



Caracterización física y geotécnica de los suelos diatomáceos de la ciudad de San Clemente, Ica

Roberth Paúl Carrillo Elizalde, Juan Carlos Gómez Avalos

Instituto Geofísico del Perú, Ca. Badajoz # 169 – Urb. Mayorazgo IV etapa - Ate, Lima, Perú

(rcarrillo@igp.gob.pe/robertpa0562@gmail.com)

1. Introducción

La cuenca Pisco se encuentra ubicada en la parte sur de Lima, entre las costas de Ica y Yauca, constituye una cuenca de Antearco de edad Cenozoica (Eoceno medio), cuyo origen es predominantemente marino, esta cuenca yace sobre rocas de la Formación Chocolate, del Jurásico Inferior (201 Ma) que fueron depositadas en un medio acuoso, siendo posible, que el ambiente haya sido continental, para luego sumergirse en un mar de aguas someras, depositándose sedimentos finos que dieron lugar a calizas intercaladas con volcánicos.

Durante el Jurásico Medio (168 Ma) la depositación se vio influenciada por un proceso de regresión marina, donde la sedimentación tuvo lugar en aguas someras y tranquilas, teniendo mayor influencia continental.

Los sedimentos del Grupo Yura del Cretácico Inferior (145 Ma) continuaron depositándose en ambientes playeros con un ciclo de regresión marina. La presencia de cuarcitas con estratificación cruzada, indica un medio de alta energía (acción de olas y corrientes).

A finales del Cretácico Inferior (125 Ma), la actividad volcánica se reactivó en la región occidental (Arco volcánico de la Cordillera Occidental que ocurrió entre el Cretáceo y el Paleoceno; Muizon & Bellon, 1986), diferenciando una depositación de materiales volcánico sedimentarios con respecto al sector oriental, caracterizado por un mayor porcentaje de sedimentos arcillosos. La aparición de cuerpos intrusivos del Batolito con una edad de 95 Ma, produjo el hundimiento de la cuenca, permitiendo la sedimentación fina (lutitas y calizas) en la zona occidental.

La actividad volcánica continuó hasta el Paleógeno (66 Ma), plegando y fallando toda la secuencia para luego ser afectada por el emplazamiento del Batolito Andino, esto inició un período de erosión interrumpido por fallamiento normal que hizo descender la zona occidental y dar lugar a partir del Paleógeno Medio (41 Ma) a la

depositación de las formaciones Paracas y Pisco. Cabe indicar que, en el Eoceno Medio ocurrieron procesos de subsidencia y erosión marina causados por la reactivación de fallas, dando lugar a lodolitas ricas en diatomeas de la Fm. Yumaque, luego durante el Oligoceno Tardío continúan los procesos de subsidencia e incursión marina que conllevaron a la depositación de lodolitas tobáceas y diatomitas pertenecientes a la Formación Pisco Inferior; durante el Mioceno Medio continúa la subsidencia y sedimentación de la Formación Pisco Superior, finalmente, entre el Plioceno Tardío y el Pleistoceno, en la Cuenca Pisco se produjo un levantamiento regional producto de la subducción de la placa de Nasca, debajo de la continental, quedando expuestos en el Cuaternario Reciente facies finas (diatomitas, lodolitas y tobas) a procesos de erosión por los distintos agentes de meteorización (aire, vientos, precipitaciones, entre otros) que originaron sedimentos finos (suelos diatomáceos) que se sitúan en las inmediaciones del área urbana de la ciudad de San Clemente y que actualmente han modelado el relieve del lugar en mención, tales como elevaciones (lomas y colinas) ubicadas en las inmediaciones del área urbana; mientras que, los materiales inconsolidados una vez sedimentados, conforman el suelo y subsuelo del área urbana de San Clemente y alrededores (zonas de expansión poblacional); los mismos que están consisten en suelos diatomáceos (cubren el 60% del área de estudio), estos suelos tienen características muy particulares debido a su composición (diatomitas y arenas tobáceas): Peso específico bajo, elevada porosidad y contenido de humedad, baja capacidad portante y compresibilidad; propiedades físicas que fueron posibles determinar a través los aspectos geotécnicos (tipo de suelos, humedad, límites de Atterberg, así como capacidad de carga admisible); además de efectos secundarios (asentamientos diferenciales, deformaciones, entre otros) que son de gran importancia para establecer zonas adecuadas para los asentamientos urbanos.

