

5-ICTI-2022

5th International Conference on Transportation Infrastructure

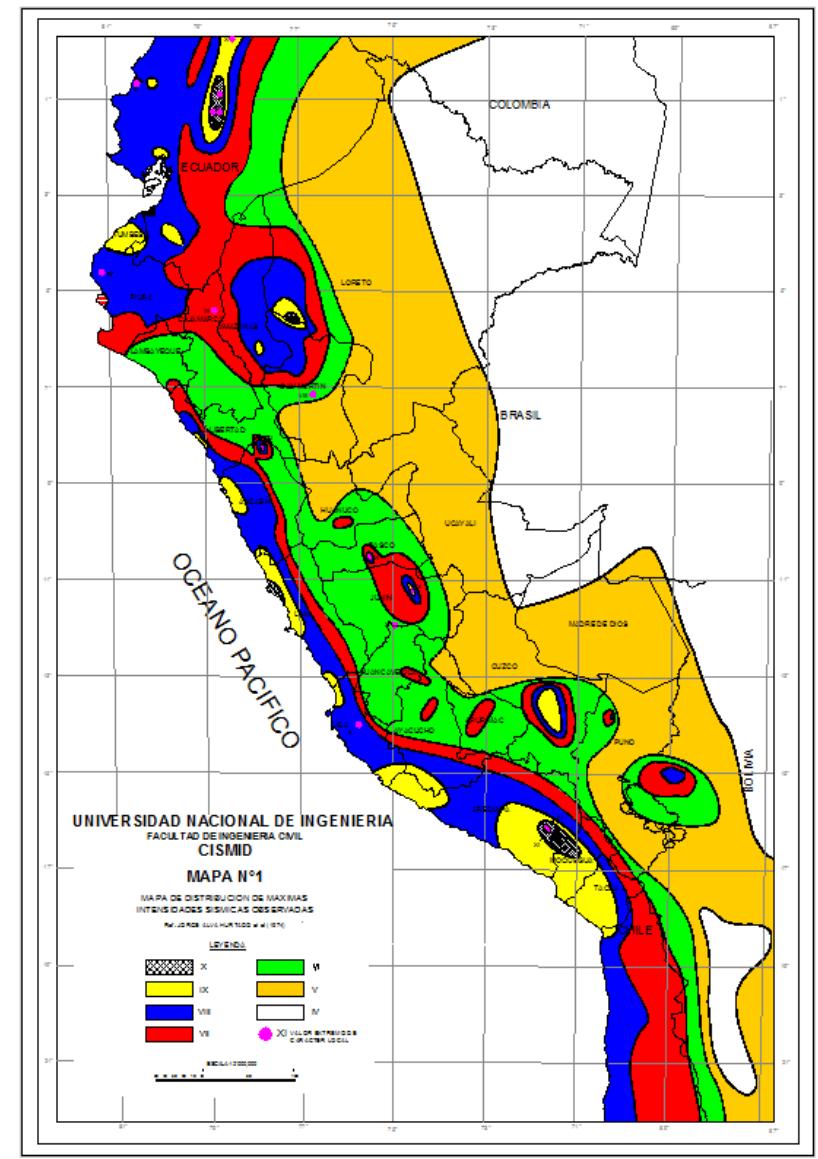
AVANCES EN LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE ICA

**Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado
M Sc. Ing. Carmen Ortiz Salas
Bach. Ing. Grover Riveros Soto**

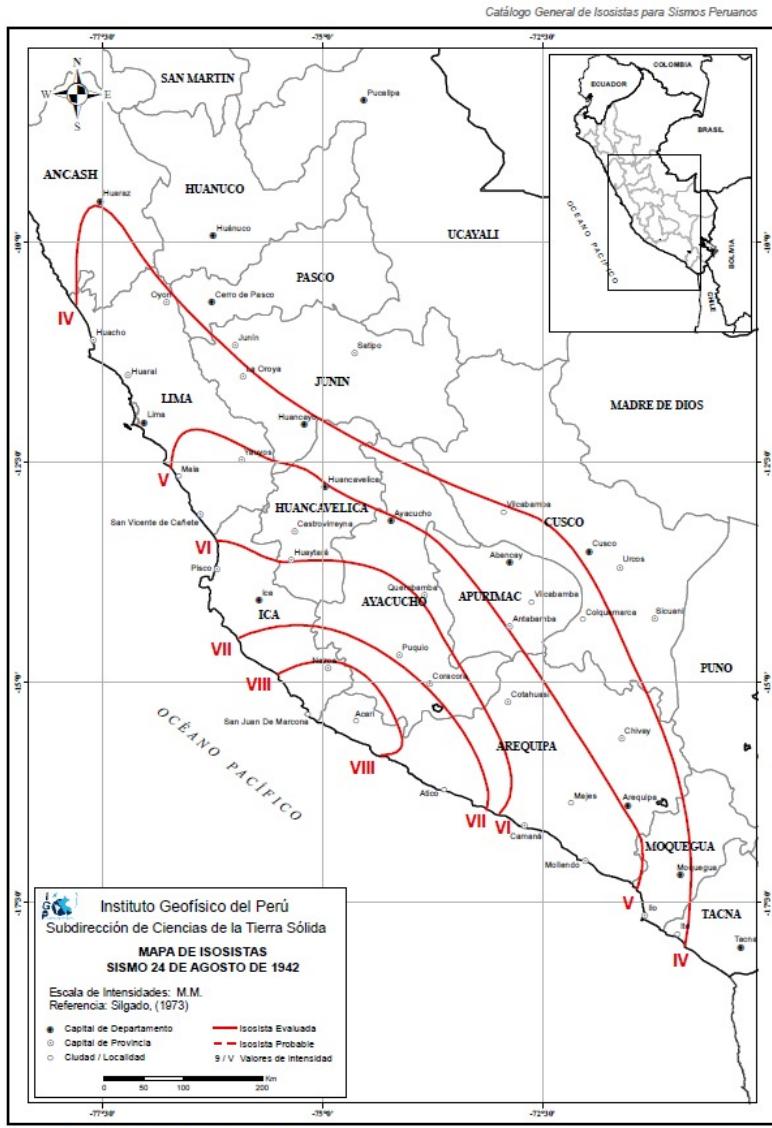
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

INTRODUCCIÓN

El Perú se ubica en una de las zonas de mayor sismicidad por la interacción de la Placa de Nazca y la Sudamericana, así como por la actividad de fallas geológicas superficiales, que también generan sismos de considerable magnitud en el interior del continente. Estos eventos sísmicos generan fuerzas sísmicas a las estructuras las cuales han provocado cuantiosas pérdidas materiales y humanas de manera recurrente a edificaciones vulnerables.

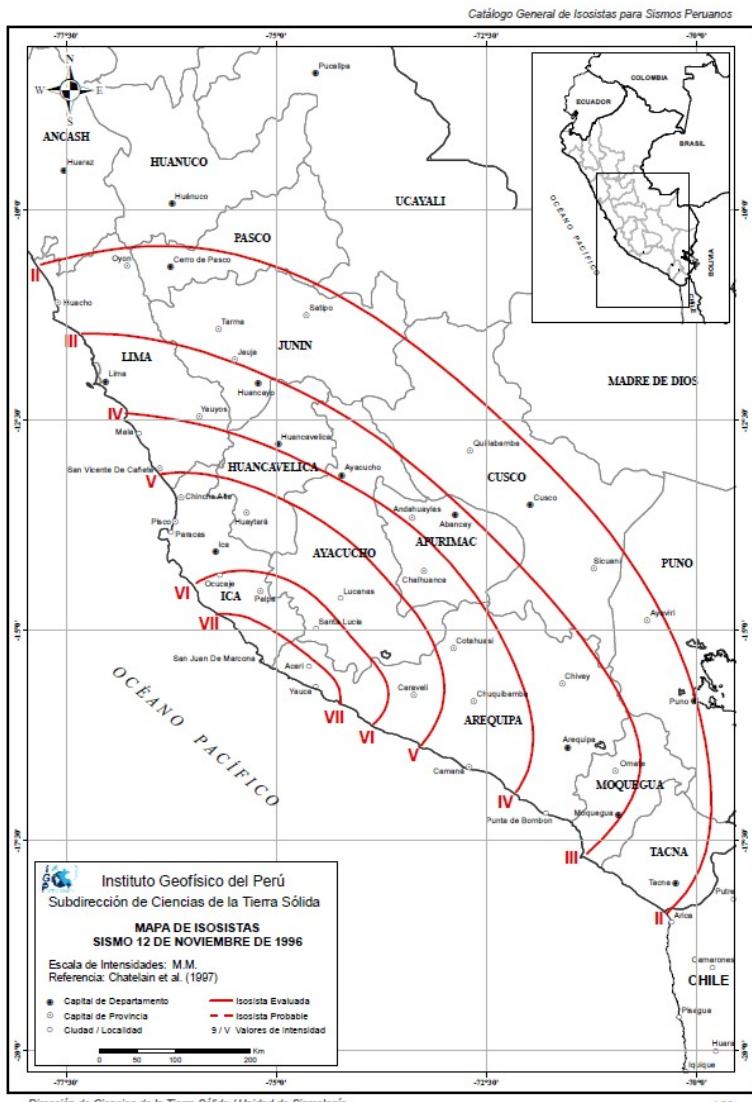


Distribución de máximas
Intensidades sísmicas
Observadas en el Perú
(Alva et al. 1984)



SISMO DEL 24 DE AGOSTO DE 1942

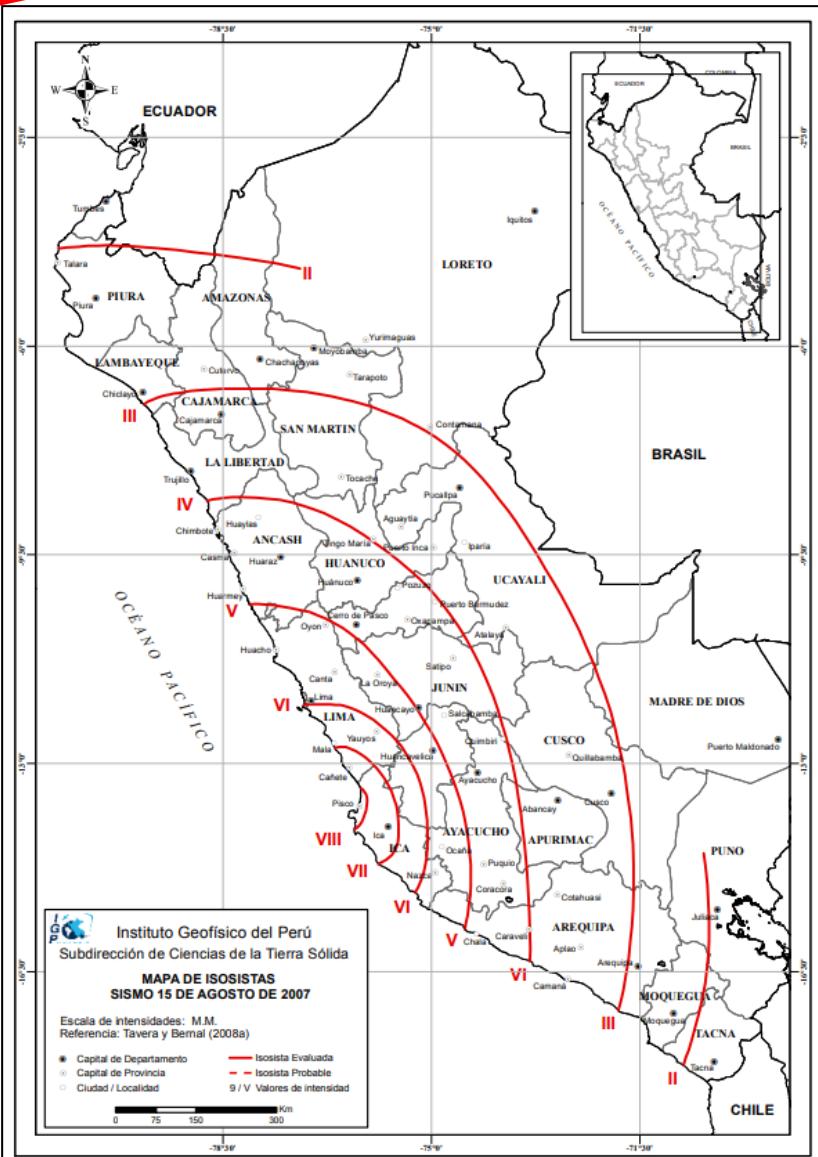
De acuerdo con la historia sísmica de la Ciudad de Ica, en los últimos quinientos años han ocurrido terremotos que en más de una ocasión causaron la destrucción total de la ciudad, como el del año de 1942 que presentó una Magnitud Ms de 8.1 e intensidades del orden de IX en la escala Mercalli Modificada



SISMO DEL 12 DE NOVIEMBRE DE 1996

El 12 de noviembre de 1996, se produce un terremoto de magnitud 7.7 Mw frente a la Dorsal de Nazca al sur de la región central de Perú, siendo su origen asociado al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana; presentó intensidades del orden de VII en la escala Mercalli Modificada

Isosistas del Terremoto de Nazca 1996



SISMO DE PISCO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007

El 15 de agosto de 2007, a las 6:40 p.m. hora local (UTC / GMT: 11:40 p.m.), un fuerte terremoto golpeó la costa del centro de Perú. El epicentro se ubicó a 40 km al noroeste de la ciudad de Chincha, a 105 km al noroeste de la ciudad de Ica y a 150 km al sureste de Lima, la capital de Perú. Se contabilizaron 519 muertos y 1844 heridos. Cerca de 55,000 edificios residenciales colapsaron y 21,000 fueron dañados.



Isosistas del Terremoto de Pisco 2007

Intensidad máxima MM: VIII

Aceleración 5Gx International Conference on Transportation Infrastructure

SISMO DE PISCO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007

Mw = 7.9 (IGP), Mw = 7.9 (USGS)

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km)	ESTACIÓN	DISTANCIA EPICENTRAL (KM)	ACELERACIONES MÁXIMAS (cm/seg2)		
					PGA EO	PGA NS	PGA V
15/08/2007	8.0(MW)	40.0	UNICA	117.0	272.2	334.1	192.2
			PARCONA	121.0	483.9	443.2	326.0
			CIP LIMA	178.0	51.0	57.2	31.3
			MAYORAZGO	180.0	53.4	55.8	31.4
			U. CATOLICA	180.0	66.6	56.9	41.7



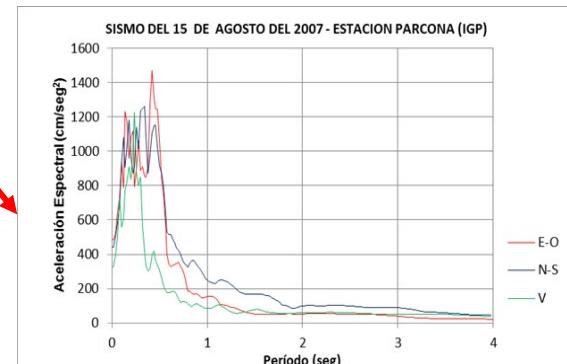
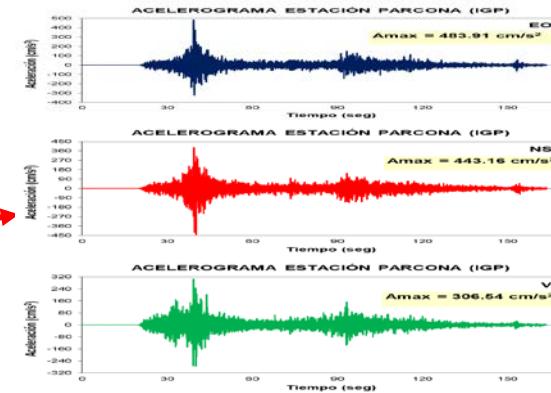
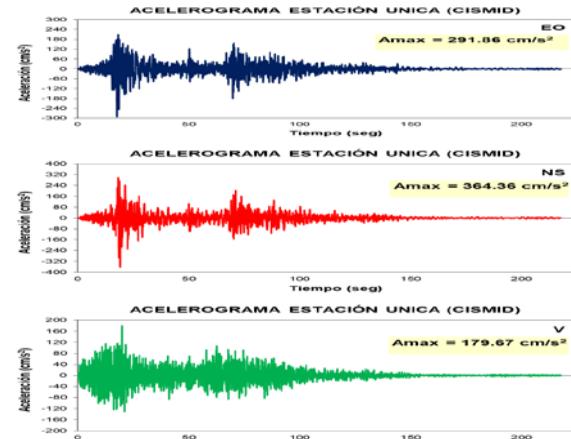
Edificio residencial de adobe reforzado.



