)

ANEXO 1. FOTOS ZONA DE ESTUDIO SAN PABLO.



VIA PRINCIPAL SECTOR DE PERFORACIONES -SAN PABLO.



RIO DE SAN PABLO.



PLAYA SAN PABLO,SECTOR COMEDORES.



LABORATORIOS DE LARVAS- SAN PABLO.

ANEXO 2. Perfiles geotecnicos utilizados en el proyecto, facilitados por la empresa Ingeotop.sa

