

### 4.1.3 GEOLOGÍA

#### 4.1.3.1 GENERALIDADES

El presente capítulo trata con amplitud los aspectos geológicos más característicos que enmarcan el área evaluada, los mismos que resultan de especial interés ambiental en vista que el Proyecto Modernización de Refinería Talara implicará remociones, excavaciones y en general alteraciones del medio geológico, algunos de los cuales serán de carácter permanente.

Por ello, el adecuado conocimiento de las formaciones geológicas que integran el prisma sedimentario superficial, así como sus caracteres morfológicos principales, constituye un aspecto esencial para establecer el grado de resistencia de los materiales sedimentarios a los procesos erosivos actuales y predecir el impacto de estas acciones, durante las etapas de construcción y operación del Proyecto, los mismos que sin embargo se estima serán ligeros o poco significativos.

En tal sentido, para una apropiada caracterización de las condiciones de seguridad y riesgo físico de las futuras obras, la evaluación también trata las características sísmicas y geotécnicas del área, así como las relaciones con los tipos de suelos y formas de tierra.

Geológicamente, el área se ubica en la denominada "Cuenca Talara", extensa cuenca sedimentaria que se desarrolló durante el meso-cenozoico y que se caracteriza por las notables variaciones laterales y verticales de sus unidades sedimentarias, que ponen de manifiesto la ocurrencia de varias subcuencas menores dentro de ella, las cuales han sido afectadas por las diversas fases tectónicas andinas terciarias. Durante el cuaternario y por la ocurrencia de los severos cambios climáticos acontecidos a escala mundial, la región ha estado sujeta a movimientos eustáticos (variaciones del nivel del mar) que han contribuido a la formación de los denominados "tablazos".

El estudio se desarrolla sobre la base de la información técnica publicada por el INGEMMET en su cuadrángulo geológico de Talara (Hoja 10-a), levantado a escala 1:100,000; y en la fotointerpretación realizada de imágenes del Satélite Landsat 7 ETM de alta resolución; todo ello, complementado con las observaciones efectuadas durante el trabajo de campo y los muestreos efectuados.

En el mapa geológico (Mapa 4.1.3-1), se muestra el área de estudio a escala 1:15,000, en tanto, los caracteres litológicos formacionales se aprecian de manera resumida en la Figura 4.1.3-1, que presenta la columna cronoestratigráfica de la zona.

#### 4.1.3.2 ESTRATIGRAFÍA

En esta sección se describe la columna estratigráfica del área de estudio, columna que comprende secuencias sedimentarias de origen marino y continental, cuyas edades van desde el Terciario al Cuaternario reciente. El Terciario se encuentra representado por el Grupo Talara, en tanto que el Cuaternario por el Tablazo Talara y los depósitos aluviales, marinos y coluviales, los cuales cubren sectores importantes de las capas más antiguas. En conjunto, se considera que la columna sedimentaria presenta un espesor de 2,000 metros.

A continuación, se describen las características litológicas de las unidades formacionales que afloran en el área evaluada, siguiendo el orden del más antiguo al más reciente y se señalan al mismo tiempo sus aspectos texturales, estructurales y morfológicos más saltantes.

#### a) Grupo Talara (Te-t)

Litológicamente, esta unidad geológica se halla conformada por tres miembros claramente distinguibles. En su piso, consiste de una secuencia de conglomerados cuarzosos, seguidos de lutitas grises a negras ferruginosas muy laminadas (Lutitas Talara) con alternancias de areniscas cuarzosas de grano grueso a medio y abundantes paquetes brechados. En su porción media, contiene areniscas de grano fino a medio, gris amarillentas (Areniscas Talara); en tanto que su porción superior se halla integrada por lutitas gris verdosas con laminación delgada (Lutitas Pozo), que presentan intercalaciones de areniscas calcáreas bien estratificadas y compactas. Morfológicamente, la secuencia conforma taludes de tablazos y colinas bajas de laderas suaves o abruptas, dependiendo de la litología y buzamiento de sus capas.

Estos sedimentos señalan una deposición en ambiente marino transgresivo, con variaciones rápidas debido al paleorelieve y a los movimientos tectónicos epirogénicos acontecidos durante su deposición; su espesor varía según su localización en la cuenca, con tendencia a adelgazarse hacia el este, pero en la zona evaluada su grosor se estima en 1,800 metros. Sus capas sobreyacen en forma concordante a las unidades geológicas terciarias más antiguas e infrayacen con discordancia angular a los sedimentos cuaternarios. Por su contenido fosilífero la edad del grupo es asignada al Terciario inferior (Eoceno inferior).

El grupo se desarrolla con cierta amplitud en diversos lugares del área de estudio. Hacia el norte, aflora su secuencia de areniscas cuarzosas blanquecinas conformando los taludes que encajonan las pequeñas quebradas que descienden hacia el mar; en las zonas central y oeste, ocurren paquetes de areniscas amarillentas conformando colinas y taludes de Tablazo Talara; en tanto que en la zona sur aflora el miembro de lutitas verdosas conformando las colinas bajas desarrolladas en este sector.

#### b) Tablazo Talara (Qp-tt)

Es una terraza marina pleistocénica levantada, que presenta gran extensión en la región, sin embargo en el área evaluada sólo se le reconoce limitadamente debido a la delimitación del área de estudio; la unidad se halla conformada por conglomerados lumaquéllicos o lumaquelas poco consolidadas con matriz bioclástica o arenisca; hallándose constituidos en los sectores más orientales por conglomerados coquiníferos o coquinas. Su relieve es esencialmente llano, con ligeras ondulaciones debidas a la acción eólica y al cruce de pequeñas quebradas, las cuales se activan sólo en periodos lluviosos. Topográficamente, esta unidad se desarrolla a una cota promedio de 80 msnm, hallándose ligeramente inclinada hacia el sureste.

