

MICROZONIFICACIÓN DE LA CIUDAD DE ICA FRENTE A SISMOS E INUNDACIONES

Grover J. Mitma Montes ⁽¹⁾

Jorge E. Alva Hurtado ⁽²⁾

RESUMEN

Los sismos y las inundaciones son los fenómenos naturales que han causado más daños en el Perú. La ciudad de Ica, al sur de Lima, la capital del Perú, fue afectada por un sismo reciente el 12 de Noviembre de 1996. Asimismo, los días 23 y 29 de Enero de 1998 la ciudad fue afectada por inundaciones producto de la crecida del río Ica por el Fenómeno de El Niño.

La ciudad de Ica se encuentra en pleno desarrollo urbano, por lo que es necesario determinar áreas de expansión urbana y mejorar su infraestructura física. El sismo reciente y las inundaciones afectaron grandemente la ciudad. En este trabajo se documenta las investigaciones que se han llevado a cabo con referencia a la geología y geomorfología locales, la hidrología, características geotécnicas, susceptibilidad a la licuación de suelos y a las inundaciones.

Para la ciudad de Ica se presenta una zonificación geotécnica en base a la capacidad portante del suelo para una cimentación típica utilizando resultados de ensayos de penetración estándar; se presenta un mapa de potencial de licuación de suelos, asumiendo la elevación del nivel freático en la ciudad por las próximas irrigaciones que se efectuarán en la cuenca alta del río Ica y el cese de la explotación agua subterránea y finalmente se presenta la microzonificación de la ciudad frente a Sismos e Inundaciones.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS

La zona entre Pisco y Nazca, en la que se encuentra involucrada Ica, presenta tres regiones naturales fáciles de distinguir por su litología, sus estructuras y su topografía. Dichas regiones son el flanco occidental de la Cordillera de Los Andes conformada por rocas precuaternarias, la relativamente baja Cordillera de la Costa formada por afloramientos aislados de intrusivos, y las tierras bajas de las colinas suaves situadas entre las dos cordilleras y la que se denomina Llanura Pre-Andina, compuesta por rocas cuaternarias que conforman la planicie aluvial costera conjuntamente con el recubrimiento eólico.

(1) Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería

(2) Profesor Principal, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería

CLIMA E HIDROLOGÍA

En general, el clima de Ica es cálido y seco, tipo desértico, siendo la humedad atmosférica alta en el litoral y disminuyendo hacia el interior. Su temperatura promedio en verano es de 32° y en invierno es de 17°.

Las lluvias son escasas, pero ocasionalmente puede llover fuertemente como sucedió el 29 de Enero de 1998.

Las crecidas del río Ica se deben principalmente a las fuertes precipitaciones en su cuenca altoandina y en muchos casos también a la contribución de descargas de las quebradas que se encuentran en la parte occidental de la Cordillera de los Andes, como es el caso de la Qda. La Yesera, la Qda. Cansas, la Qda. Tortolitas y la Qda. Yaurilla, entre otras.

Se presenta el Cuadro N° 1 en el que se muestra una lista de descargas máximas anuales de 77 años, desde el año 1922 al año 1998, con las que se calcularán los caudales máximos del río Ica para diferentes periodos de retorno usando dos métodos: el método de Gumbel y el método de Log Person, mostrados en los Cuadros N° 2 y 3.

**Cuadro N° 1: Descargas Máximas Anuales del Río Ica (1922 - 1998)
(Meléndez y Castillo, 1998)**

Año	Q(m ³ /s)	Log(Q)
1922	234.6	2.37033
1923	238.0	2.37658
1924	156.4	2.19424
1925	181.7	2.25935
1926	125.1	2.09726
1927	161.2	2.20737
1928	117.1	2.06856
1929	162.4	2.21059
1930	129.3	2.11160
1931	88.0	1.94448
1932	253.0	2.40312
1933	287.5	2.45864
1934	368.0	2.56585
1935	196.7	2.29380
1936	176.2	2.24601
1937	91.3	1.96047
1938	186.9	2.27161
1939	176.2	2.24601
1940	73.8	1.86806
1941	59.0	1.77085
1942	316.2	2.49996
1943	273.1	2.43632
1944	260.6	2.41597
1945	91.0	1.95904
1946	341.0	2.53275
1947	50.3	1.70157
1948	153.6	2.18639
1949	226.8	2.35564
1950	67.6	1.82995
1951	245.0	2.38917
1952	154.2	2.18808
1953	316.8	2.50079
1954	169.1	2.22814
1955	283.5	2.45255
1956	120.0	2.07918
1957	176.4	2.24650
1958	47.3	1.67486
1959	92.1	1.96426