En tal sentido, el objetivo principal de este trabajo es

identificar los distintos procesos geológicos que han originado los suelos de cimentación en la ciudad de San Clemente a fin de determinar su comportamiento mecánico en condiciones estáticas y dinámicas. Para lo cual se han llevado a cabo exploraciones geotécnicas como: Calicatas, ensayos de prospección geofísica (MASW y tomografías eléctricas), datos que permitirán conocer la estratigrafía del subsuelo y la presencia de los niveles freáticos.

Los resultados obtenidos permitirán establecer zonas con potencial de asentamientos diferenciales y deformaciones, así como la estabilidad de ladeas en la zona urbana de San Clemente.

2. Origen de suelos diatomáceos en San Clemente

La ciudad de San Clemente se encuentra ubicada en la Cuenca Pisco, la misma que desde el Jurásico vienen sufriendo procesos tectónicos de subsidencia y epirogenésis, estos se encuentran acompañados de cambios en el nivel del mar (transgresiones y regresiones marinas) que han originado sedimentos marinos del tipo orgánicos como resultado de la desintegración de algas marinas (diatomeas), estas al sedimentarse y producto del volcanismo han generado afloramientos de diatoma.

Durante el Pleistoceno la Cuenca Pisco fue levantada, generando relieves ondulados (lomas y colinas) conformadas por diatomitas y lodolitas, estas fueron erosionadas y dieron lugar a los suelos de cimentación de la ciudad de San Clemente.

3. Aspectos geomorfológicos

Para el reconocimiento de las geoformas se ha tomado en cuenta factores como pendiente del terreno y el agente geológico que ha intervenido en el modelado de la superficie. En el área de estudio se han diferenciado nueve (09) unidades geomorfológicas: lecho fluvial, llanura de inundación, 4 terrazas aluviales, acantilado, loma y colina en base a los criterios geográficos y morfo-estructurales, los cuales se resumen en la Cuadro 01 y Figura 01.

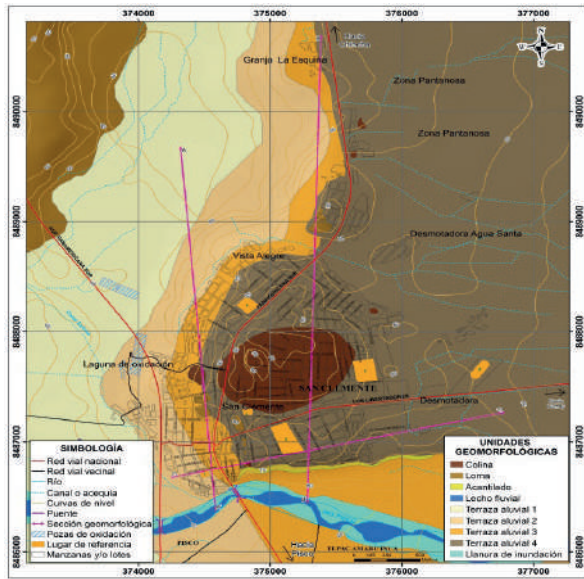
Cabe resaltar que, las geoformas elevadas (colinas y lomas) están conformadas de diatomitas de la Fm. Pisco.