El Tablazo Talara, conforma una porción de la extensa plataforma continental emergida como reflejo de los sucesivos levantamientos del macizo andino, constituyéndose esta superficie, en una prueba fehaciente que estos procesos continúan durante el Cuaternario. A estas acciones tectónicas, se deben añadir las variaciones eustáticas que han contribuido en el desarrollo de estas superficies. Sus afloramientos cubren con fuerte discordancia angular a las capas del Grupo Talara y a formaciones terciarias más modernas, siendo el espesor promedio de los depósitos de 3 a 4 metros.

Sectores característicos de este Tablazo se presentan en el sector norte del área de estudio, en el Aeropuerto "Capitán Montes" de Talara, en la Villa FAP, en Talara Alta, en las cercanías de Punta Arenas, etc.

#### c) Depósitos marinos (Qr-m)

Consisten en acumulaciones generadas por las olas y corrientes de deriva, que litológicamente se hallan conformadas por arenas y gravas, con un cierto contenido de bioclastos y sales. En el perfil de los paquetes arenosos, se observa una definida estratificación cruzada, la cual es debida al cambio de dirección y fuerza del oleaje; en tanto las gravas son redondeadas a aplanadas y mayormente de tamaño medio, de 6 a 10 centímetros de diámetro, existiendo algunas que alcanzan los 20 centímetros de grosor. En general, las acumulaciones se encuentran medianamente consolidadas, especialmente en aquellos sectores que presentan cemento calcáreo.

Estos depósitos, se formaron en un ambiente marino costero durante un ciclo de transgresión y regresión acontecido entre el Holoceno antiguo y las últimas fases del Pleistoceno. Durante la etapa inicial de la transgresión el mar inundó un relieve depresionado, circundado por colinas y planicies elevadas, con aportes fluviales; el retrabajamiento de esta zona costera y en un medio de una gran energía, se conforman cordones litorales y tómbolos, integrados por cantos y gravas; posteriormente, en un ambiente de bahía de mar somero, se depositan materiales más finos y se desarrollan plataformas de abrasión y acantilados costeros. El ascenso del nivel del mar continuó inundando sectores más elevados y transformándolos en bancos marinos donde se forman sucesiones más reducidas. Finalmente al iniciarse la fase regresiva, una ligera capa de materiales eólicos cubrió los depósitos anteriores.

Sobre estas acumulaciones plano-inclinadas de 5 a 10 metros de espesor, se asienta la Ciudad de Talara Centro, la Refinería Talara, el Conjunto Residencial Punta Arenas y los barrios de San Pedro, Jesús María y Cuernavaca.

#### d) Depósitos aluviales recientes (Qr-al)

Consisten de acumulaciones fluviales holocénicas de materiales sueltos o poco consolidados, de naturaleza fina, que han sido transportados cierta distancia hasta su lugar de acumulación, por avenidas torrenciales que suceden durante años muy lluviosos, especialmente durante la ocurrencia del Fenómeno El Niño. Se hallan conformados esencialmente por arenas y limos, con algunos rodados dispersos de petrología variada provenientes de algunos horizontes del Tablazo Talara.

Estos depósitos se presentan principalmente al norte del área de estudio, en el lecho de las pequeñas quebradas que descienden hacia el mar (por ejemplo: Quebrada Yale), las cuales alcanzan su mayor amplitud en su desembocadura donde en parte son traslapados por acumulaciones marinas más modernas. Su espesor es variable, pero se estima fluctúa entre 3 y 5 metros.

#### e) Depósitos coluviales (Qr-co)

Consisten en acumulaciones clásticas modernas, conformadas por materiales de diverso tamaño pero de litología más o menos homogénea, que se encuentran englobados en una matriz limo-arenosa, que se distribuyen esporádicamente en las faldas de las colinas del substrato terciario y en los taludes del Tablazo Talara, habiéndose generado por alteración y desintegración de las rocas ubicadas en los tramos superiores adyacentes. Se caracterizan por contener clastos angulosos a

subangulosos distribuidos en forma caótica, los cuales sin embargo presentan en sentido vertical una ligera estratificación, donde los clastos más grandes se hallan en la base de las elevaciones, en tanto que los más pequeños y finos se ubican en los tramos superiores. Frecuentemente presenta un fino encapado limo-arenoso de carácter eólico.

Por razón de escala, en el mapa geológico se señalan sólo las acumulaciones coluviales más conspicuas, como las que ocurren en los taludes del Tablazo Talara en el sector oriental del área evaluada. Se considera, que la edad de estas acumulaciones corresponde al Cuaternario reciente (Holoceno), alcanzando espesores de hasta 3 metros.

#### **f) Depósitos eólicos (Qr-e)**

Son acumulaciones de arenas de grano fino a medio, que han sido transportadas por el viento desde sus fuentes de origen localizados en las playas del litoral marino, donde han sido formadas por acción de las olas; algunas veces presentan una ornamentación característica de "ripple marks" (ondulaciones).

Se presentan en las laderas de algunas colinas, donde ocurren como pequeños mantos o acumulaciones de hasta 1 o 2 metros de espesor; en algunos sectores la migración de estas arenas queda retardada por la presencia de vegetación o salinidad del terreno. La edad de los depósitos corresponde al Cuaternario reciente (Holoceno).

#### **g) Depósitos de playa (Qr-pl)**

Consisten en acumulaciones modernas de arenas sueltas, de grano medio a fino, con un alto porcentaje de conchuelas fragmentadas, que han sido depositadas por las olas marinas y corrientes de deriva; las cuales ocurren como fajas angostas a lo largo de la línea litoral, limitadas por los niveles de alta y baja marea. Conforman terrazas escalonadas de gran longitud pero poca altura, siendo la terraza más conspicua la que se desarrolla a poco más de 1 metro de altura.

En el área de estudio, estos depósitos pueden ser apreciados en las playas que bordean las instalaciones de la Refinería Talara y en Punta Arenas, también en las playas del sector norte que contornean los barrios de San Pedro, Jesús María y Cuernavaca.

