

CONGRESO INTERNACIONAL DE TERREMOTOS Y VULNERABILIDADES

Colegio Dominicano de Ingenieros. Arquitectos y Agrimensores de Republica Dominicana (CODIA)

Junio 22-26 del 2023



**LA VULNERABILIDAD, Y LA LICUACION
SISMICA DE LOS SUELOS DURANTE LOS
EVENTOS SISMICOS.**

Rafael Guardado Lacaba

Académico Titular ACC



TEMAS A TRATAR

- **LICUACION DE LOS SUELOS**
- **VULNERABILIDAD SISMICA**
 - **ANALISIS DE CASOS**

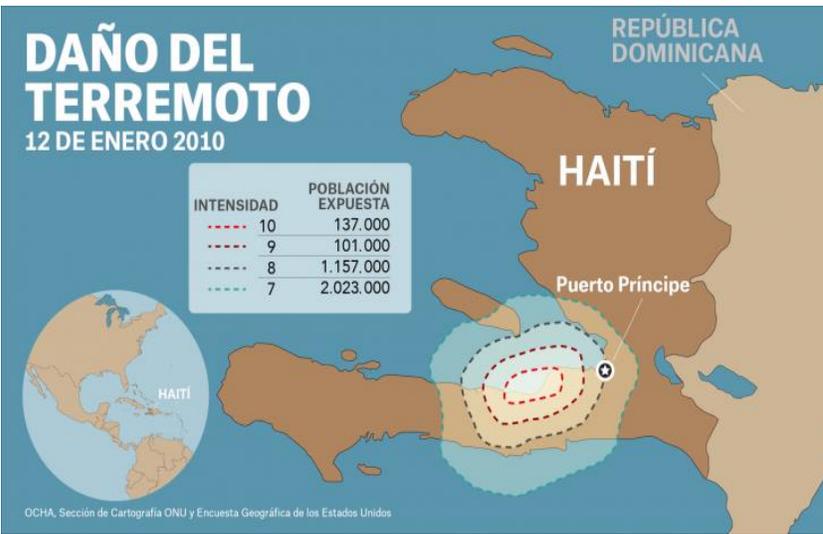


**¿Cual es el costo de un TERREMOTO
de gran magnitud?
¿Qué HACEMOS PARA REDUCIR
VULNERABILIDADES Y EL RIESGO
SISMICO?**

El costo económico de los terremotos se SE PUEDE DIVIDIR POR:

- Los daños a la infraestructura que debe ser reconstruidas, restauradas, rehabilitadas
- El efecto que pueda tener sobre la capacidad productiva de un país.

Haití (2010)



- Después del sismo de **7 grados** que golpeó el país caribeño **el 12 de enero del 2010**, se calculaba que unos **80 mil haitianos aún vivían en campos de refugiados**.

- Las cifras que dejó el terremoto son terribles. Se calcula que **la cifra de fallecidos llegó a 350,000** y los heridos a **mas de 300 mil**.



- Las pérdidas bordearon los **US\$14 mil millones**, una cifra menor a la de otros desastres, pero es casi el doble de lo que produce Haití en todo un año.

Chile (2010)



- El terremoto que golpeó Chile en el 2010 generó **pérdidas económicas por US\$ 24 mil millones, monto que equivale al 12% del PBI chileno.**
- De acuerdo con el diario La Tercera, los daños a la infraestructura pública y privada **se calcularon en US\$ 21 mil millones y los bienes y servicios que no pudo producir por el terremoto suman unos US\$ 3 mil millones.**

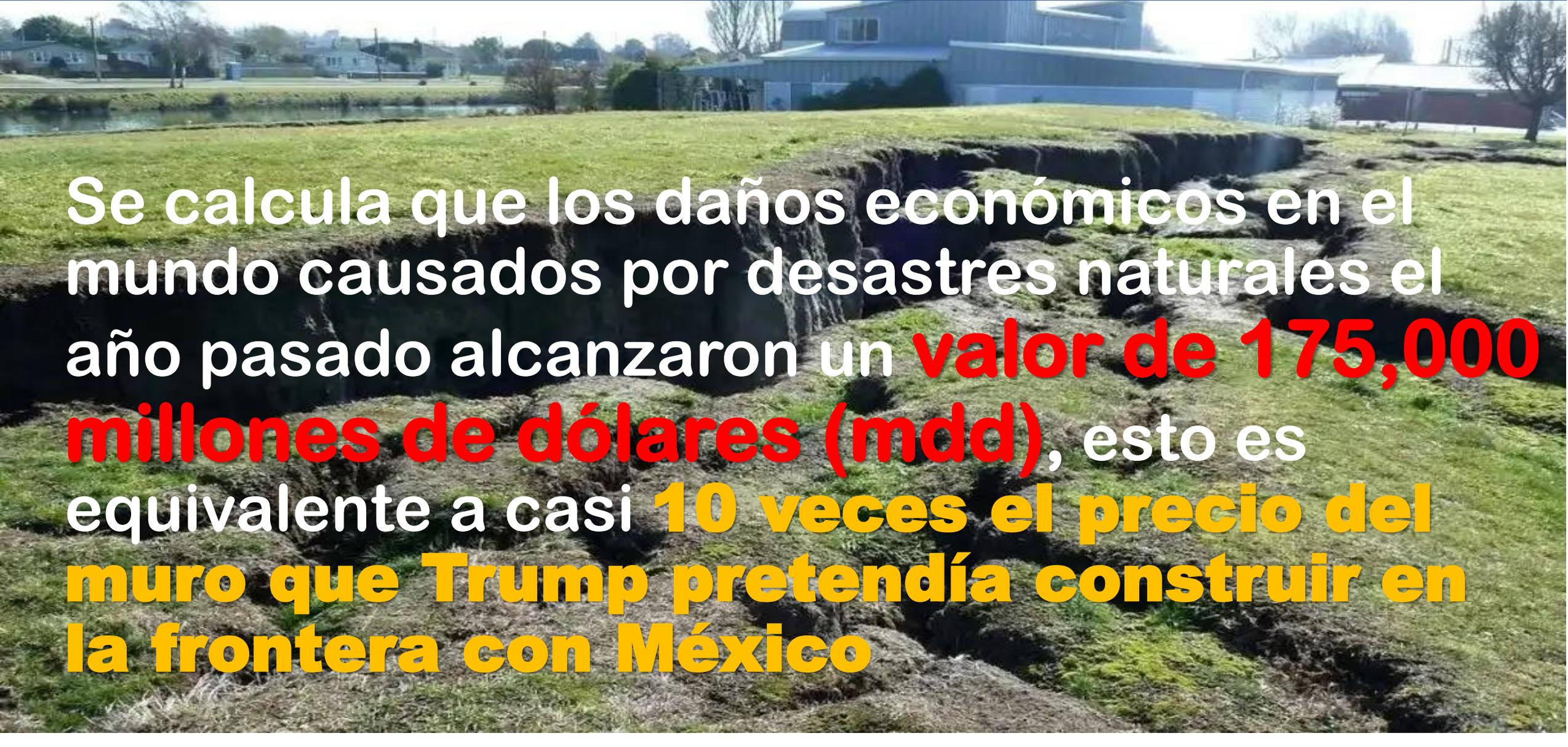
Ecuador (2016)



- El terremoto de **7.8 grados** dejó más de **350 fallecidos en abril del 2016.**

- En las primeras horas del desastre, el Ministerio de Finanzas ecuatoriano **señaló que destinó US\$ 300 millones de los fondos de emergencia** que mantiene el país y que **utilizó líneas de crédito contingente con organismos multilaterales por US\$ 600 millones** para ayudar a financiar la reconstrucción.





Se calcula que los daños económicos en el mundo causados por desastres naturales el año pasado alcanzaron un **valor de 175,000 millones de dólares (mdd)**, esto es equivalente a casi **10 veces el precio del muro que Trump pretendía construir en la frontera con México**



Cuatro años después del terremoto de Haití Fotos Osiris de Leon 2010



Aun NO podemos predecir cuándo, dónde o qué tan grande será un terremoto, pero los valores de pérdida anual iluminan dónde el daño será más costoso.

La vulnerabilidad sísmica es un alto reflejo de exposición, costo y daño

CONGRESO INTERNACIONAL DE TERREMOTOS Y VULNERABILIDADES

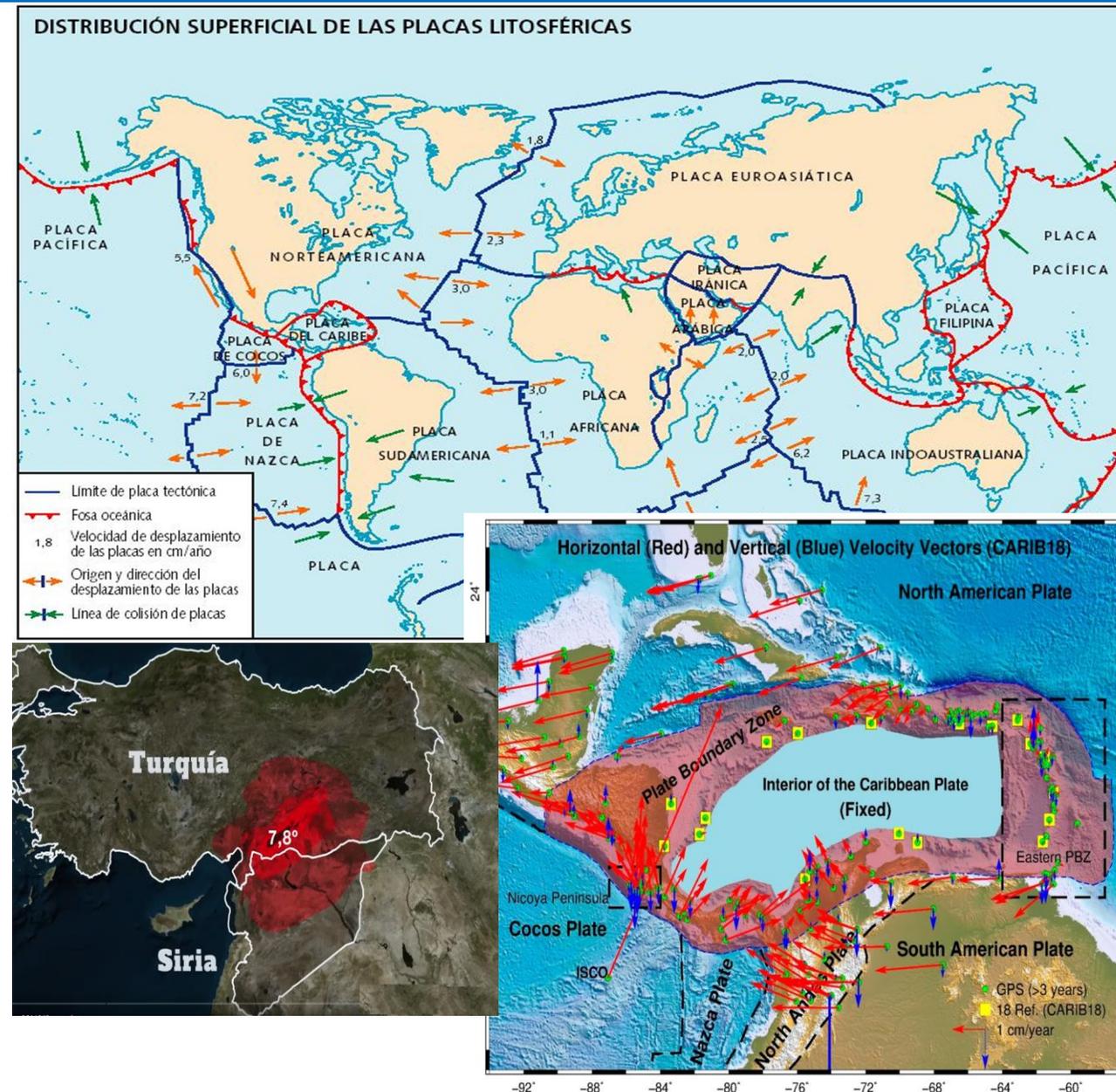
Colegio Dominicano de Ingenieros. Arquitectos y Agrimensores de Republica Dominicana (CODIA)