Colapso de una estructura por problema de 'piso blando'

CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES CON REGISTROS DE MOVIMIENTO DEL TERRENO PROCESADOS

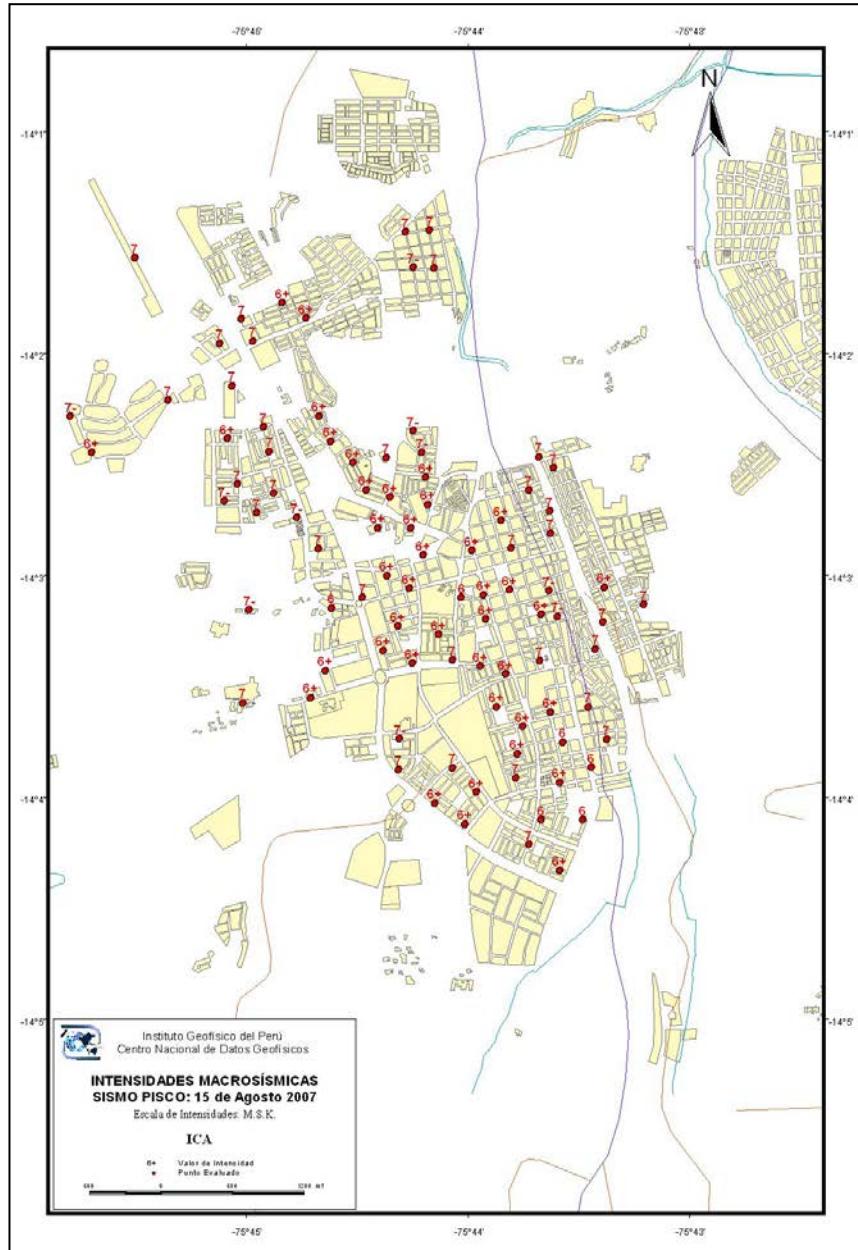
Nro.	Ciudad	Estación	Localidad	PGA(cm/seg ²)			PGA (g)
				PGA EO	PGA NS	PGA V	
1	Ica	ICA2 (CISMID)	Ica, Ica	292.52	366.08	181.91	0.373
2		PARCONA (IGP)	Parcona, Ica	484.42	439.61	325.97	0.494
3		RINCONADA (CER)	La Molina, Lima	113.43	114.50	57.46	0.117
4		MOLINA (CISMID)	La Molina, Lima	76.57	66.50	54.78	0.078
5		LA MOLINA (IGP)*	La Molina, Lima	25.30	21.20	14.20	0.026
6		ÑAÑA (IGP)	Chaclacayo, Lima	23.43	18.49	19.87	0.024
7		PUCP	San Miguel, Lima	66.93	57.02	41.84	0.068
8		CERESIS (CER)	San Borja, Lima	53.97	57.99	38.51	0.059
9		ANR (CER)	Surco, Lima	88.11	62.58	72.85	0.090
10		CDL-CIP (CISMID)	San Isidro, Lima	51.31	57.13	31.41	0.058
11		CISMID	Rimac, Lima	74.02	45.82	34.56	0.075
12		MAYORAZGO (IGP)	Ate, Lima	53.75	56.04	31.25	0.057
13		CALLAO (CISMID)	Callao, Lima	102.16	87.38	31.71	0.104
14		ANCON (IGP)	Ancon, Lima	59.36	55.72	27.65	0.061
15		SEDAPAL 1*	Santa Anita, Lima Atarjea	22.10	18.70	21.60	0.023
16		SEDAPAL 2*	Santa Anita,	20.58	12.74	11.76	0.021



Espectro de Respuesta(cm/seg²) con 5% de amortiguamiento

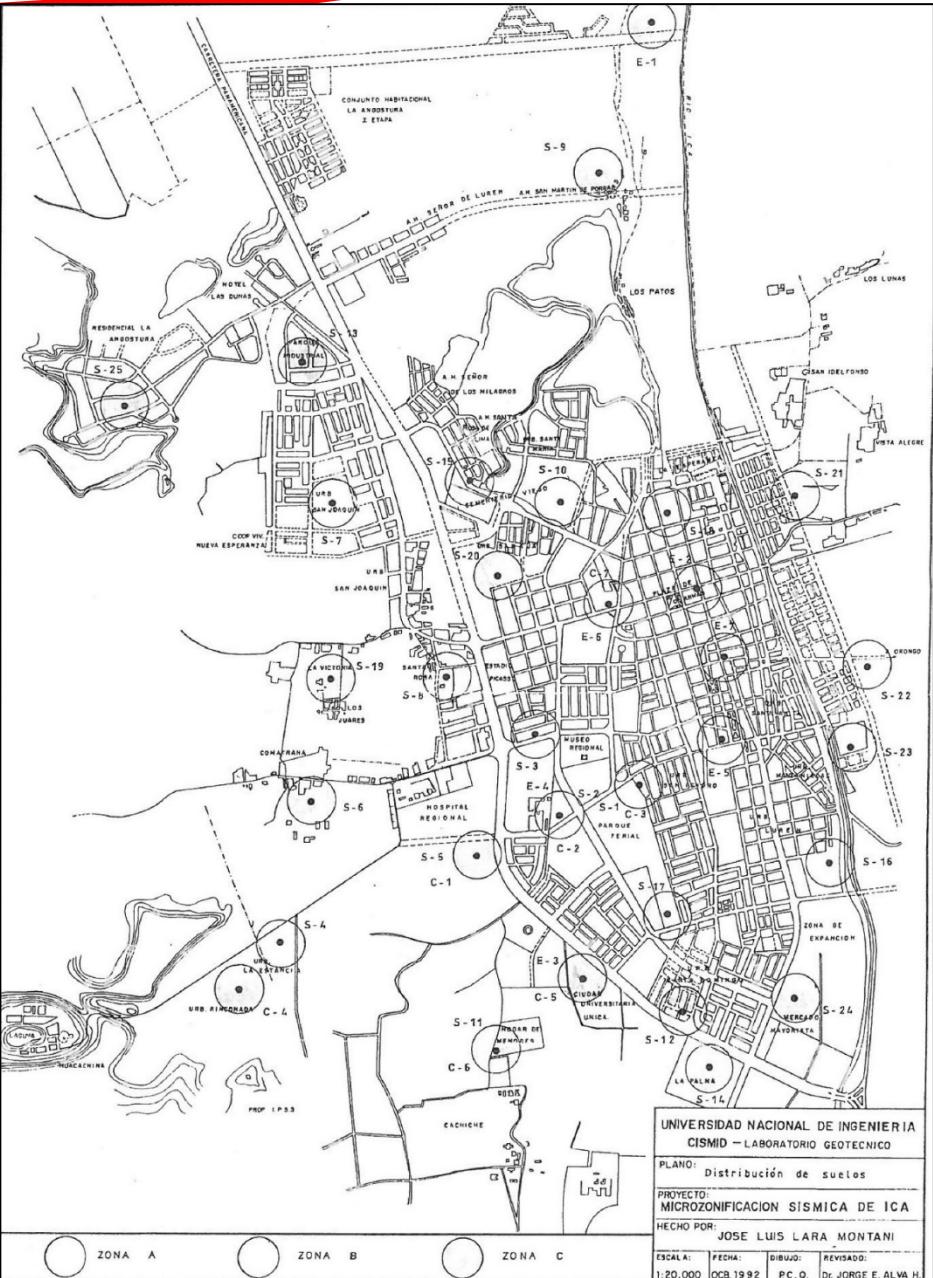
EO	NS	V
1473.28	1262.50	1226.46

Registros de aceleraciones y espectros de respuesta de Ica y Parcona.



AVANCES EN LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE ICA

**Jose Luis Lara Montani
Jorge Alva Hurtado
CISMID-UNI (1994)**



EJECUCIÓN DE CALICATAS:

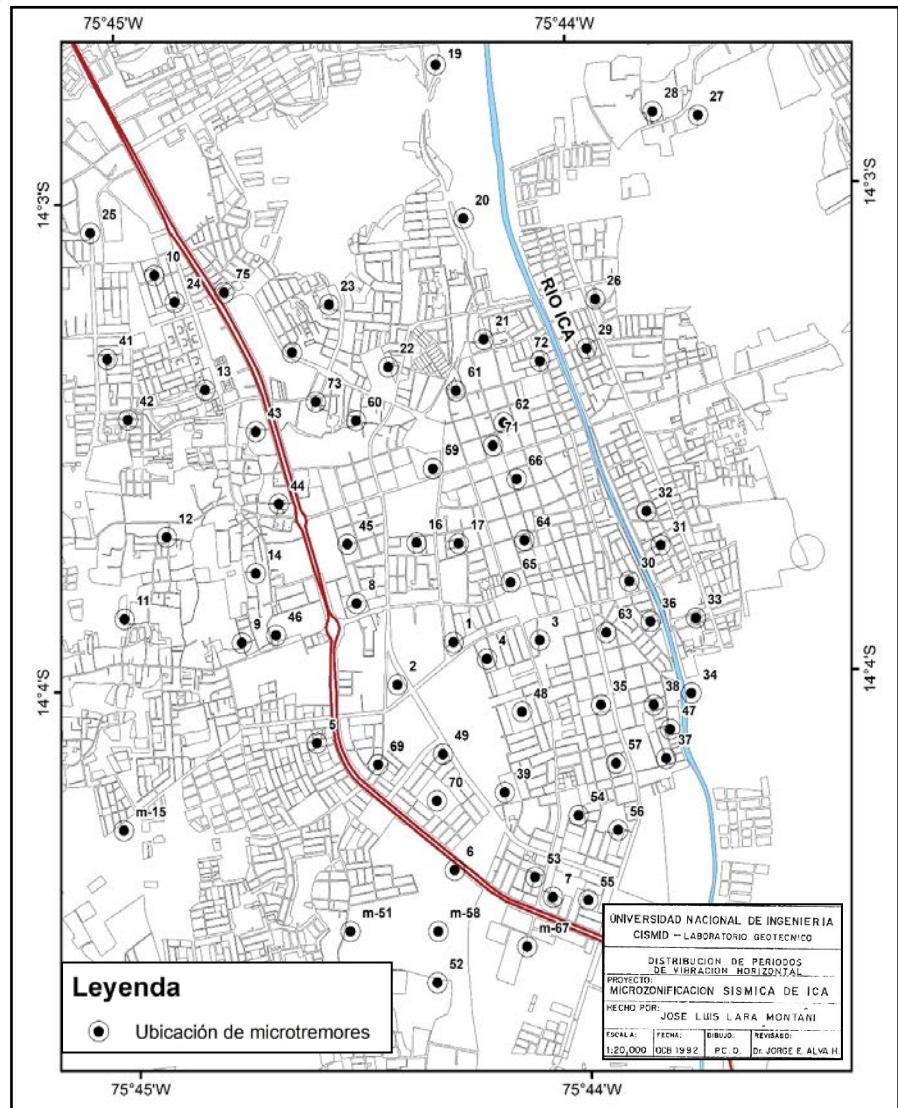
Ejecutaron en total 7 calicatas.

ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT):

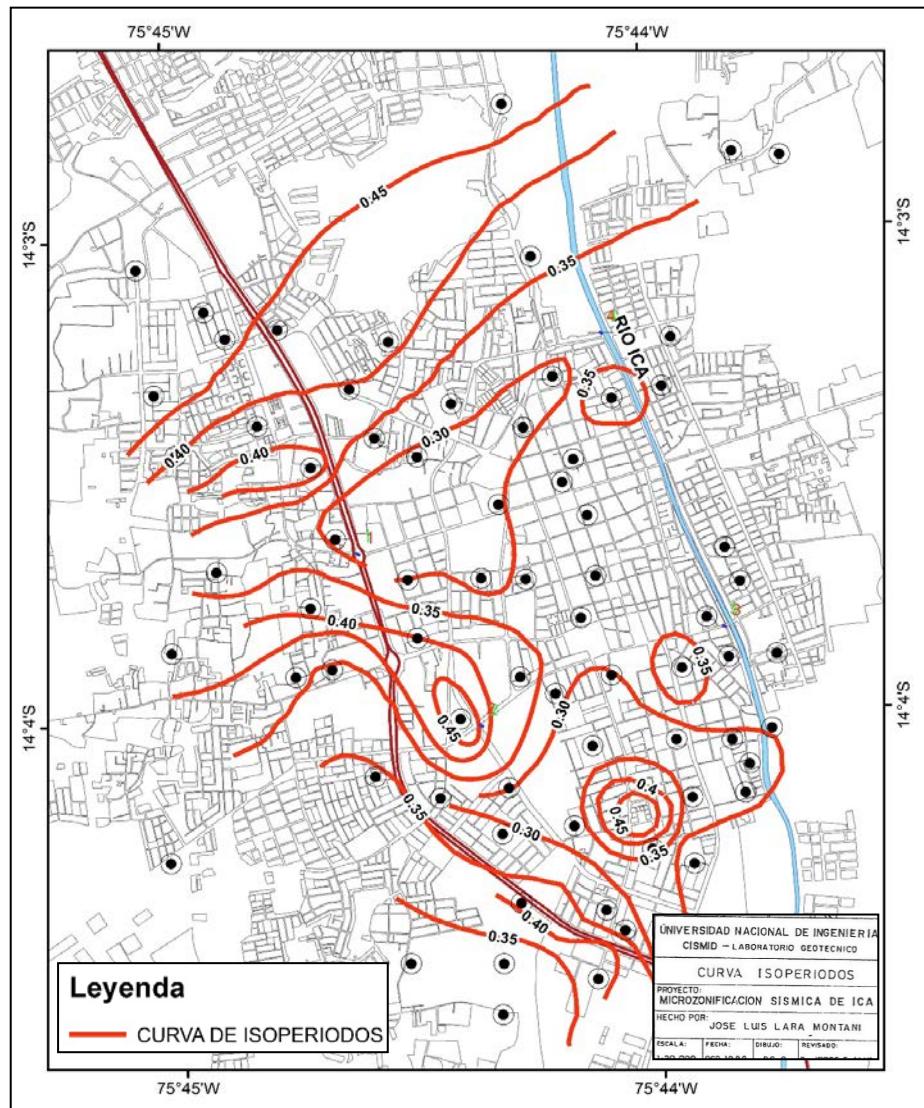
Realizaron en total 25 ensayos SPT con una profundidad promedio de 5 m.

MICROTREMORES:

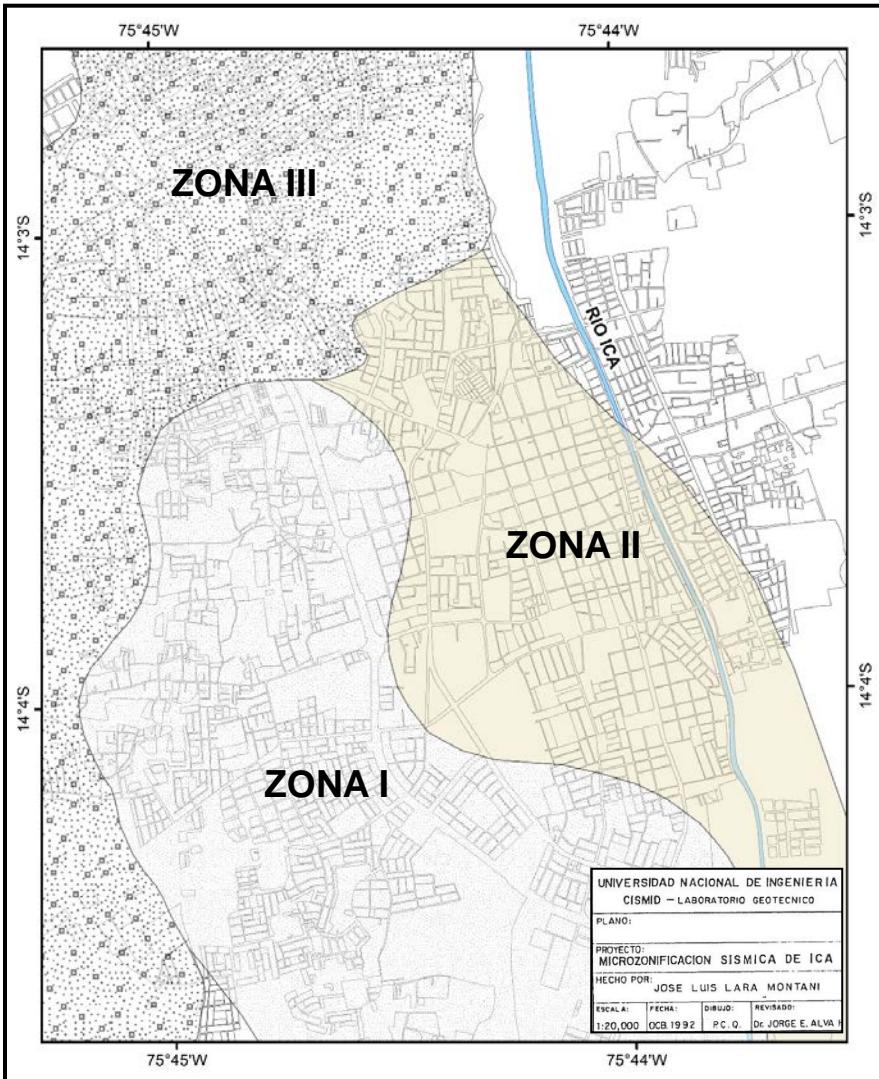
Realizaron en total 75 ensayos de medición de microtremores.



Mapa de ubicación de
Microtremores



Mapa de curva de
Isoperíodos



Mapa de Microzonificación
Geotécnica

ZONA I

Se considera como la zona de mejores condiciones de cimentación con periodos de vibración de 0.30 a 0.40 seg.

ZONA II

En esta zona se esperan problemas de colapso de suelo, los periodos de vibración menores a 0.30 seg.

ZONA III

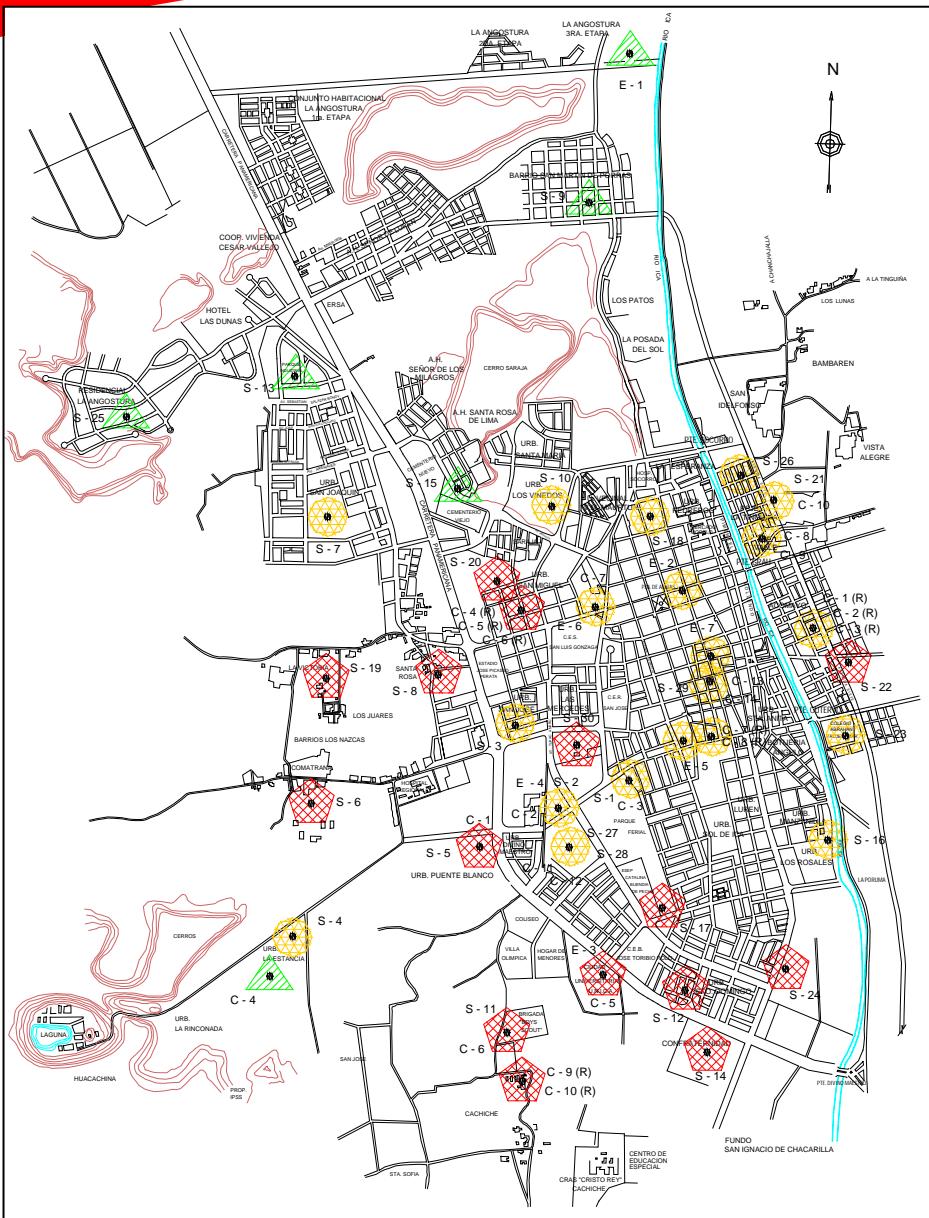
Es considerada la zona mas critica asociada a problemas geotécnicos especiales como densificación, potencial de colapso.

**Grover Mitma Montes
Jorge Alva Hurtado
FIC- UNI (2001)**

DISTRIBUCIÓN DE SUELOS

Alva y Mitma (2001)

Se ejecutaron en total 14 calicatas, 7 de ellas realizadas por el CISMID y otras 7 realizadas por HIDROENERGÍA



-**ZONA A**

Superficialmente esta zona está conformada por terrenos de cultivo de naturaleza limosa de color beige claro, en estado semicompacto y poco húmedo hasta una profundidad promedio de 1 m. Debajo de este estrato se encuentra suelos limosos arenosos (25 - 40% de arena) y suelos arcillosos con bajo contenido de arenas (menor del 15% de arena).

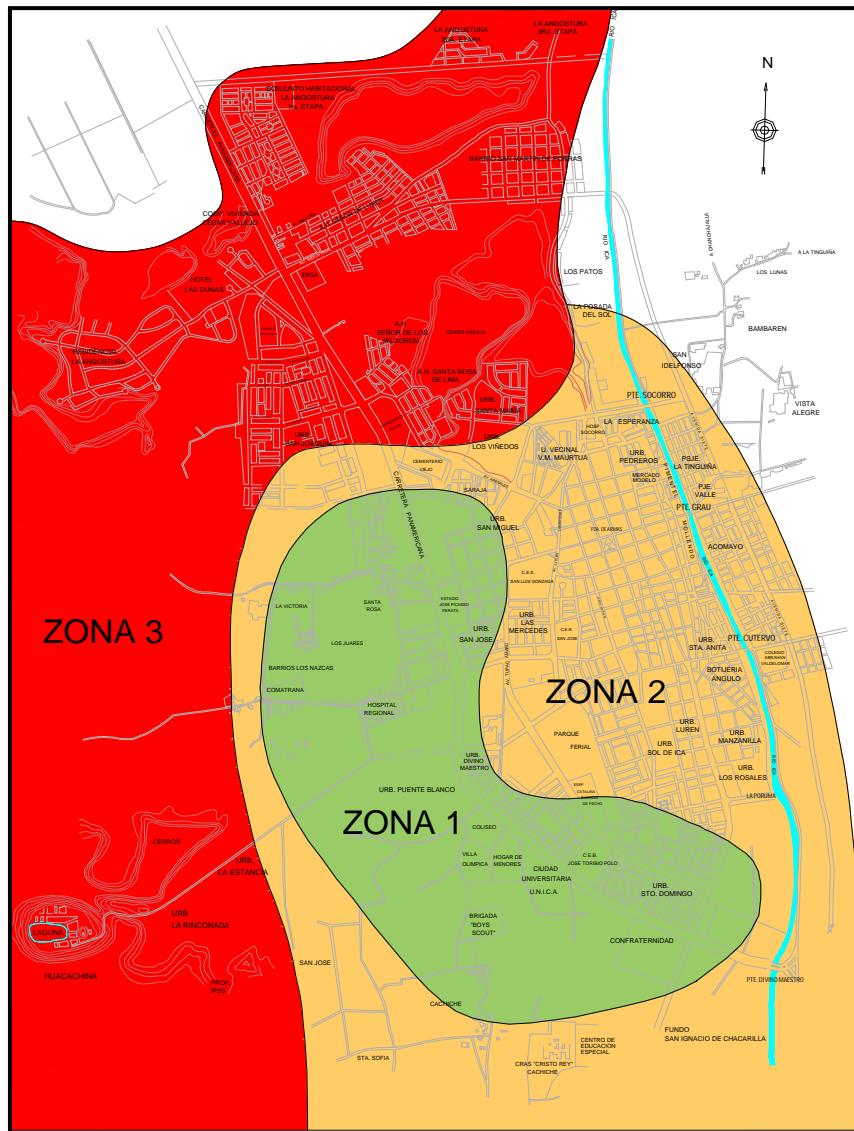
-**ZONA B**

Se trata de depósitos de arenas pobemente gradadas de grano fino a medio y de forma redondeada con mediano a poco contenido de finos no plásticos, baja humedad y con lentes arcillosos y limosos de poca potencia.