Cuadro 01: Unidades geomorfológicas en San Clemente

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ORIGEN	PENDIENTE
LECHO FLUVIAL	DEPOSITACIONAL	< 5°
LLANURA DE INUNDACIÓN	DEPOSITACIONAL	< 5°
TERRAZA ALUVIAL 1	DEPOSITACIONAL	< 5°
TERRAZA ALUVIAL 2	DEPOSITACIONAL	20° - 25°
TERRAZA ALUVIAL 3	DEPOSITACIONAL	35° - 50°
TERRAZA ALUVIAL 4	DEPOSITACIONAL	5° - 20°
ACANTILADO	ESTRUCTURAL	> 50°
LOMA	DENUACIONAL	< 35°
COLINA	DENUACIONAL	< 20°

Elaboración propia

Figura 01. Geomorfología de la ciudad de San Clemente



4. Características geológicas de la ciudad de San Clemente

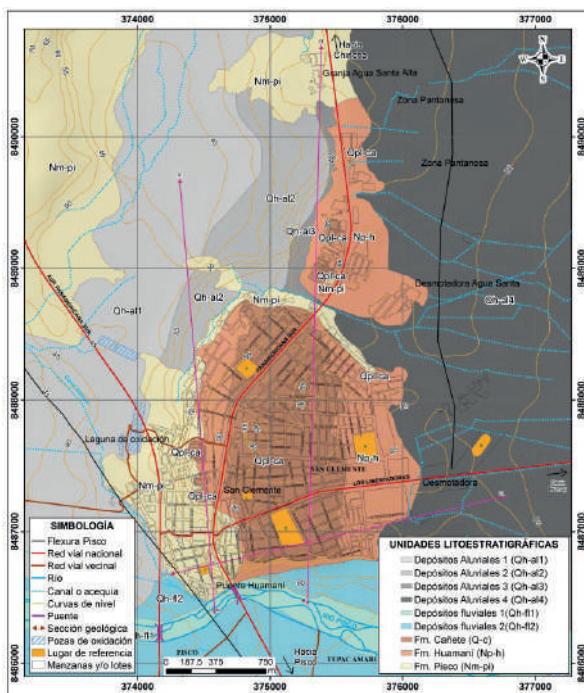
La secuencia estratigráfica local en la ciudad de San Clemente se encuentra representada desde el Mioceno por la Fm. Pisco (Nm-pi) que está conformada por diatomitas, limo-arcillitas, lutitas y lodolitas (depositadas en ambiente marino somero), litología que buza hacia el oeste y posee contenido de plasticidad elevado (33%) se ubica en las inmediaciones del área urbana y conformando lomas y colinas; luego, yacen en concordancia, areniscas arcillosas de grano fino, intercaladas con gravas y restos calcáreos, pertenecientes a la Fm Humaní (Np-h) que se encuentran aflorando en el acantilado ubicado al sur del **área urbana de San Clemente; en el Pleistoceno**, sobreyaciendo en discordancia angular, las unidades litológicas antes mencionadas, se tiene la Fm. Cañete (Qpl-ca) que está conformada por conglomerados heterogéneos y finalmente, se tienen los depósitos recientes, tales como los de origen fluvial y aluvial, de los cuales los últimos están conformados por material diatomáceo, Figura 02.

Cuadro 02: Columna crono-litoestratigráfica de la ciudad de San Clemente

ATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLÓGÍA	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPÓSITOS ALUVIALES 1	Qh-al1	GRAVAS REDONDEADAS Y SUB-REDONDEADAS INMERSAS EN MATRIZ ARENO-LIMOSA	
			DEPÓSITOS ALUVIALES 2	Qh-al2		
			DEPÓSITOS ALUVIALES 3	Qh-al3		
			DEPÓSITOS ALUVIALES 4	Qh-al4		
	NEÓGENO	PLEISTOCENO		DEPÓSITOS FLUVIALES 1	Qh-fl1	GRAVAS REDONDEADAS Y
				DEPÓSITOS FLUVIALES 2	Qh-fl2	ARENAS CON POCA O NULA
		MIOCENO		FORMACIÓN CAÑETE	Qpl-ca	CONGLOMERADOS COMPACTOS
				FORMACIÓN HUAMANÍ	Np-h	ARENISCAS ARCILLOSAS CON CONTENIDO DE GRAVAS
				FORMACIÓN PISCO	Nm-pi	DIATOMITAS, LIMOARCILLITAS LUTITAS.