Junio 22-26 del 2023



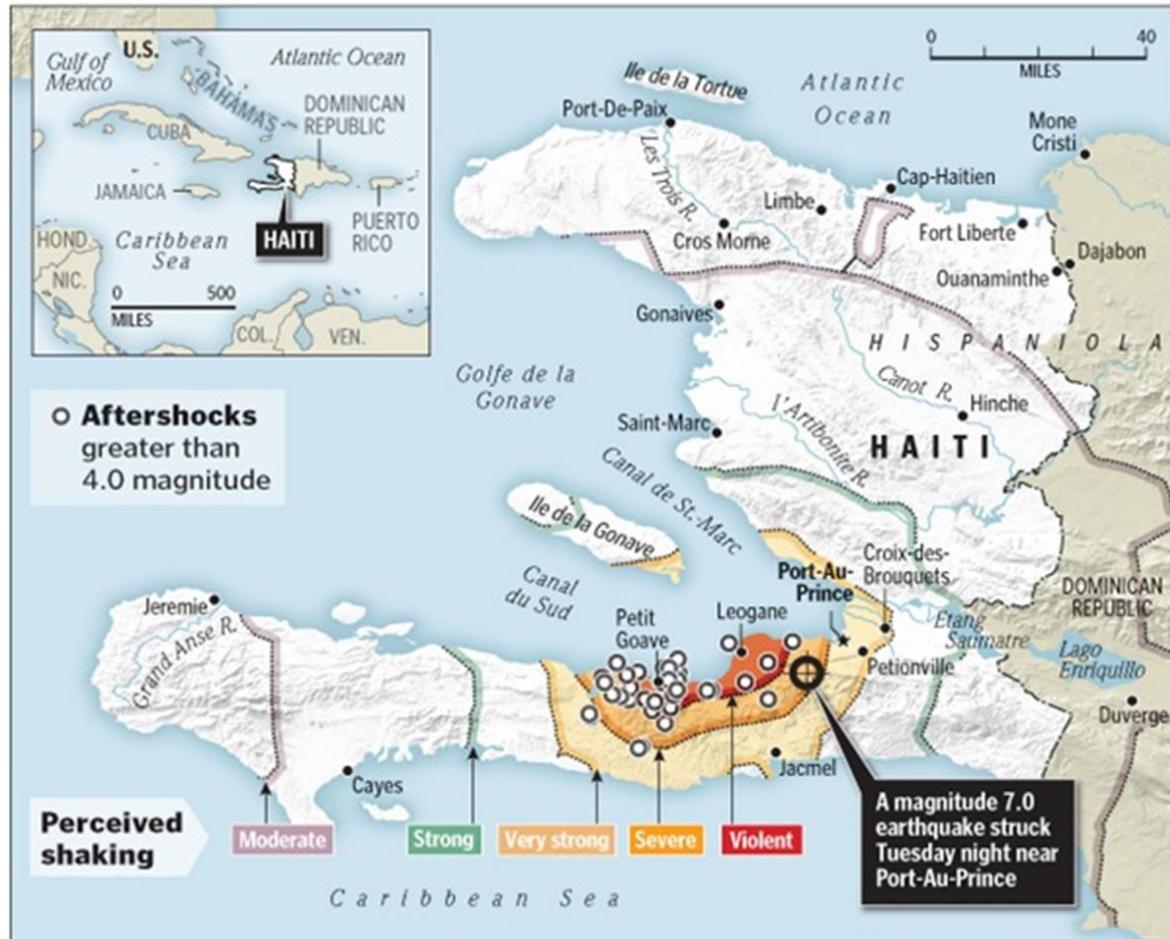
***Cuánto costará la
reconstrucción tras los
terremotos de Turquía y Siria***

Conceptos básicos de la licuación de suelos por sismos



En el siglo XXI, se descubrió que **los terremotos devastadores comúnmente coexistían con la licuefacción**, lo que a su vez causaba daños a las estructuras.

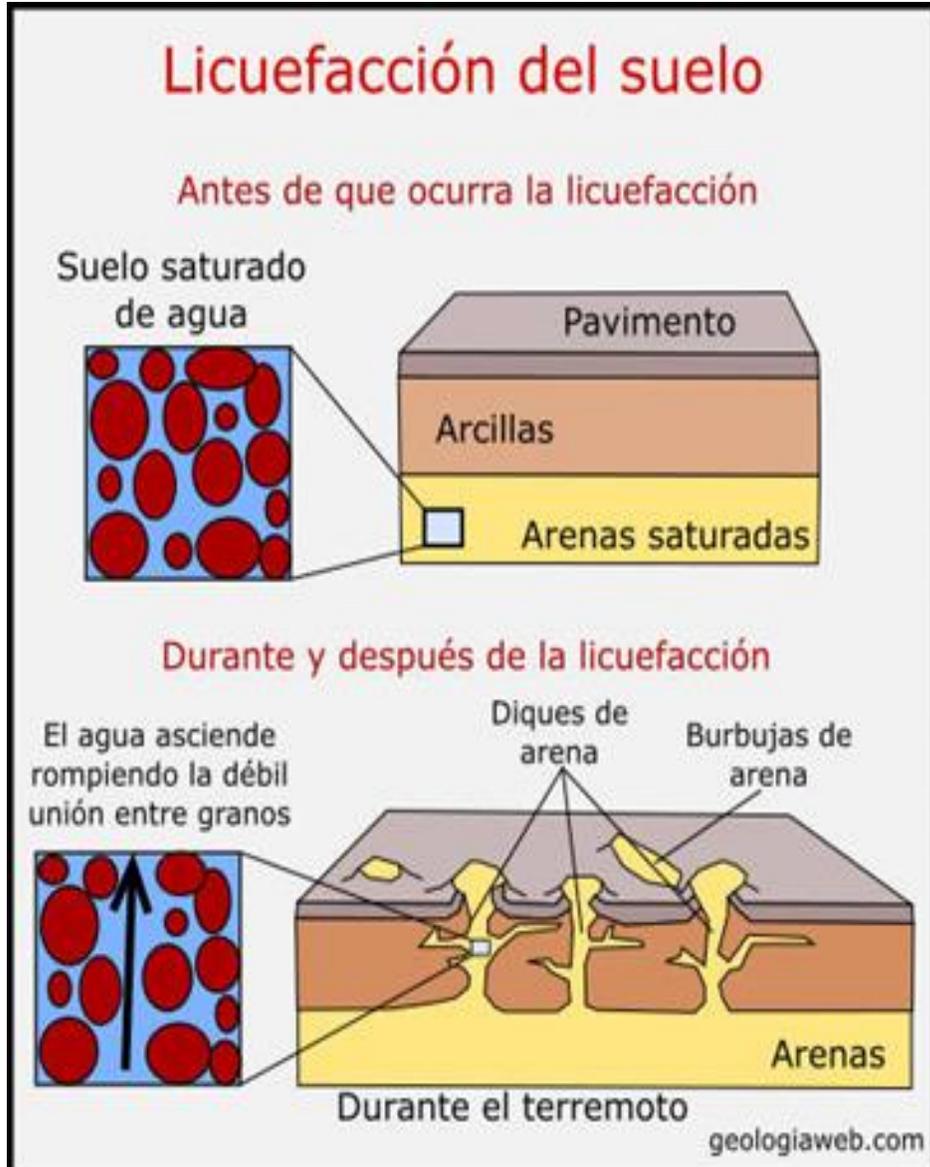
Conceptos básicos de la licuacion de suelos por sismos



Por lo general, todos los grandes terremotos causan daños impresionantes y destructivos en el suelo, causado por su desplazamiento generalizado e inducido por la licuefacción.

TERREMOTO EN HAITI ENERO 2010

Conceptos básicos de la licuación de suelos por sismos



Los suelos licuable: son aquellos suelos, saturados, que al experimentar esfuerzos cortantes anómalos y rápidos, generan un aumento de las presiones intersticiales, disminuyen la resistencia al corte y el material se comporta como líquido, dando lugar a movimientos verticales y horizontales

Daño vial por licuación.

Licuación de Suelos de flujos:

Se define como un estado de movimiento catastrófico donde el esfuerzo cortante estático es superior a la resistencia del suelo en su condición licuada.

Cuando sobreviene el movimiento sísmico, este actúa como un disparador



Conceptos básicos de la licuación de suelos por sismos

son **las arenas finas y blandas y los limos mal graduados.**

los suelos susceptibles a **perder su resistencia** ante sollicitaciones dinámicas



Conceptos básicos de la licuación de suelos por sismos

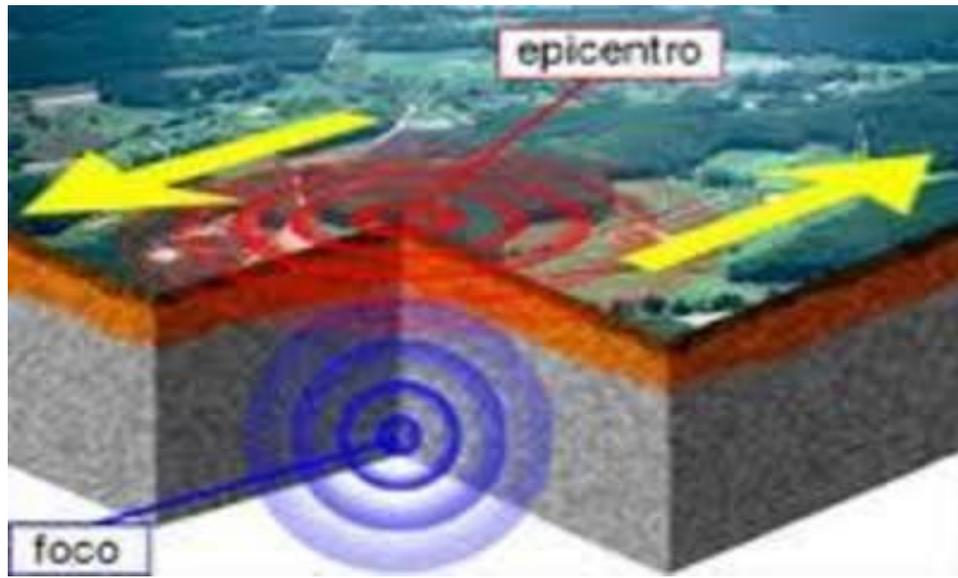
El fenómeno de la licuefacción, provoca el fallo de las cimentaciones, rotura de taludes y deslizamientos.



Conceptos básicos de la licuación de suelos por sismos

Otras de las condiciones necesarias para que tenga lugar este modo de comportamiento del suelo son niveles freáticos altos, y que el grado de compactación sea bajo.

FACTORES CONDICIONALES DE LA LICUEFACCIÓN



- la propagación y amplificación anormal de las ondas sísmicas,
- las condiciones geológicas y tectónicas
- Las condiciones geotécnicas.
- La comprensión de la mecánica de la licuefacción, las características de liquidez pueden diferir en geometría, tipo y dimensión en varios lugares.

FACTORES CONDICIONALES DE LA LICUEFACCIÓN

- Para que se produzca licuefacción es necesario que el medio reúna los siguientes requisitos:
 1. **Material de granulometría y permeabilidad apropiada, con elevada porosidad**
 2. **Estar saturado completamente en agua** (el nivel freático debe ser muy superficial),
 3. **El material no debe estar a gran profundidad, y**
 4. Es necesario un terremoto de cierta magnitud mínima.

Tres elementos son clave para comprender los requisitos mencionados: **poros de gran tamaño, ausencia de cohesión (o que ésta sea muy baja) y la permeabilidad del sedimento.**

La cohesión es un factor clave que controla la resistencia y deformabilidad de los suelos

PERDIDA DE LA CAPACIDAD PORTANTE

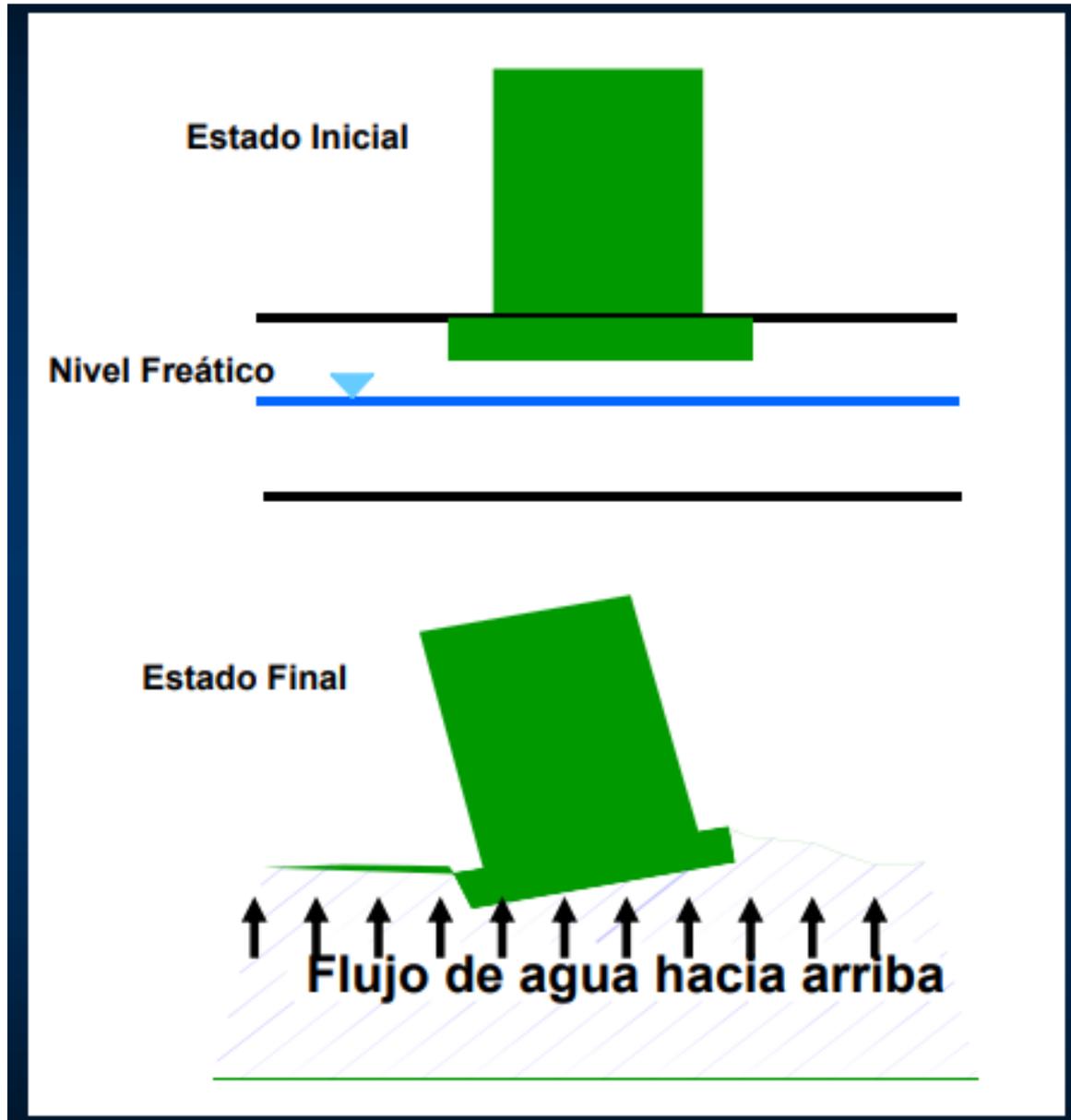
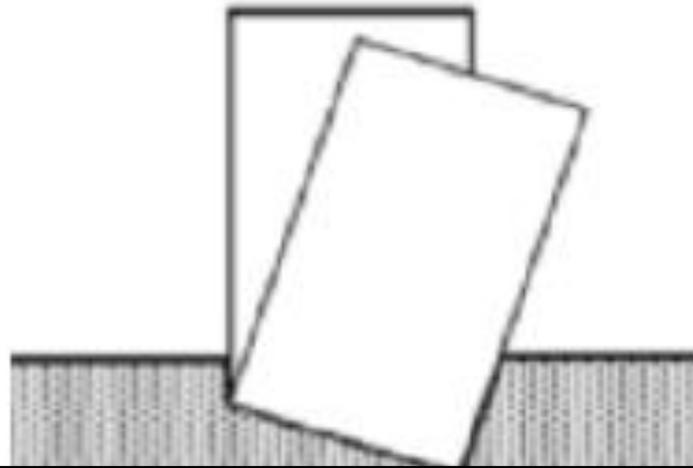