1967	350.0	2.54407
1968	52.7	1.72181
1969	205.0	2.31175
1970	180.0	2.25527
1971	114.2	2.05767
1972	280.0	2.44716
1973	235.0	2.37107
1974	202.4	2.30621
1975	412.0	2.61490
1976	300.0	2.47712
1977	219.0	2.34044
1978	63.7	1.80414
1979	120.0	2.07918
1980	195.4	2.29092
1981	126.9	2.10346
1982	263.6	2.42095
1983	420.0	2.62325
1984	250.0	2.39794
1985	273.3	2.43664
1986	425.1	2.62849
1987	115.6	2.06296
1988	116.7	2.06707
1989	113.6	2.05538
1990	123.5	2.09167
1991	124.5	2.09517
1992	19.0	1.27875
1993	53.0	1.72428
1994	148.8	2.17260
1995	300.0	2.47712
1996	162.2	2.21005
1997	62.5	1.79588
1998	600.0	2.77815

Promedio	190.4
Desviación estándar	106.6
Promedio logaritmos	2.2
Desv. Estánd. Logaritmos	0.3
Coefficiente de asimetría	-0.7

Nota: El caudal de 600 m³/s del año es tomado del Informe del Fenómeno de El Niño 1997-1998 (CIP) por ser más conservador.

Cuadro N° 2: Qmáx para diferentes Tr (Gumbel)

Tr (años)	p	K	Q(m ³ /s)
5	0.2	0.80	275.68
10	0.1	1.43	342.84
20	0.05	2.04	407.86
50	0.02	2.83	492.08
100	0.01	3.41	553.91
200	0.005	4.00	616.80
400	0.0025	4.53	673.30

Cuadro N° 3: Qmáx para diferentes Tr (Log-Peron)

Tr (años)	P	K	LogX	Q(m ³ /s)
5	0.20	0.86	2.458	287.1
10	0.10	1.20	2.560	363.1
25	0.04	1.50	2.650	446.7
50	0.02	1.70	2.710	512.9
100	0.01	1.80	2.740	549.5

De estos cuadros se concluye que una avenida extraordinaria de 550 m³/s, cercana a 600 m³/s alcanzada en la inundación del 29 de Enero de 1998, sucedería con un periodo de retorno de 100 años. Además, para un periodo de retorno de 5 años se espera un caudal aproximado de 280 m³/s, el cual excedería el máximo permitido por el canal del río en la ciudad, que es de 250 m³/s, ocasionando desbordes del río.

CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

Se efectuaron ensayos de campo y de laboratorio realizados por el CISMID (Lara y Alva, 1994), con la colaboración de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica (Vergara, 1992) y por la empresa Hidroenergía Consultores (1998), los que consistieron en ensayos SPT, calicatas, granulometría, determinación de los límites de Atterberg, corte directo y consolidación.

Para determinar la capacidad admisible del suelo, se ha considerado una cimentación tipo zapata corrida de 0.60 m de ancho y 0.80 m de profundidad de desplante, por ser la más típica del lugar y la más desfavorable en comparación con otros tipos de cimentación superficiales.

La capacidad de carga se ha determinado basándose en la fórmula de Terzaghi y Peck (1967), utilizando los factores de forma de Vesic (1973) y los asentamientos adoptados con el criterio de limitar éstos a 1 pulgada. Los resultados se muestran en el Cuadro N° 4.

Finalmente, con los resultados obtenidos se determinó tres zonas con características geotécnicas diferentes como se muestra en la Figura N° 1, cuyo resumen se presenta en el Cuadro N° 5.

