

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad De Ingeniería En Ciencias De La Tierra

CONDICIONES GEOLÓGICAS LOCALES DE TOSAGUA

POR EL TERREMOTO DE PEDERNALES MW=7.8

PROYECTO DE MATERIA INTEGRADORA

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERA EN GEOLOGÍA

Presentado por:

DENNISSES ALEXANDRA GUERRA RAMÍREZ

GUAYAQUIL-ECUADOR

2016

AGRADECIMIENTOS

Mi mayor agradecimiento es a Dios, sin él no hubiera podido llegar a este logro, también a HGSE por la información y ayuda brindada, siempre prestos a colaborar en todo. También tengo que agradecer a mi tutor por guiarme en cada paso de este proyecto y a todos los docentes que dieron su tiempo para asistir a todas mis dudas en sus especialidades. Y por supuesto agradezco a mis compañeros y amigos geólogos por tener paciencia conmigo, los 10 siempre amigos.

DEDICATORIA

Al primero en dedicar este esfuerzo es a mi hijo Benjamín Zambrano, siempre será mi luz y camino para seguir adelante, a mi esposo Byron Zambrano por estar conmigo apoyándome y confiando en que siempre lograre lo que me proponga, y a mis padres Hugo Guerra y Fátima Ramírez y hermana Marjorie Guerra gracias a ellos he cumplido muchas metas además que nunca me abandonan. Los amo mucho a todos.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

MSc. Glenda Loayza

Coordinadora de Carrera

Ing. Stalin Benitez

Miembro Evaluador

Ing. Galo Montenegro

Miembro Evaluador

Dr. Kervin Chunga

Tutor

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

DENNISSES ALEXANDRA GUERRA RAMIREZ

RESUMEN

El análisis de las condiciones geológicas locales del cantón Tosagua en la provincia de Manabí debido al terremoto de Pedernales ocurrido el 16 de Abril del 2016 es presentado en este trabajo. Se elaboraron mapas del sitio donde de manera analítica se determinó la geomorfología del lugar de estudio y sus condiciones, se investigó las causas por las cuales se produjeron tales efectos en el terreno, dentro de la metodología utilizada en el estudio tenemos métodos geofísicos, con los cuales se pudo caracterizar los efectos cosísmicos en el área y las amenazas geológicas. Para el estudio se realizaron ensayos geofísicos los cuales fueron: MASW, MAM y Sondeos Eléctricos Verticales, estos eran los más idóneos para el lugar elegido debido a que nos encontrábamos en calles de asfalto.

ÍNDICE

RESUMEN	v
ABREVIATURAS.....	vii
1 INTRODUCCIÓN	1
2 MARCO TEÓRICO	3
3 METODOLOGÍA	14
3.1 Identificación De Fenómenos Cosmicos Y Geomorfología Fluvial.....	14
3.2 Prospección Geofísica.....	21
4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	25
4.1 Resultados.....	25
4.2 Análisis de resultados.....	32
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
5.1 Conclusiones.....	35
5.2 Recomendaciones.....	36
ANEXOS	
BIBLIOGRAFICAS	

ABREVIATURAS

Km	Kilómetros
Km ²	Kilómetros cuadrados
M _w	Magnitud de momento
NNE	Nor-Noreste
Hz	Hertz
Ωm	ohmios-metros

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Efectos geológicos cosísmicos, volcanes de arena “sand boils” y Sinkhole documentados en el sitio de Tosagua, después del terremoto de Pedernales de Mw 7.8.....	1
Fig. 2: Sinkhole en sitio Tosagua.....	2
Fig. 3: Mapa de cantones de la provincia de Manabí.....	5
Fig. 4: Interferograma diferencial de deformación cortical debido al Terremoto de Pedernales mw 7,8 (xiaohua xu and david sandwell, 2016).....	5
Fig. 5: Evidencias geológicas por el terremoto de Pedernales, Ecuador.....	8
Fig. 6: Estructura sismogénica de Ecuador.....	9
Fig. 7: Clasificación de tipos de suelos según saturación.....	14
Fig. 8: Fases de la investigación.....	19
Fig. 9: Equipos SEV.....	23

Fig. 10: Curva de dispersión de la unión MASW y MAM (velocidad de fase vs. frecuencia de fase), ondas de corte.....	25
Fig. 11: Modelo unidimensional de ondas de corte MASW-MAM.....	26
Fig. 12: Curva de campo y curva teórica del SEV.....	27
Fig. 13: Columna geoelectrica.....	28
Fig. 14: Modelo unidimensional de ondas de corte.....	30
Fig. 15: Columna de permeabilidad.....	31

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa I: División de la cuenca hidrográfica Chone en 4 subcuencas.....	10
Mapa II: Mapa TPI de Tosagua.....	16
Mapa III: Saturación de suelos Tosagua, Manabí.....	17

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I: Especificaciones métodos MASW y MAM.....22

Tabla II: Especificaciones método SEV.....22

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

El área epicentral de daños físicos y ambientales es de 15,202 Km² para el terremoto de Pedernales (Chunga et al., 2016). Efectos de sitio (licuefacción de suelos) fueron documentados a 150 Km de distancia del epicentro (ej. Manta y Portoviejo).

El sitio de estudio TOSAGUA se localiza a 95 Km del epicentro, reportando volcanes de arena (sand boils) y sinkholes en suelos saturados donde el



rasgo geomorfológico son paleo-meandros.

Fig. 1: Efectos geológicos cosísmicos, volcanes de arena "sand boils" y Sinkhole documentados en el sitio de Tosagua, después del terremoto de Pedernales de Mw 7.8 (Chunga, 2016)



Fig. 2: Sinkhole en sitio Tosagua (D. Besenzon, 2016)

Es por estas evidencias que se estableció como objetivo general de la investigación el evaluar los parámetros físicos que condicionan la amplificación de ondas sísmicas en suelos aluviales y de estuarios, donde se ha documentado daños de edificaciones en Tosagua. Mientras que los objetivos específicos propuestos para este estudio son: Cartografiar las unidades geomorfológicas y tipos de perfiles de suelos en la cuenca

hidrográfica de Chone, determinar las zonas con potencial efecto cosísmicos y afectación a poblaciones e infraestructuras, Identificar los tipos de efectos cosísmicos (ie. Earthquake Environmental Effects) que pueden generarse durante un terremoto de magnitud mayor a 7 grados, dependiendo del escenario geológico local, Determinar los parámetros físicos del subsuelo considerando velocidades de corte (V_s) y amplificación sísmica en suelos saturados presente en rasgos geomorfológicos de paleo-meandros, mediante la metodología de geofísica.

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO

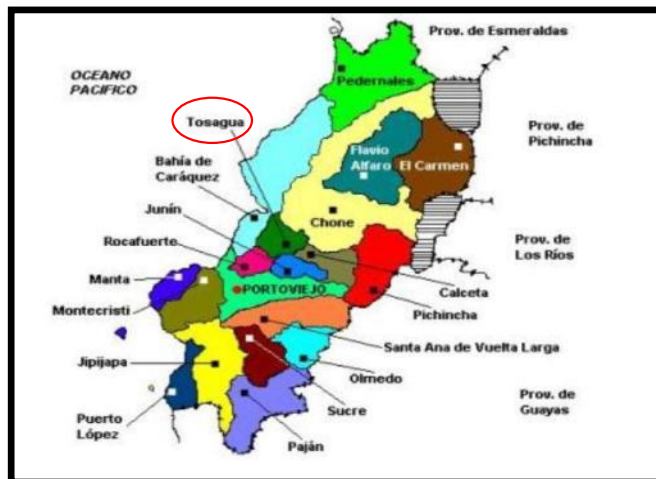
Ecuador se encuentra sobre la placa continental Sudamericana la cual choca con la placa oceánica de Nazca y se produce la subducción de la oceánica bajo la continental, esto es lo que produce la geodinámica del territorio ecuatoriano y la subsidencia tectónica de la costa central, este fenómeno es conocido como zona de subducción. (Eugenio Nuñez del Arco, 2003)

Las dos fuentes sísmicas de Ecuador son las fallas corticales y la zona de subducción la misma que produjo el terremoto de Pedernales debido a la estructura sismogénica de esta.