DIAGRAMA DE UNA ESTRUCTURA INCLINADA COMO CONSECUENCIA DE LA PÉRDIDA DE CAPACIDAD PORTANTE.

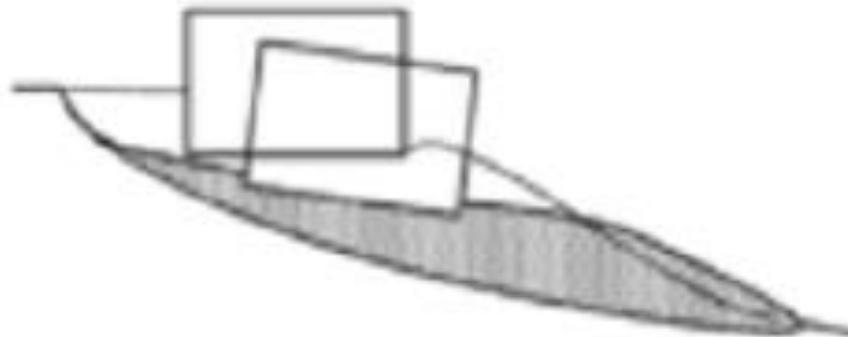
LA LICUACIÓN DEBILITA AL SUELO, REDUCE SU CAPACIDAD DE SOPORTE Y PERMITE QUE LAS ESTRUCTURAS SE ASIENTEN E INCLINEN.

CASOS HISTÓRICOS

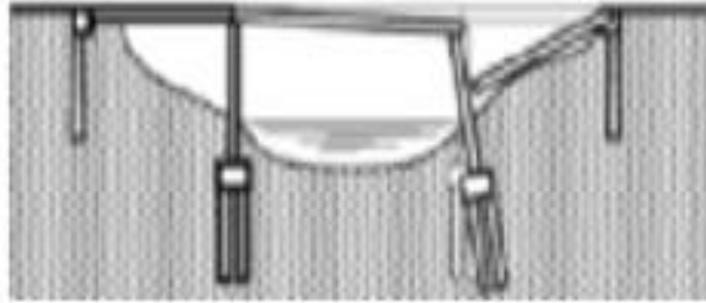
Hundimiento de edificios en la ciudad de Niigata (Japón, 1964)



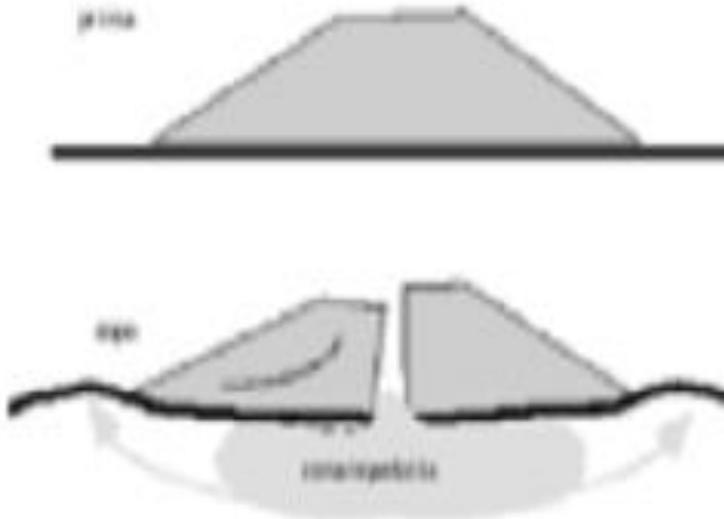
Efectos de la licuefacción del suelo en el gran terremoto de Alaska, en 1964



CASOS HISTÓRICOS



Fallas del puente Showa durante el terremoto de Niigata (Japón, 1964);



Hundimiento de la calzada debido a la expansión lateral del suelo (Alaska, 1964)

Hatay, Turquía (Reuters, 2023).



EN LA FIGURA SE PUEDE APRECIAR QUE LA MAYORÍA DE LAS CONSTRUCCIONES UBICADAS ENTRE EL CANAL DE AGUA Y LA AVENIDA TUVIERON COLAPSO O DAÑO SEVERO. SE OBSERVA QUE LAS CONSTRUCCIONES TIENEN ENTRE 3 Y 9 NIVELES.

EL NIVEL FREÁTICO ALTO EN TURQUÍA DURANTE EL TERREMOTO 2023



Foto tomada por Rafael Osiris de Leon 2023

LA VULNERABILIDAD SISMICA



Los fenómenos sociales
asociados al desarrollo
urbanos nos hacen
vulnerables

La vulnerabilidad sísmica



¿Son todas las estructuras altamente vulnerables a los terremotos?

Por lo tanto, es crucial **investigar la vulnerabilidad de tales estructuras geotécnicas mientras se evalúa el riesgo sísmico.**



LA VULNERABILIDAD SISMICA

El terremoto de Haití hizo colapsar el palacio de Gobierno

La vulnerabilidad sísmica es indispensable para los estudios del riesgo sísmico y los trabajos de mitigación de desastres por terremotos



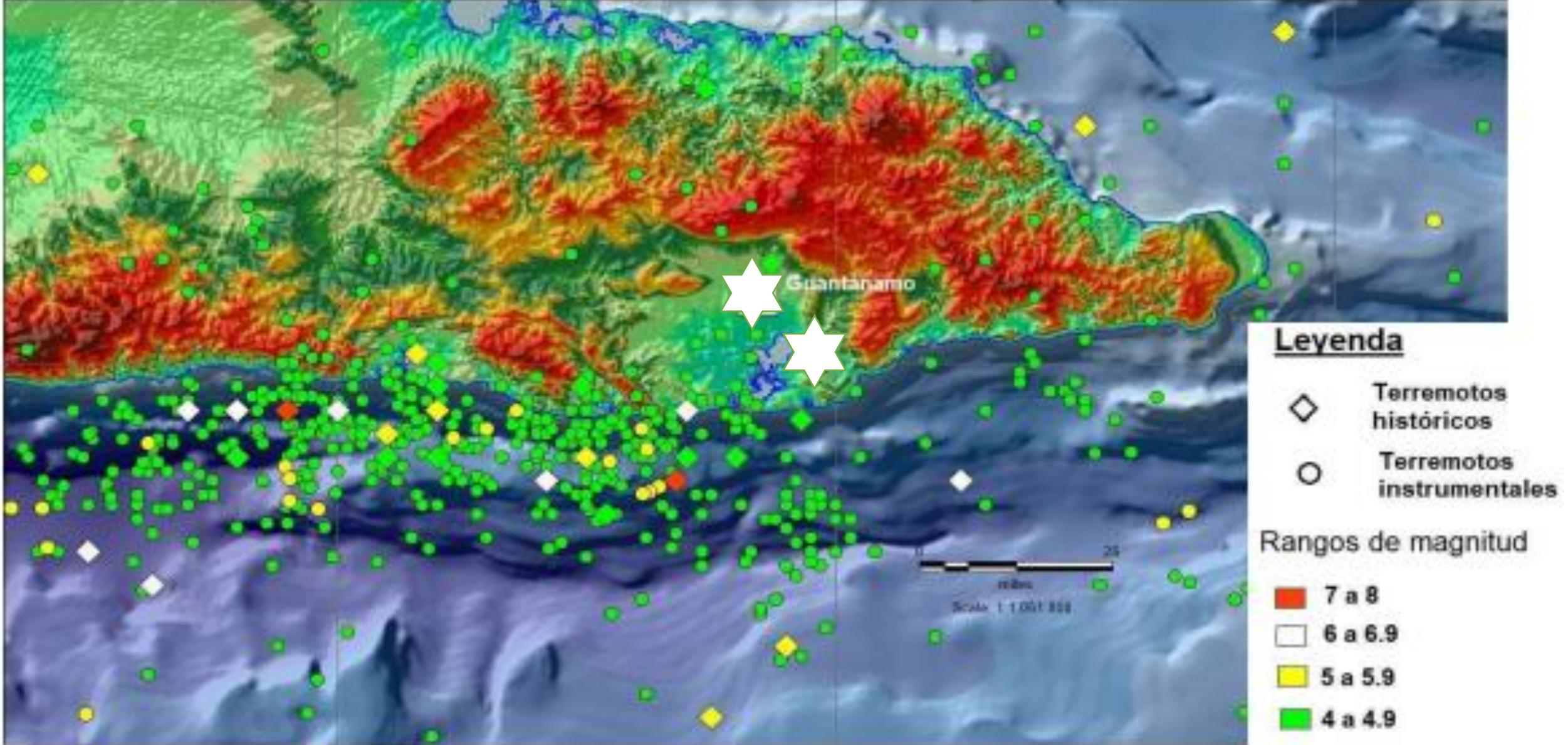
LA VULNERABILIDAD SISMICA



El primer paso de estudio de la vulnerabilidad consiste en definir su naturaleza y alcance, lo cual esta condicionado por factores como el daño que se pretende evaluar, la información disponibles de las estructuras, y el nivel de peligrosidad sísmica.