Figura 4.1.3-1 Columna Cronoestratigráfica

Era	Sistema	Serie	Unidad Estratigráfica	Sección	Descripción Litológica
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO (RECIENTE)	Depósitos de Playa		Arenas sueltas, finas a medias, con contenido de conchuelas fragmentadas.
			Depósitos Eólicos		Mantos o acumulaciones de arenas finas sueltas.
			Depósitos Coluviales		Fragmentos rocosos de tamaño variado pero de litología homogénea, englobados en una matriz limo-arenosa.
			Depósitos Aluviales Recientes		Arenas y limos de escasa a nula consolidación y algunos rodados dispersos de litología variada.
			Depósitos Marinos		Acumulaciones de arenas y gravas con una cierta proporción de bioclastos, medianamente consolidadas.
	PLEISTOCENO	Tablazo Talara		Conglomerados lumaquéllicos o lumaquelas poco consolidadas, con matriz bioclástica o arenisca.	
TERCIARIO	EOCENO	Formación Talara		Miembro superior: Lutitas gris verdosas. Miembro medio: Areniscas gris amarillentas. Miembro inferior: Lutitas grises a negras muy laminadas y en el piso, conglomerados cuarzosos.	

#### 4.1.3.3 GEOLOGÍA HISTÓRICA

El desarrollo geohistórico de la región es el resultado de los diversos eventos geotectónicos por los cuales ha pasado. Se inicia en el Terciario inferior, cuando se produce ingresos progresivos del mar hacia el Este como resultado de subsidencias producidas por movimientos tectónicos. En la Cuenca Talara, estos movimientos se iniciaron en el Eoceno inferior cuando en un mar subsidente empieza la deposición de los clásticos que conforman el Grupo Talara y posteriormente en este mar subsidente de condiciones agitadas, se depositan los materiales carbonatados de la Formación Verdún (Eoceno superior) seguida de la Formación Chira, que no ocurren en el área específica del estudio pero sí en sus inmediaciones, por lo que aquí sólo se le menciona.

A fines del Eoceno, la sedimentación marina fue interrumpida por efectos compresivos y la región estuvo sujeta primero a emersión y luego a erosión durante el Oligoceno inferior. Sobre esta superficie erosionada se reanudaron las condiciones de deposición marina, acumulándose una serie de formaciones geológicas que no afloran en el área pero que terminan con la acumulación de los clásticos que posteriormente darían lugar a los Tablazos. Consecutivamente, a fines del Plioceno el prisma sedimentario de la región fue moderadamente comprimido y levantado por un nuevo evento del ciclo geotectónico andino, siendo este levantamiento de considerable magnitud en el macizo andino.

En el Cuaternario antiguo (Pleistoceno), como consecuencia del levantamiento epirogénico e isostático de la costa, se desarrollan los tablazos del noroeste del país, donde cada una de estas formas representa una considerable y súbita pulsación tectónica. Después de estos acontecimientos la región presenta una fisonomía bastante similar a la actual, pero hallándose afectada por una serie de procesos erosivos y deposicionales que dan lugar a que los ríos y quebradas que bajan de las montañas andinas reorienten y establezcan definitivamente sus cursos fluviales, como es el caso de la cercana Quebrada Pariñas.

Finalmente en el Holoceno, como consecuencia del desarrollo de una costa de emersión y en condiciones climáticas áridas, se depositan una nueva serie de sedimentos aluviales, coluviales, eólicos y marinos, que se sobre imponen sobre las unidades geológicas más antiguas.

#### 4.1.3.4 TECTÓNICA

Desde el punto de vista tectónico regional, el desarrollo estructural de la franja costera de la zona norte del país, se explica como resultado de la subducción de bajo ángulo ( $5^{\circ}$  a  $10^{\circ}$ ) de la placa oceánica de Nazca que se hunde por debajo de la placa continental Sudamericana, proceso iniciado en el límite Mioceno-Plioceno, hace unos 10 a 5 millones de años.

Debido a ello, la región donde se emplaza el área evaluada, es una de las zonas tectónicas más críticas y complejas del país, caracterizada por su intensa deformación cortical e involucrada dentro del área de afectación de la "deflexión de Huancabamba"; la cual imprime a las estructuras, cuencas sedimentarias y macizos montañosos andinos de rumbo NO-SE, una nueva dirección hacia el NE ingresando al territorio ecuatoriano con esa dirección.

Cabe destacar, que diversos investigadores han determinado que el régimen tectónico regional es esencialmente compresional, normal a la línea de costa y a la dirección del macizo andino. En tal sentido, la zona litoral comprendida por el área evaluada se encuentra conformada por una unidad tectónica de deformación Mesozoica, conformada por una pila sedimentaria clástica, que delinea la cuenca hidrocarburífera terciaria de Talara y que se halla afectada por diferentes episodios de deformación; la actividad sísmica que presenta este sector es de carácter superficial.

El proceso de colisión mencionado, entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana, es causante de todos los procesos orogénicos acontecidos en la región y que se manifiestan en el continente mediante diversas estructuras, entre las cuales destacan las siguientes: la Cordillera Andina, la cuenca terciaria de Talara, los Tablazos, los sistemas de fallas, etc.

A una escala local, se aprecian las siguientes estructuras:

- **Fallas**

Los sistemas de fallas que afectan la "Cuenca Talara" se han formado como un efecto secundario de la colisión de la placa oceánica con la placa continental, generando este proceso fracturas en la corteza terrestre de tipo mayormente normal. En este sentido, las fallas que han sido observadas en el sector sur del área evaluada, presentan una dirección predominante NE-SO; en tanto, que en el sector norte la dirección dominante es N-S.

Cabe señalar, que las fallas geológicas mencionadas se han generado en tiempos geológicos muy antiguos (plio-pleistocenos) hallándose asociados a la orogénesis andina, por lo que, actualmente son estables, vale decir no son activas.

- **Pliegues**

No se han reconocido pliegues de magnitud importante dentro del ámbito del estudio; sin embargo, cabe mencionar que en una pequeña quebrada tributaria de la cercana Quebrada Yale, se ha observado pequeños pliegues anticlinales y sinclinales que afectan algunas capas de la secuencia arenosa del Grupo Talara.