Cuadro Nº 4: Resumen de Valores de Carga Admisible para Ica

																				METODO TERZAGHI	METODO ELASTICO	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE			
SONDAJE	SUCS	DF	G1	G2	B	L	N	C	Fi	Nc	Nq	NG	Sc	Sq	SG	QULT	QAD1	RHO1	U	E	IW	RHO2	QAD2	QAD3	QAD
SPT - 1	SM	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	15.0	0.0	30.0	30.1	18.4	22.4	1.1	1.1	1.0	3.5	1.2	0.4	0.3	1000.0	2.5	0.6	2.8	1.8	1.2
SPT - 2	SM	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	15.0	0.0	30.0	30.1	18.4	22.4	1.1	1.1	1.0	3.5	1.2	0.4	0.3	1000.0	2.5	0.6	2.8	1.8	1.2
SPT - 3	SM	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	15.0	0.0	30.0	30.1	18.4	22.4	1.1	1.1	1.0	3.5	1.2	0.4	0.3	1000.0	2.5	0.6	2.8	1.8	1.2
SPT - 4	SM	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	20.0	0.0	32.0	35.5	23.8	30.2	1.1	1.1	1.0	4.6	1.5	0.4	0.3	1250.0	2.5	0.7	3.7	2.3	1.5
SPT - 5	ML	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	18.0	0.0	31.0	32.6	20.6	26.0	1.1	1.1	1.0	4.0	1.3	0.4	0.3	1000.0	2.5	0.7	3.3	1.8	1.3
SPT - 6	ML	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	20.0	0.0	32.0	35.5	23.2	30.2	1.1	1.1	1.0	4.6	1.5	0.4	0.3	1250.0	2.5	0.7	3.7	2.3	1.5
SPT - 7	SM	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	22.0	0.0	32.0	35.5	23.2	30.2	1.1	1.1	1.0	4.6	1.5	0.4	0.3	1250.0	2.5	0.7	4.1	2.3	1.5
SPT - 8	ML	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	22.0	0.0	32.0	35.5	23.2	30.2	1.1	1.1	1.0	4.6	1.5	0.4	0.3	1250.0	2.5	0.7	4.1	2.3	1.5
SPT - 9	SM	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	25.0	0.0	33.0	38.7	26.1	35.2	1.1	1.1	1.0	5.2	1.7	0.4	0.3	1250.0	2.5	0.8	4.6	2.3	1.7
SPT - 10	SM	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	20.0	0.0	32.0	35.5	23.2	30.2	1.1	1.1	1.0	4.6	1.5	0.4	0.3	1250.0	2.5	0.7	3.7	2.3	1.5
SPT - 11	ML	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	20.0	0.0	32.0	35.5	23.2	30.2	1.1	1.1	1.0	4.6	1.5	0.4	0.3	1250.0	2.5	0.7	3.7	2.3	1.5
SPT - 12	ML	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	25.0	0.0	33.0	38.7	26.1	35.2	1.1	1.1	1.0	5.2	1.7	0.4	0.3	1250.0	2.5	0.8	4.6	2.3	1.7
SPT - 13	ML	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	20.0	0.0	32.0	35.5	23.2	30.2	1.1	1.1	1.0	4.6	1.5	0.4	0.3	1250.0	2.5	0.7	3.7	2.3	1.5
SPT - 14	ML	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	25.0	0.0	33.0	38.7	26.1	35.2	1.1	1.1	1.0	5.2	1.7	0.4	0.3	1250.0	2.5	0.8	4.6	2.3	1.7
SPT - 15	SM	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	5.0	0.0	28.0	25.8	14.7	16.7	1.1	1.1	1.0	2.8	0.9	1.0	0.3	500.0	2.5	1.0	0.9	0.9	0.9
SPT - 16	SM	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	15.0	0.0	30.0	30.1	18.4	22.4	1.1	1.1	1.0	3.5	1.2	0.4	0.3	1000.0	2.5	0.6	2.8	1.8	1.2
SPT - 17	ML	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	25.0	0.0	33.0	38.7	26.1	35.2	1.1	1.1	1.0	5.2	1.7	0.4	0.3	1250.0	2.5	0.8	4.6	2.3	1.7
SPT - 18	ML	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	15.0	0.0	30.0	30.1	18.4	22.4	1.1	1.1	1.0	3.5	1.2	0.4	0.3	1000.0	2.5	0.6	2.8	1.8	1.2
SPT - 19	ML	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	20.0	0.0	32.0	35.5	23.2	30.2	1.1	1.1	1.0	4.6	1.5	0.4	0.3	1250.0	2.5	0.7	3.7	2.3	1.5
SPT - 20	ML	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	15.0	0.0	30.0	30.1	18.4	22.4	1.1	1.1	1.0	3.5	1.2	0.4	0.3	1000.0	2.5	0.6	2.8	1.8	1.2
SPT - 21	ML	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	15.0	0.0	30.0	30.1	18.4	22.4	1.1	1.1	1.0	3.5	1.2	0.4	0.3	1000.0	2.5	0.6	2.8	1.8	1.2
SPT - 22	SM	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	15.0	0.0	30.0	30.1	18.4	22.4	1.1	1.1	1.0	3.5	1.2	0.4	0.3	1000.0	2.5	0.6	2.8	1.8	1.2
SPT - 23	ML	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	10.0	0.0	29.0	27.8	16.4	19.3	1.1	1.1	1.0	3.1	1.0	0.6	0.3	750.0	2.5	0.8	1.9	1.4	1.0
SPT - 24	ML	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	8.0	0.0	28.0	25.8	14.7	16.7	1.1	1.1	1.0	2.8	0.9	0.6	0.3	500.0	2.5	1.0	1.5	0.9	0.9
SPT - 25	ML	0.8	1.5	1.6	0.6	5.0	5.0	0.0	28.0	25.8	14.7	16.7	1.1	1.1	1.0	2.7	0.9	1.0	0.3	500.0	2.5	1.0	0.9	0.9	0.9
SPT - 26	SM	0.8	1.7	1.7	0.6	5.0	10	0.0	29.0	27.8	16.4	19.3	1.1	1.1	1.0	3.4	1.1	0.3	0.3	1000.0	2.5	0.6	5.9	1.8	1.1
SPT - 27	SM	0.8	1.7	1.7	0.6	5.0	13	0.0	30.0	30.1	18.4	22.4	1.1	1.1	1.0	3.9	1.3	0.3	0.3	1000.0	2.5	0.6	7.7	1.8	1.3
SPT - 28	SM	0.8	1.7	1.7	0.6	5.0	13	0.0	30.0	30.1	18.4	22.4	1.1	1.1	1.0	3.9	1.3	0.3	0.3	1000.0	2.5	0.6	7.7	1.8	1.3
SPT - 29	SM	0.8	1.7	1.7	0.6	5.0	11	0.0	31.0	32.6	20.6	26.0	1.1	1.1	1.0	4.4	1.5	0.3	0.3	1000.0	2.5	0.6	6.5	1.8	1.5
SPT - 30	ML	0.8	1.7	1.7	0.6	5.0	12	0.0	24.0	19.3	9.6	9.4	1.1	1.1	1.0	1.9	0.6	0.3	0.3	1250.0	2.5	0.7	7.1	2.3	0.6