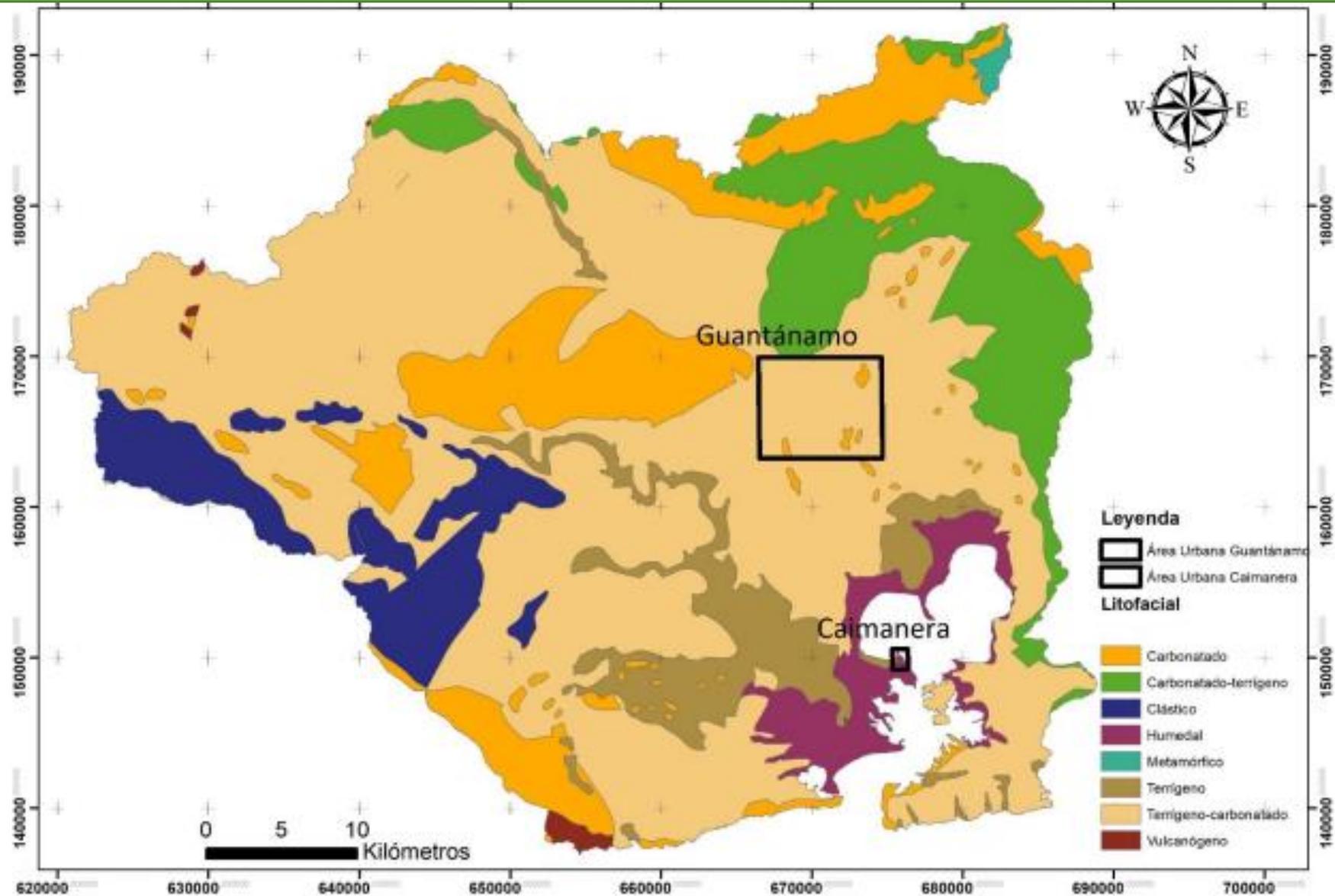
ESTUDIO DE CASOS



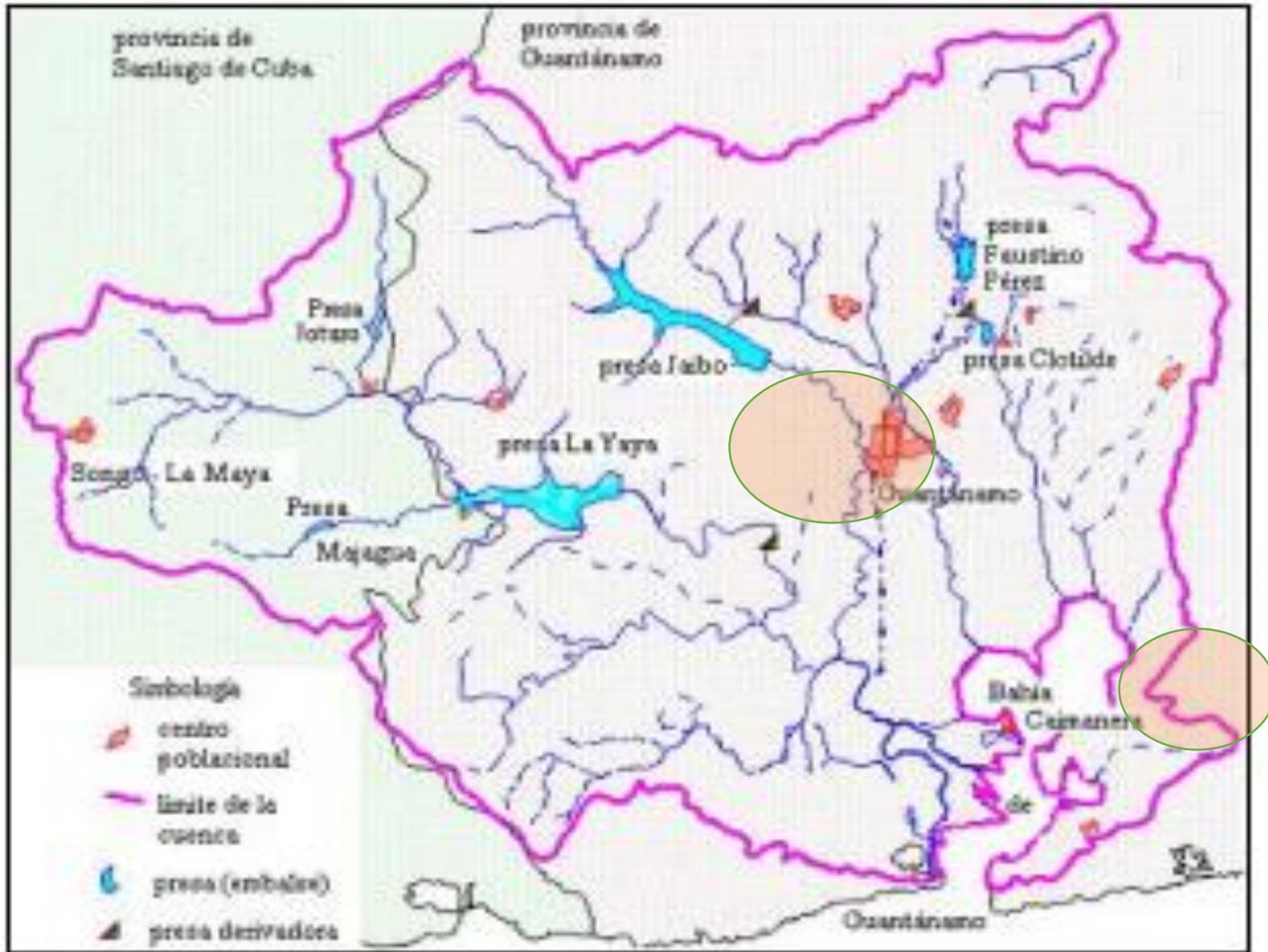


Mapa de ubicación de los epicentros de los terremotos históricos e instrumentales en el período 1 502 – 2 022 (Bases de datos d CENAI, 2022).

Mapa de litofacies de la cuenca Guantánamo-Guaso, a partir del mapa geológico 1: 100 000 del Instituto de Geología y Paleontología, 2010.



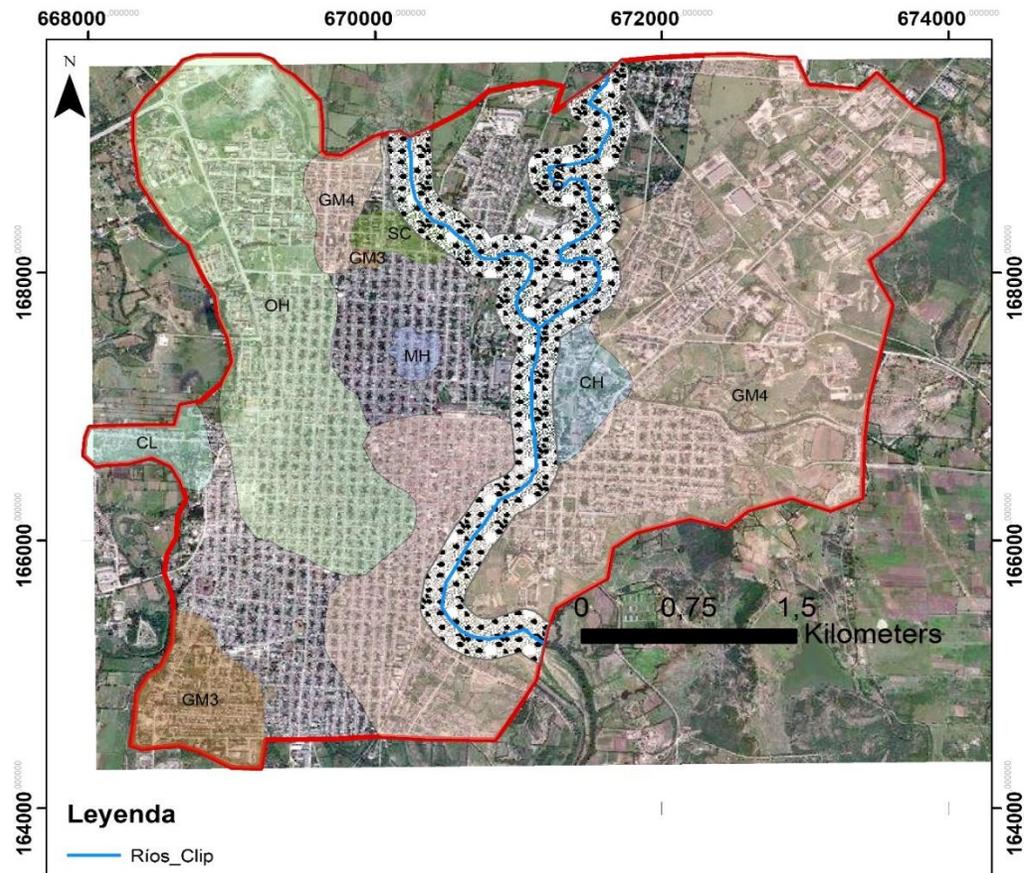
CUENCA DE GUANTANAMO – GUASO. CUBA



El peligro sísmico en la cuenca puede desencadenar la licuefacción.

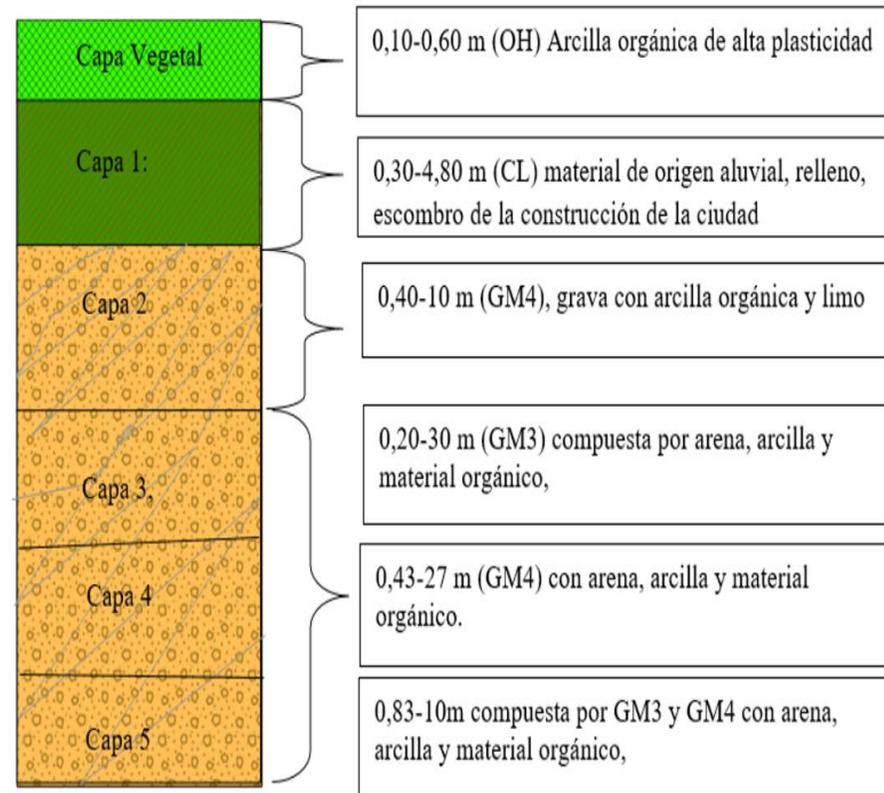
La cuenca de Guantánamo . Guaso está dominada por depósitos aluviales

ESQUEMA DE TIPOS DE SUELOS PRESENTES EN LA CIUDAD DE GUANTÁNAMO



Leyenda

- Ríos_Clip
- Depósitos Aluviales
- Tipo de Suelo**
- Sin Datos
- Clase**
- Arcilla de alta plasticidad
- Arcilla de baja plasticidad
- Grava con Limo alterada
- Grava con Limo muy alterada
- Limo de alta plasticidad
- Cieno orgánico
- Arena arcillosa
- Área_Urba_Guantánamo

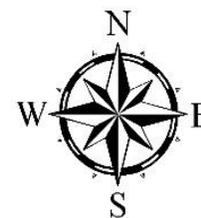
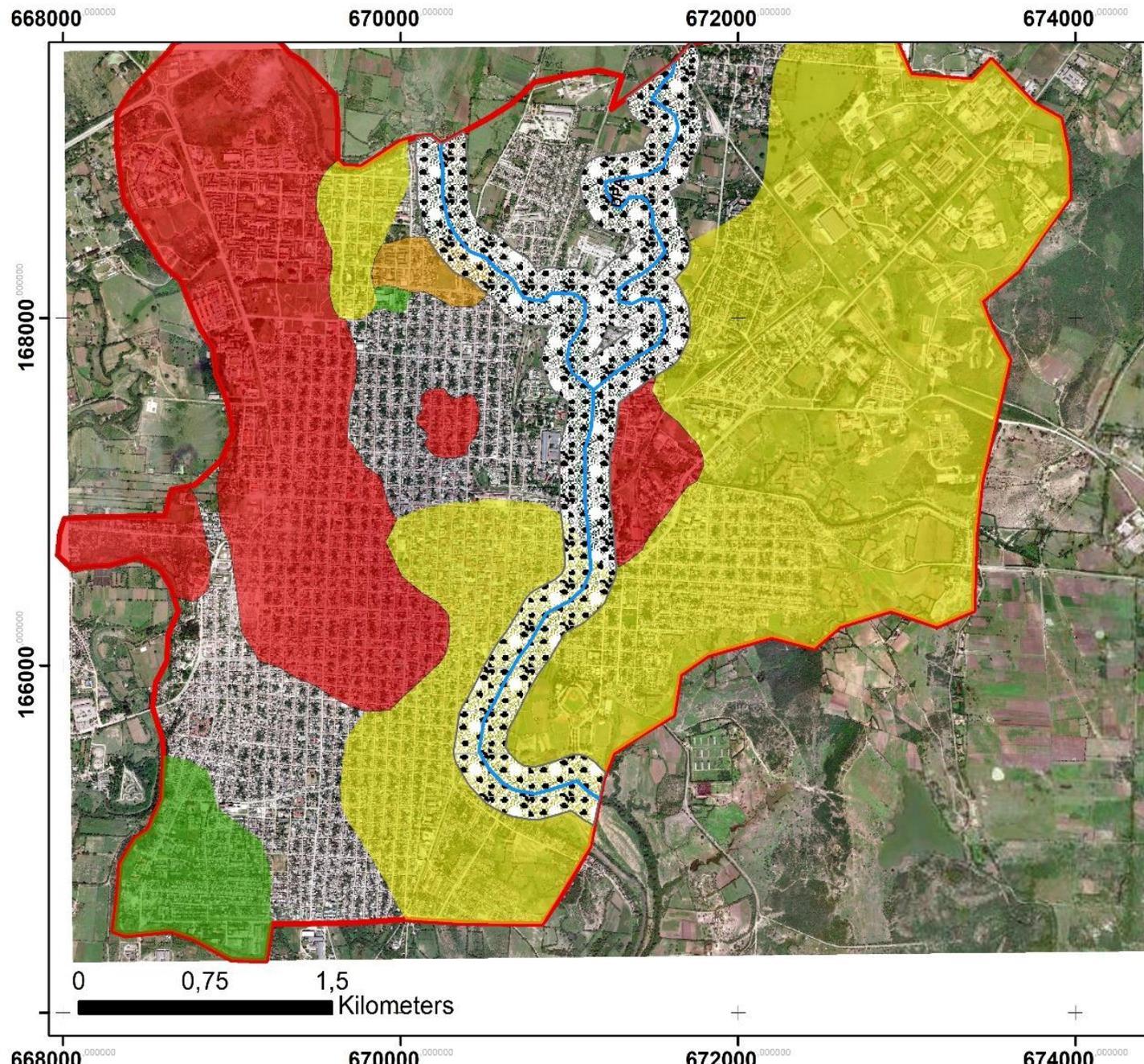