Fuente: Dávila F., 1993

Figura 02. Geología de la ciudad de San Clemente



Fuente: Dávila F., 1993

5. Aspectos geotécnicos

La caracterización física de los suelos de cimentación en condiciones estáticas de la ciudad de San Clemente, se realizó en base a estudios geotécnicos llevados a cabo durante el año 2016, entre las exploraciones geotécnicas realizadas se elaboraron excavaciones a cielo abierto (10 calicatas), 09 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y 09 auscultaciones manuales con posteadora (barreno); mientras que para identificar las propiedades de los suelos en condiciones dinámicas se contó con información de ensayos geofísicos (MASW y tomografías eléctricas) realizados por IGP (Unidad de Ingeniería Sísmica).

De acuerdo a los resultados obtenidos, en la ciudad de San Clemente se reconocieron ocho tipos de suelos (SUCS) a profundidades de 1.20 m: En el extremo norte de San Clemente se tienen gravas arcillosas (GC) ocupando el 0.24% del área de estudio, arenas mal graduadas (SP) en las inmediaciones del área urbana de la ciudad (ocupan el 27.62 %), arenas limosas (SM) ocupando el 1.75 % del área de estudio (extremo noreste y occidental de San Clemente), arenas arcillosas (SC) comprenden el 1.49 % del área de estudio (norte del sector Vista Alegre); finalmente, se tienen suelos diatomáceos (limos y arcillas) orgánicos e inorgánicos (ML, CL, OL y OH) en los alrededores de la ciudad y comprenden más del 65 % del área en estudio, Figura 03.

La capacidad de carga admisible para los suelos de cimentación fue obtenida para una profundidad de 1.00 m y ancho de 1.00 m, obteniendo valores entre 0.5 y mayores a 3 kg/cm², los cuales fueron clasificados con capacidad portante: Muy baja, característica de suelos

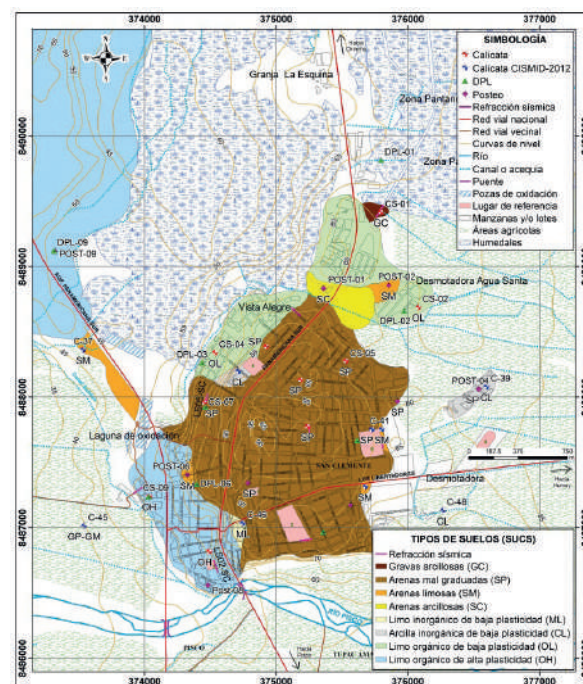
diatomáceos tipo OH y OL (ocupan el 8.46% del área de estudio y se ubican en el extremo oeste de la ciudad de San Clemente); baja en suelos tipo OL, SM y SC que fueron identificados en los extremos norte y noreste de San Clemente, específicamente sector Buena Vista (ocupan el 64.65% del área de estudio), media en arenas tipo SP, sobre las cuales se asienta el área urbana (comprenden el 17% del área de estudio) y alta que corresponde arenas con presencia de gravas (comprenden el 9.73% del área de estudio), en la Tabla 01 se indican los valores de las clases de capacidad portante.

Tabla 01. Clasificación de la capacidad de carga admisible

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kg/cm ²)	CLASIFICACIÓN
< 1.0	MUY BAJA
1.0 – 2.0	BAJA
2.0 – 3.0	MEDIA
>3.0	ALTA

Fuente: Hurtado (2000). Modificado.