Donde:

DF = PROFUNDIDAD DE CIMENTACION (m)

G1 = PESO ESPECIFICO POR ENCIMA DEL NIVEL DE CIMENTACION (TN / M³)

G2 = PESO ESPECIFICO POR DEBAJO DEL NIVEL DE CIMENTACION (TN / M³)

B = ANCHO DE LA CIMENTACION (m)

L = LONGITUD DE LA CIMENTACION (m)

N = Nro. DE GOLPES / PIE DEL ENSAYO SPT

C = COHESION DEL SUELO (TN / M²)

Fi = ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA

RHO1 = ASENTAMIENTO (Pulg). METODO DE TERZAGHI

RHO2 = ASENTAMIENTO (Pulg). METODO ELASTICO

U = RELACION DE POISSON

E = MODULO DE YOUNG

Iw = FACTOR DE INFLUENCIA DE BOWLES

QULT = CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA (KG / CM²)

QAD1 = CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (KG / CM²)

QAD2 = CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE PARA UN ASENTAMIENTO DE 1 Pulg. (TERZAGHI), KG / CM²

QAD3 = CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE PARA UN ASENTAMIENTO DE 1 Pulg. (MET. ELASTICO), KG / CM²

QAD = CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (KG / CM²)

Cuadro N° 5: Tipos de Suelo en Ica

ZONA	SUELO PREDOMINANTE	CARGA ADMISIBLE (Kg / cm ²)
1	ML	1.5 - 2.0 Kg / cm ²
2	SM	1.0 - 1.5 Kg / cm ²
3	SP	0.5 - 1.0 Kg / cm ²

MICROZONIFICACIÓN DEL POTENCIAL DEL PELIGRO

El estudio del peligro sísmico de la ciudad de Ica se realizó empleando el método de Cornell y aplicando el Programa de Cómputo RISK (McGuire,1976). De este análisis se ha obtenido el Cuadro N° 6 de aceleraciones máximas esperadas que corresponden al basamento rocoso o suelo firme.