Por otro lado, en las colinas localizadas al sureste del área evaluada, ocurre un fuerte buzamiento de la secuencia de lutitas finas de este grupo, las mismas que llegan a conformar características laderas homoclinales. También en las colinas que circundan Punta Arenas, se puede observar nítidamente el desarrollo de homoclinales, pero esta vez integrados por capas medias a gruesas de areniscas.

#### 4.1.3.5 SISMICIDAD

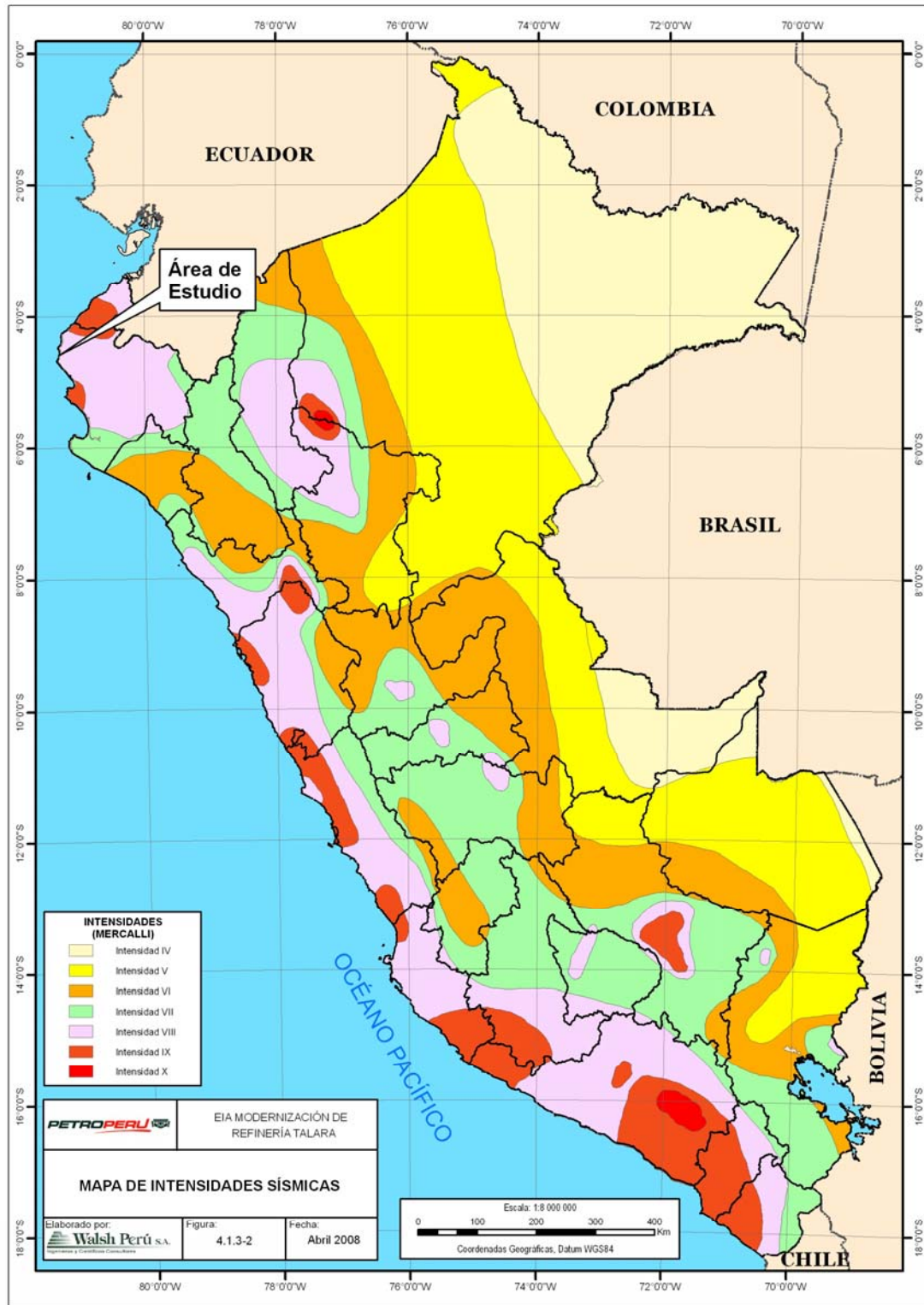
El borde occidental de Sudamérica es una típica región de colisión de placas tectónicas, que se caracteriza por su gran actividad desde el punto de vista sismológico. El territorio peruano integra parte de ella, hallándose su actividad sísmica más frecuente asociada al proceso de subducción de la placa oceánica de Nazca que se hunde bajo la placa continental Sudamericana, lo que genera terremotos de magnitud elevada a diferentes niveles de profundidad. Una segunda clase de actividad sísmica, es la producida por las rupturas corticales que ocurren a lo largo de fallas en el macizo andino, pero que generan terremotos de menor magnitud y frecuencia.

La placa Sudamericana se origina en la cadena meso-oceánica del Atlántico, moviéndose hacia el Oeste con una velocidad promedio de 2 centímetros por año y se encuentra en su ribera occidental con la placa de Nazca. Por otro lado, la placa de Nazca se origina en la cadena meso-oceánica del Pacífico oriental desplazándose hacia el Este con una velocidad promedio de 8 centímetros por año, subduciendo la placa Sudamericana con una velocidad de convergencia del orden de 10 centímetros por año. El choque de estas placas da lugar a intensas fricciones corticales en la zona de contacto (plano de Benioff) con acumulación constante de energía, la que luego se libera mediante los sismos, los cuales son en general tanto más violentos cuanto menos profundos son en su origen.

Dado que la actividad sísmica regional se relaciona principalmente con las fricciones corticales originadas por el proceso de subducción mencionado, resulta que a igualdad de condiciones los sismos son más intensos en la costa, decreciendo gradualmente hacia las regiones de sierra y selva, donde la subducción y fricción cortical se tornan cada vez más profundas. Las zonas alejadas del oriente, sufren por ello pocos eventos sísmicos precisamente por la gran profundidad en la que se halla el plano de subducción en esta región, en comparación a lo que ocurre en la costa.