La cuenca hidrográfica de Chone de Chone está dentro de la Cuenca de Manabí, la cual cuenta con diversas formaciones geológicas aflorantes en todo su extensión y se divide en 4 subcuencas (Mapa 1) las cuales forman su complejo hidrográfico. Tosagua está dentro de una de estas subcuencas siendo el río Carrizal su principal abastecedor.

Tosagua es uno de los cantones de la provincia de Manabí y está situada en al noroeste de la misma y tiene una superficie total de 377 km² de terreno con

nivel
18
parte



alturas
promedios
sobre el
de mar de
metros
formando
de la
cuenca

hidrográfica de río Chone ya que está ubicada a orilla del río Carrizal.

Fig 3: Mapa de Cantones de la provincia de Manabí (Gob. Provincial de Manabí, 2010)

Comentario [T1]: Revisar recomendaciones

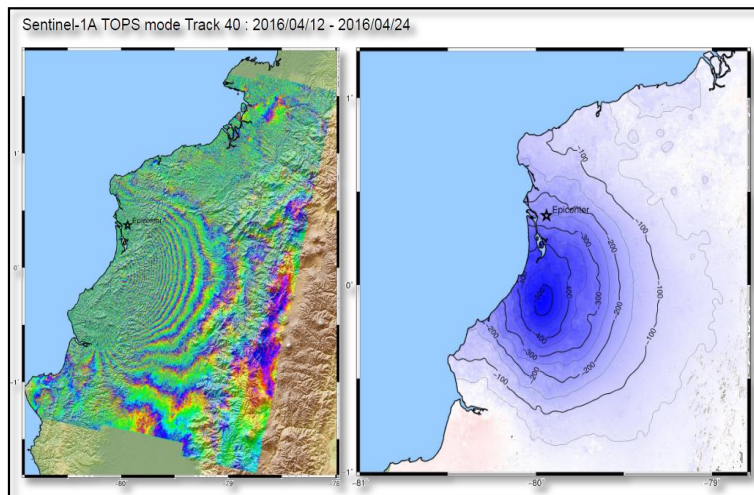


Fig. 4: Interferograma diferencial de la deformación Cortical debido al Terremoto de Pedernales Mw 7,8 (Xiaohua Xu and David Sandwell, 2016)

La figura 4 es un interferograma que nos muestra la deformación cortical debido al terremoto de Pedernales de magnitud 7.8, es el resultado del barrido del satélite Sentinel 1A de los días 12 de Abril y 24 de Abril del 2016,

podemos verificar el radio de deformación que provoco el movimiento sísmico.

Ecuador ha sido sacudido por terremotos por aproximadamente 120 años desde que se ha podido tener registros dentro de este tiempo se cataloga a 6 como los terremotos más fuertes, estos ocurrieron en los años: 1906, 1942, 1958, 1979, 1998 y 2016.

El 31 de enero de 1906 aproximadamente a las 10:30 am se originó un terremoto de 8.8 Mw en la frontera entre Ecuador y Colombia en el Océano Pacífico. Ya que para esa época no había aun un desarrollo urbano no se registraron mayores daños pero si fue capaz de percibirse hasta lugares como Otavalo e incluso hasta Maracaibo-Venezuela según National Earthquake Information Center del Servicio Geológico de los Estados Unidos. Además ocasionó olas de 5m es decir un Tsunami que llevo a sectores cercanos al epicentro.

El terremoto del 14 de mayo de 1942, tuvo una magnitud de 7.8, se produjo al cerca de Bahía de Caráquez al norte de la Cordillera de Carnegie a las 2:13 am, con intensidades sísmicas de máximo IX y como resultado un Tsunami de máximo 30cm de elevación; mientras que el terremoto del 19 de Enero de 1958 obtuvo una magnitud de 7.7 y ocurrió a las 9:07 de la mañana. (INOCAR, 2014)

El 12 de diciembre de 1979 sacudió a la frontera entre Colombia y Ecuador cerca de Cabo Manglares con una magnitud de 8.2 y una profundidad de 24 km, este terremoto también provocó un tsunami que destruyó la población de San Juan al norte de Tumaco en Colombia.

El terremoto de Pedernales ocurrió el 16 de Abril del 2016 alrededor de las 18:50 con una magnitud de 7.8 Mw, el epicentro estuvo ubicado a 20km de profundidad entre Pedernales y Cojimíes en la provincia de Manabí. (AA. SH, 2016). A este movimiento telúrico le antecedió uno de 5.6 Mw en Muisne-Esmeraldas. Este sismo fue el resultado de la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa continental Sudamericana. Hasta el 6 de julio ocurrieron un total de 2066 réplicas de las cuales las más fuertes fueron las ocurridas el 18 de mayo del 2016 a las 2:57 am y 11:46 am, ambas con una magnitud de 6.8 Mw y profundidad de 15 km sur este de Mompiche-Esmeraldas. En las poblaciones más cercanas al epicentro tuvieron afectaciones por intensidad macrosísmica de 9 tales como Pedernales, Coaque, Jama, Canoa. Tosagua tuvo una intensidad macrosísmica de 8 según la escala ESI2007. Esto produjo varias edificaciones destruidas y pérdidas humanas, se registró hasta el 10 de junio del 2016 un total de 668 personas fallecidas en todo el país según datos oficiales, y 6.274 afectados y damnificados, además de incontables daños en inmuebles a nivel nacional.

Este último terremoto dejó como evidencias efectos cosísmicos primarios o regionales y secundarios o locales, como se ilustra en la figura 5, en las poblaciones aledañas se pudo observar levantamiento de costa y playa al igual que pequeñas olas de Tsunami de altura 60cm, además de una deformación cortical con fallamiento superficial, todas estas correspondientes a los efectos cosísmicos regionales; mientras que los locales corresponde a un movimiento telúrico con deslizamientos, subsidencias grietas en suelo sueltos y fracturas de vías, y en Tosagua tuvimos la licuefacción de suelos y el hundimiento de vías asfaltadas.

Considerando la longitud de la estructura sismogénica de 280 Km, la máxima magnitud esperada sería de 8 a 8.1 grados.

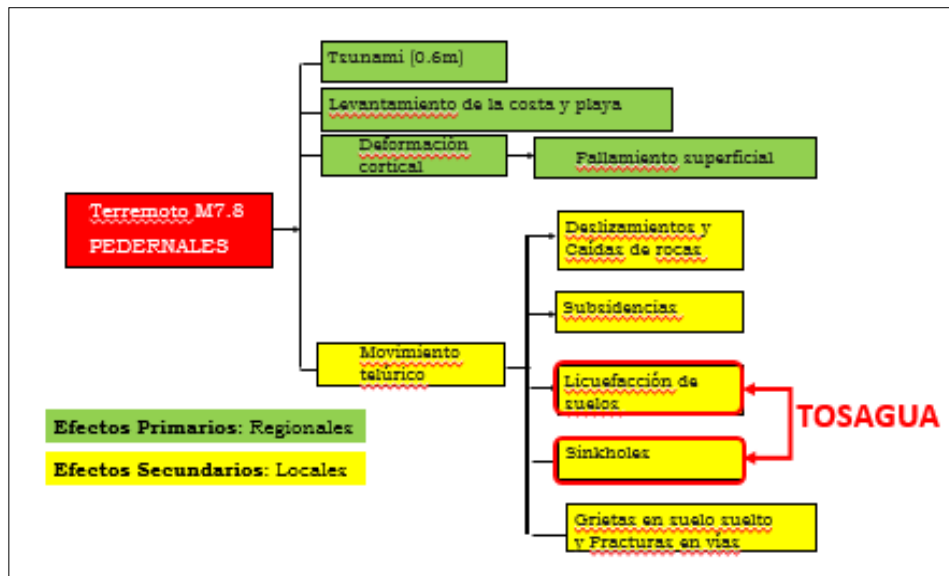


Fig. 5: Evidencias geológicas por el Terremoto de Pedernales, Ecuador (D. Guerra, 2016)