Cuadro N° 6: Aceleraciones Máximas Esperadas

Lugar	Aceleración máxima	
	Nivel de excedencia (10%)	
	50 años, vida útil	100 años, vida útil
Ciudad de Ica	0,46 g	0,54 g

Zonificación por Licuación de Suelos

Considerando que el suelo de Ica está conformado mayormente por arenas del tipo SP en la Zona 3 y del tipo SM y SC en la Zona 2 con valores de N de SPT bajos y que Ica se encuentra en una zona altamente sísmica, con sismos de hasta X MMI y valores altos de aceleración se ha podido determinar zonas en la ciudad de Ica con Potencial de Licuación, sobre todo en los lugares cercanos al río Ica (Figura N° 2).

Para determinar estas zonas se ha empleado el programa de cómputo DLICUA (Parra, 1992), en el que se eligió el método de Seed e Idriss por ser el más conservador. Para el uso de este programa se requirió conocer algunos parámetros, tales como: clasificación de suelo (SUCS), densidad relativa, valores de N del SPT, magnitud de un sismo fuerte (para nuestro caso Ms = 7.5), aceleración máxima (obtenida de programa de cómputo RISK 0.46g para un periodo de vida útil de 50 años) y nivel freático.

El nivel freático fue asumido bajo el criterio de que esta zona se encuentra cerca al río Ica y que las filtraciones son importantes cuando el río se carga. Si tomamos en consideración que con el proyecto Tambo-Ccaracocha el río mencionado se mantendrá con caudal durante casi todo el año permitiendo continuas filtraciones, y si además se restringe el uso indiscriminado de pozos, entonces se puede decir que el nivel freático se recuperará en algunos metros, pudiendo colocarse cerca de la superficie en algunos lugares de la ciudad cercanos al río.

Zonificación por Inundaciones

Esta zonificación se ha hecho clasificando zonas de acuerdo a la frecuencia en que han sucedido las inundaciones. Para ello se ha tomado en cuenta los registros históricos de inundación, dando prioridad a los últimos ocurridos. También se ha tomado en cuenta el grado de vulnerabilidad de las estructuras ribereñas. El resumen de esta zonificación se presenta en la Figura N° 3.

Zona I1: Es altamente inundable. Se inunda cada vez que el río llega a tener un caudal de 250 m³/s o más. Esto sucede, según los cálculos realizados, con un periodo de retorno de 5 años más o menos.

Zona I2: Es medianamente inundable. Sucede cuando el río logra tener mayores caudales, de 300 a 400 m³/s, es decir cuando se activan todas las quebradas.

Zona I3: Es de baja inundación. Sucede ante avenidas extremas del orden de los 600 m³/s y cuando se vulneran todas las obras de defensa ribereñas.

MICROZONIFICACIÓN DE LA CIUDAD DE ICA FRENTE A SISMOS E INUNDACIONES

Es el plano final (Figura N° 4), objeto del presente estudio, en el que se muestra a la ciudad de Ica dividida en zonas donde cada una de ellas tiene características especiales de suelo frente a los sismos y las inundaciones. Un resumen de esta zonificación se muestra en el Cuadro N° 7:

Cuadro N° 7: Microzonificación de Ica

ZONA	CARACTERISTICAS				HABITABILIDAD
	Qad	LICUACION	INUNDACION	COLAPSO	
I	1.5 - 2.0 Kg / cm ²	No	Baja	-	Habitabilidad muy buena, const. de todo tipo Uso público: hospitales, iglesias, mercados, etc Para viviendas convencionales usar Df >1 m
II	1.0 - 1.5 Kg / cm ²	No	Baja	Moderado	Habitabilidad buena. Viviendas en general colegios, industrias, terminales terrestre, etc. Se recomienda usar Df > 1m.
III	0.5 - 1.0 Kg / cm ²	No	Baja	Problemático	Habitabilidad aceptable para viviendas en general. La prof de cimentación deberá ser mayor de 1m, caso contrario usar plateas de cimentación
IV	1.0 - 1.5 Kg / cm ²	No	Mediana	Moderado	Habitabilidad regular, con muchas precauciones. Const de albañilería Df = 1m mín y en estructuras de concreto armado usar vigas de cimentación
V	1.0 - 1.5 Kg / cm ²	Si	Alta	Moderado	Habitabilidad muy mala. Se debe destinar para zona de recreación

PROPUESTAS PARA LA MITIGACION DE DESASTRES PRODUCIDOS POR SISMOS E INUDACIONES EN LA CIUDAD DE ICA

Se ha establecido los lineamientos para la determinación de posibles áreas de expansión, proponiendo que éstas sean hacia el sur de la ciudad por tratarse de suelos con buenas características (Zona II), y hacia el oeste de la misma (Zona III), que aunque se trata de suelos geotécnicamente malos son, sin embargo, habitables con ciertas consideraciones técnicas de cimentación.