Según el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), el área evaluada se halla en la zona de intensidad VIII del Mapa de Intensidades Sísmicas, que toma como base la Escala Modificada de Mercalli (Figura 4.1.3-2). En consecuencia, se encuentra ubicada en una zona de alto riesgo sísmico, tanto por la frecuencia de los movimientos, como por su intensidad, debido a que sus "focos" o "hipocentros" se localizan a escasas profundidades de la corteza. El Cuadro 4.1.3-1 presenta los sismos que han afectado la región.

Figura 4.1.3-2 Mapa de Intensidades Sísmicas





Cuadro 4.1.3-1 Sismos con Intensidades iguales o superiores a VI que han afectado la zona y localidades vecinas

Nº	Fecha	Intensidad (MM)	Observaciones
1	09/07/1587	sd	Sechura destruida, número de muertos no determinado.
2	14/02/ 1619	IX	Terremoto en Trujillo, fue sentido 2000 km. al norte y 600 km al sur.
3	06/01/1725	VII	Terremoto en Trujillo, que afectó el litoral norte.
4	28/10/1746	IX – X	Sismo ocurrido a las 22:30 horas. Destrucción casi total de Lima y Callao; hubo agrietamientos del terreno y deslizamientos. Un tsunami de grandes proporciones inundó el Callao, hasta casi 6 km., matando a casi toda la población.
5	02/09/1759	VII	Fuerte sismo en el norte con epicentro en Trujillo.
6	20/08/1857	sd	Fuertes daños en Tumbes y Corrales.
7	13/08/1868	X	Terremoto en Arica, que dio lugar a un gran tsunami que arrasó gran parte del litoral peruano.
8	28/09/1906	VII	Sismo en Chachapoyas, fue sentido desde Guayaquil hasta Tarma.
9	24/07/1912	sd	Sismo en Huancabamba que destruyó dicha ciudad y parte de Piura.
10	20/03/1917	VI	Fuerte sismo en la costa norte.
11	05/03/1935	VI	Fuerte sismo en Trujillo.
12	21/06/1937	VII	Gran temblor en la costa norte.
13	24/05/1940	VIII	Terremoto sentido desde Guayaquil hasta Arica; destrucción en Lima; hubo tsunami, intensidad en Paita y Piura de grado IV.
14	12/12/1953	VIII	El sismo afectó severamente Tumbes y Piura.
15	07/12/1954	VII	Daños en Talara
16	31/05/1970	VI – IX	El sismo fue sentido desde Tumbes hasta Ica y desde la costa hasta Iquitos, en Trujillo se sintió con intensidad VII.
17	09/12/1970	VII-VIII	Fuerte sismo con epicentro en Chimbote, que asoló la costa norte del país. Talara fue afectada, ocurrieron fenómenos de asentamientos, deslizamientos y hundimientos de suelos, hubo casas destruidas y grandes pérdidas económicas.
18	1974	sd	Sismo con epicentro en Salitral (Sullana) que produjo graves pérdidas humanas y materiales.

Fuente: Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), Instituto Geofísico del Perú (IGP)

(MM): Escala Mercalli Modificado

sd: Sin datos

Por ello, el carácter sísmico del territorio impone consideraciones prácticas para toda actividad constructiva. Respecto a las obras inherentes al Proyecto, cabe señalar que las formaciones geológicas superficiales y del substrato rocoso son poco competentes y susceptibles de sufrir

deformación por las ondas sísmicas; por tal motivo, las obras deben cumplir con los más estrictos estándares técnicos de construcción.

Los sismos constituyen el agente desencadenante en los procesos de desestabilización de taludes y riesgo de destrucción en las áreas urbanas. Por ejemplo la ocurrencia de sismos puede provocar los siguientes cambios físicos en la consistencia de los suelos:

- **Licuefacción.** – Es un proceso por el cual los suelos arenosos de origen eólico o marino pueden cambiar su compactación y provocar asentamientos.
- **Amplificación.**- El rebote de ondas sísmicas de un medio más elevado a otro depresionado, puede amplificarlas y provocar mayor daño a las construcciones que se asientan en estas últimas.

Asimismo, los sismos de elevada magnitud, pueden originar “tsunamis” o maremotos. Cuando se forma un tsunami, este se propaga en todas las direcciones, alcanzando incluso costas muy alejadas. El Perú no ha sufrido los efectos de los tsunamis con la misma frecuencia que otros lugares de la Tierra; sin embargo, la historia sísmica nos confirma que nuestro litoral ha sido afectado por muchos en el pasado. Los más dañinos fueron los del 28 de octubre de 1746 y el 13 de agosto de 1868. El primero se generó frente a las costas del Callao alcanzando una altura de 7 metros, lo que dio lugar a gran destrucción y muerte, siendo probablemente el tsunami más fuerte registrado a la fecha en nuestro país. El segundo, ocasionó grandes daños desde Trujillo hasta Concepción en Chile; esta ola sísmica se dejó sentir en costas tan lejanas como Japón, Hawai y Australia.

El Cuadro 4.1.3-2 presenta el registro de sismos que dieron lugar a tsunamis.

**Cuadro 4.1.3-2** Sismos que originaron tsunamis y que impactaron en la Región

Fecha	Hora	Extensión	Ms	MM
24-11-1604	13.30	Costa Peruano-Chilena	8.4	---
28-10-1746	22.31	Costa Norte. Dpto. Lima	8.4	---
30-03-1828	07.30	Costa Peruana	---	VII
13-09-1868	13.45	Costa Peruano-Chilena	8.5	---
09-05-1877	---	Diversos países del Pacífico, entre ellos el Perú	---	---
24-05-1940	11.35	Guayaquil-Arica	---	VIII
01-04-1946	---	Originado en Chile, afectó Perú, Ecuador, Colombia.	---	---
12-12-1953	---	Costa Peruano-Ecuatoriana	7.3	---
09-03-1957	---	Originado en el Pacífico norte	---	---
22-05-1960	---	Originado en Chile, afecto diversos países del Pacífico	---	---
28-03-1964	---	Originado en Alaska, afectó las costas peruanas y chilenas	---	---
21-02-1996	---	Afecto el litoral norte	6.9	---