ZONA C

Superficialmente está constituida por arenas pobemente gradadas de color beige amarillento, tamaño fino, escasa humedad y estado poco denso a suelto, subyaciendo a éstas se encuentra un suelo limoso

ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE ICA

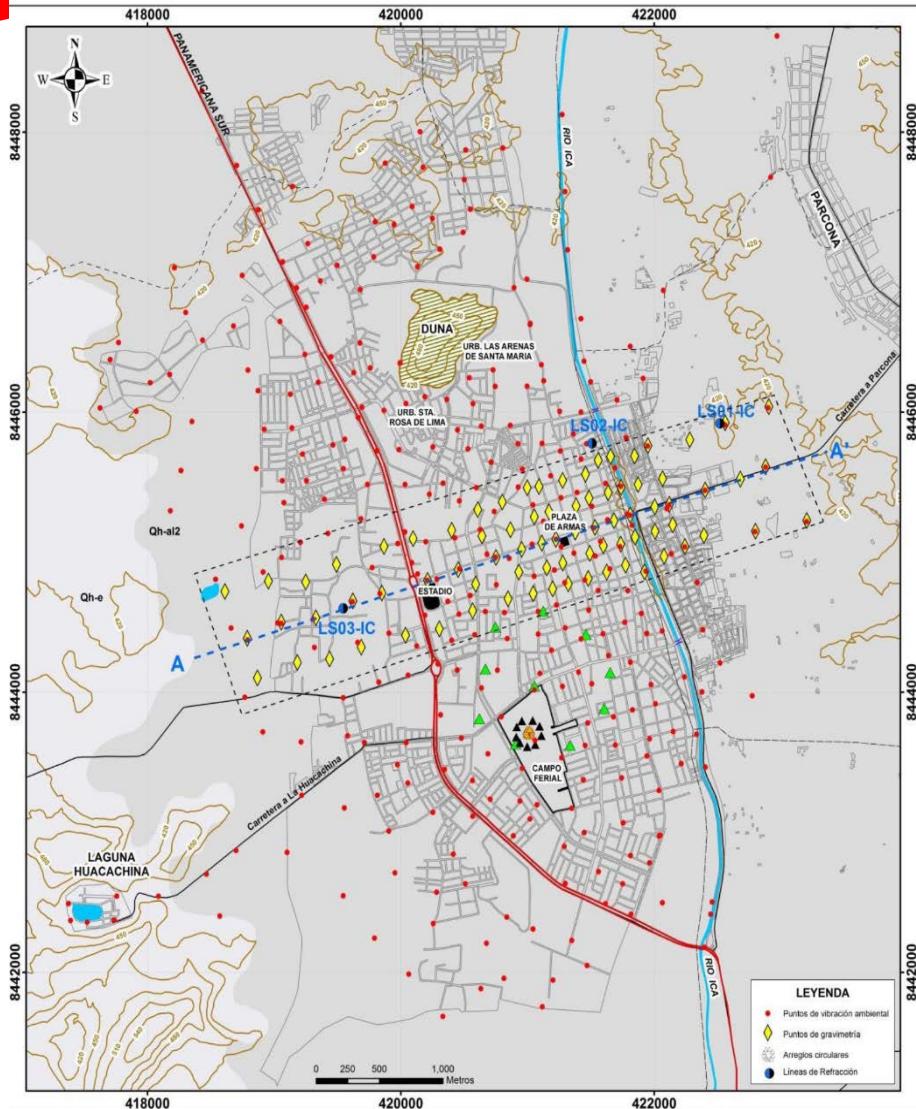


LEYENDA

- ZONA 1 : ML, Qad = 1.5 - 2.0 Kg/cm²
ZONA 2 : SM, Qad = 1.0 - 1.5 Kg/cm²
ZONA 3 : SP, Qad = 0.5 - 1.0 Kg/cm²

Alva y Mitma (2001)

**Yesenia Isabel Bernal Esquia
Hernando Tavera Huarache
IGP (2019)**

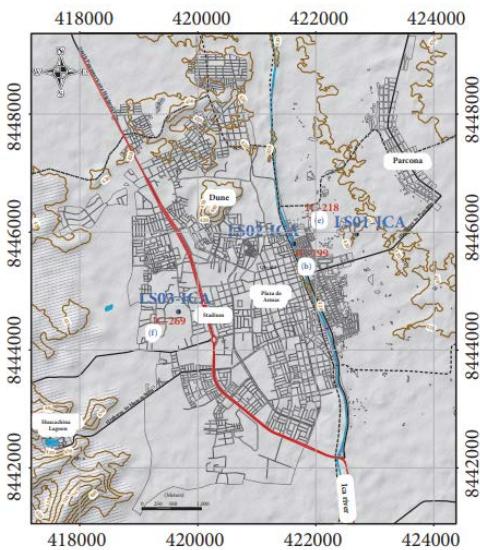
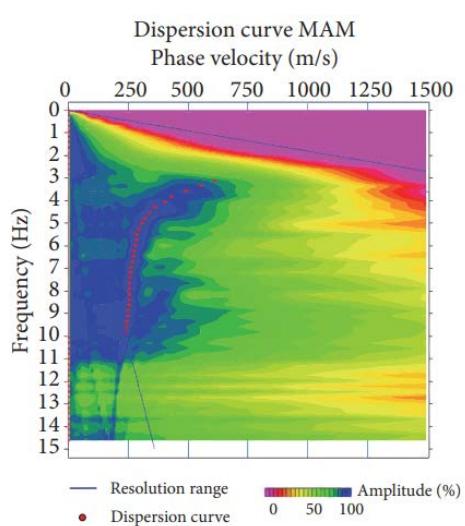
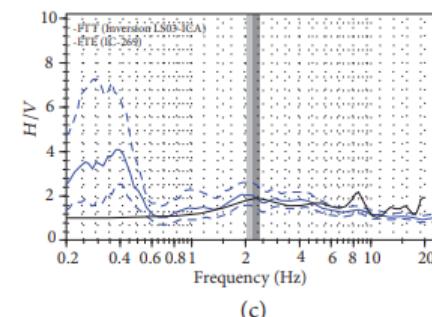
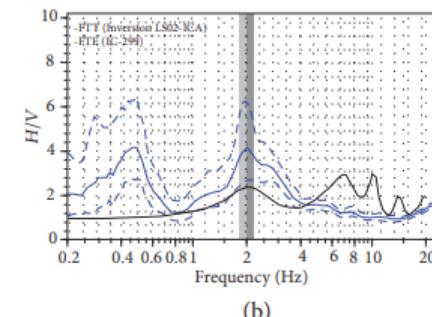
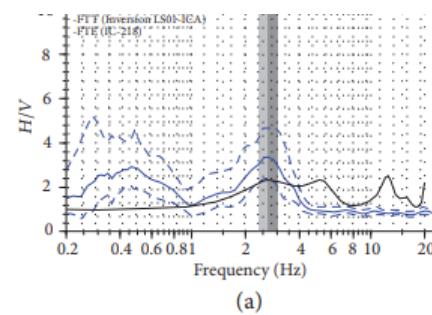
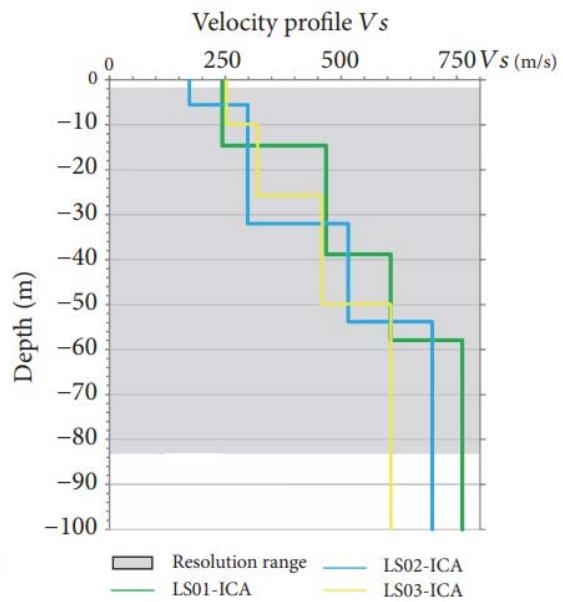
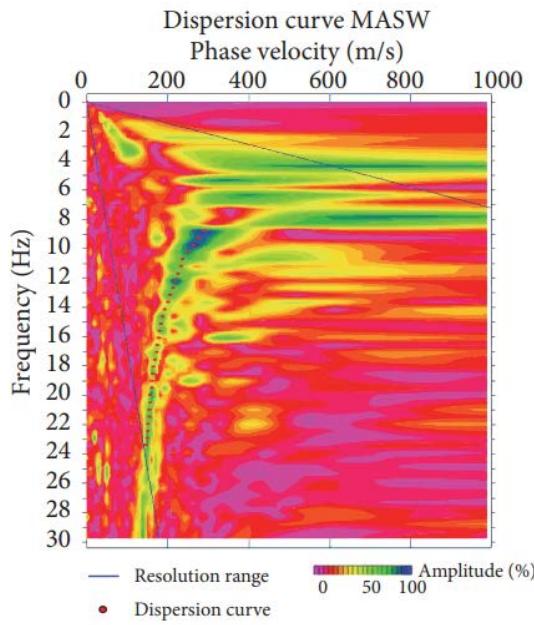


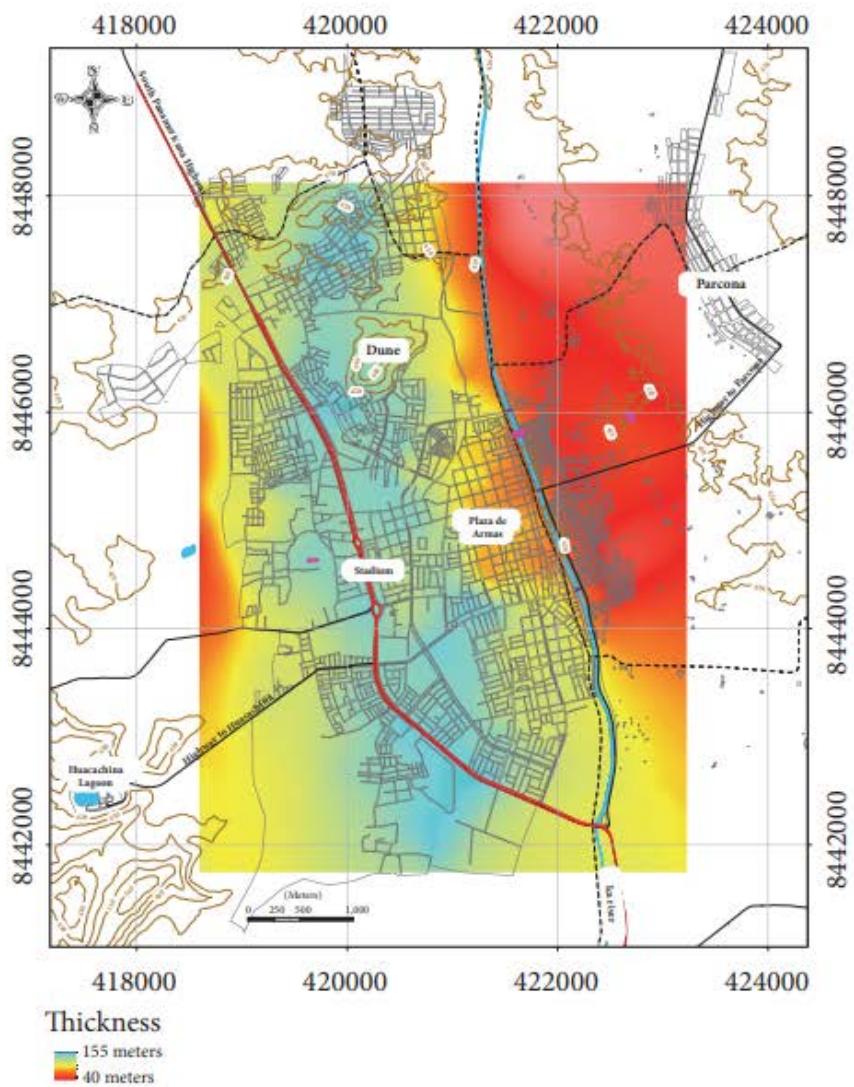
MEDICIÓN DE MICROTREMORES

Se ejecutaron en total 300 mediciones de microtremores en el distrito de Ica.

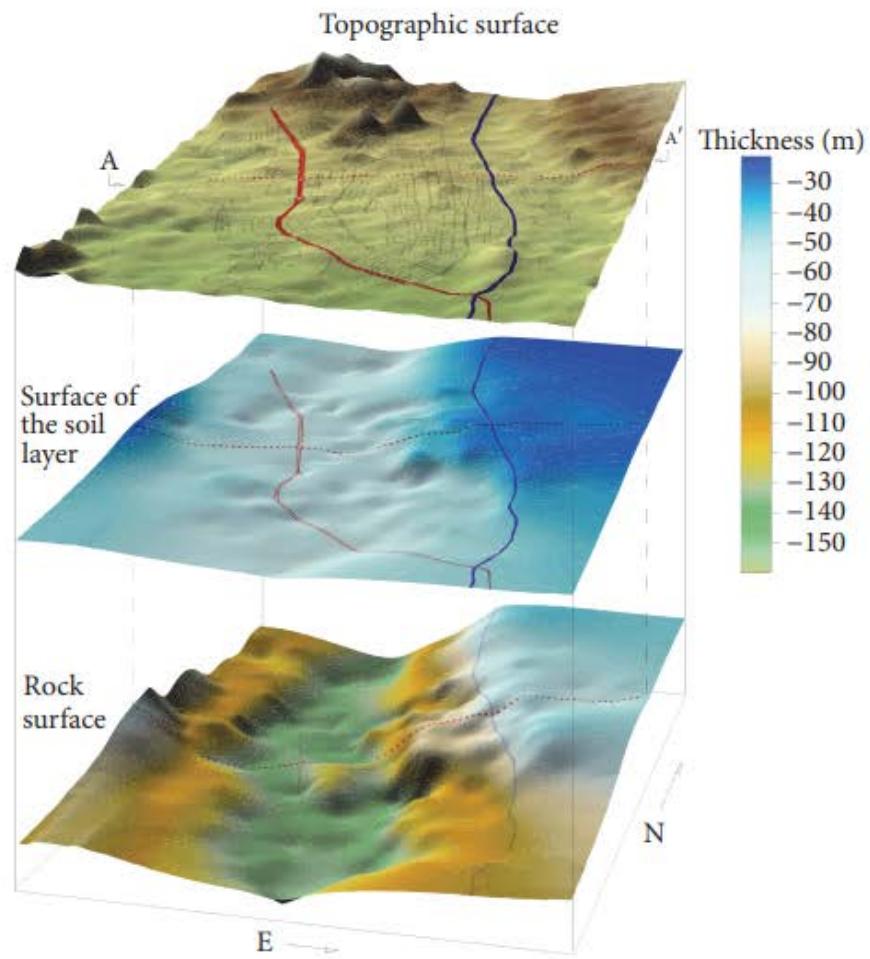
Ensayos MASW y MAM

Se realizaron en total 3 ensayos MASW-MAM con una profundidad máxima de 100m.