Construcción de Obras Civiles

- Derivación de Excedentes a las Pampas de Villacurí (Tahal,1967)
- Obras de Protección en las Quebradas: Obras de Reforestación
- Construcción de un Desarenador en la Bocatoma La Achirana
- Obras de Limpieza del cauce del río Ica y de los canales y acequias que cruzan la ciudad
- Construcción de Muros de Contención entre el Pte. Socorro y el Pte. Cutervo
- Construcción de Gaviones entre el Pte. Cutervo y el Pte. Divino Maestro
- Construcción de Nuevo Puente: Antiniños
- Construcción del Viaducto de la Avenida Siete

CONCLUSIONES

- En la ciudad de Ica ocurren frecuentemente sismos e inundaciones, que provocan grandes daños debido a la intensidad con que éstos se presentan según lo demuestran los registros históricos. En el caso de sismos, Ica ha soportado sismos con intensidad de X MMI y en cuanto a las inundaciones éstas han sucedido como consecuencia de grandes avenidas del río Ica llegando a 600 m³/s de caudal.
- El acuífero del valle de Ica cuenta con una potencia de 120 m, el cual hasta mediados del siglo pasado llegaba muy cerca de la superficie, manifestándose en algunos lugares de la ciudad como lagunas, pero la proliferación y explotación de pozos tubulares lo ha deprimido en unos 18 – 20 m debajo de la superficie, lo cual no es mucho en comparación con la potencia del acuífero. En la última inundación de Enero de 1998 el nivel freático subió significativamente, prueba de ello es que la laguna Huacachina elevó el nivel de su espejo de agua, esta vez en forma natural y no artificialmente como se venía haciendo. Ello quiere decir que si se restringe la sobre explotación de pozos tubulares y si se mantiene al río Ica cargado permanentemente durante casi todo el año (Proyecto Tambo-Ccaracocha), es perfectamente posible que el nivel freático suba hasta colocarse cerca de los niveles en que se encontraba antes de la sobre explotación de los pozos.
- Los cálculos estadísticos sugieren que en la ciudad de Ica, sobre todo en los lugares cercanos a las márgenes del río, se van a inundar frecuentemente con una periodicidad de 5 a 8 años, corroborando así los estudios hechos por la misión Israelí Tahal.

- El antiguo cauce del río Ica justifica la transición entre las Zonas 1 y 3 de la zonificación geotécnica, ya que esta zona, la zona de transición, está conformada por suelos aluviales, arenas arcillosas y arenas limosas.
- Se puede concluir que la estrechez del cauce del río a su paso por la ciudad de Ica es uno de los puntos más críticos y contribuye a que se originen desbordes frecuentemente.
- Se ha visto que el desarrollo y expansión urbana de la ciudad de Ica se viene realizando en forma desordenada, manifestándose en dos tipos: el desarrollo vertical que se ha dado en el cercado de la ciudad y que ha contribuido además a la tugurización, y el desarrollo horizontal que se viene dando en la periferia de la misma sin control alguno; por otro lado la ciudad no cuenta con los lineamientos necesarios para poder protegerse de los embates naturales.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la colocación de una o más estaciones meteorológicas en las quebradas de Ica que permitan obtener información acerca de las precipitaciones y aforos y con una comunicación fluida e instantánea, lo que permitirá en lo posible predecir la ocurrencia de eventos extraordinarios, así como también dar la alarma ante una eventual inundación.
- Se debe construir también un nuevo canal del río, reemplazando al que existe, con una pendiente de 3.5 %, lo que evitará la sedimentación acelerada en el lecho del río. Actualmente tiene un pendiente de 2/1000.
- A pesar de no tener datos de campo ubicados en las cercanías de la laguna Huacachina, es muy probable que el suelo en esta zona sea potencialmente licuable dado que se encuentra en la Zona III de la microzonificación, que corresponde a suelos eólicos pobremente gradados, y además cuenta con flujos subterráneos, por lo que se recomienda realizar investigaciones al respecto. Esto es importante si se toma en cuenta que la laguna Huacachina es un lugar turístico de importancia.
- En general, los suelos de la ciudad de Ica son suelos blandos y sueltos por lo que les corresponde periodos de vibración largos, en tal sentido se recomienda que las construcciones de albañilería cuenten en lo posible con igual densidad de muros en ambas direcciones y en estructuras de concreto armado estas deberán tener periodos de vibración cortos.