SUCS	Descripción	Espesor (m)	N de SPT (golpes/30cm)
CL	Arcilla de baja plasticidad	0.30- 4,80	9-22
OH	Cieno orgánico de alta plasticidad	0.47- 2.15	2-17
GM4	Grava limosa con arena y aleurolitas polimícticas con cemento calcáreo muy alterado	1-10	10-39

Tipo de suelos	γ densidad, g/cm^3	Velocidad de las ondas sísmicas, km/s		Rigidez sísmica:	
		Longitudinal V_p	Transversales V_s	γV_p	γV_s
Depósito areno arcillosos con gravas	2.0 - 2.35	2.3-3.4	-	4.6- 8.0	0.6 - 1.9
Arcilla limosa, húmeda, saturadas por agua, de plasticidad variable	1.4 – 1.6	0.3 -0.8	0.1-0.6	0.4- 1.3	0.1 – 1.0
Arena limosa, húmeda, saturadas por agua, de baja plasticidad con pequeñas gravas	1.3 – 2.0	0.85 - 1.4	0.2- 0.7	1.4- 2.8	0.3 – 1.4
Cieno Marino. Cieno orgánico de baja plasticidad	1.16-1.75	0.3-1.0	0.1-0.7	0.5- 1.7	0.2-1.2

Rigidez sísmica de los suelos: Velocidad de propagación de las ondas elásticas y la rigidez sísmicas de los suelos de la ciudad de Guantánamo..

EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO EN LA CIUDAD DE GUANTÁNAMO



- Sismicidad vinculada a una zona sismogeneradora activa,
- Sedimentos cuaternarios **depósitos aluviales.**, (Suelo tipo D y E)
- Velocidad de propagación de las ondas transversales (**180-360 m/s**)

Leyenda

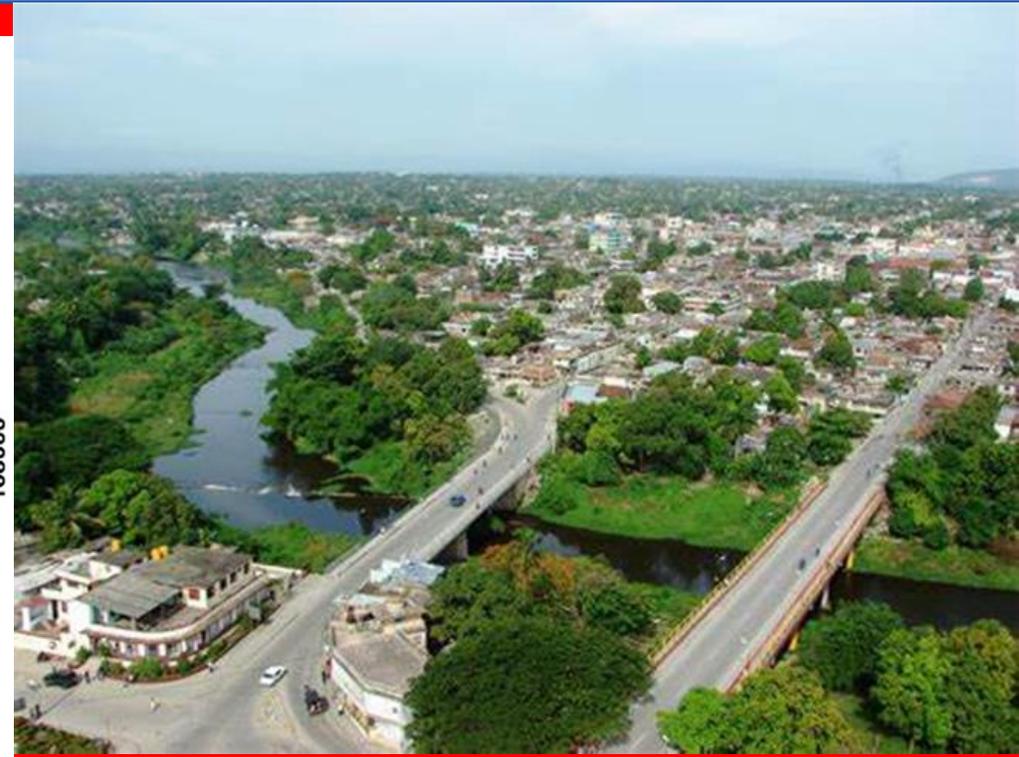
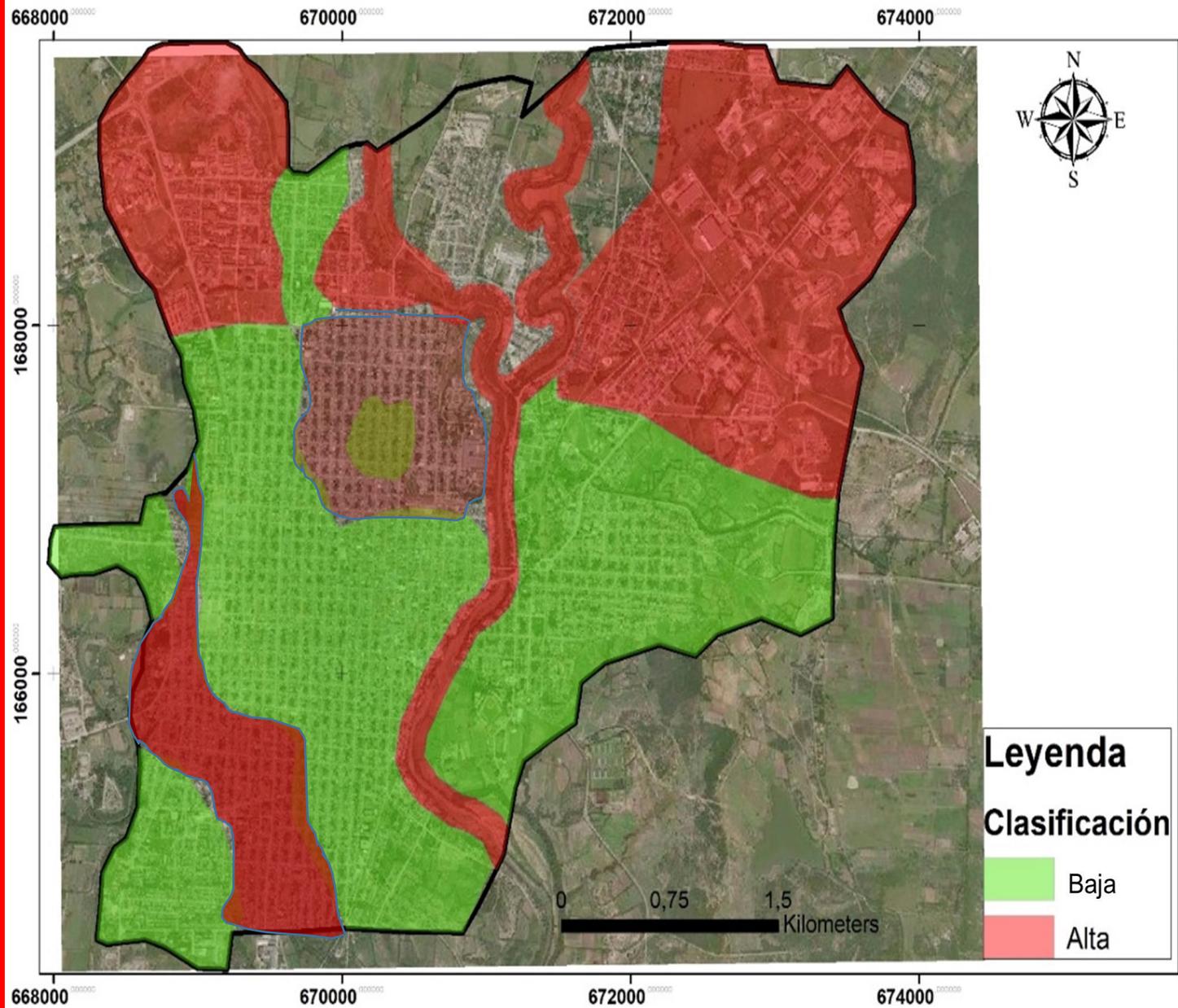
- Ríos
- Depósitos Aluviales