Fuente: Dirección de Hidrografía y Navegación-Marina de Guerra del Perú y Banco de Datos de Walsh  
 Ms: Magnitud sísmica en la escala de ondas superficiales  
 MM: Intensidad sísmica en la escala de Mercalli Modificado

En la Figura 4.1.3-3 se presenta la Carta de Inundación en caso de Tsunami del Puerto de Talara, elaborada por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, a la escala de 1:10,000. En esta carta se observa que para un tsunami extremo la cota de inundación máxima se estima en 11 msnm., por lo que pueden ser afectados parte del AA.HH. Villa Mercedes, la Urb. Zona Industrial, la Capitanía del Puerto, parte de la Refinería Talara y la zona de Punta Arenas. Por ello, se debe tener en cuenta el riesgo potencial a que se encuentra sometido el Proyecto de producirse un tsunami de gran magnitud, con el objeto de adoptar las medidas preventivas más apropiadas; sin embargo, cabe destacar que estos eventos por su naturaleza no son previsibles.



Por otro lado, la actividad sísmica tiene diferentes repercusiones según el ambiente geológico que se trate, para lo cual se debe considerar el relieve, litología, resistencia de los materiales, grado de meteorización, etc. Al respecto, se debe precisar que son las acumulaciones sueltas holocénicas las más riesgosas debido a su acumulación reciente, poca consolidación y por hallarse entre elevaciones colinosas que darían lugar inevitablemente a una refracción de las ondas sísmicas, las que incrementarían su nivel de sacudimiento; pero también son muy riesgosas las formaciones geológicas terciarias muy fisuradas y con buzamiento a favor de la pendiente, lo que daría lugar a derrumbes y caída de rocas.

En tal sentido cabe destacar, que el sismo del 9 de diciembre de 1970 de intensidad VII a VIII en la escala de Mercalli Modificado, dio lugar a asentamientos y hundimientos del suelo (fenómeno de licuefacción), lo que a su vez produjo fracturas tensionales en las construcciones, especialmente en el área urbana de Talara; asimismo se comprobó que las construcciones levantadas sobre sedimentos del Tablazo Talara soportaron mejor las vibraciones sísmicas, tal como en Talara Alta, donde no se han apreciado fracturas en las edificaciones.

#### 4.1.3.6 GEODINÁMICA

El territorio peruano, debido a su accidentada fisiografía y diversidad de condiciones climáticas, se encuentra afectado por diversos procesos geodinámicos activos. Este hecho tiene cierta relevancia en el área de estudio; donde los fenómenos geodinámicos se manifiestan bajo la forma de desprendimiento de bloques, huaycos e inundaciones. Además, cabe destacar, que los frecuentes terremotos que ocurren en la Región, contribuyen a la desestabilización de taludes, iniciando nuevos desprendimientos o reactivando los existentes.

Debido a que el conocimiento de la génesis, características y grado de impacto de estos procesos son esenciales para la seguridad del Proyecto, se analizan con amplitud en el capítulo de geomorfología del presente EIA.

#### 4.1.3.7 GEOLOGÍA ECONÓMICA

Los recursos naturales más importantes de la zona son los hidrocarburos, los que son explorados y explotados intensamente por diversas empresas petroleras, tanto en tierra firme como en la plataforma continental, siendo esta producción procesada en la Refinería Talara.

En tal sentido, la "Cuenca Talara" con más de 100 años de explotación ha sido entre las cuencas del noroeste la más intensamente desarrollada, habiendo producido a la fecha más del 90% del petróleo extraído en esta zona.

Geológicamente, es el Grupo Talara de edad terciaria la unidad productiva en esta cuenca; aquí, las rocas reservorios se hallan constituidas por los paquetes arenosos y conglomerádicos; en tanto, sus facies lutáceas constituyen las rocas sello. Existen "entrapas estratigráficas" y "trampas estructurales", en estas últimas, los fallamientos en bloques son los que han puesto en contacto capas permeables con capas impermeables, contribuyendo este hecho a la acumulación del petróleo.

#### 4.1.3.8 ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Con la finalidad de caracterizar desde el punto de vista geotécnico los suelos dentro del área de influencia (directa e indirecta) del Proyecto de Modernización de la Refinería Talara, se efectuó

durante el trabajo de campo un muestreo en algunos lugares del área, para determinar mediante ensayos de laboratorio sus características granulométricas y parámetros geotécnicos (Límites de Atterberg y Clasificación SUCS<sup>1</sup>).

En tal sentido, para una adecuada interpretación de los resultados, es conveniente tener presente las siguientes definiciones:

**Límites de Atterberg:** Son los parámetros utilizados para caracterizar los suelos en relación con la plasticidad. De ellos, interesan los siguientes:

- **Límite Plástico (LP):** Es el porcentaje de humedad en el cual un suelo cambia del estado semisólido al estado plástico. Está supeditado al contenido de arcilla.
- **Límite Líquido (LL):** Es el porcentaje de humedad al cual un suelo pasa del estado líquido a uno plástico.
- **Índice de Plasticidad (IP):** Es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico. Es la cantidad de humedad en la cual el suelo se encuentra en una condición plástica.

**Clasificación de Suelos SUCS:** Es un sistema que agrupa los suelos en tres grandes conjuntos (suelos de grano grueso, suelos de grano fino y suelos altamente orgánicos), los que a su vez se dividen en quince grupos que se designan por letras. Estos reflejan la magnitud del límite líquido, la fracción textural predominante y el mejor o peor equilibrado de la curva granulométrica investigada.

Para el muestreo efectuado, en total se recolectaron 08 muestras del mismo número de calicatas; ubicadas en el área de estudio. El Cuadro 4.1.3-3 muestra las coordenadas de dichas calicatas y en el Mapa Geológico (Mapa 4.1.3-1) se señalan sus ubicaciones, adicionalmente en el Anexo 4-6 de geología se adjunta la cadena de custodia y los resultados de los análisis de laboratorio, respectivamente.