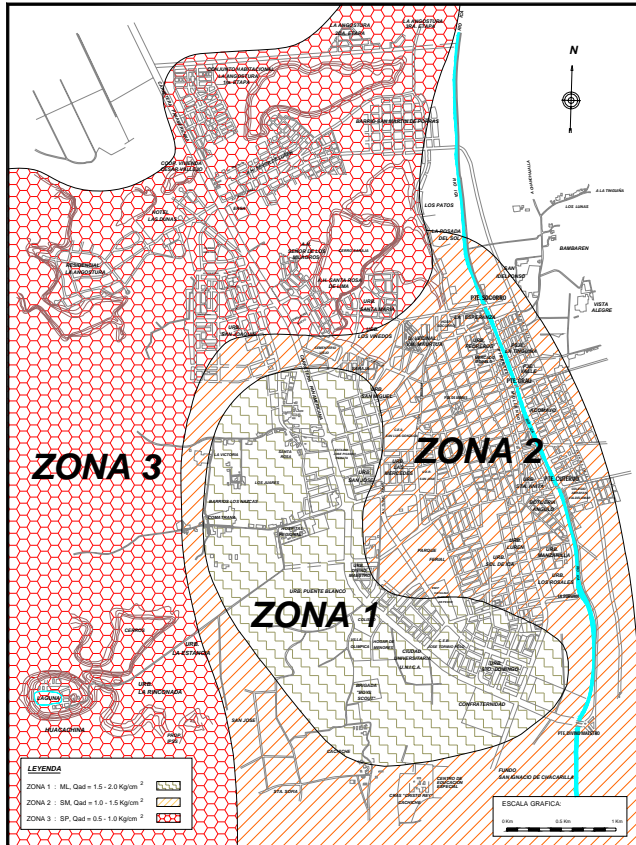


Fig. No 1: Zonificación Geotécnica

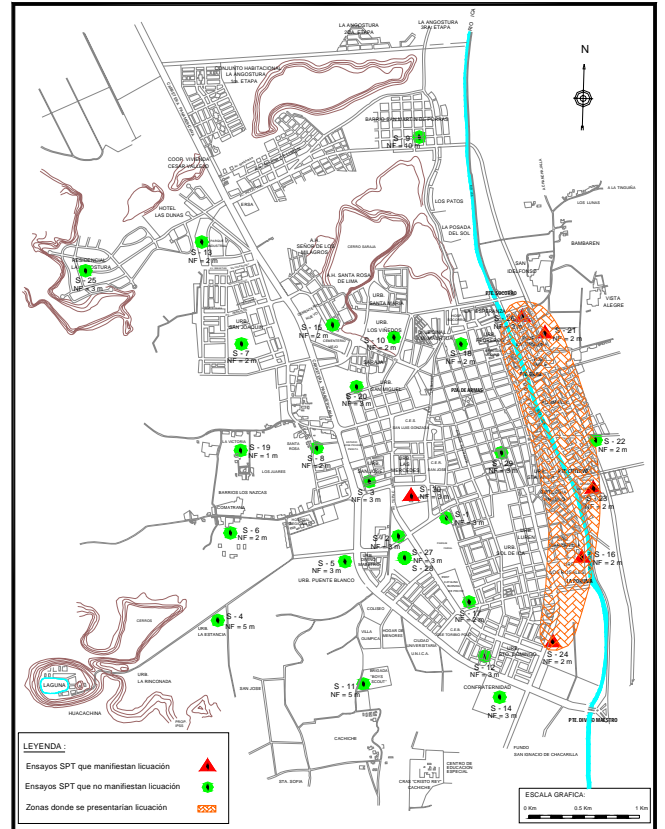


Fig. No 2 Zonas Potencialmente Licuables

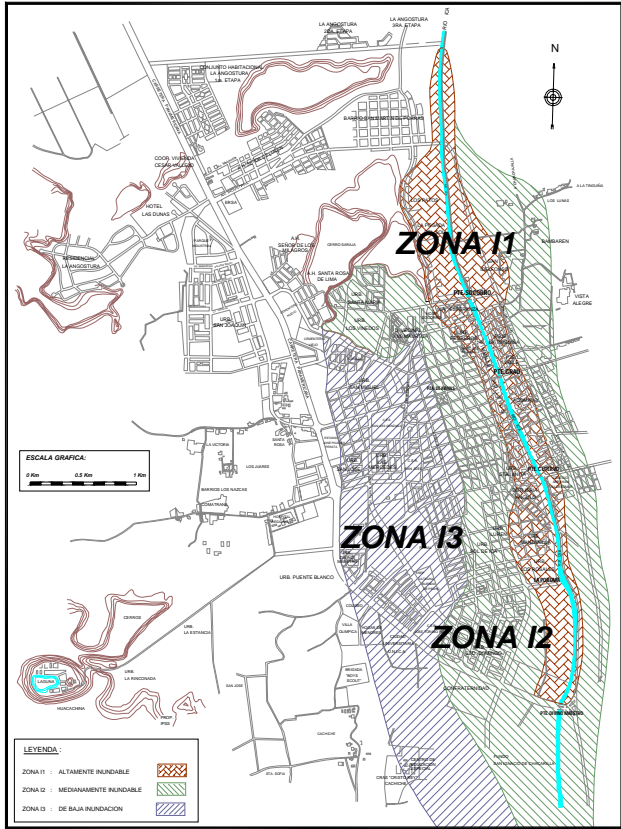


Fig. N° 3: Zonificación por Inundaciones

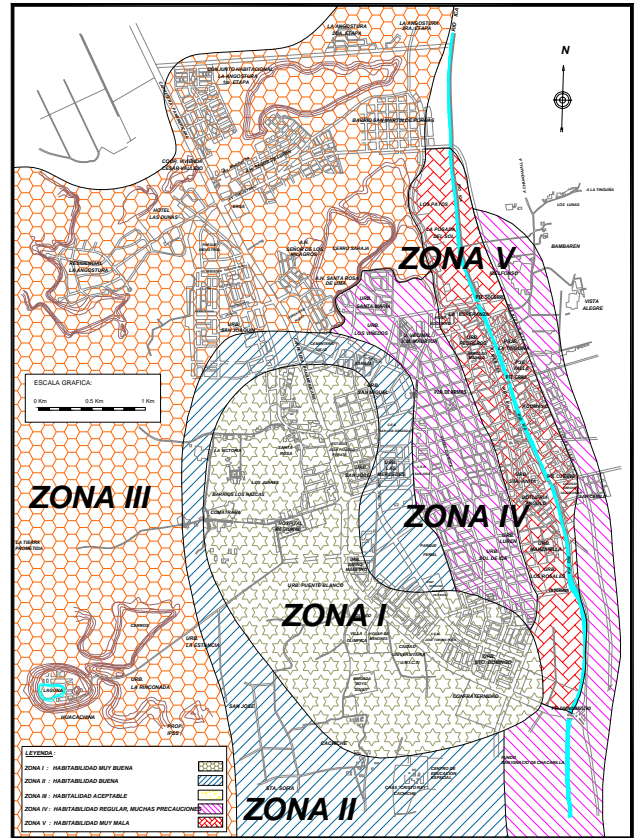


Fig. N° 4: Microzonificación de la Ciudad de Ica frente a Sismos e Inundaciones

REFERENCIAS

1. Hidroenergía Consultores (1998), Diversos estudios geotécnicos realizados para el INFES.
2. Meléndez, G. y Castillo, M. (1998) “Influencia del Fenómeno El Niño 1997 – 1998 en los Caudales de Diseño del Río Piura e Ica” – VI Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Civil – Trujillo.
3. McGuire R. (1976) “Fortran Computer Program for Seismic Risk Analysis”, Open File Report 67-76. U.S., Geological Survey.
4. Parra M. D. (1992) Programa de cómputo para el análisis de licuación de suelos: “DLICUA” CISMID- UNI.
5. Lara J. L. y Alva J. (1994), “Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Ica”, X Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Lima
6. Mitma G. (2001, “Microzonificación de la Ciudad de Ica frente a Sismos e Inundaciones”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.
7. TAHAL C. E. (1967) “Recursos de Aguas Subterráneas del Departamento de Ica”, Informe de Reconocimiento.
8. Terzaghi K. y Peck R. (1967), “Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica”, John Wiley, New York.
9. Vergara A. (1992), “Los Suelos de Ica y sus Condiciones de Cimentación” IX Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Ica.
10. Vesic A. (1973), “Análisis de la Capacidad de Carga de Cimentaciones Superficiales”, JSMFD, ASCE, Vol. 59.