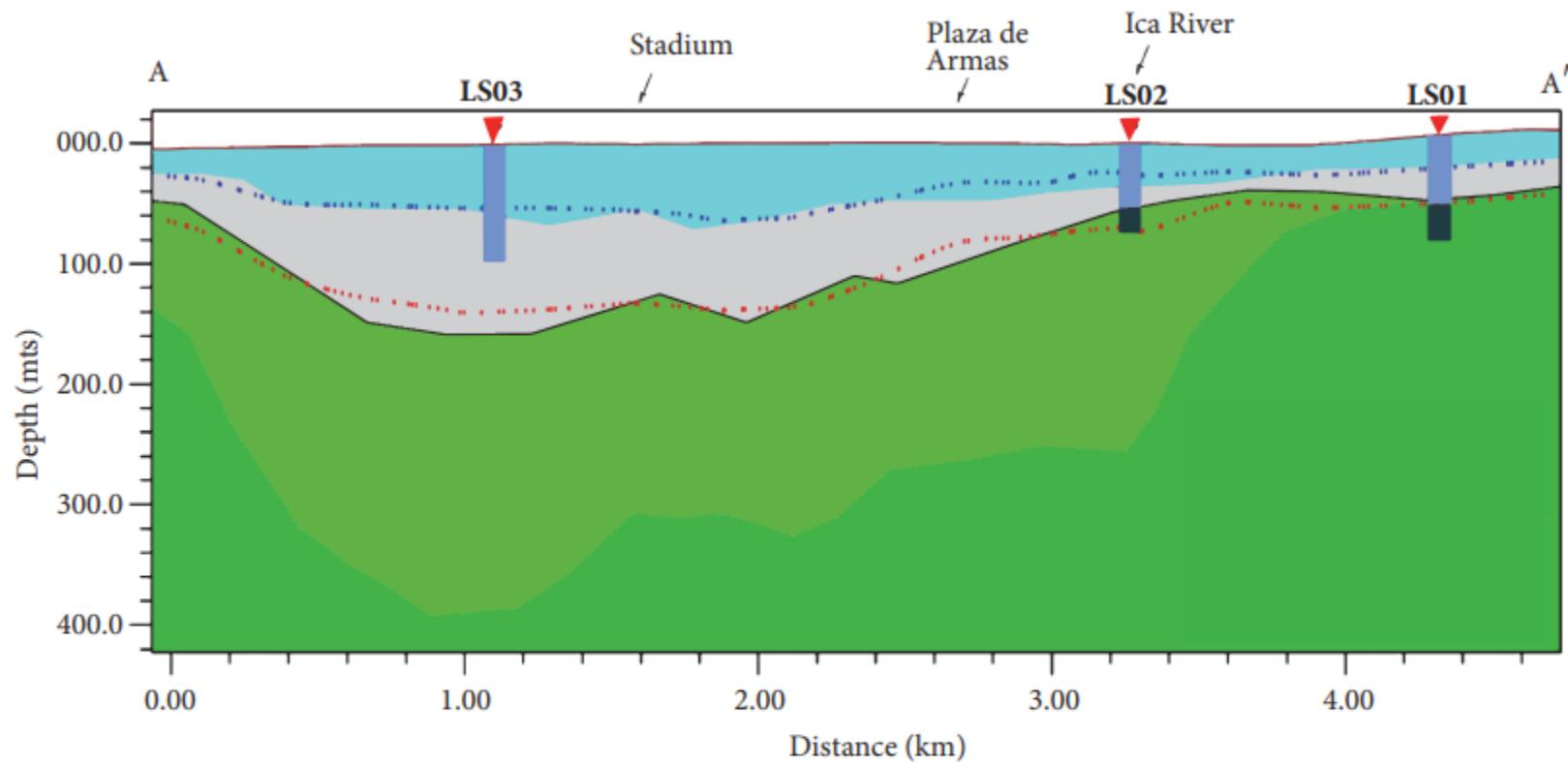




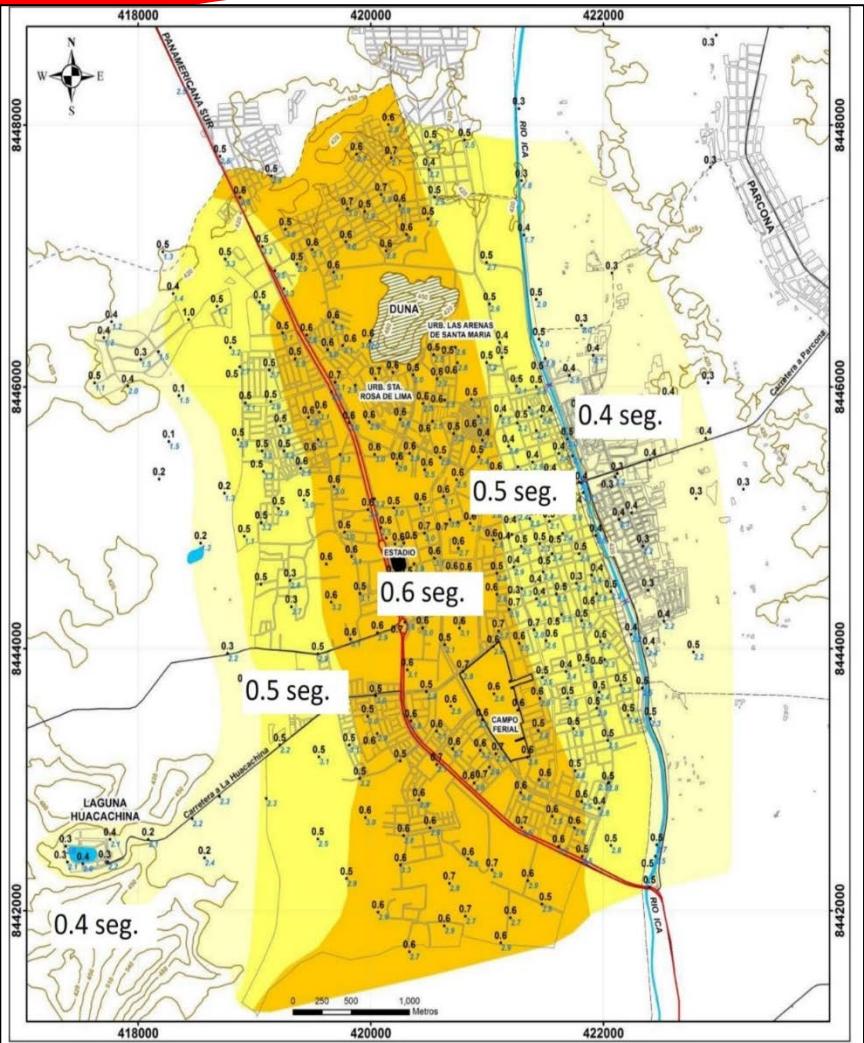
(a)



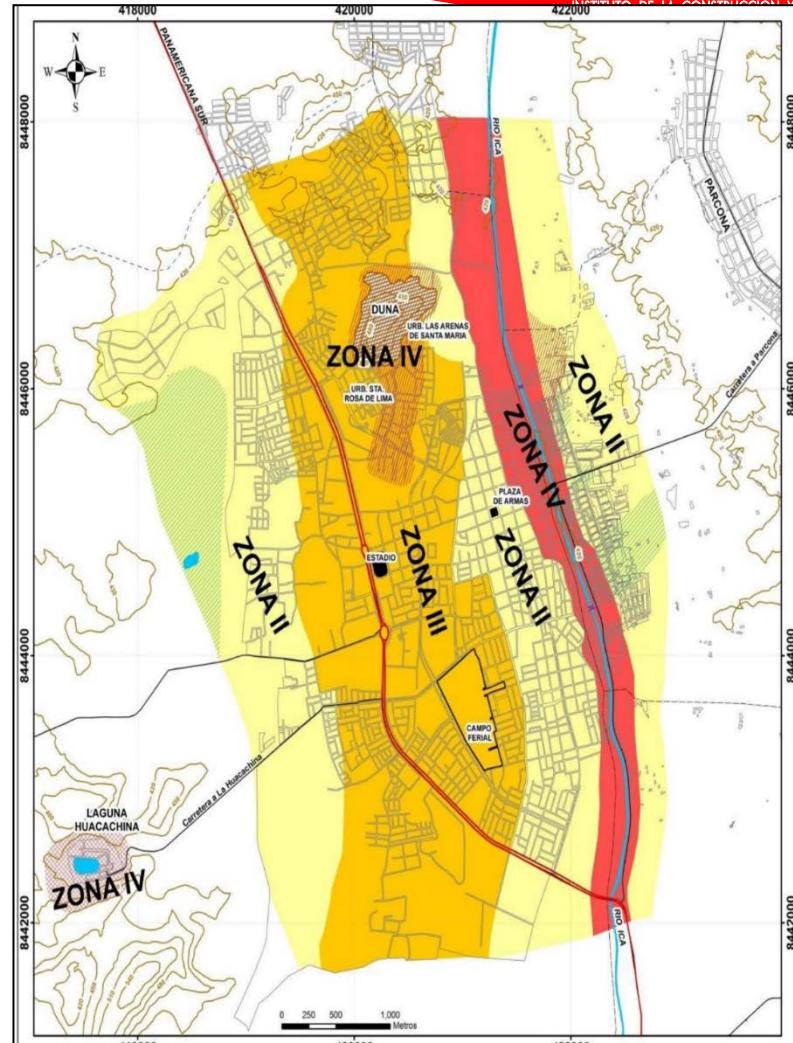
(b)



- LS Seismic line
- $V_s < 500 \text{ m/s}$
- $V_s < 750 \text{ m/s}$
- Surface soil layer, H/V
- Rock surface, H/V
- Geomorphology of the Ica Basin



Distribución de los períodos dominantes en la ciudad de Ica y su sectorización considerando períodos de 0.6, 0.5 y 0.4 segundos.



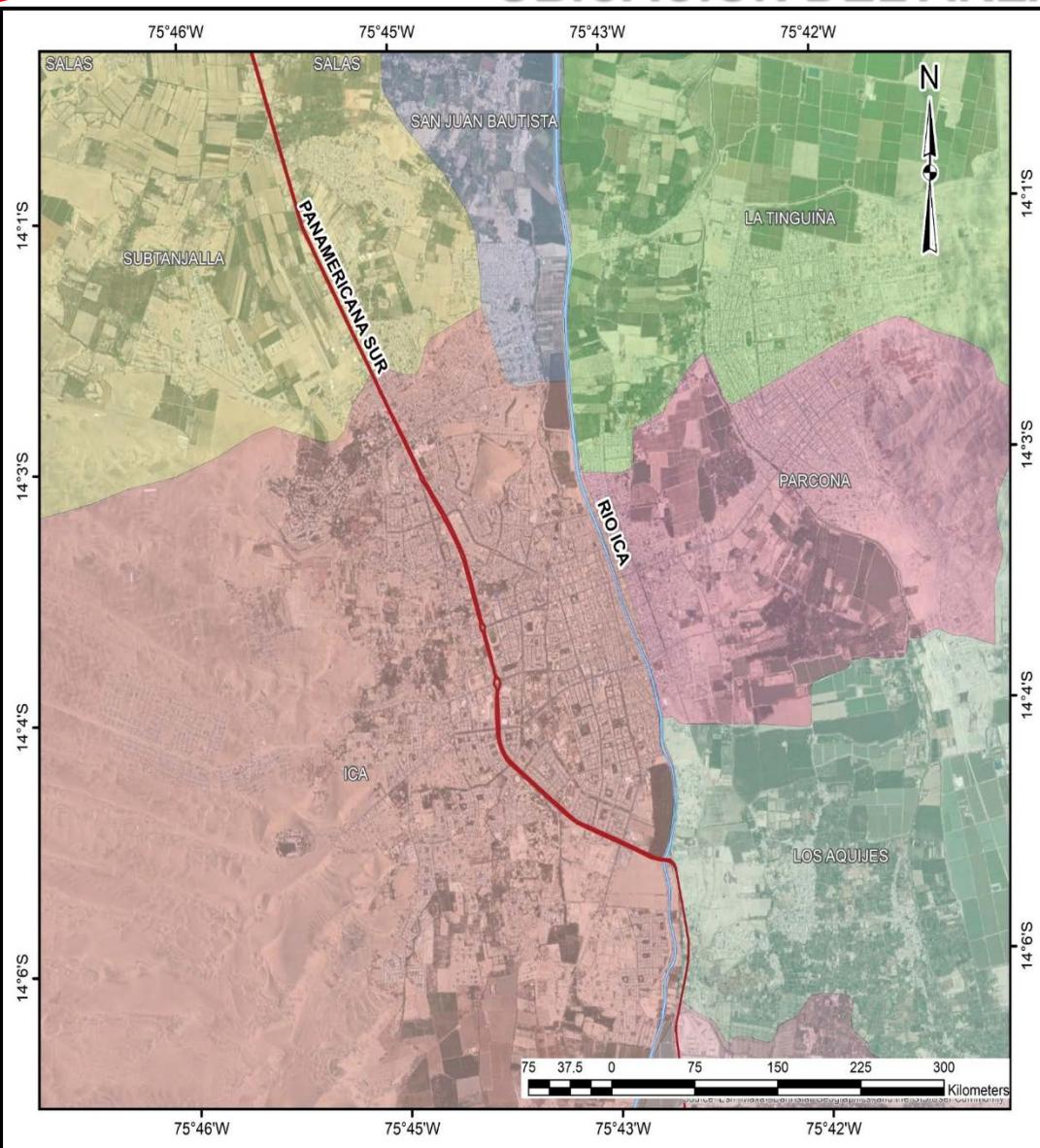
Mapa de zonificación sísmica para la ciudad de Ica.

ACTUALIZACIÓN DE LA MICROZONIFICACIÓN DE LA CIUDAD DE ICA

IIFIC-UNI (2021)

**Dr. Jorge Alva Hurtado
M Sc. Ing. Carmen Ortiz Salas
Bach. Ing. Grover Riveros Soto**

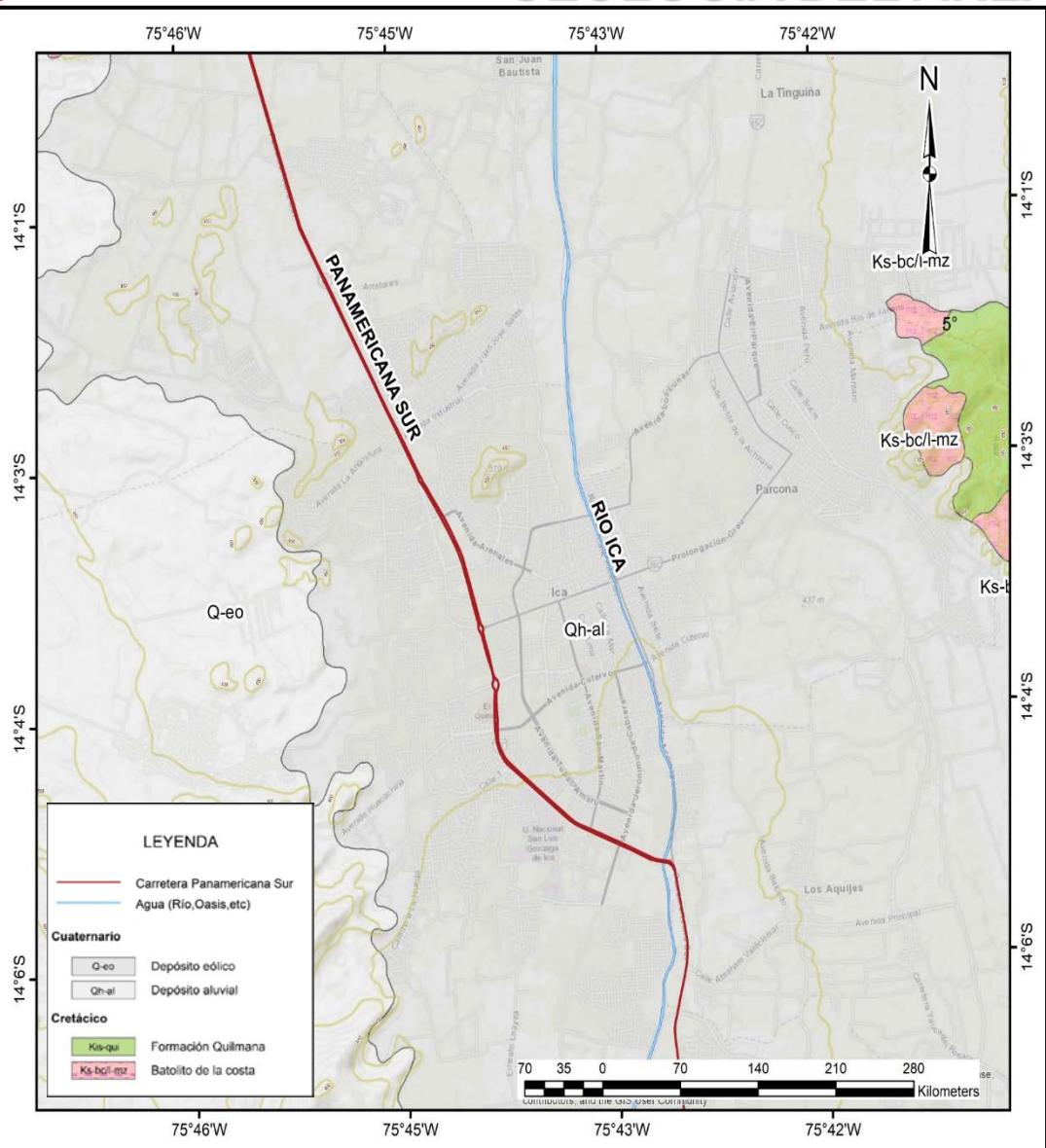
UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO



DISTRITOS

- PARCONA
- SUBANJALLA
- LA TINGUIÑA
- ICA
- LOS AQUIJES

GEOLOGÍA DEL AREA DE ESTUDIO



CUATERNARIO

Q-eo

Depósitos eólicos

Arenas cuarzosas de grano fino a medio, bien seleccionadas, con moderado contenido de ferromagnesianos