**Cuadro 4.1.3-3** Ubicación de las Calicatas de Exploración

Calicatas	Coordenadas UTM		Cota (msnm)
	Norte	Este	
TA-01	9'495,052	470,305	86
TA-02	9'494,164	471,050	68
TA-03	9'493,376	470,829	64
TA-04	9'492,830	470,898	55
TA-05	9'492,242	469,957	28
TA-06	9'493,614	469,542	06
TA-07	9'494,004	469,193	04
TA-08	9'493,386	468,176	01

Fuente: Walsh, 2008: Datum WGS-84

**a) Análisis de Laboratorio**

Para una mejor comprensión de las características físicas de los suelos presentes en el área de estudio, las 08 muestras recolectadas durante el trabajo de campo fueron enviadas al Laboratorio de Mecánica de Suelos de SENCICO; donde se realizó una clasificación granulométrica por tamizado de las muestras y se determinó su clasificación textural en el Sistema Unificado Americano

<sup>1</sup> SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

de Clasificación de Suelos (SUCS), así como la determinación de los límites de Atterberg, los cuales constituyen parámetros indispensables para juzgar las condiciones de plasticidad y límites de liquidez de los sedimentos.

El Cuadro 4.1.3-4 presenta los resultados de la clasificación SUCS para las muestras analizadas, nombre del grupo y el rango de profundidades en las que fueron obtenidas.

**Cuadro 4.1.3-4** Resultados de la Clasificación SUCS

Muestra	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Clasificación SUCS	Nombre de Grupo	Profundidad de Muestreo (m)
TA-01	18.3	8.5	9.8	SC	Arena arcillosa	0.00-1.00
TA-02	NP	NP	NP	SP	Arena pobremente graduada	0.00-1.10
TA-03	37.6	9.2	28.4	CL	Arcilla de baja plasticidad con arena	0.00-0.90
TA-04	NP	NP	NP	SP	Arena pobremente graduada	0.00-1.05
TA-05	49.1	23.1	26	CL	Arcilla de baja plasticidad con arena	0.00-0.55
TA-06	14.3	NP	NP	GM	Grava limosa con arena	0.00-0.70
TA-07	26.2	12.2	14.0	GC	Grava arcillosa con arena	0.00-0.72
TA-08	NP	NP	NP	SP	Arena pobremente graduada	0.00-0.75

LL = Límite Líquido LP = Límite Plástico IP = Índice Plástico  
Fuente: Walsh, 2008.

### b) Evaluación de los Resultados

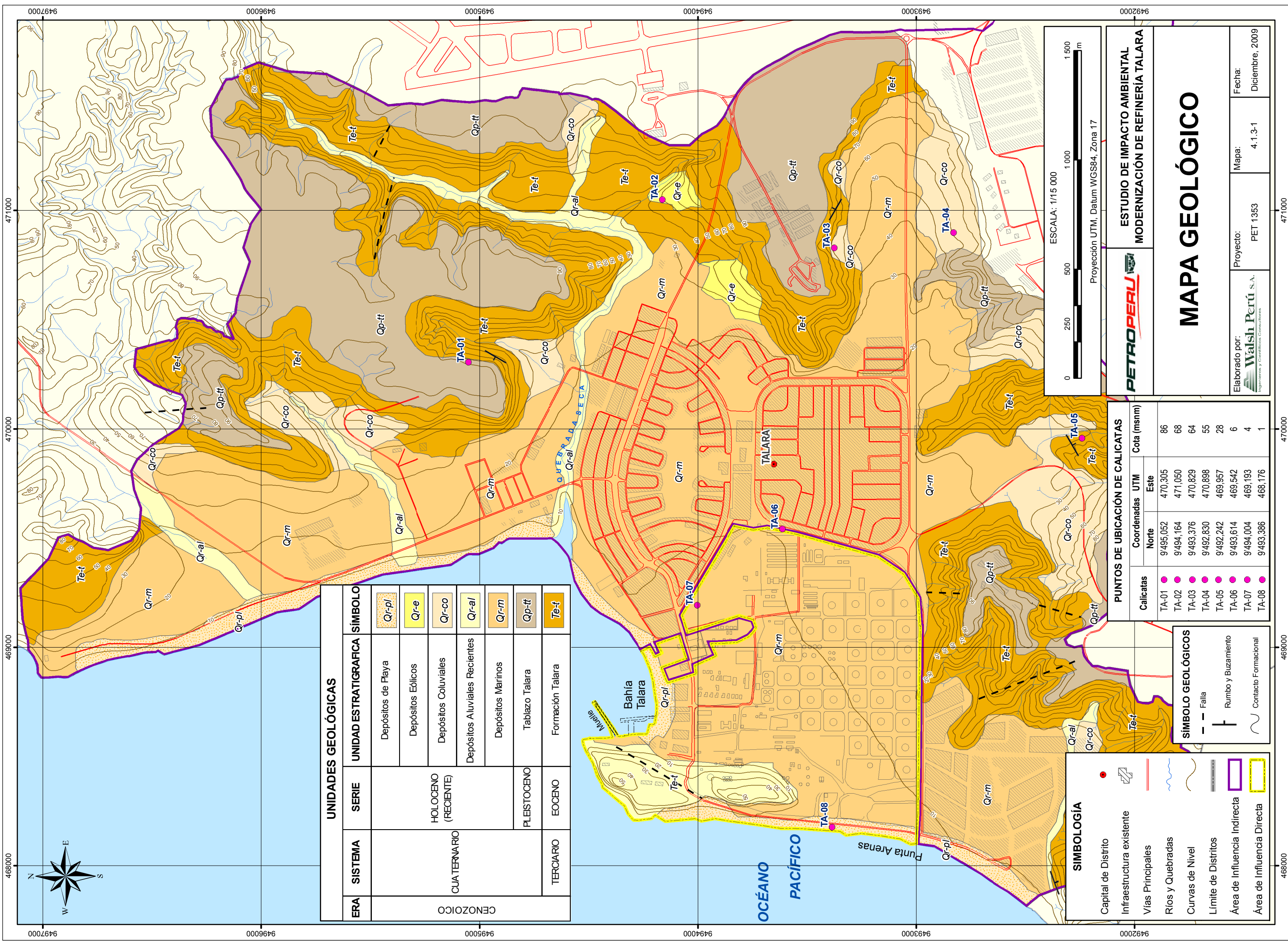
En este acápite, se realiza una evaluación geomecánica basada en los resultados obtenidos en laboratorio; esta evaluación es de mucha importancia, especialmente en ambientes desérticos costeros, con formaciones geológicas terciarias y cuaternarias, donde son predominantes los suelos arcillosos y arenosos de buena a nulas propiedades plásticas respectivamente; que se encuentran en planicies o en relieves colinosos de fuerte pendiente, de substratos rocosos mixtos de lutitas y areniscas, enmarcados en un clima característicamente seco, salvo durante la ocurrencia del Fenómeno El Niño donde la precipitación es elevada.