Figura 03. Mapa de suelos de la ciudad de San Clemente



5.1 Ensayos de prospección geofísica

Según los ensayos de prospección geofísica (MASW y tomografía eléctrica) y en base a la Tabla 02, se han reconocido perfiles de suelos blandos (<180 m/s) de 3 m de espesor en el extremo occidental del área urbana

de San Clemente, mientras que los suelos son intermedios hasta profundidades aproximadas de 20m, Cuadro 03 y Figura 04.

Tabla 02. Clasificación de los perfiles de los suelos

PERFIL	TIPO DE SUELO	VELOCIDAD ONDA DE CORTE (Vs)
S ₀	ROCA DURA	>1500 m/s
S ₁	ROCA O SUELOS MUY RÍGIDOS	500-1500 m/s
S ₂	SUELOS INTERMEDIOS	180-500 m/s
S ₃	SUELOS BLANDOS	<180 m/s

Fuente: Ministerio de construcción y vivienda (2016)

Cuadro 03: Valores de velocidad de onda de corte en San Clemente

ENSAYO	CAPA SÍSMICA	ESPESOR (m)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	DENSIDAD (g/cm ³)
1	1	3	179	715	1.5
	2	8	225	1190	1.7
	INDEFINIDO	--	325	1635	1.9
2	1	3	224	758	1.6
	2	8	302	791	1.6
	INDEFINIDO	--	474	1459	1.8
3	1	3	163	1066	1.7
	2	8	295	1457	1.8
	INDEFINIDO	--	435	1922	2
4	1	7	385	1066	1.7
	2	19	487	1457	1.8
	INDEFINIDO	--	750	1922	2
5	1	5	151	942	1.6
	2	10	200	1356	1.8
	INDEFINIDO	--	364	2161	2
6	1	7	629	1959	2
	2	19	696	2275	2.1
	INDEFINIDO	--	498	2500	2.1
7	1	9	278	908	1.6
	INDEFINIDO	--	351	1486	1.6
8	1	5	591	1385	1.8
	2	20	641	1564	1.9
	INDEFINIDO	--	470	2085	2

Fuente: IGP, 2016

6. Condiciones geotécnicas especiales

Los suelos ubicados en las inmediaciones del área urbana de San Clemente (extremo occidental) se caracterizan por presentar contenido de humedad mayor al 80% y consisten en limos orgánicos (OH) que presentan densidad húmeda menor a 1.40 gr/cm³ e índice plástico mayor a 30.

Propiedades físicas de los suelos que son características de arcillas sensitivas (arcillas saturadas) que se encuentran sometidas a asentamientos del suelo, tanto elásticos como, los ocurridos a través del tiempo.

7. Parámetros dinámicos de los suelos

Para determinar el comportamiento dinámico de los suelos diatomáceos ante esfuerzos aplicados a los suelos y deformaciones producidas se han calculado, a través de la velocidad de las ondas sísmicas (V_p y V_s) y la densidad del material los módulos elásticos: Relación de Poisson (variación de la sección transversal con respecto a la elongación como respuesta a un esfuerzo perpendicular a la sección), **módulo de rigidez** (resistencia de un cuerpo ante un esfuerzo de corte) y **módulo de Young** (resistencia que opone un cuerpo ante un esfuerzo extensional). De acuerdo a ello se han obtenido los siguientes valores para la ciudad de San Clemente:

Cuadro 04: Módulos elásticos de suelos de la ciudad de San Clemente

ENSAYO	CAPA SÍSMICA	ESPESOR (m)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	DENSIDAD (g/cm ³)	RELACIÓN DE POISSON (ν)	MÓDULO DE RIGIDEZ (G) MN/m ²	MÓDULO DE YOUNG (E) MN/m ²	TIPO DE SUELO
1	1	3	179	715	1.5	0.47	48.06	140.97	OH
	2	8	225	1190	1.7	0.48	86.06	255.00	
	INDEFINIDO	--	325	1635	1.9	0.48	200.69	593.81	
2	1	3	224	758	1.6	0.45	80.28	233.16	OH
	2	8	302	791	1.6	0.41	145.93	412.88	
	INDEFINIDO	--	474	1459	1.8	0.44	404.42	1165.53	
3	1	3	163	1066	1.7	0.49	45.17	134.42	GC
	2	8	295	1457	1.8	0.48	156.65	463.24	
	INDEFINIDO	--	435	1922	2	0.47	378.45	1114.92	
4	1	7	385	1066	1.7	0.42	251.98	718.15	SC
	2	19	487	1457	1.8	0.44	426.90	1227.02	
	INDEFINIDO	--	750	1922	2	0.41	1125.00	3172.93	
5	1	5	151	942	1.6	0.49	36.48	108.48	SP
	2	10	200	1356	1.8	0.49	72.00	214.40	
	INDEFINIDO	--	364	2161	2	0.49	264.99	787.24	
6	1	7	629	1959	2	0.44	791.28	2282.89	SP
	2	19	696	2275	2.1	0.45	1017.27	2946.78	
	INDEFINIDO	--	498	2500	2.1	0.48	520.81	1540.91	
7	1	9	278	908	1.6	0.45	123.65	358.17	SP
	INDEFINIDO	--	351	1486	1.6	0.47	197.12	579.72	
8	1	5	591	1385	1.8	0.39	628.71	1746.15	SP
	2	20	641	1564	1.9	0.40	780.67	2184.41	
	INDEFINIDO	--	470	2085	2	0.47	441.80	1301.75	

Los resultados indican que los suelos situados en el extremo occidental de San Clemente están constituidos por arcillas de compacidad media a dura y que podrían presentar asentamientos a lo largo del tiempo.

Figura 04. Exploraciones geofísica en San Clemente

8. Asentamientos de suelos en San Clemente

En la ciudad de San Clemente se calcularon asentamientos elásticos o inmediatos para cimentaciones flexibles haciendo uso de la fórmula de Harr (1966) para D_f=0 y H=Ind; y los parámetros dinámicos obtenidos de los ensayos de refracción sísmica llevados a cabo por IGP (Relación de Poisson y **módulo de Young**), resultados que se adjuntan en el Cuadro 05:

$$S_e = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - u^2) \alpha$$

Dónde:

Cuadro 05: Cálculo de asentamientos elásticos de los suelos de la ciudad de San Clemente

ENS.	CAPA SÍSMICA	ESPESOR (m)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	DENS. (g/cm ³)	v	G (MN/m ²)	E (MN/m ²)	TIPO DE SUELO	L	B	q (KN/m ²)	ASEN.
1	1	3	179	715	1.5	0.47	48.06	140.97	OH	1	1	4050	25.235
	2	8	225	1190	1.7	0.48	86.06	255.00		1	1	4050	13.699
	INDEFINITE	--	325	1635	1.9	0.48	200.69	593.81		1	1	4050	5.898
2	1	3	224	758	1.6	0.45	80.28	233.16	OH	1	1	4050	15.515
	2	8	302	791	1.6	0.41	145.93	412.88		1	1	4050	9.120
	INDEFINITE	--	474	1459	1.8	0.44	404.42	1165.53		1	1	4050	3.143
3	1	3	163	1066	1.7	0.49	45.17	134.42	GC	1	1	4050	25.771
	2	8	295	1457	1.8	0.48	156.65	463.24		1	1	4050	7.567
	INDEFINITE	--	435	1922	2	0.47	378.45	1114.92		1	1	4050	3.166
4	1	7	385	1066	1.7	0.42	251.98	718.15	SC	1	1	4050	5.188
	2	19	487	1457	1.8	0.44	426.90	1227.02		1	1	4050	2.998
	INDEFINITE	--	750	1922	2	0.41	1125.00	3172.93		1	1	4050	1.192
5	1	5	151	942	1.6	0.49	36.48	108.48	SP	1	1	4050	31.983
	2	10	200	1356	1.8	0.49	72.00	214.40		1	1	4050	16.140
	INDEFINITE	--	364	2161	2	0.49	264.99	787.24		1	1	4050	4.415
6	1	7	629	1959	2	0.44	791.28	2282.89	SP	1	1	4050	1.602
	2	19	696	2275	2.1	0.45	1017.27	2946.78		1	1	4050	1.233
	INDEFINITE	--	498	2500	2.1	0.48	520.81	1540.91		1	1	4050	2.273
7	1	9	278	908	1.6	0.45	123.65	358.17	SP	1	1	4050	10.144
	2	20	441	1564	1.9	0.40	780.67	2184.41		1	1	4050	1.750
	INDEFINITE	--	351	1486	1.6	0.47	197.12	579.72		1	1	4050	6.108
8	1	5	591	1385	1.8	0.39	628.71	1746.15	SP	1	1	4050	2.211
	2	20	641	1564	1.9	0.40	780.67	2184.41		1	1	4050	1.750
	INDEFINITE	--	470	2085	2	0.47	441.80	1301.75		1	1	4050	2.711