Qh-al

Depósitos aluvial

Materiales fluviales, aluvionales o la combinación de estos, compuestos por cantos y bloques en matriz arenolimosa

CRETÁCICO

Ks-bc/l-mz

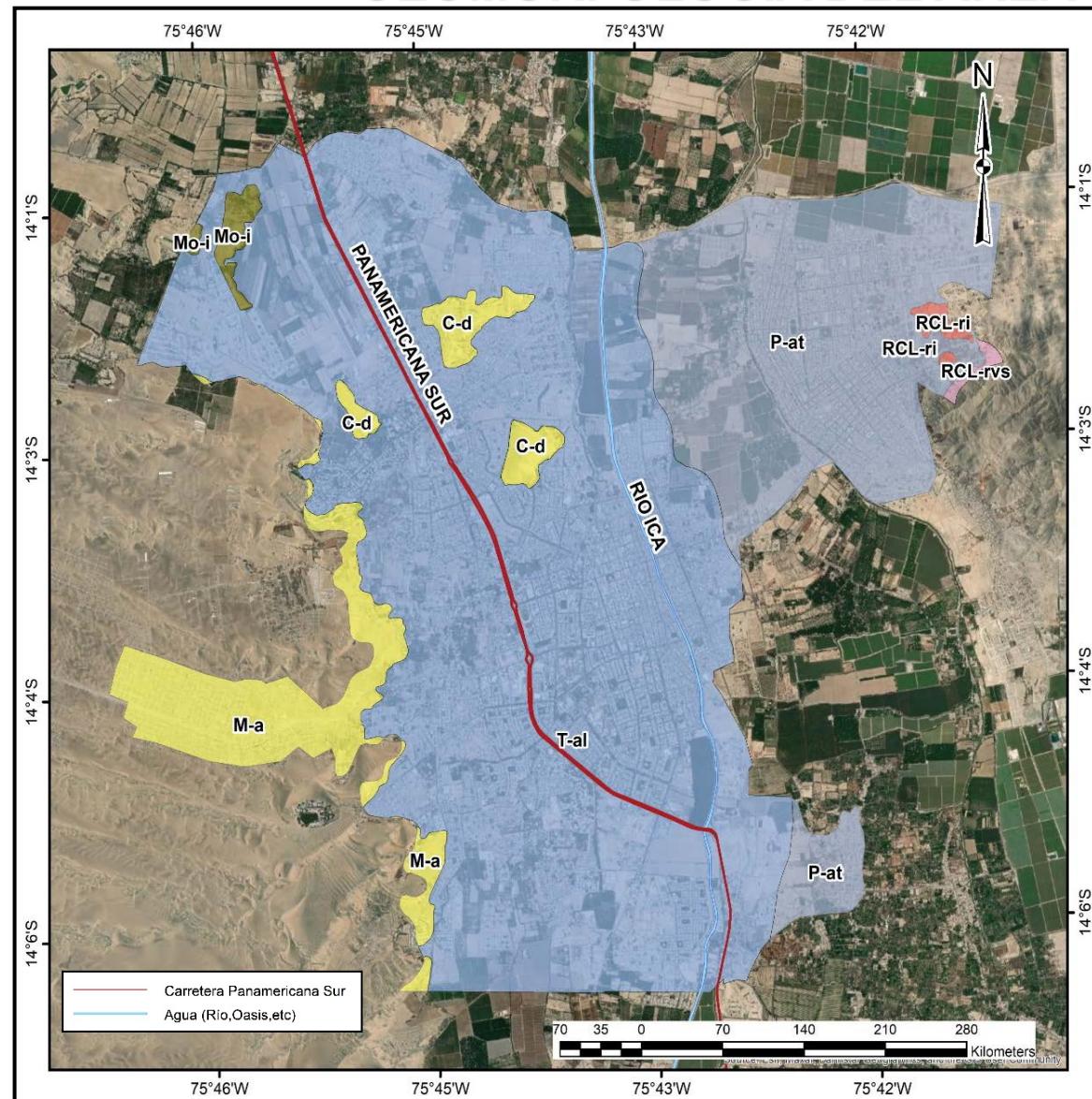
Batolito de La Costa

Kis-qui

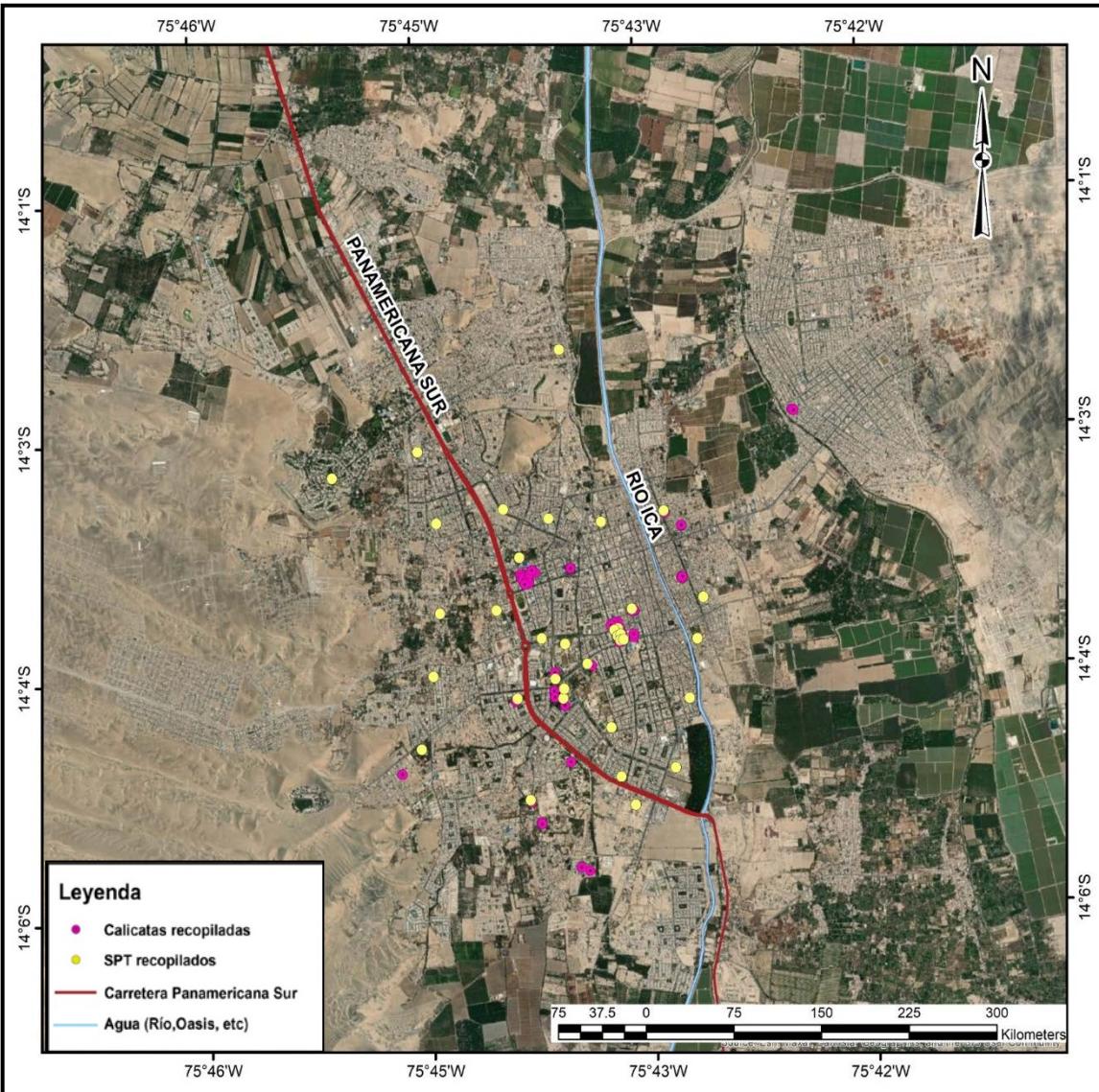
Formación Quilmana

Tobas vitricas cristalinas de tonos gris oscuros en estratos delgados

GEOMORFOLOGÍA DEL AREA DE ESTUDIO

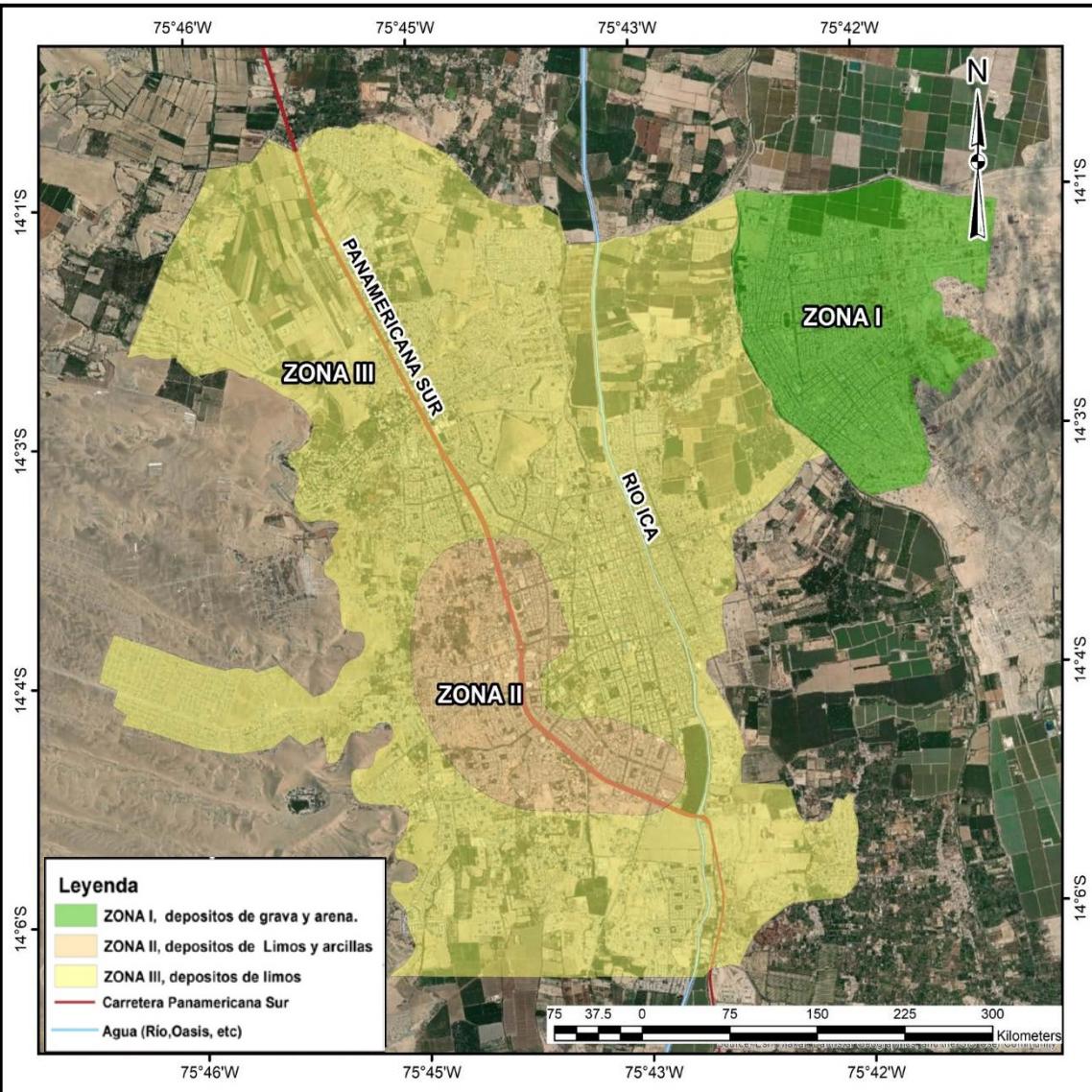


CALICATAS Y SPT RECOPIADOS



- **Calicatas recopiladas** 64
- **SPT recopilados** 57

PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE SUELOS



ZONA I

Depósitos de gravas y
arenas

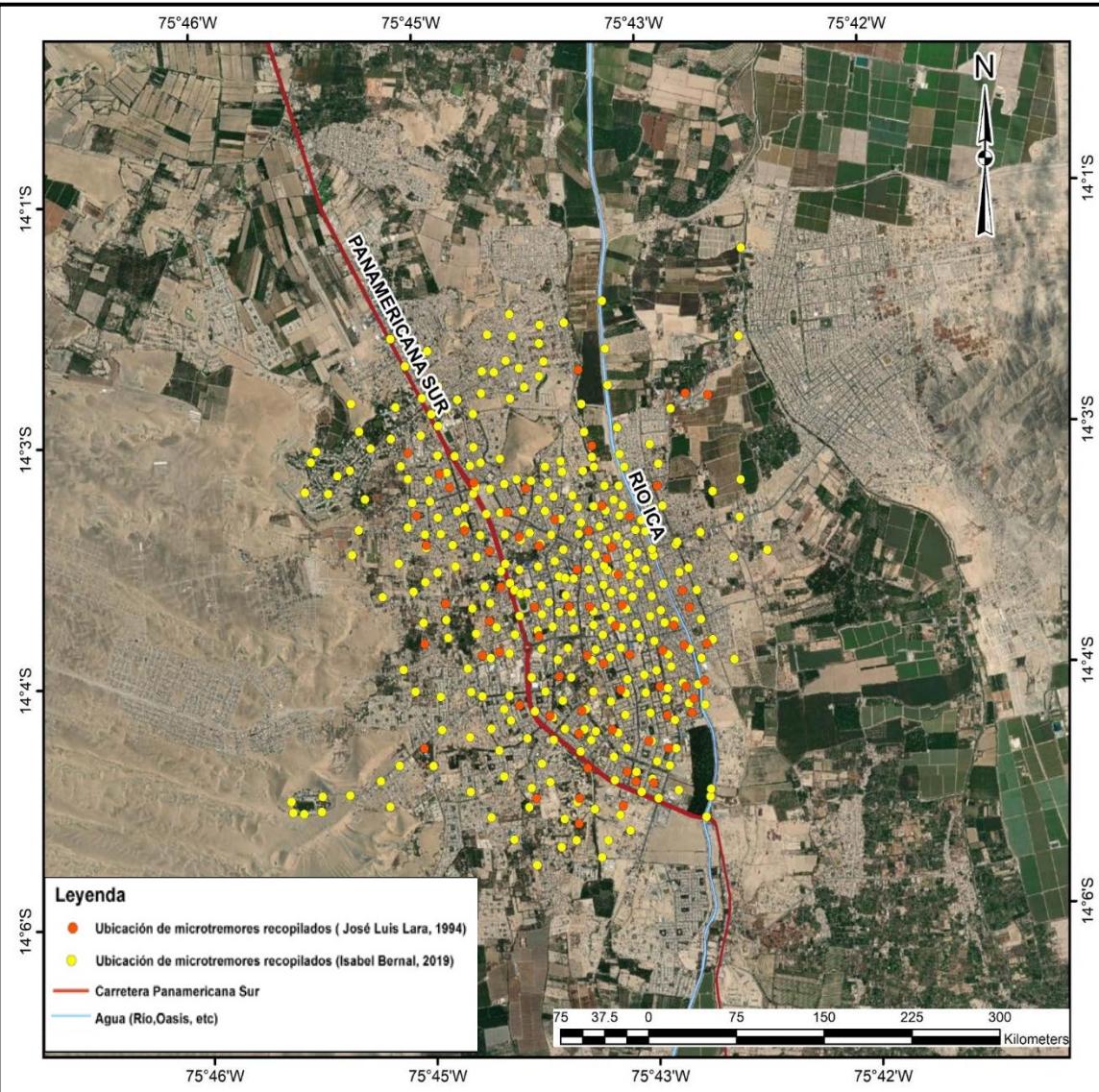
ZONA II

Depósitos de limos y arcillas

ZONA III

Depósitos de limos

MICROTREMORES RECOLLECTADOS



Ubicación de microtremores
recopilados

- Lara y Alva, 1994
- Bernal y Tavera, 2019

INVESTIGACIÓN DE CAMPO

Con la finalidad de caracterizar el comportamiento dinámico del suelo de la zona de estudio se realizó una campaña de ensayos geofísicos. En esta campaña, considerando que el Vs30, resulta limitado para representar la respuesta sísmica de los depósitos profundos del suelo, se realizaron de mediciones de microtremores y ensayos de análisis multicanal de ondas de superficie (MASW) para la determinación de perfiles de velocidades de ondas de corte.