Comentario [T2]: Falta fuente

Comentario [T3]:

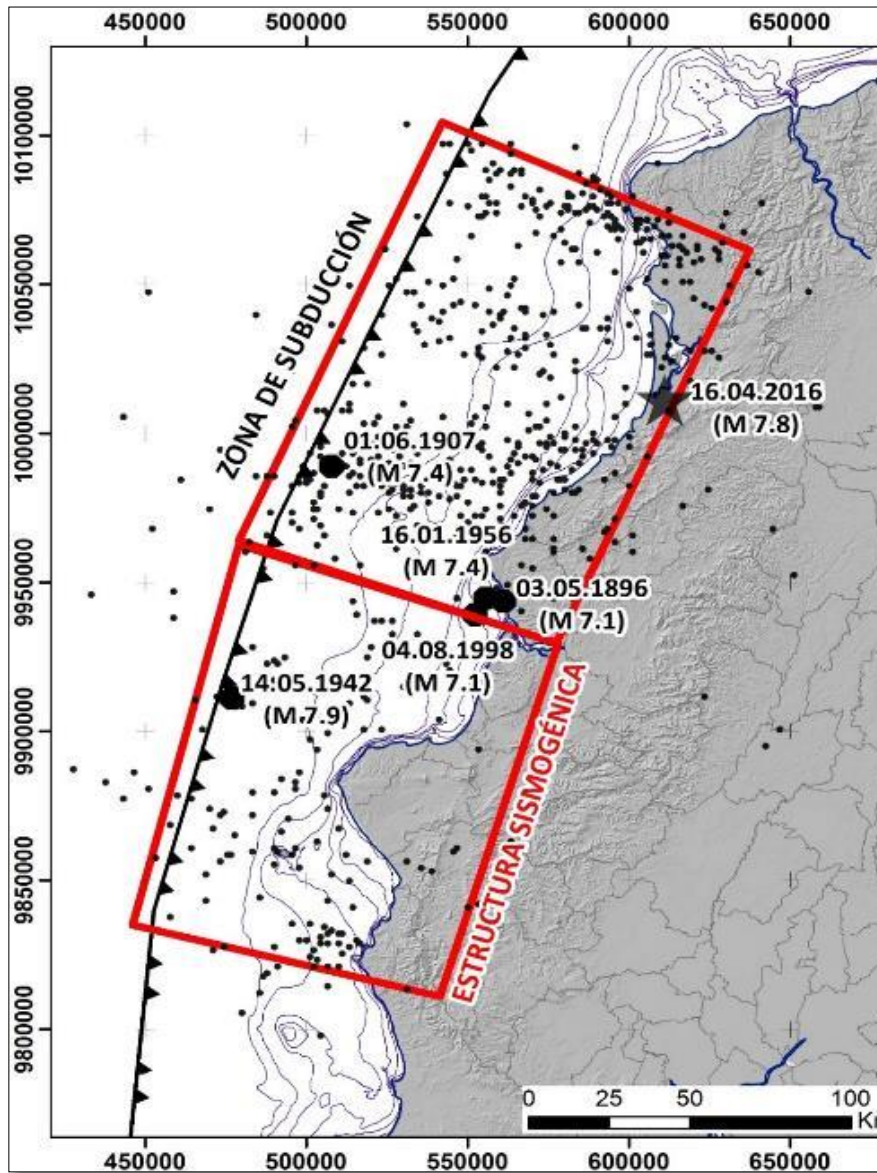
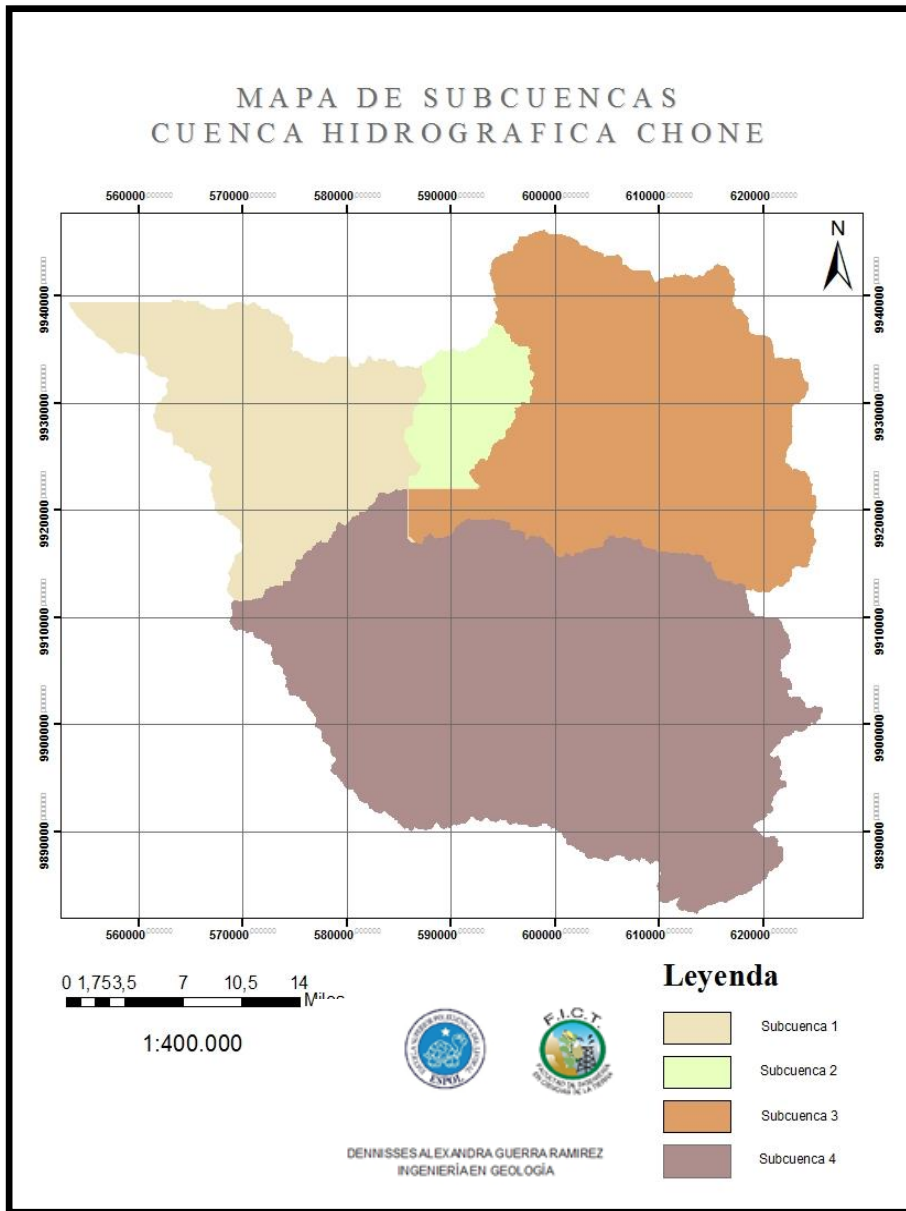


Fig. 6: Estructura sismogénica de Ecuador (K. Chunga, 2016)



Mapa I: División de la cuenca hidrográfica Chone en 4 subcuencas (D. Guerra, 2016)

Para realizar el mapa anterior se utilizaron DEM o modelos de elevación digital de la zona de estudio los cuales se los proceso en el software ArcGis mediante fórmulas para clasificar los terrenos y delimitar las subcuencas.

La Cuenca Manabí contiene al cantón Tosagua, tiene una extensión de 250 km en dirección NNE, ubicada al noroeste de la costa del Ecuador, limita al norte con la falla Esmeraldas y las montañas Cojímies y Jama. La cuenca de Chone co

n que otras cuencas limitan, al este con la cordillera de los Andes, al oeste con la cordillera costera y al sur con la cordillera Chongón Colonche. El basamento de esta cuenca son rocas del Cretáceo que pertenecen la Formación Piñón, sobre estas hay rocas volcano-terrigenas correspondientes a la Formación Cayo, y las Formaciones Cerro, San Mateo, Playa Rica, Tosagua, Angostura, Onzole y Borbón aportan con rocas clásticas neríticas.