Elaboración Propia

Cabe mencionar que, se realizaron los cálculos de asentamientos para cargas unitarias de 4000 KN/m² y ancho y largo de cimentación de 1 m, debido a que, con esta carga se obtuvieron asentamientos de 25 mm (valor permisible según Terzaghi y norma E.050), respecto a ello se ha determinado que los suelos diatomáceos ubicados en zonas con humedad de 81.87 % en el extremo oeste de la ciudad de San Clemente (LS01-SC) presentan el mismo comportamiento dinámico (asentamientos del suelo de 25 mm) que las gravas arcillosas (% humedad=8) que se ubican en el extremo norte de la ciudad (LS03-SC); mientras que, los suelos diatomáceos con contenido de humedad del 100%, ubicados en el extremo suroeste de San Clemente (LS02-SC) no presenta potencial de asentamiento (15 mm) que pueda afectar las viviendas ubicadas sobre esta zona. Finalmente, se infiere que las arenas mal graduadas (SP) que se ubican en el extremo oeste (LS05-SC) son las que presentan mayor potencial de asentamientos (alrededor de 31 mm) y solo presentan porcentaje de humedad de 14.81%.

9. Discusión

Geotécnicamente, en el extremo occidental de la ciudad de San Clemente se ubican suelos de origen orgánico del tipo diatomáceos; debido a sus propiedades físicas y módulos elásticos se consideran como arcillas sensitivas con espesores aproximados de 3m.

Comparando los resultados obtenidos del cálculo de asentamientos se infiere que, los suelos diatomáceos (LS02-SC) con mayor cantidad de material orgánico (diatomeas) presentan mayor humedad (IP=91.30, LL=149.3 y % finos=91.30) y asentamiento de suelos que no pasa los límites permisibles propuestos por Terzaghi (25 mm); mientras que, los suelos diatomáceos (LS01-SC) mezclados con limos (IP=33.24, LL=101.32 e % finos=81.87) presentan el mismo comportamiento dinámico (asentamientos de 25 mm) que las gravas arcillosas ubicadas al extremo norte de la ciudad (LS03-SC) cuyas propiedades geotécnicas son LL=33.72, IP=10.26 y % finos=15.24%. Finalmente, las arenas mal graduadas (SP) ubican en el extremo

oeste de la ciudad (LS05-SC) son las que presentan mayor asentamiento de suelos (31 mm) debido a que su densidad es muy baja (suelta) y presentan contenido de humedad de 15%.

Los resultados comparados han permitido determinar que los suelos diatomáceos son compresibles, sin embargo los asentamientos no son considerables (< 25 mm) si hay mayor contenido de material orgánico como las diatomeas, los suelos diatomáceos con menor % de materia fina u orgánico (mezcladas con limo) presentan el mismo comportamiento que las gravas arcillosas ubicadas en el extremo norte.