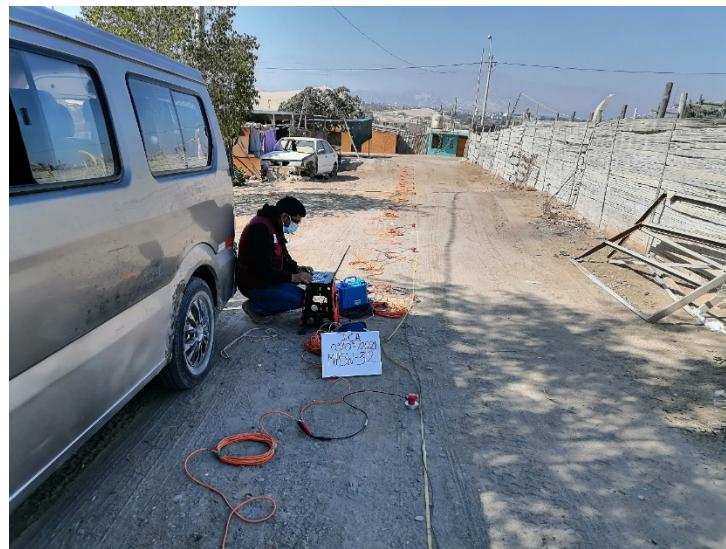
ENSAYOS EJECUTADOS	CANTIDAD
Microtremores a cargo del Proyecto de Investigación IIFIC	73
Microtremores anteriores (CITDI)	104
MASW a cargo del Proyecto de Investigación IIFIC	32
MASW anteriores (CITDI)	4

MICROTREMORES EJECUTADOS



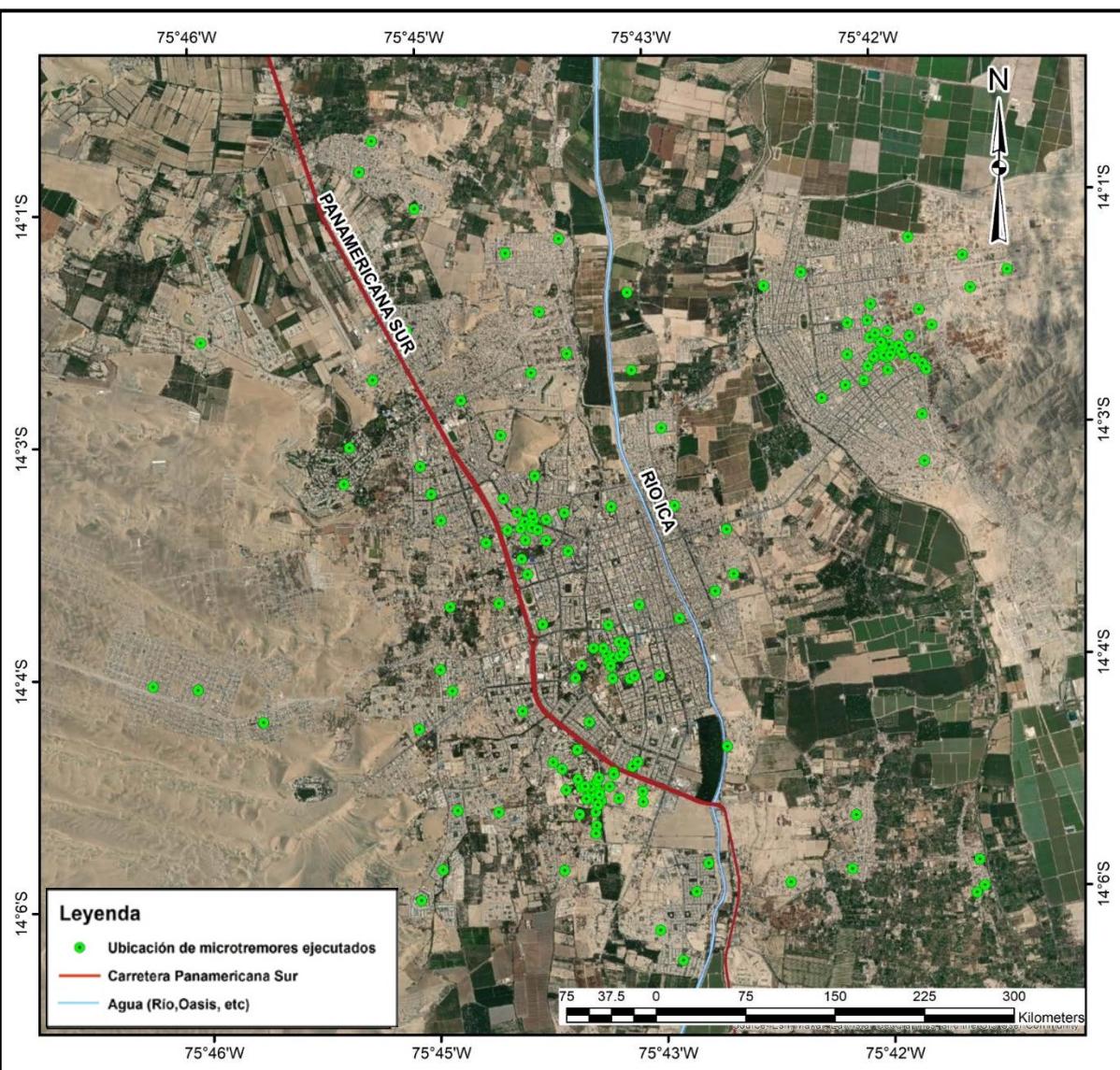
Registro de la vibración ambiental

MASW - EJECUTADOS



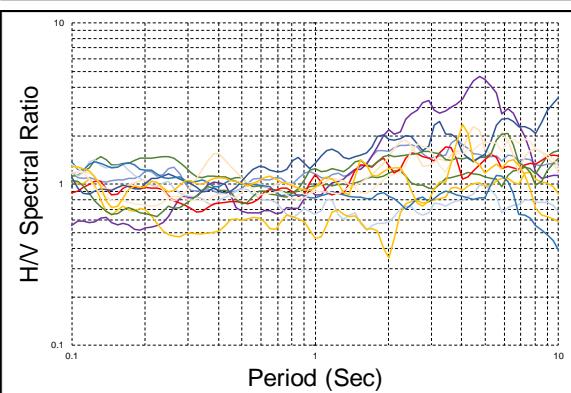
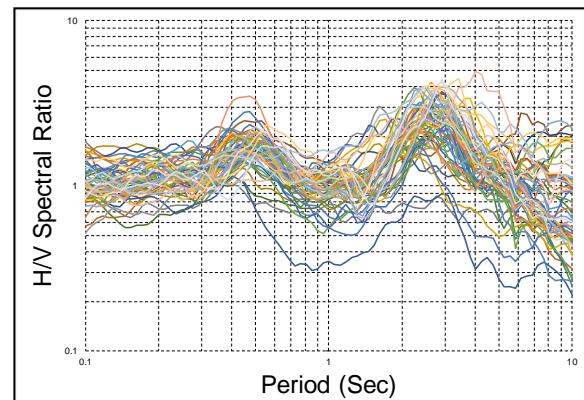
Ejecución de ensayos MASW

MICROTREMORES EJECUTADOS

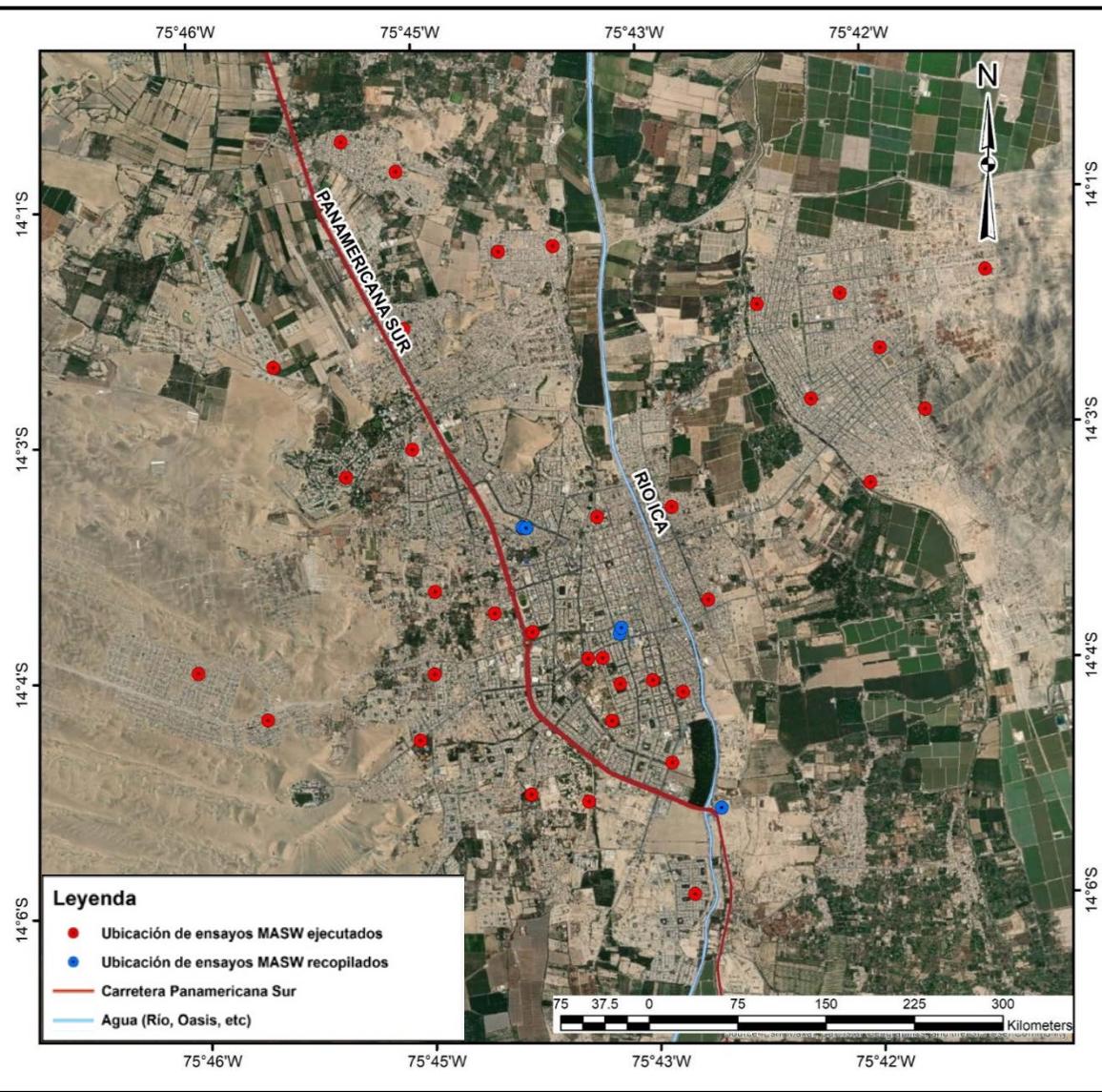


Ubicación
de microtremores
ejecutados

● Microtremores ejecutados



ENSAYOS MASW EJECUTADOS Y RECOLLECTADOS



Ubicación de Ensayos MASW

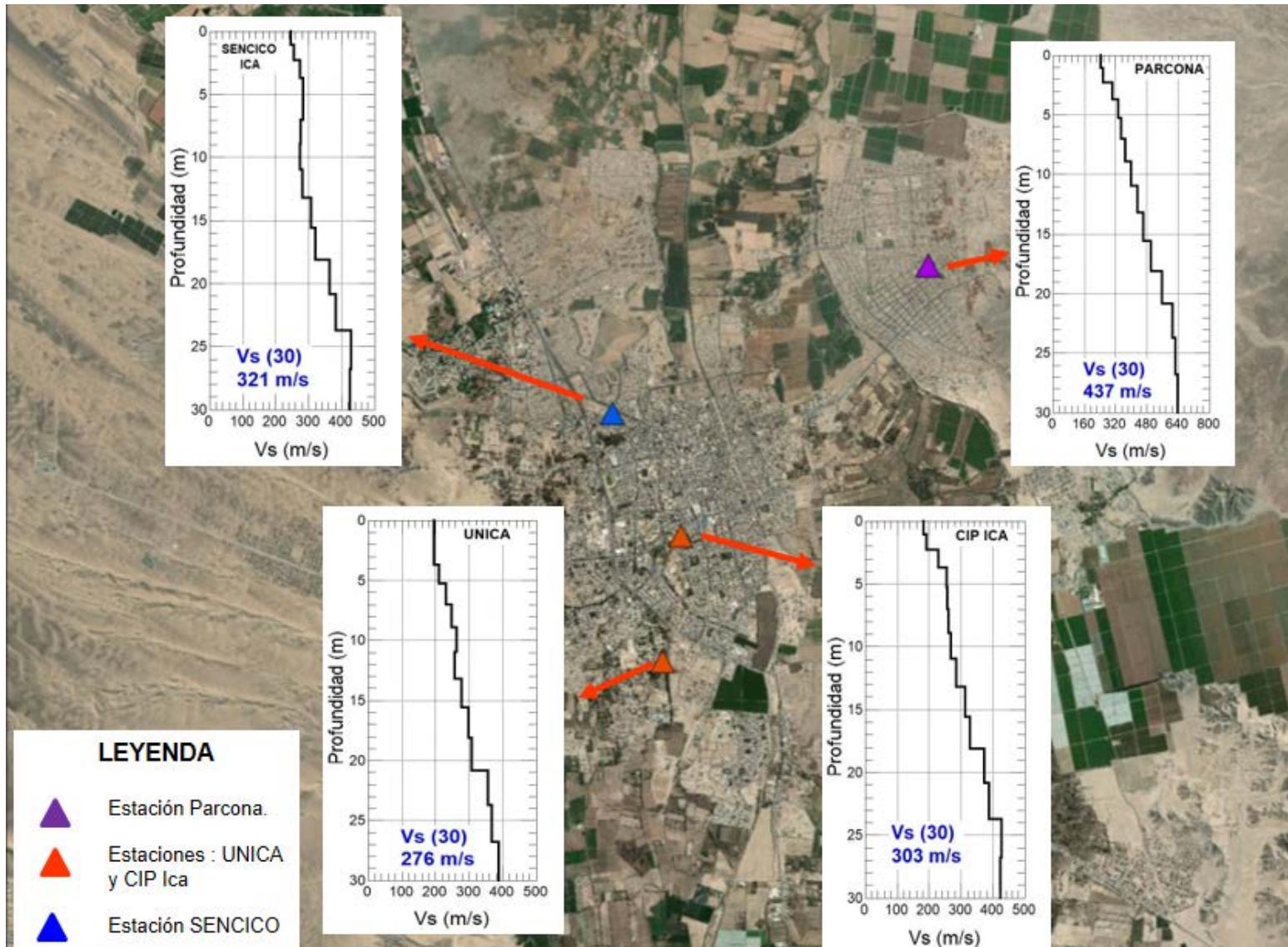
- Ensayo MASW ejecutado
- Ensayo MASW recopilado