Tipo de Suelo

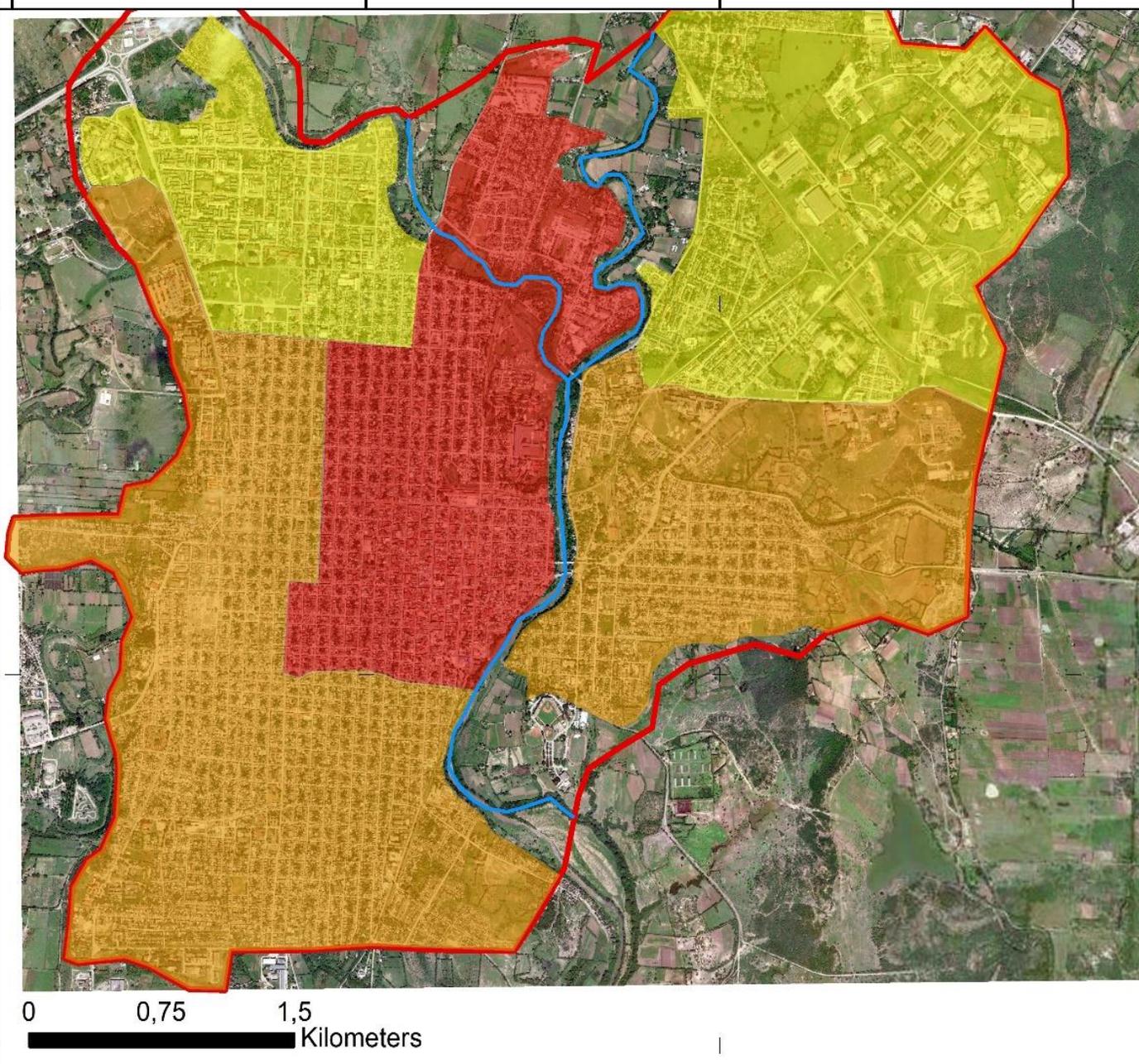
Descripción

- Baja
- Moderada
- Alta
- Muy Alta
- Área_Urba_Guantánamo

ESQUEMA DE SUSCEPTIBILIDAD A LA LICUACIÓN EN LA CIUDAD DE GUANTÁNAMO



VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA CIUDAD DE GUANTÁNAMO

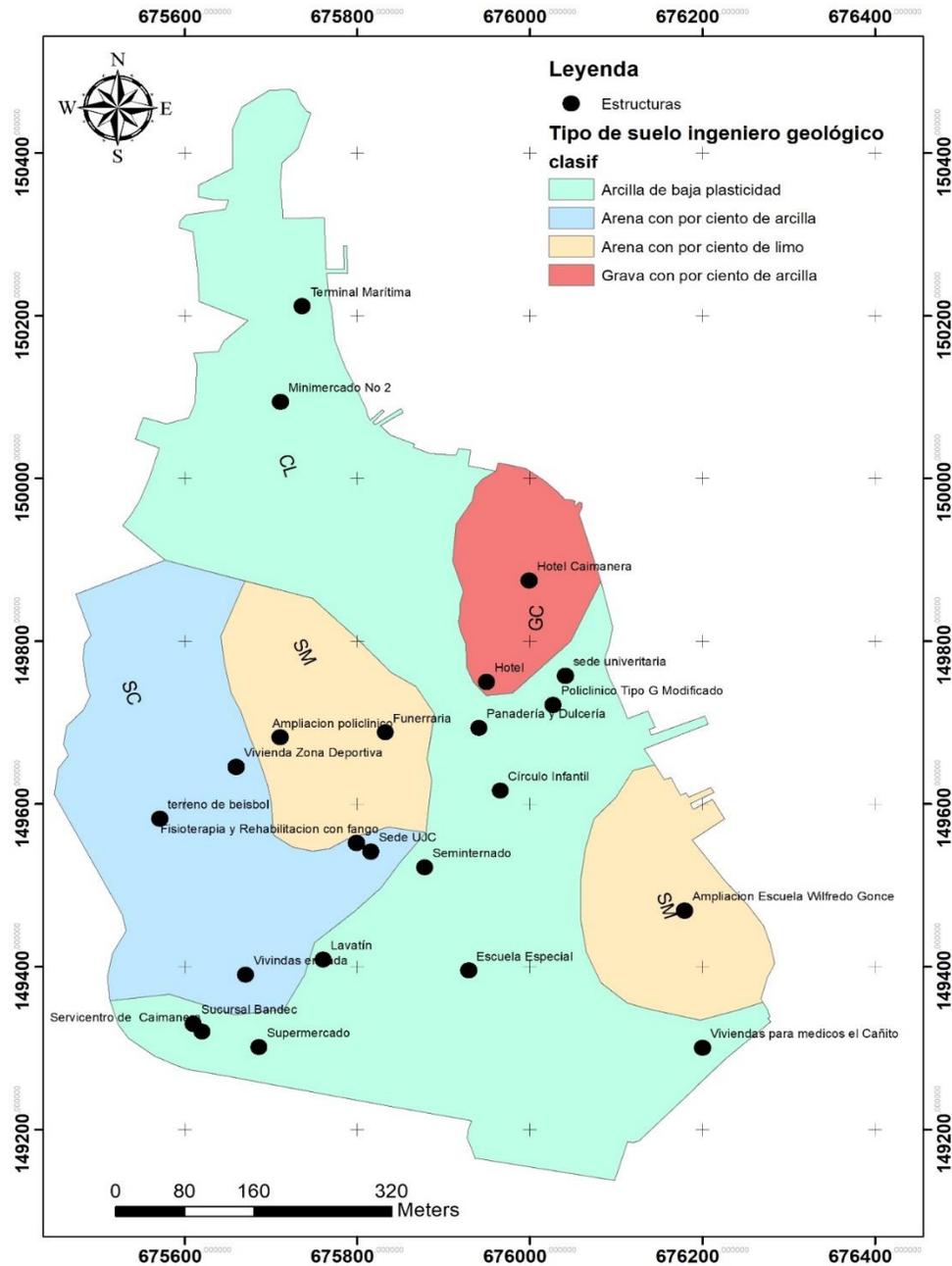


Leyenda

-  Ríos
- Descripción**
-  Media
-  Alta
-  Muy Alto
-  Área_Urba



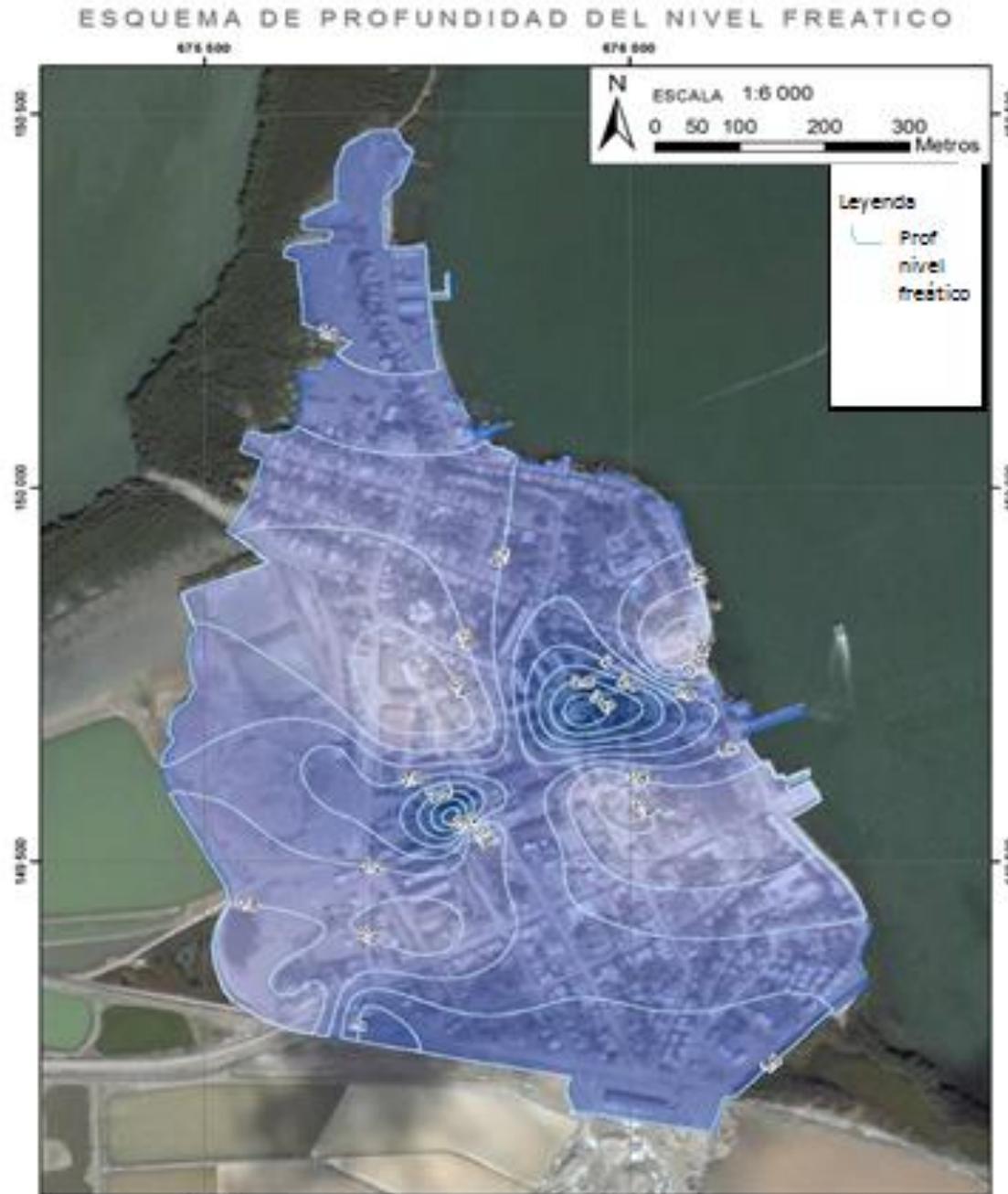
ESQUEMA DE LOS TIPOS DE SUELOS EN LA CIUDAD DE CAIMANAERA



Tipo Suelo	de Espesor medio	LL	Finos	Nspt
CL	0.46-3.3	33-35	18-51	16-22
SC	1.21-1.6	34-41	28-46	11-16
SM	1.4	-	-	-
GC	0.4	38	22	50
OL	0.8-19.2	36-44	51	2-3
CH	1.9	52	90	5

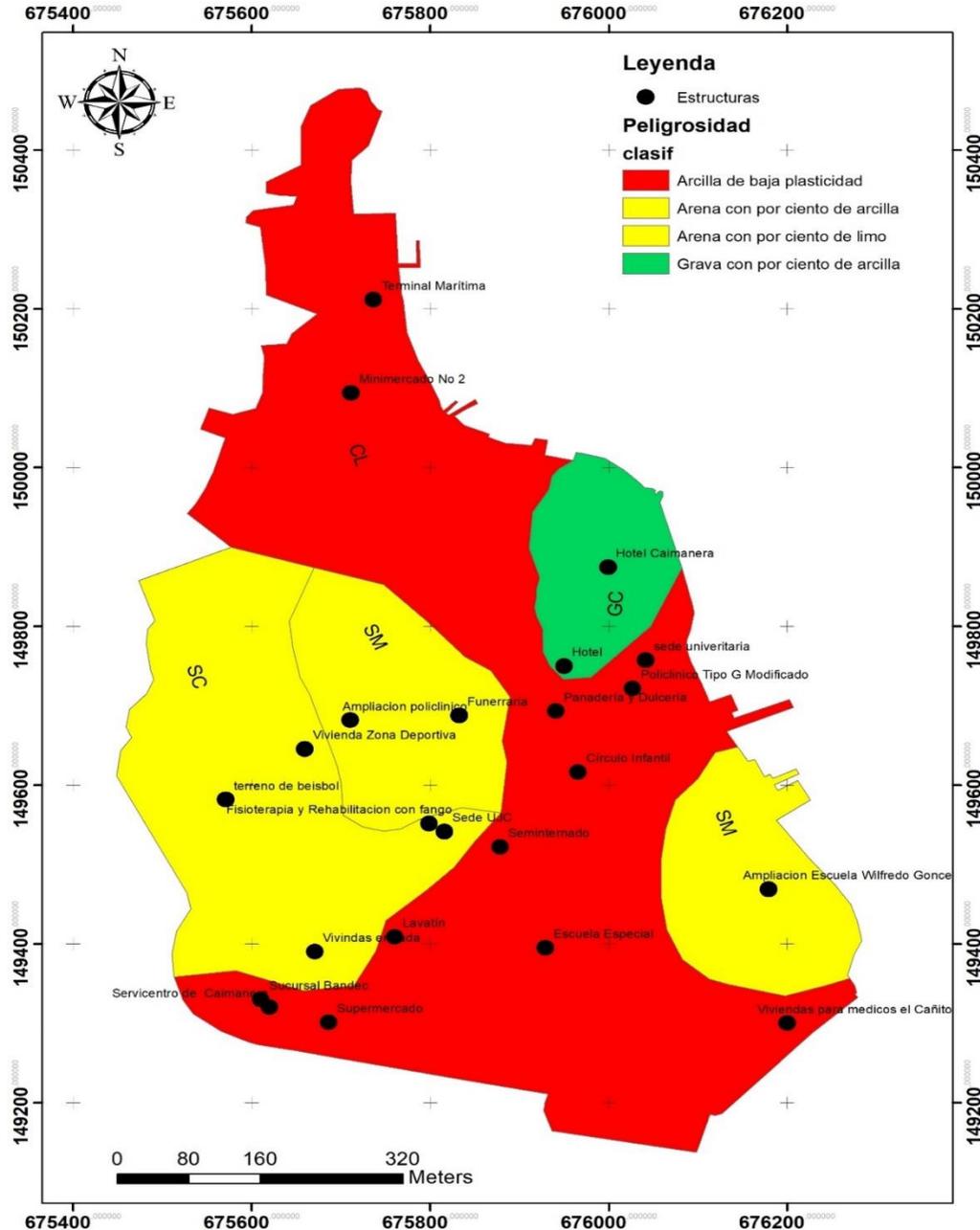
SUSCEPTIBILIDAD MUY ALTA

EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA LICUACIÓN DE LOS SUELOS EN LA CIUDAD DE CAIMANERA



SUSCEPTIBILIDAD MUY ALTA

EVALUACIÓN DEL PELÍGRO SÍSMICO EN LA CIUDAD DE CAIMANERA



- **Sismicidad vinculada a una zona sismogeneradora activa,,**
- **Se caracteriza por una alta frecuencia de ocurrencia de sismos.**
- **Capaz de generar sismos fuertes.**
- **Suelo tipo flexible**
- **Depósitos palustres y Arenos arcillosos.**