El Miembro Dos Bocas de la Formación Tosagua es la predominante en el terreno de Tosagua, pertenece al Mioceno Inferior, tiene un grosor de entre 1.5 y 2.4 km. Está conformada por lutitas limosas grises pero luego de la acción de la erosión toman un tono chocolate en forma de láminas además de lodolitas del mismo color, se alternan con capas de areniscas amarillo-rojizas finas y con limolitas. Se pueden encontrar bentonitas (Eugenio Nuñez del Arco, 2003).

Se considera mar somero debido a las evidencias de depósitos de este ambiente los cuales son vetas de yeso y concreciones calcáreas. Contiene también óxido de hierro y azufre sedimentario. Afloran en el margen oeste de la cuenca Progreso y está presente de forma masiva en Tosagua, además brotan en la península de Santa Elena y al este de las fallas Jipijapa y Jama. Para un mejor entendimiento de la geología se adjunta el Anexo 1.

“Los depósitos del holoceno corresponden a gravas y arenas aluviales que están llenando los planos de escurrimiento de los principales ríos.”
(HIDROLOGIA, 2006)

CAPÍTULO 3

3 METODOLOGÍA

3.1 Identificación De Fenómenos Cosísmicos Y Geomorfología Fluvial

Rasgos cosísmicos de Sinkhole y licuafacción han sido identificados en el sitio Tosagua, la cual es conformada por sedimentos aluviales de suelos saturados en la cuenca hidrográfica de Chone. La metodología empleada para delinear los potenciales suelos saturados a través de la técnica TPI ha permitido distinguir potenciales sitios que podrían ser inundables dependiendo de si pertenecen a suelos saturados, suelos parcialmente saturados o a suelos no saturados (Fig. 7).

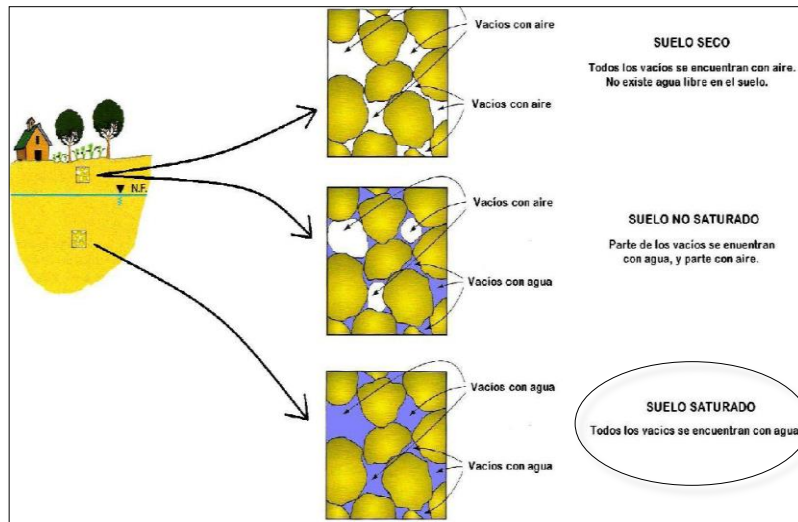
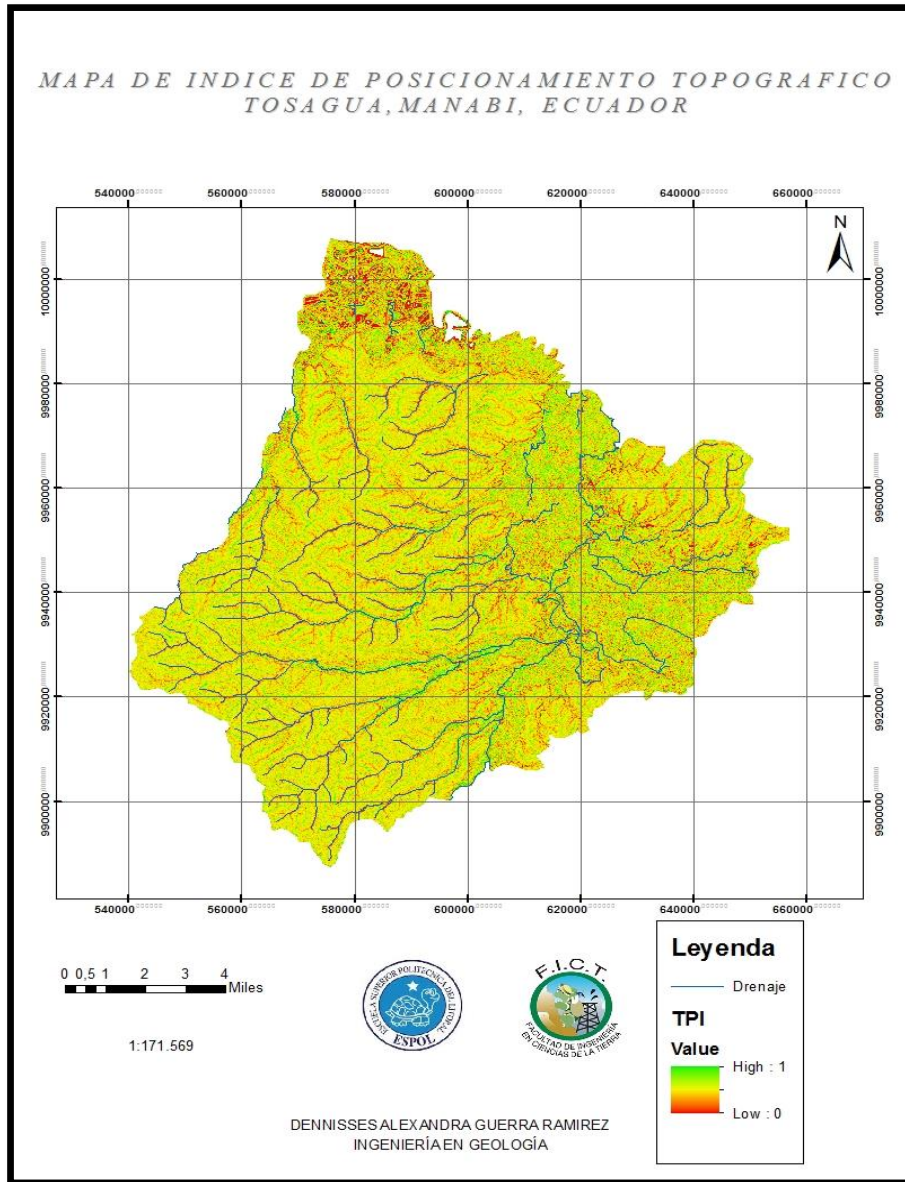


Fig. 7: Clasificación de tipos de suelos según saturación (D. Guerra, 2016)