Las afirmaciones anteriores, permiten inferir que los suelos diatomáceos, a pesar de poseer índice plástico mayor a 30% y capacidad portante menor a 1 Kg/cm² (muy baja) no presentan potencial de asentamientos, mientras mayor sea el contenido de componentes orgánicos.

10. Conclusiones

El mayor aporte de los sedimentos en la cuenca Pisco son de origen marino, es decir por sedimentación de material orgánico (diatomeas) originadas desde el Cenozoico.

Los materiales que conforman el subsuelo de la ciudad de San Clemente corresponden a depósitos aluviales que se encuentran conformados por materiales heterogéneos (arenas limosas y clastos aislados de gravas) que suprayacen a los conglomerados de la Fm. Cañete y areniscas de la Fm. Huamani. El substrato rocoso de la ciudad en mención lo constituyen rocas diatomitas y limo-arcillitas de la Formación Pisco.

En base a los ensayos de geofísica se ha podido determinar que en San Clemente se presentan tres tipos de suelos: Blandos hasta profundidades de hasta 5 m e intermedios; los cuales presentan valores de densidad inferior a 2.1 g/cm³ (característicos de suelos moderadamente densos).

La relación entre las velocidades de las ondas de corte (V_s) y compresión (V_p) han permitido obtener los valores de parámetros dinámicos del suelo, tales como: relación de Poisson, módulo de rigidez y módulo de Young. Los valores de Poisson en su mayoría presentan valores alrededor de 0.5 (característicos de arcillas saturadas).

Se han identificado ocho tipos de suelo en la ciudad de San Clemente, entre los cuales predominan: limos orgánicos de baja plasticidad (OL), arenas mal graduadas (SP) y limo orgánico de alta plasticidad (OH); los mismos que presentan capacidad de carga admisible baja (1 – 2 Kg/cm²) al extremo norte (Asoc. Villa Esperanza y Vista Alegre), alta (> 3.00 kg/cm²) al este de la I.E María Parado de Bellido, media (2 – 3 Kg/cm²) en el casco urbano central y capacidad de carga admisible muy baja (< 1.00 kg/cm²) en el extremo sur-occidental de la ciudad (inmediaciones de las lagunas de oxidación).

Los suelos diatomáceos (OH y OL) en su mayoría presentan contenido de humedad mayor al 100%, índice plástico mayor a 30 y modulo elástico de Poisson de 0.5, característicos de arcillas saturadas sensitivas susceptibles a asentamientos.

Los suelos diatomáceos con mayor cantidad de material orgánico (diatomitas) presentan mayor contenido de humedad (alrededor del 100%), baja capacidad portante ($<1\text{kg/cm}^2$) e IP mayor a 40, así como, asentamientos de 15 mm para cimentaciones de ancho y largo de 1 m. así como cargas unitarias de 4000 KN/m^2 .

Los suelos diatomáceos con menor contenido de material orgánico y mezclado con limos u arenas presentan asentamientos de 25 mm, debido a que los anteriores se comportan como roca (diatomita).

Los suelos con mayor contenido de materia orgánico, aparentemente pueden ser utilizados como insumo para mejoramiento de la resistencia de los suelos, tales como las arenas y gravas arcillosas ubicadas en el extremo occidental y norte de San Clemente.

Agradecimientos

Al Instituto Geofísico del Perú por el apoyo en los trabajos de investigación realizados en campo.

Referencias

- Aguilar, A. et al, 2014. El down hole aplicado en la caracterización dinámica de suelos del centro histórico de la Ciudad de Puebla.
- Carrillo, P. et al, 2009. Asentamientos en suelos arcillosos en casos en que los criterios 1-d y consolidación primaria no son suficientes
- Dávila, M., 1993 - INGEMMET. Geología del cuadrángulo de Pisco (hoja 28 K) – Boletín N° 47. Serie A: Carta Geológica Nacional.
- Instituto Geofísico del Perú. 2016. Zonificación sísmica geotécnica de la ciudad de San Clemente, v. 1, p. 1-124.
- Juárez, E., 1973. Mecánica de Suelos, Tomo I, Fundamentos de la Mecánica de Suelos.