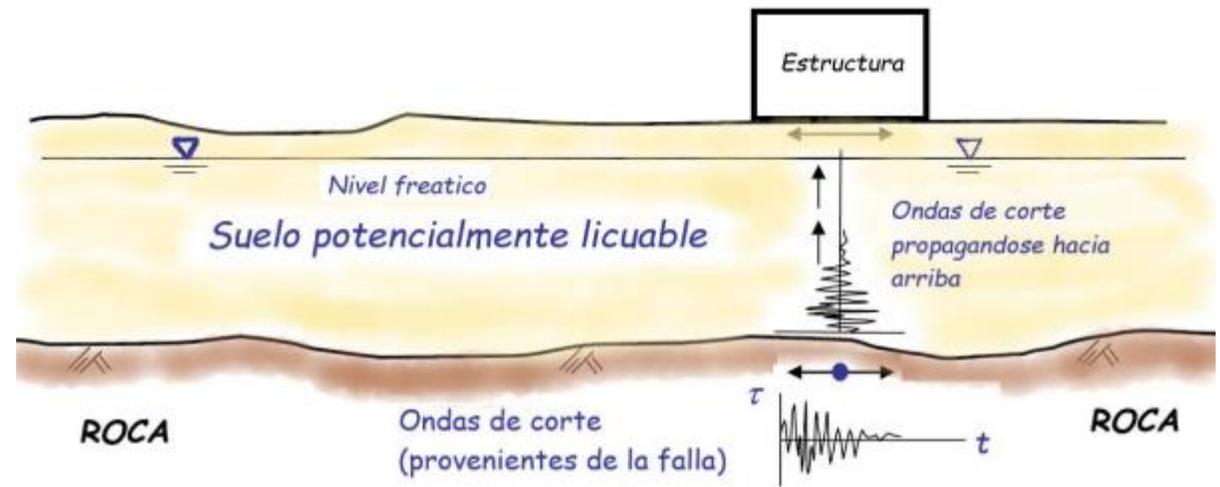
ESQUEMA DE MICROZONACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE CAIMANAERA



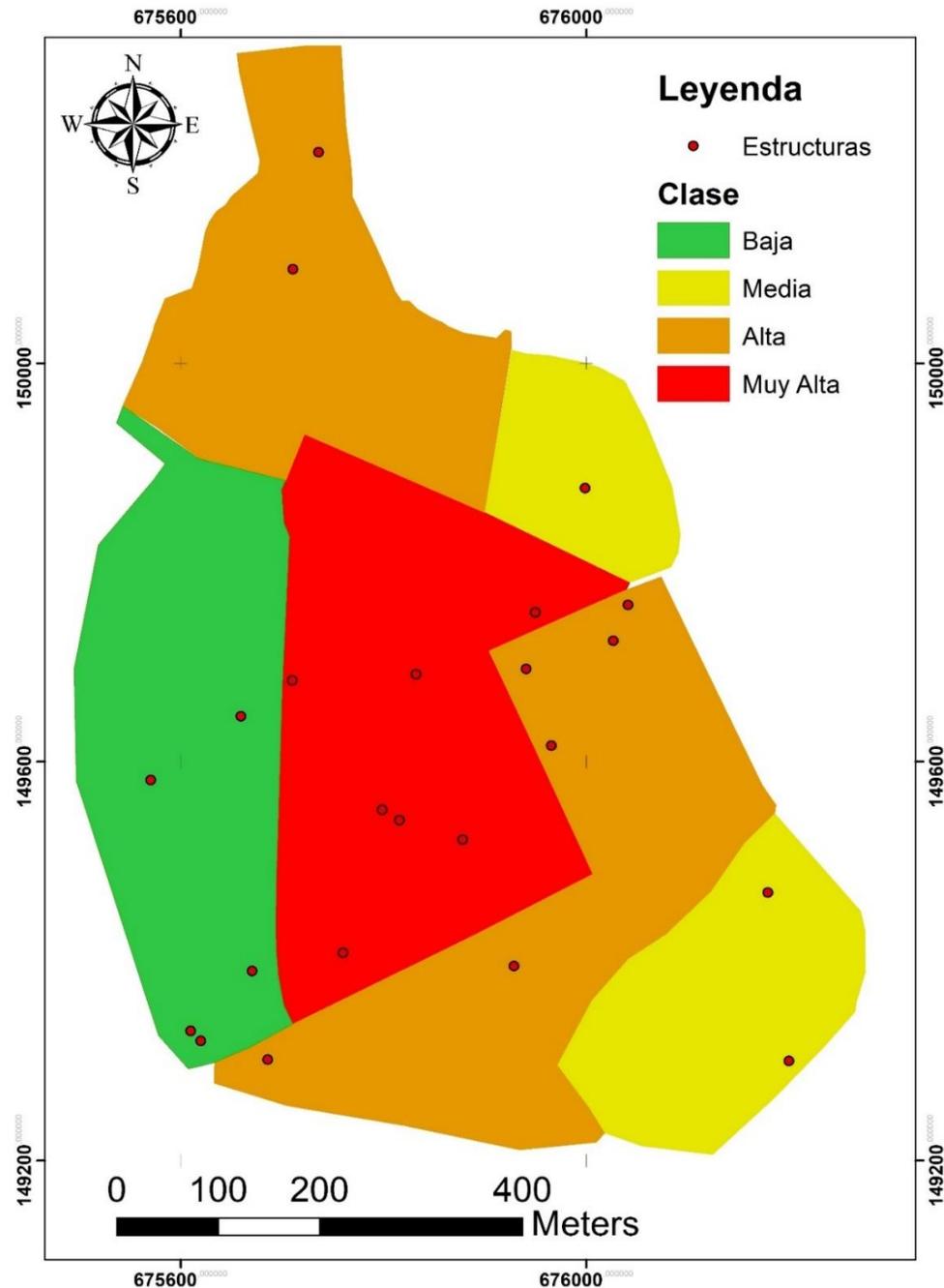
ESQUEMA DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA LICUACIÓN DE LA CIUDAD DE CAIMANERA



un fenómeno donde un suelo pierde substancialmente su resistencia al corte y rigidez debido al incremento rápido de las presiones de poros debido al sismo.



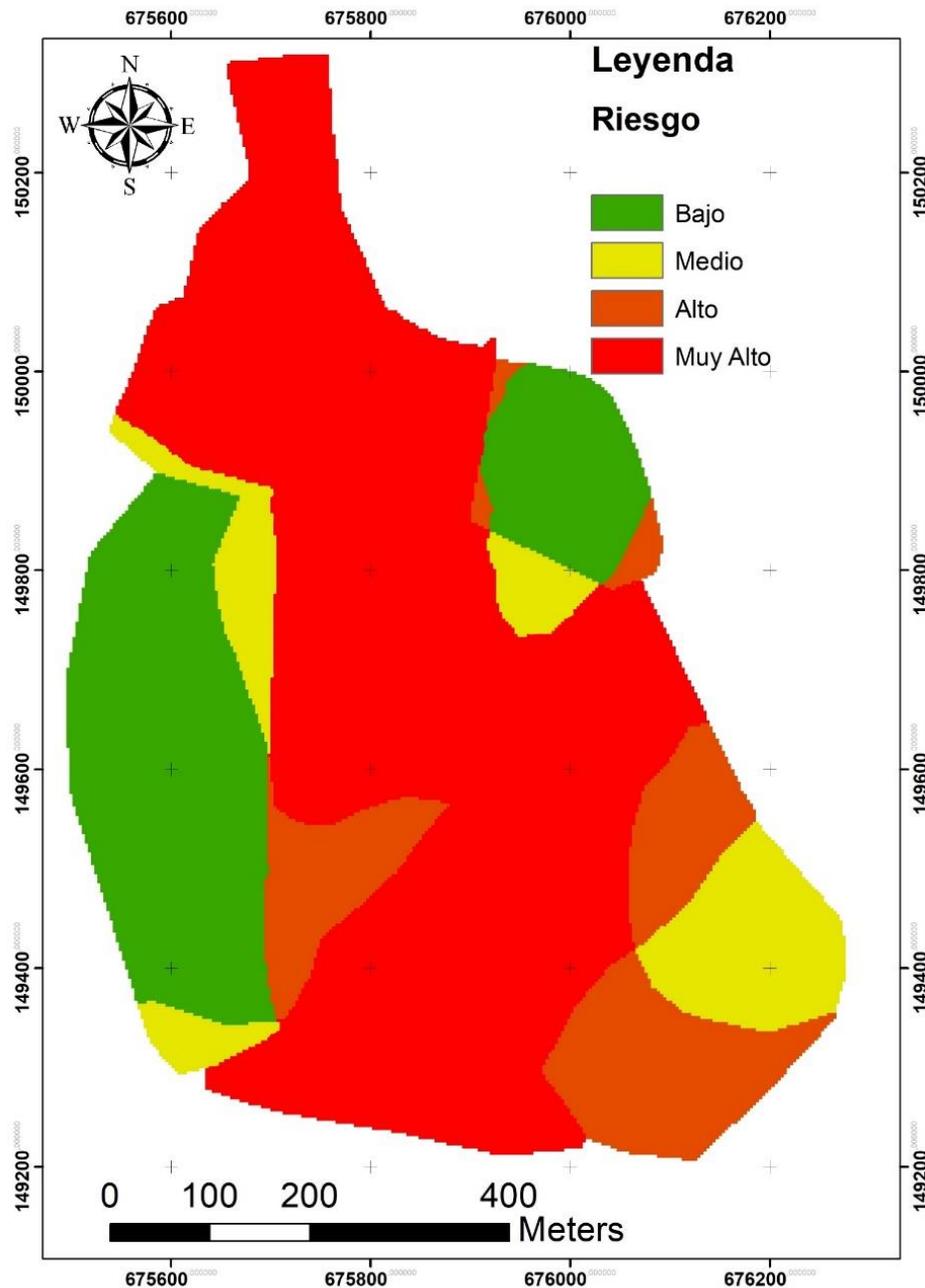
EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN LA CIUDA DE CAIMANERA



la autoconstrucción y eso incrementa su riesgo.
Las construcciones tienen mayor o menor vulnerabilidad ante los sismos debido al suelo donde se ubican, pero, sobre todo, debido a cómo fueron edificadas.



ESQUEMA DEL RIESGO SÍSMICO DE LA CIUDAD DE CAIMANERA

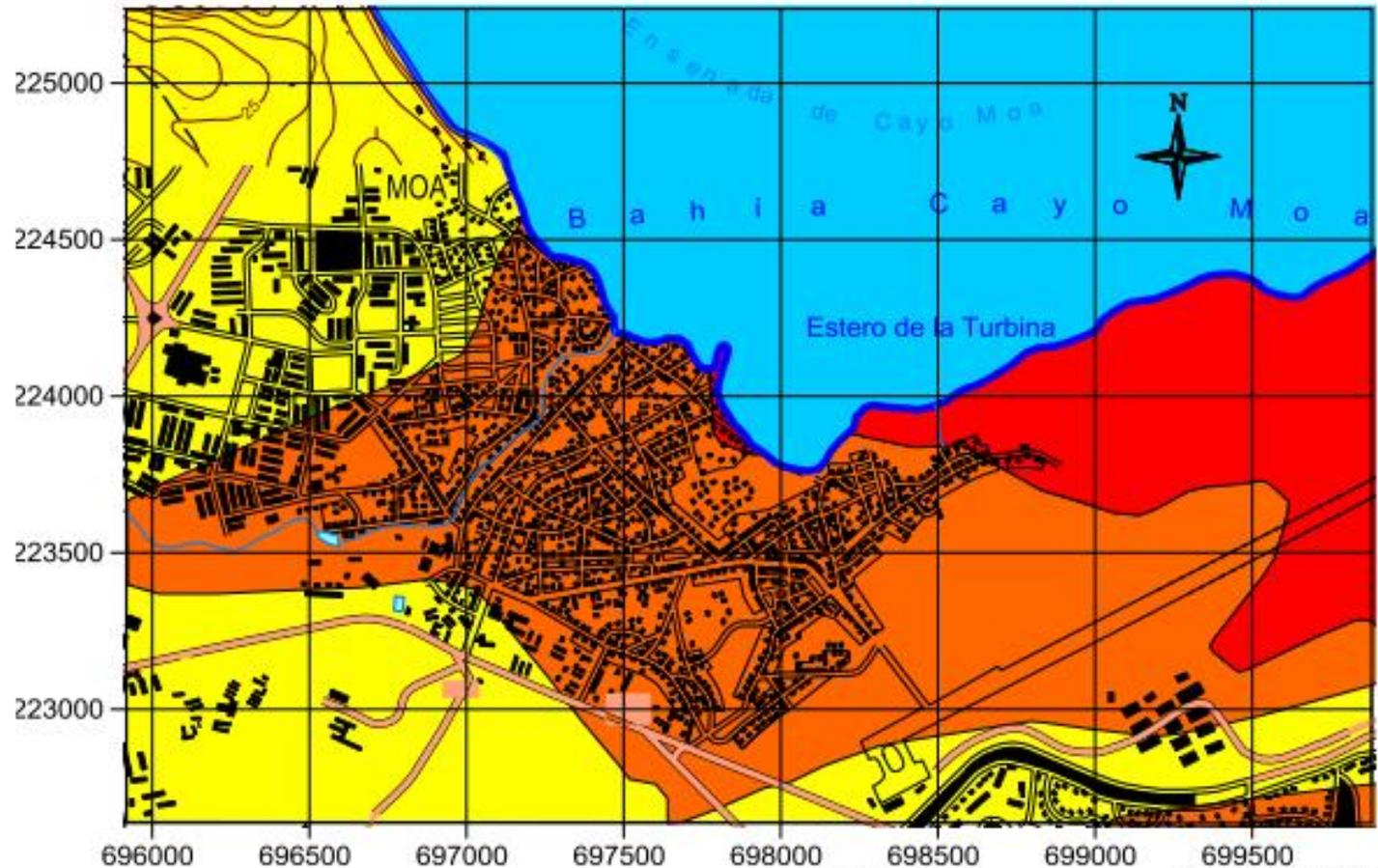


Los suelos flexibles existentes en este territorio, como los de zonas aledañas, no son ideales para construir. Son suelos arenosos, con un nivel freático inestable debido que el agua subterránea está muy próxima a la superficie.