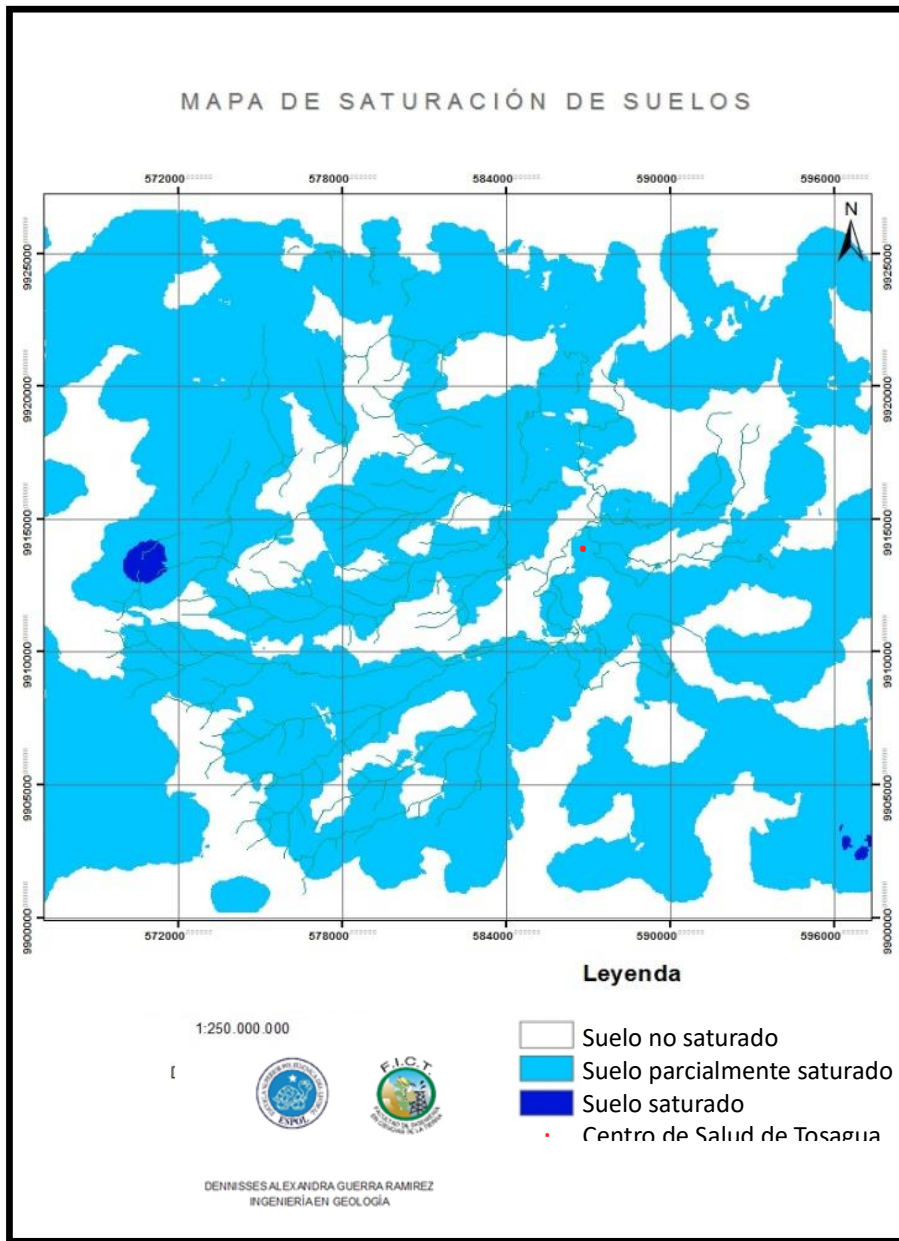
El mapa (Mapa 2) que se presenta a continuación nos muestra los puntos de drenaje de Tosagua comparado con la geomorfología del mismo, como podemos notar en el mapa los límites de altura mayor o divisoria de aguas están representados por amarillo verdoso y los bajos por color rojo son alturas menores o planicies. Cada ramal de canal de drenaje esta sobre color rojo en la mayoría de los casos lo cual nos puede indicar que las planicies del terreno tienen un río o riachuelo cerca y esto afectara al suelo en el punto que produce un suelo saturado de agua.

Muchos de estos ramales han sido rellenados para poder establecer población en el mismo produciendo de esta manera más agua subterránea,

en especial se puede evidenciar además del testimonio de lugareños que el cauce del río principal fue cambiado hace aproximadamente 60 años, se rellenó y un par de décadas después comenzaron los asentamientos en este sitio.



Mapa II: Mapa TPI de Tosagua (D. Guerra, 2016)



Mapa III: Saturación de suelos Tosagua, Manabí (D. Guerra, 2016)

El mapa anterior nos muestra la saturación del suelo en Tosagua, Manabí, podemos interpretar que debido a la cantidad de ramales de drenaje en el subsuelo podemos encontrar agua, en su mayoría es parcialmente saturado, este podría ser el causante de la licuefacción del suelo de este cantón. El drenaje de esta área pertenece a un curso bajo de corriente de agua es decir está situado en las partes más bajas de la cuenca. Allí el caudal del río pierde fuerza y los materiales sólidos que lleva se sedimentan, formando las llanuras aluviales o valles (GÁLVEZ-SENAMHI, 2011) y forma parte del canal de desague el cual es el tramo corto y profundo del cauce por el que las aguas circulan antes de llegar al cono de deyección o desembocadura.

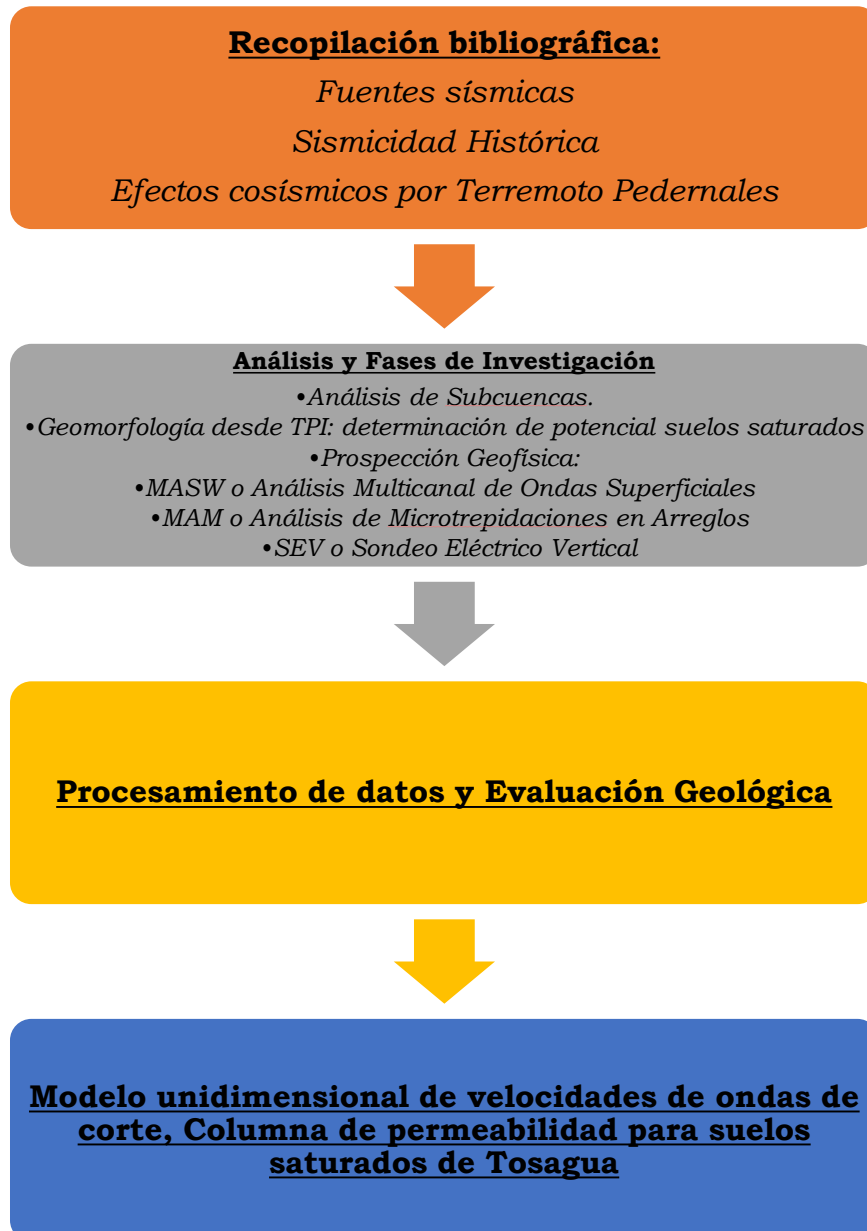


Fig. 8: Fases de la investigación (D. Guerra, 2016)

Las etapas de trabajo son 4, la primera la cual es la recopilación bibliográfica se buscó toda la información necesaria para desarrollar esta investigación, información tal como fuentes sísmicas y efectos cosísmicos por el terremoto de Pedernales, entre otros temas útiles para el trabajo como especificaciones de la metodología. Luego pasamos a la etapa de análisis y fases de investigación, en la misma se realizó el análisis de subcuencas, la determinación de potenciales suelos saturados mediante el Índice de Posicionamiento Topográfico y finalmente la prospección geofísica. Posteriormente se procesaron los datos y se evaluó los mismos geológicamente para finalmente obtener un modelo unidimensional de velocidades de ondas de cortes y una columna de permeabilidad para suelos saturados con los resultados que obtuvimos de los ensayos geofísicos.