ENSAYOS MASW EJECUTADOS

Ensayo	Vs30 (m/s)	E 0.30	ASCE 6-16
MASW-01	293	S2	D
MASW-02	262	S2	D
MASW-03	267	S2	D
MASW-04	281	S2	D
MASW-05	285	S2	D
MASW-06	300	S2	D
MASW-07	265	S2	D
MASW-08	364	S2	D
MASW-09	334	S2	D
MASW-10	303	S2	D
MASW-11	327	S2	D
MASW-12	316	S2	D
MASW-13	270	S2	D
MASW-14	286	S2	D
MASW-15	331	S2	D
MASW-16	437	S2	C
MASW-17	383	S2	D
MASW-18	359	S2	D
MASW-19	363	S2	C
MASW-20	356	S2	D
MASW-21	430	S2	C
MASW-22	283	S2	D
MASW-23	337	S2	D
MASW-24	278	S2	D
MASW-25	308	S2	D
MASW-26	321	S2	D
MASW-27	317	S2	D
MASW-28	289	S2	D
MASW-29	283	S2	D
MASW-30	281	S2	D
MASW-31	281	S2	D
MASW-32	285	S2	D



ENSAYOS MASW EN ESTACIONES ACELEROGRÁFICAS DE ICA





CIP - ICA

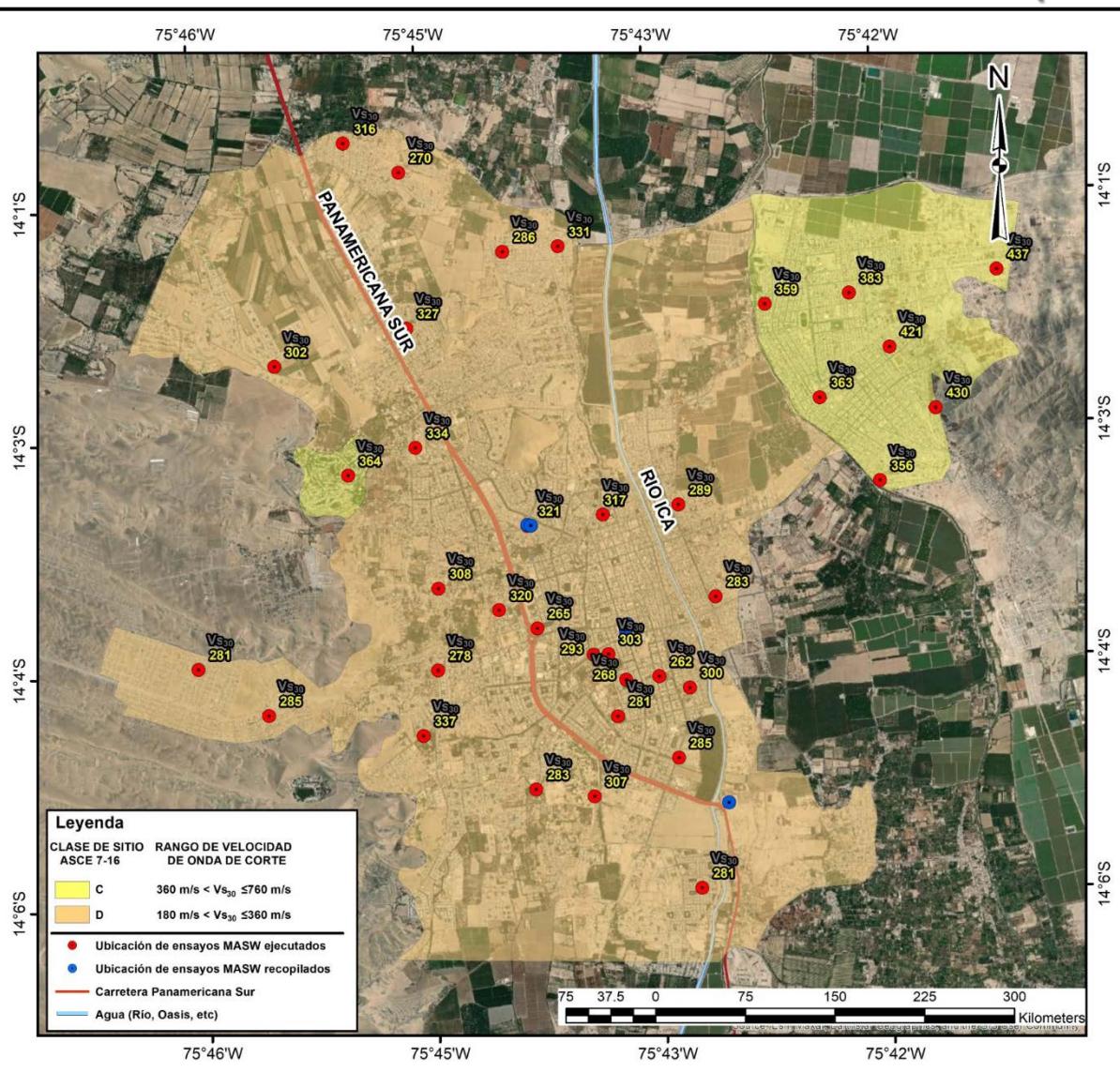


SENCICO - ICA



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS
GONZAGA DE ICA

MAPA DE VS₃₀ (m/s)



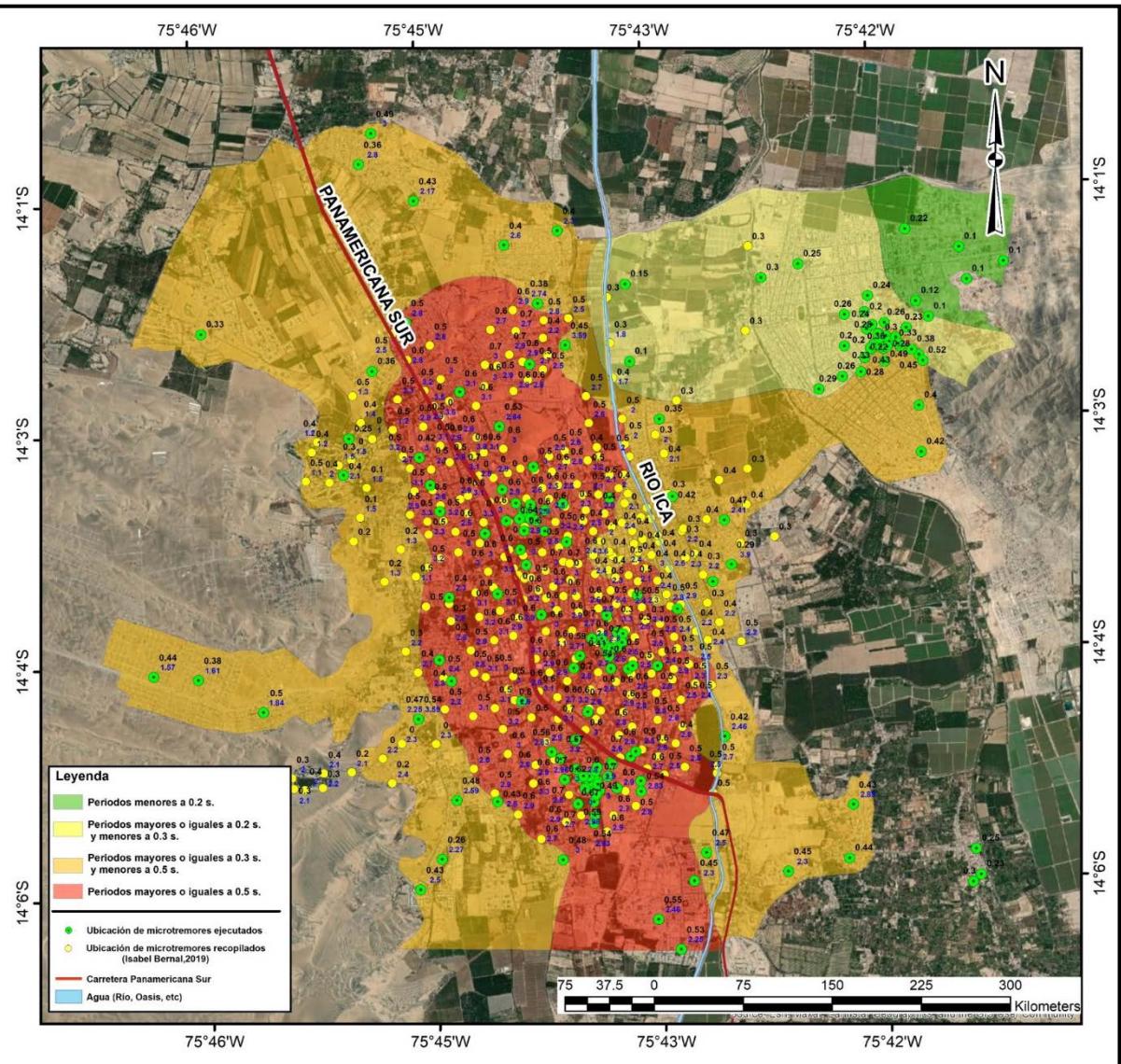
Leyenda

CLASE DE SITIO RANGO DE VELOCIDAD
ASCE 7-16 DE ONDA DE CORTE

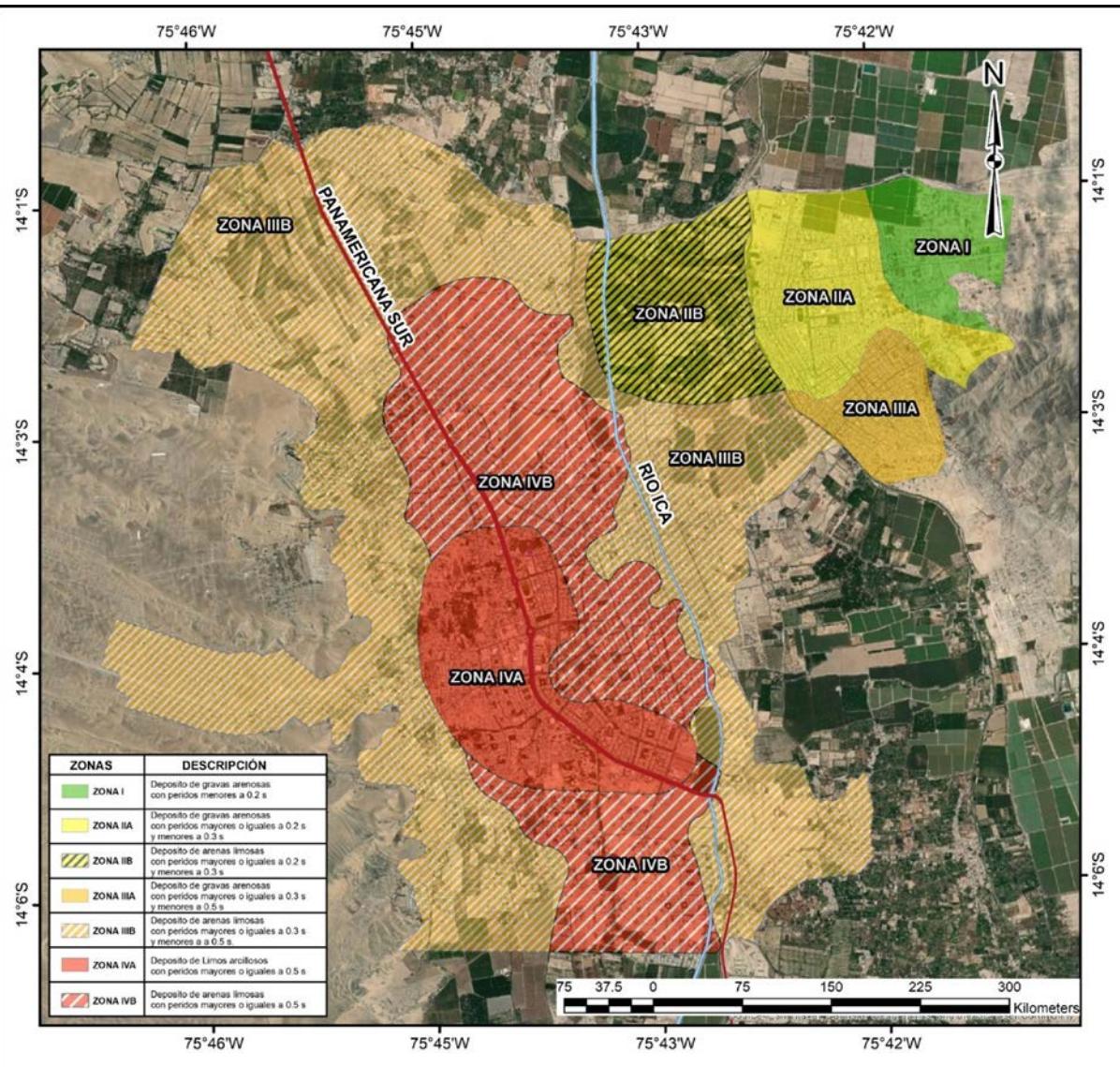
	C	360 m/s < VS ₃₀ ≤ 760 m/s
	D	180 m/s < VS ₃₀ ≤ 360 m/s

- Ubicación de ensayos MASW ejecutados
- Ubicación de ensayos MASW recopilados
- Carretera Panamericana Sur
- Agua (Río, Oasis, etc)

MAPA DE ISOPERÍODOS



MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA



ZONAS	DESCRIPCIÓN
ZONA I	Depósito de gravas arenosas con períodos menores a 0.2 s
ZONA II	Depósito de gravas arenosas con períodos mayores o iguales a 0.2 s y menores a 0.3 s
ZONA IIB	Depósito de arenas limosas con períodos mayores o iguales a 0.2 s y menores a 0.3 s
ZONA IIIA	Depósito de gravas arenosas con períodos mayores o iguales a 0.3 s y menores a 0.5 s
ZONA IIIB	Depósito de arenas limosas con períodos mayores o iguales a 0.3 s y menores a 0.5 s.
ZONA IVA	Depósito de Limos arcillosos con períodos mayores o iguales a 0.5 s
ZONA IVB	Depósito de arenas limosas con períodos mayores o iguales a 0.5 s

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se analizaron los resultados de ensayos geofísicos determinando que los períodos de suelo se encuentran dentro del rango de 0.10 s a 0.60 s y los valores de V_{s30} obtenidos varían de 276 m/s hasta 600 m/s .
- En general, gran parte de los suelos de la ciudad de Ica son suelos blandos y sueltos por lo que les corresponde periodos de vibración largos.
- 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 futuros desastres naturales.
- 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 recomienda que los Gobiernos Locales y Regionales consideren las investigaciones desarrolladas por la Universidad Nacional de Ingeniería en la ciudad de Ica.

5-ICTI-2022

5th International Conference on Transportation Infrastructure

*Thanks for your
attention*