En tal sentido, se puede señalar que los caracteres geomecánicos de los suelos investigados, son los siguientes:

- El suelo de la muestra TA-01, obtenida en la superficie del Tablazo Talara, se halla conformado por suelos SC, lo que indica que están compuestos por "arenas arcillosas" con apreciable cantidad de finos (39%) que pasan la malla 200. Son suelos con buena plasticidad, siendo excelentes aglutinantes. Su comprensibilidad y expansión es media a alta, siendo semipermeables a impermeables cuando se hallan compactados. Su capacidad portante es baja a media, por lo que su valor como cimiento es regular a bajo. Su textura refleja la litología del depósito marino.

- Los suelos de las muestras TA-02, TA-04 y TA-08 obtenidas en relieves de planicies llanas a onduladas, se hallan conformados por suelos SP, que indican que están compuestas por *“arenas pobremente graduadas”*, con escasos elementos finos (1.0, 4.0, 1.4 y 4.6 respectivamente) que pasan la malla 200 y que no afectan al drenaje interno ni a las características del suelo. Se caracteriza por su nula plasticidad, en tanto que su compresibilidad y expansión es casi nula. Compactado, es un material permeable, y si adicionalmente se encuentra saturado presenta una buena resistencia a la cizalladura y una muy baja compresibilidad. Son suelos no cohesivos con una capacidad portante media, por lo que su valor como cimiento es regular a bueno.
- Los suelos de las muestras TA-03 y TA-05 recolectadas en depósitos coluviales, al pie de taludes colinosos, corresponden según la clasificación SUCS a suelos CL, que indica que se hallan formadas por *“arcillas de baja plasticidad con arena”*, que presentan una compresibilidad y expansión media, siendo prácticamente impermeables. Compactados, consisten en suelos impermeables, presentando una regular resistencia a la cizalladura y una compresibilidad media cuando se hallan saturados. Son suelos con una baja capacidad portante, por lo que su valor como cimiento es bajo. Su textura refleja la litología de los depósitos coluviales.
- El suelo TA-06, recolectado en la planicie marina sobre el que se emplaza un sector de las instalaciones de la Refinería Talara, se encuentra constituido por una mezcla de *“gravas limosas con arena”*, correspondiendo según la clasificación SUCS a un suelo GM, que se caracteriza por su permeabilidad elevada, una muy débil compresibilidad y expansión, presentando una buena a regular resistencia a la cizalladura cuando están compactados y saturados. Son suelos de consistencia firme, con una susceptibilidad a licuefacción nula a baja y una capacidad portante alta, por lo que su valor como cimiento es bueno. Su textura refleja la litología de un sector de los depósitos marinos antiguos.
- El suelo TA-07, recolectado en otro sector de la planicie marina y sobre el que se emplaza otro grupo de instalaciones de la Refinería Talara, se encuentra constituido por una mezcla de *“gravas arcillosas con arena”*, corresponde según la clasificación SUCS a suelos GC, que se caracterizan por su permeabilidad media, una débil a muy débil compresibilidad y expansión, una buena a regular resistencia a la cizalladura cuando están compactados y saturados. Son suelos de consistencia firme, con una susceptibilidad a licuefacción nula y una capacidad portante alta, por lo que su valor como cimiento es bueno. Similarmente al caso anterior, su textura refleja la litología de un sector de los depósitos marinos antiguos.





ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD ESTRATIGRAFICA	SÍMBOLO
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO (RECIENTE)	Depósitos de Playa	Qr-pl
			Depósitos Eólicos	Qr-e
			Depósitos Coluviales	Qr-co
			Depósitos Aluviales Recientes	Qr-al
			Depósitos Marinos	Qr-m
TERCIARIO	PLEISTOCENO	Tablazo Talara	Qp-tt	
		Formación Talara	Te-t	

SIMBOLOGIA	
Capital de Distrito	
Infraestructura existente	
Vías Principales	
Ríos y Quebradas	
Curvas de Nivel	
Límite de Distritos	
Área de Influencia Indirecta	
Área de Influencia Directa	

SIMBOLO GEOLÓGICOS	
	Falla
	Rumbo y Buzamiento
	Contacto Formacional

Calicatas	Coordenadas UTM		Cota (msnm)
	Norte	Este	
TA-01	9495,052	470,305	86
TA-02	9494,164	471,050	68
TA-03	9493,376	470,829	64
TA-04	9492,830	470,898	55
TA-05	9492,242	469,957	28
TA-06	9493,614	469,542	6
TA-07	9494,004	469,193	4
TA-08	9493,386	468,176	1

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL  
MODERNIZACIÓN DE REFINERÍA TALARA**

**MAPA GEOLÓGICO**

Elaborado por: **Walsh Perú S.A.**  
Ingeniería y Consultoría Civil

Proyecto: PET 1353  
Mapa: 4.1.3-1  
Fecha: Diciembre, 2009

ESCALA: 1/15 000  
Proyección UTM, Datum WGS84, Zona 17

9497000 9496000 9495000 9494000 9493000 9492000

471000 470000 469000

468000 467000 466000

9497000 9496000 9495000 9494000 9493000 9492000