3.2 Prospección Geofísica

La finalidad de la investigación es conocer los parámetros físicos del subsuelos, velocidades de corte V_s y resistividad y para esto se escogieron los métodos geofísicos siguientes:

1. MASW
2. MAM

3. Sondeos Electricos Verticales

Se escogieron estas técnicas ya que son los más idóneos para una capa de asfalto en la calle como fue el caso del lugar elegido en Tosagua.

1. La técnica MASW o Análisis Multicanal de Ondas Superficiales valora tanto los módulos elásticos lineales y grosor de los materiales, nos permite medir la calidad de las paredes de perforación, determinar parámetros geotécnicos en obras civiles.

Otras aplicaciones para este método son la identificación nivel freático, definición los diferentes estratos del suelo, obtención mediante velocidades de ondas Vs y Vp los espesores de los diferentes estratos de los materiales que conforman la zona en estudio.

2. El método MAM es el Análisis de Microtrepidaciones en Arreglos Multicanales el cual se monitorean las vibraciones ambientales en arreglos y mediante el análisis de dispersión de las mismas se determina el perfil de velocidades de ondas Vs, (ZER GEOSYSTEM PERU S.A.C., 2010).

Un contraste entre estos dos métodos es que MASW tiene un alcance máximo de estudio de 30 m de profundidad mientras que MAM puede llegar hasta los 100 m de profundidad pero con resultados no adecuados en los primeros metros, es por esto que trabajar simultáneamente con ambas técnicas es buen complemento.

Tabla I: Especificaciones métodos MASW y MAM

Parámetro	Descripción
Configuración del dispositivo	Lineal
Espaciamiento entre geófonos	2 (MASW) – 3.5 (MAM) m
Longitud total de la línea	66m
Número de geófonos	24
Tipos de geófonos	Geófonos verticales de 4.5 Hz y 10 Hz
Adquisidor de datos	Geode de 24 canales

Fuente: Autor

Se usaron bases de yeso para poder estabilizar los geófonos ya que no se los podía introducir en el asfalto de la calle.

3. El SEV o Sondeo Eléctrico Vertical es un método que nos permite delimitar los estratos del subsuelo dando como resultado los espesores y sus resistividades, podemos también realizar estudios y monitores de acuíferos.

Tabla II: Especificaciones método SEV

Parámetro	Descripción
Configuración	Wenner
Longitud total de la línea	82 m
Numero de electrodos	4
Equipos	Geotrade Mod. GTE 6/1 Geotrade GTR-3 24BIT A/D Multicanal
Espaciamiento inicial (a)	2m

Fuente: Autor

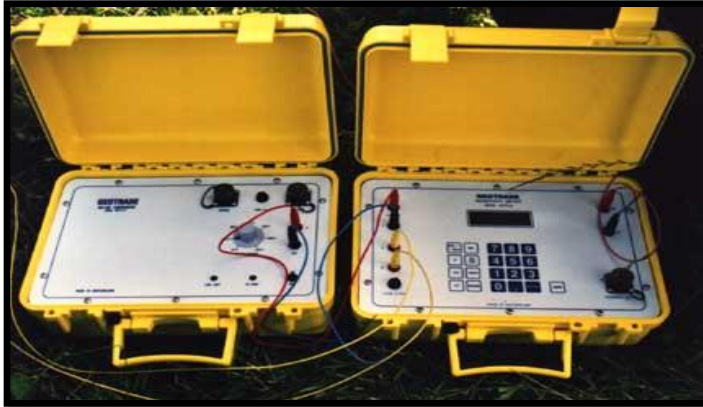


Fig. 9:

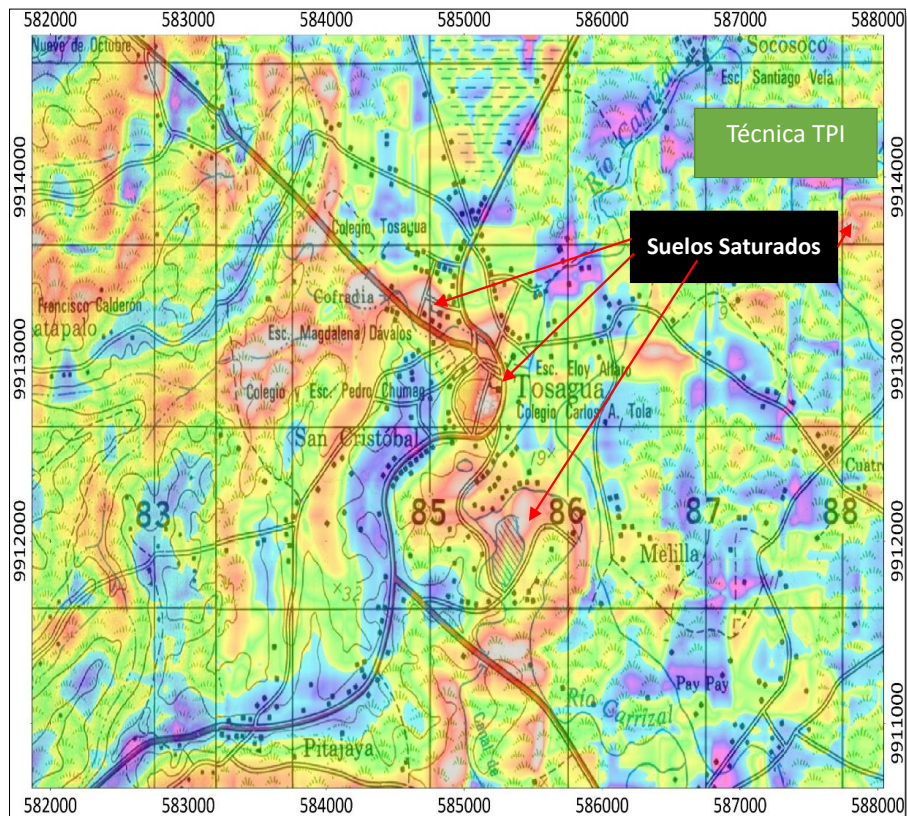
Equipos SEV (HGSE,2016)

El dispositivo Wenner-Alfa tiene mejor resolución horizontal. La constante K es el = factor geométrico que depende de la disposición de los electrodos ABMN en una superficie de terreno. La relación señal /ruido está estrechamente relacionada con el valor de la constante k de cada dispositivo y para el mismo modelo de subsuelo, a mayor valor de constante k menor será la señal de potencial medido y viceversa. La señal es inversamente proporcional al factor geométrico usado para calcular el valor de resistividad aparente.

CAPÍTULO 4

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultados



Mapa IV: Mapa TPI de Saturación de suelos Tosagua, Manabí (D. Guerra, 2016)

El mapa VI nos muestra, mediante el método TPI, cuales son los suelos saturados de Tosagua y sus proximidades. Analizando este mapa podemos observar que las zonas rojas son los suelos saturados las cuales corresponden a planicies aluviales y precisamente siguen la misma dirección de los canales de drenaje. Por lo cual se puede determinar que Tosagua está sobre suelo saturado.

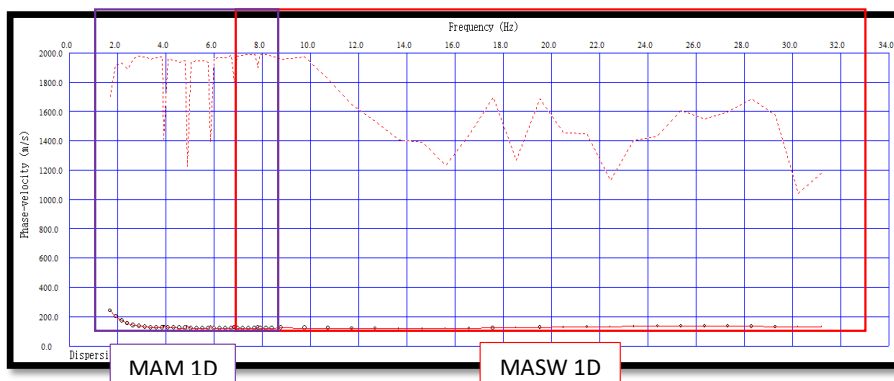


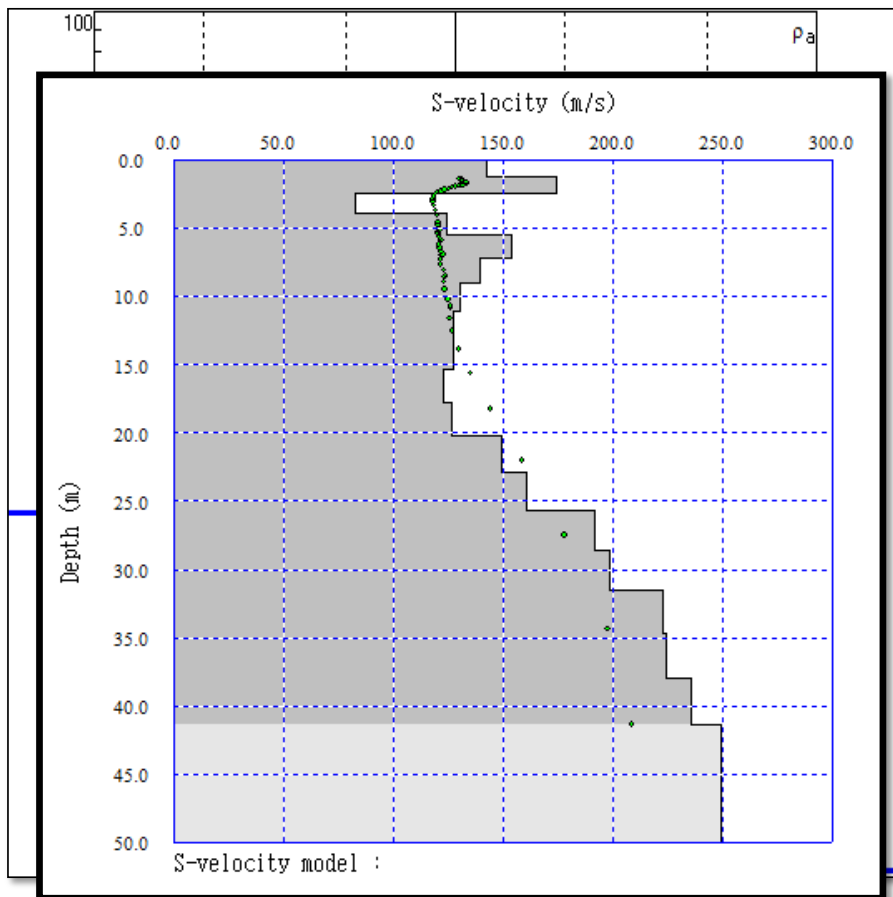
Fig. 10: Curva de Dispersión de la unión MASW y MAM (Velocidad de fase vs. Frecuencia de Fase), ondas de Corte (D. Guerra, 2016)

La interpretación de los registros MASW-MAM Tosagua consistió en obtener curvas de dispersión (trazado de la velocidad de fase de las ondas

superficiales versus la frecuencia), filtrándose solamente las ondas superficiales, ya que son estas ondas las que predominan en el grupo de ondas, poseyendo alrededor del 70% de la energía del tren de ondas. Además, la velocidad de fase de estas ondas tiene un valor que varía entre el 90% al 95% del valor de la velocidad de propagación de las ondas S (V_s). Luego mediante un procedimiento de cálculo inverso iterativo (método de inversión - J. Rando, 1917) y a partir de la curva de dispersión calculada se determinaron las curvas de dispersión (Fig. 10) y Modelo Unidimensional de

Ondas de Corte de los puntos (Fig. 11) (ZER GEOSYSTEM PERU S.A.C., 2010).

Fig. 11: Modelo unidimensional de ondas de corte MASW-MAM (D. Guerra, 2016)



RESULTADOS SEV - TOSAGUA

N	ρ	h	d
1	6.16	1	1
2	42.2	1	2
3	4.86	11	13

Simbología:

N: Número de capas
 ρ : Resistividad Aparente (Ωm)
h: Espesor (m)
d: Profundidad (m)

Fig. 12: Curva de campo y curva teórica del SEV (D. Guerra, 2016)

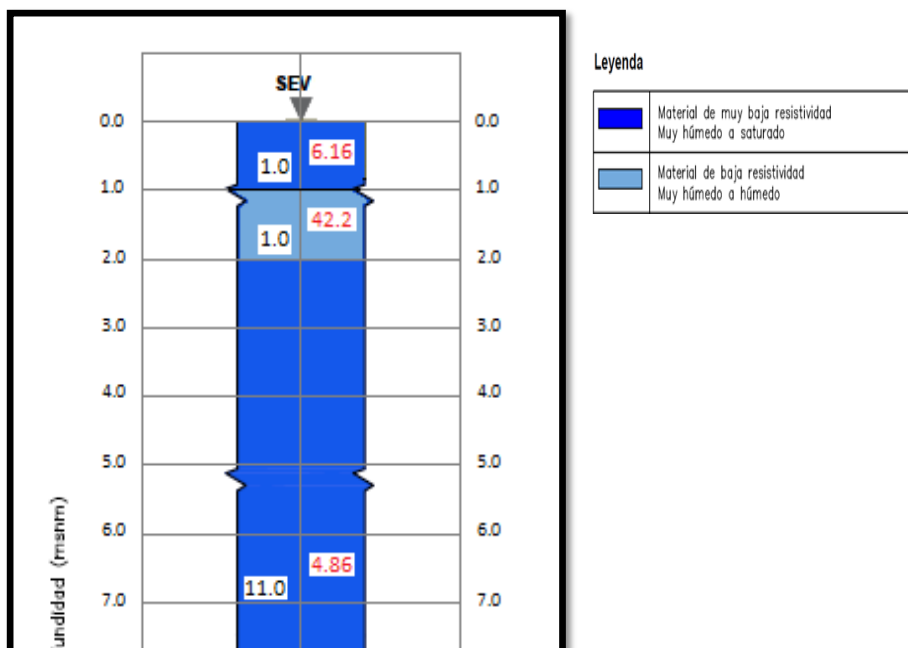


Fig. 13: Columna Geoeléctrica (D. Guerra, 2016)

La figura 11 es el modelo unidimensional de ondas de corte que resulta del procesamiento en un software de las curvas de dispersión de los métodos MASW y MAM. Nos muestra las velocidades de onda a medida que se profundiza además de los puntos medidos y hacia donde tienen tendencia. A medida que va profundizando las rocas aumentan su V_s y es debido a la diferencia de litología que hay en el subsuelo.

La figura 12 es comparación de las curvas de campo y teórica de los sondeos eléctricos verticales, los ejes de los gráficos son resistividad aparente vs espaciamento, de este grafico nos resulta una tabla con las capas de material del subsuelo clasificadas dependiendo de la variación de su resistividad aparente, además del espesor y profundidad de cada una.

La figura 13 es la columna geoelectrica donde se comparan los espesores y resistividades de cada estrato en un gráfico de profundidades, el color azul es asignado para el material con muy baja resistividad mientras que el celeste pertenece al material de baja resistividad. Podemos ver que la primera y tercera capa tienen una resistividad muy baja correspondiente a un material de poca transmisibilidad pero la segunda capa de un metro de espesor tiene una mayor transmisibilidad.

4.2 Análisis de resultados

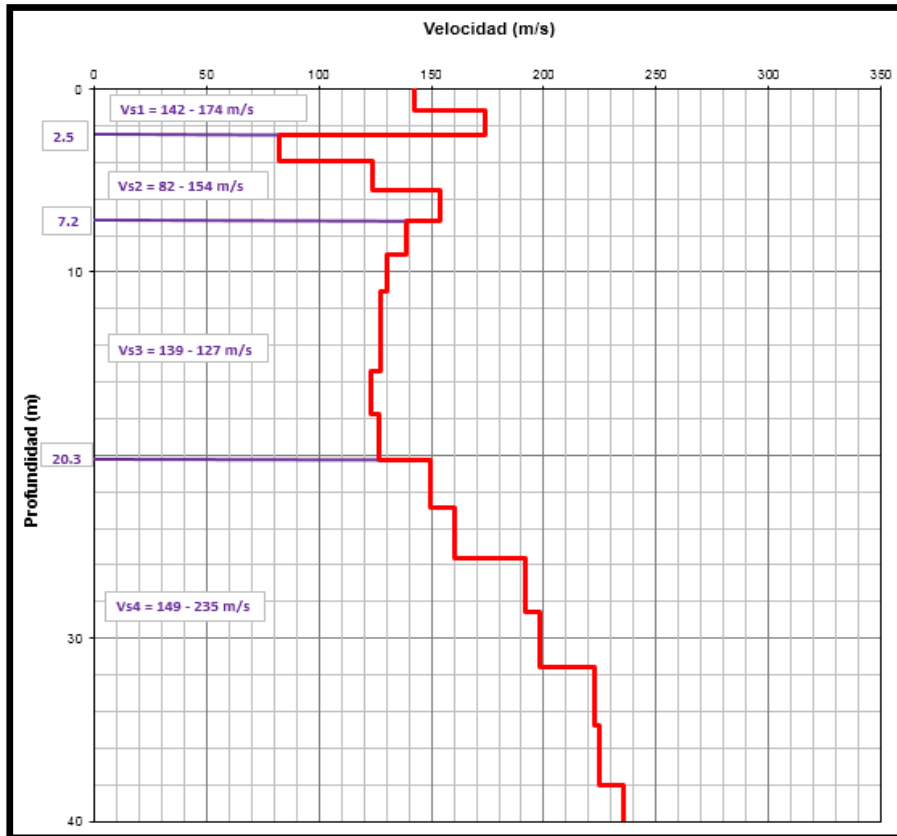
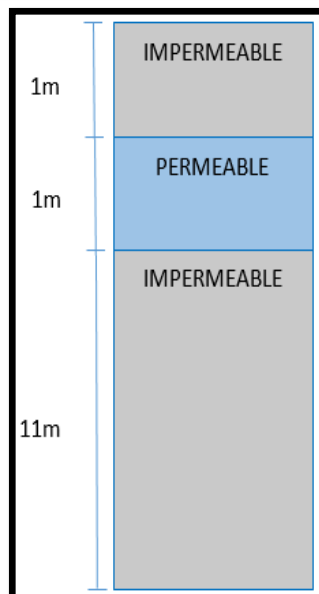


Fig. 14: Modelo unidimensional de Guerra, 2016)



ondas de corte (D.

Fig. 15: Columna de permeabilidad (D. Guerra, 2016)

Con los resultados obtenidos podemos hacer el análisis de los datos, como el modelo unidimensional de ondas de corte o la columna de permeabilidad.

La figura 14 la adquirimos de análisis del modelo unidimensional de la figura 11, esta figura nos muestra velocidades de ondas de corte los cuales podemos clasificar para un estrato en el momento que varía bruscamente su velocidad, como lo observamos en a los 2.5m de profundidad, hace un cambio de 174 a 82 m/s; de igual manera ocurre a los 7.2 y 20.3 m de profundidad, nuestro análisis lo realizamos hasta los 40m de profundidad, podemos describir el material de acuerdo a las velocidades de ondas de corte que hemos tenido como resultado, los mismos que son suelos blandos a suelos medianamente densos en todas las capas. La figura 15 es la interpretación de la columna geoelectrica, en esta columna vemos cada

estrato clasificado como permeable o impermeable según la resistividad indicada en la figura 12 y 13, los valores de permeabilidad menores corresponden a suelos de baja transmisibilidad e impermeables por lo cual no pueden almacenar agua a diferencia del estrato con resistividad 42.2 que pertenece a un material con capacidad de almacenar y transmitir agua.

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. La licuefacción originada por el terremoto fue producto de la capa muy probablemente saturada de agua que hay entre 2 capas impermeables, la misma a la que se le aplicó presión y subió a la superficie por las grietas del suelo.
2. Desde datos de prospección geofísica proporcionada por HGSE, se determina mediante MASW-MAM que hay 4 estratos de suelos blandos a suelos medianamente densos.
3. Los SEV nos indican que hay una segunda capa a 1m de profundidad que es permeable con capacidad de almacenar y transmitir agua.
4. Con el tipo de suelo y resistividad y permeabilidad que resultaron de los análisis podemos inferir que la primera y tercera capa en

profundidad del subsuelo son arcilla y el estrato entre estos es arena saturada en agua.

5. La población de Tosagua es asentada en planicies aluviales con perfiles de suelos poco saturados a saturados, desde un punto de vista geomorfológico corresponde a paleo-meandro.
6. Todas estas condiciones estratigráficas y sedimentológicas permiten que el sitio en estudio sea propenso a efectos cosísmicos de sitios como los sinkholes y volcanes de arenas (sand boils).

5.2 Recomendaciones

1. Para los sondeos eléctricos verticales se debe tener en cuenta que los equipos no pueden estar expuestos a altas temperaturas ya que nos podrían dar datos erróneos.
2. Al momento de realizar la generación de ondas para el análisis de vibraciones es recomendable que no transite ningún peatón ni vehículo por el lugar ya que esto altera las mediciones.

3. Realizar tricheras exploratorias para analizar los niveles estratigráficos e identificar paleo-licuefacción de terremotos históricos (Paleosismología).

BIBLIOGRAFÍA

1. AA. SH, I. G. (2016). *INFORME SÍSMICO ESPECIAL N.-20 - 2016*. Quito.
2. Chunga K., Besenzon D., Mulas M., Loayza G., Pindo JC. (2016). Areal distribution of Ground effects induced by the 2016 Mw 7.8 Pedernales earthquake (Ecuador). 88° Congresso della Societa' Geologica Italiana. S1. Earthquakes and Active Tectonics: a multidisciplinary approach. Napoli, 7/9 sept.
3. Edward A. Keller, N. P. (2002). *Active Tectonics*. California: Prentice Hall.
4. Eugenio Nuñez del Arco, I. (2003). *Geología del Ecuador*. Guayaquil.
5. GÁLVEZ-SENAMHI, J. J. (2011). *CARTILLA TECNICA: AGUAS SUBTERRANEAS-ACUIFEROS*. LIMA: Sociedad Geográfica de Lima.
6. Geozone Asesores. (2012). *Geozone*. Obtenido de <http://www.geozone.es/tecnicas/electricas/sondeos-electricos-verticales-sev/>

7. HIDROLOGIA, I. N. (DICIEMBRE de 2006). *ISSUU*. Obtenido de https://issuu.com/inamhi/docs/caract._hidrogeologica-manabi
8. INOCAR. (2014). *inocar.mil.ec*. Obtenido de <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/que-son-los-tsunamis/73-eventos-en-el-ecuador>
9. MR/GV/EH/AA, I. G. (2016). *INFORME SISMICO ESPECIAL N°24 - 2016*. Quito.
10. Secretaría de Gestión de Riesgos. (2016). *INFORME DE SITUACION N°65 – 16/05/2016, Terremoto 7.8 ° - Pedernales*. Ecuador.
11. TERRADAT Geophysical Innovation. (2014). *TERRADAT*. Obtenido de <http://www.terradata.co.uk/survey-methods/masw/>
12. TRESGEO Services. (2014). *TRESGEO*. Obtenido de <http://www.tresgeo.com/geofisica-america-sismica>
13. Xiaohua Xu and David Sandwell. (2016). *topex*. Obtenido de <http://topex.ucsd.edu/Ecuador/>

14. ZER GEOSYSTEM PERU S.A.C. (2010). *ENSAYOS GEOFÍSICOS
POR LOS MÉTODOS*. Lima.

ANEXOS

Anexo 2: Mapa geomorfológico Tosagua (Guerra, 2016)