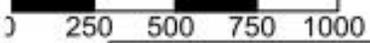
Su nivel de vulnerabilidad frente a sismos es bastante elevado.

MUY ALTO

SECTOR URBANO DE MOA HOLGUIN CUBA



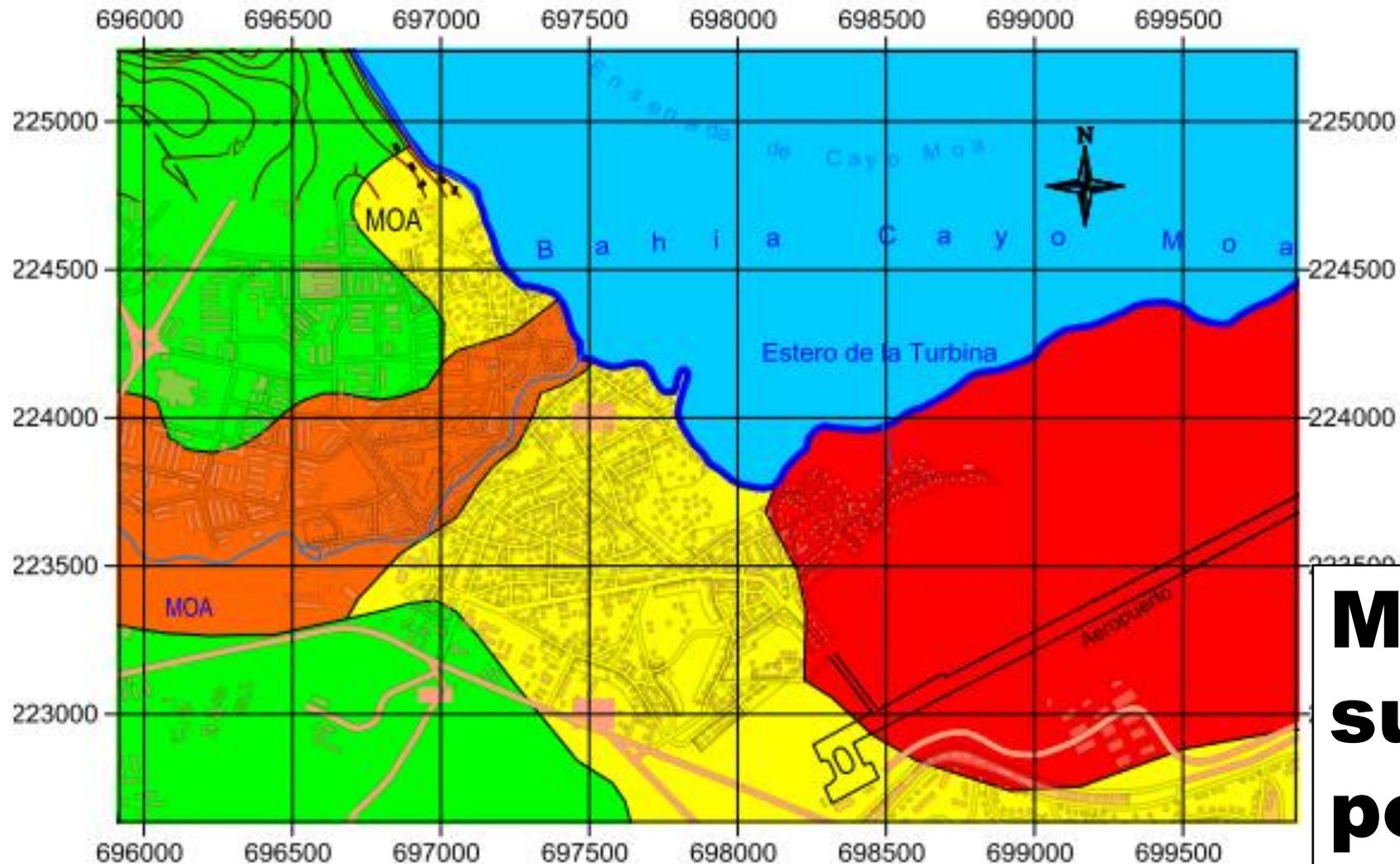
Escala Gráfica Escala 1:25 000



Método de analogías ingeniero-geológicas		
Leyenda	Corte típico según Medvedev, (1973)	Aumento de la magnitud sísmica
	VII	Aumenta de 2.4 a 2.8
	V	Aumenta de 1.7 a 2.1
	IV	Aumenta de 1.3 a 1.6
	I	0

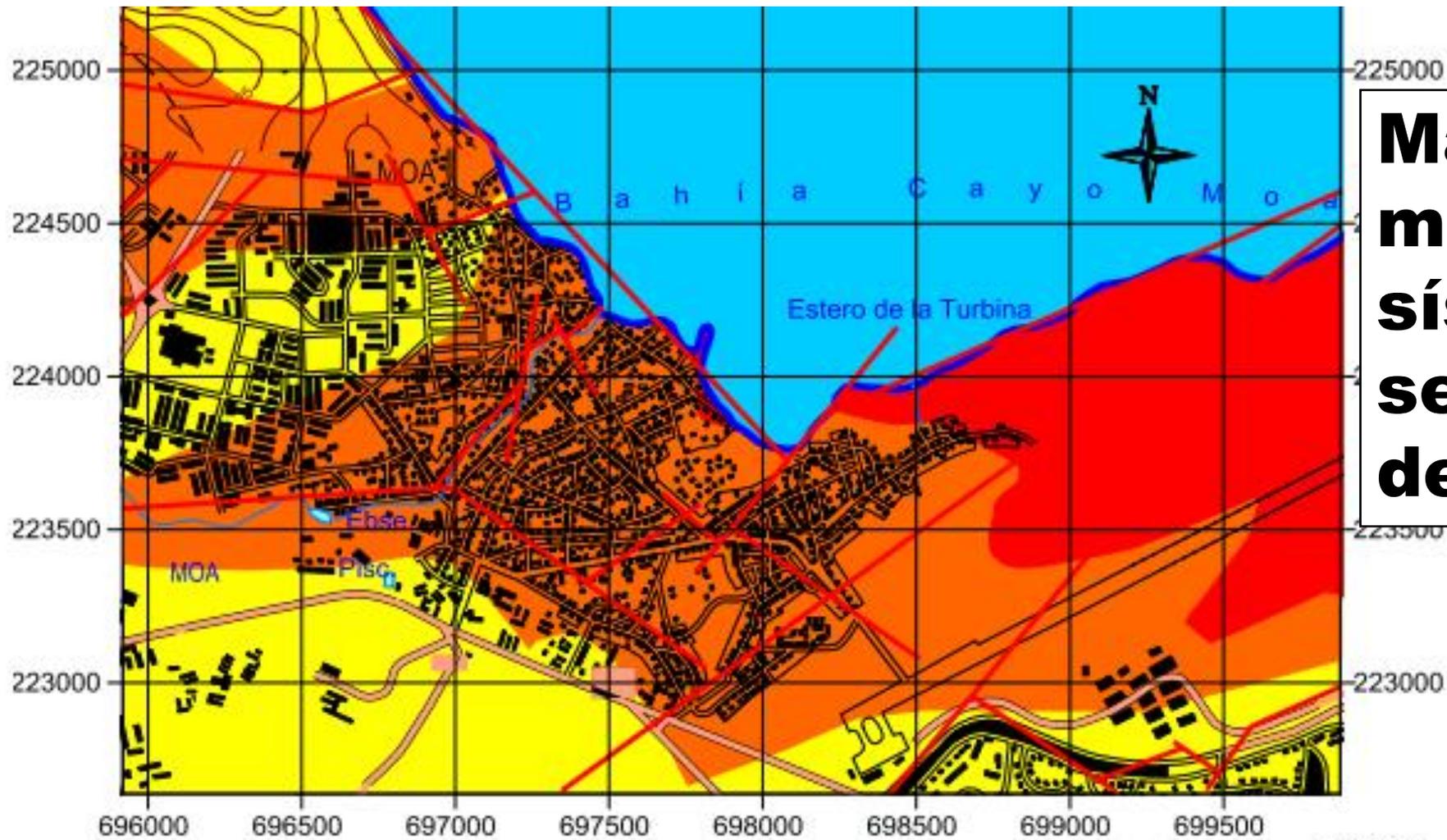
LEYENDA	
	Vales.
	Ríos.
	Construcciones
	Sedimentos Palustres
	Aluviales
	Cortaza de Intemperismo
	Roca Dura

Mapa de variación de la intensidad sísmica de Moa Cuba,

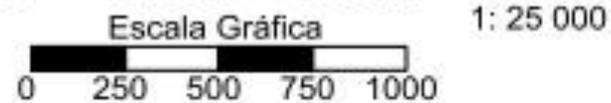


Mapa de susceptibilidad por licuefacción. Moa 2018

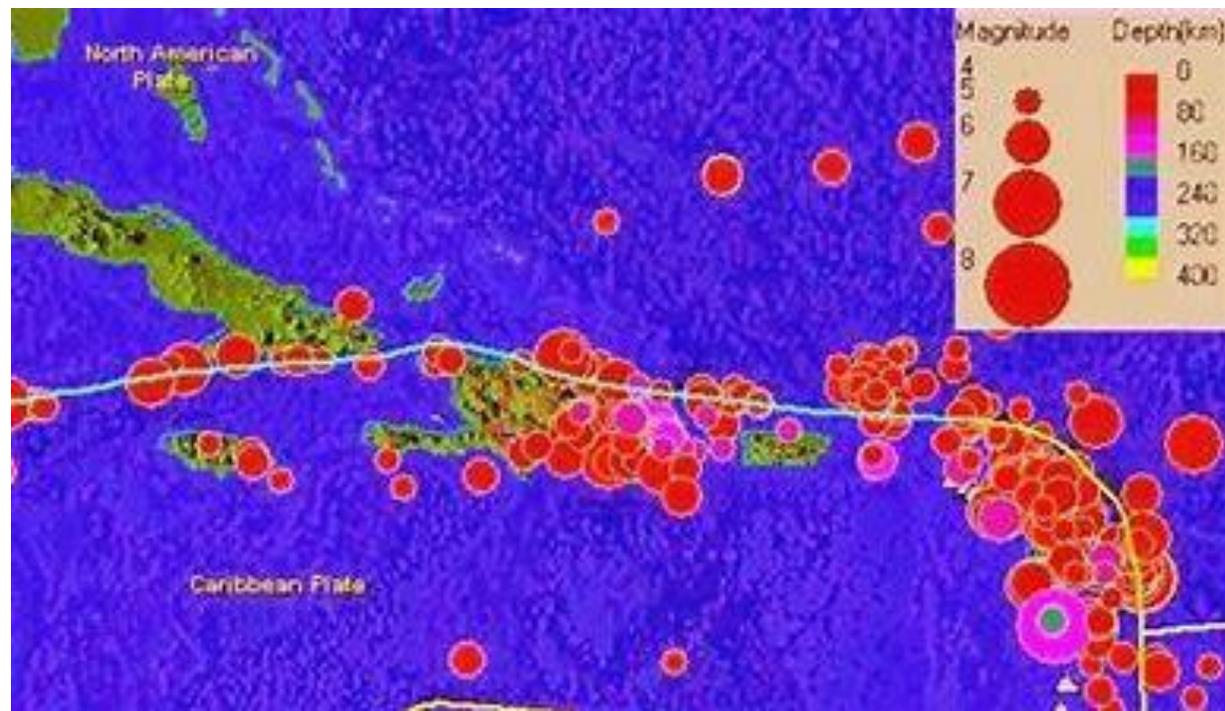
Mapa de microzonación sísmica del sector urbano de Moa



LEYENDA	
Construcciones	Zonas con amplificación muy alta
Ríos	Zonas con amplificación alta
Carreteras	Zonas con amplificación moderada
Fallas	Zonas con amplificación nula o baja



CONCLUSION



En declaraciones a la agencia Andina, dijo que las zonas que tienen mayor riesgo son las que tienen suelo flexible

- El Caribe es una región con todos los niveles de peligro sísmico y posee zonas cuya geología y tectónica muestran depósitos del tipo arenosos arcillosos saturados susceptibles a licuación sobre los cuales se desarrollan asentamientos humanos, estructuras industriales, viales, presas o centros estatales.

CONCLUSION

Peru 2023



Construcciones sobre suelos flexibles presentan mayor vulnerabilidad ante sismos

En los suelos arenosos-arcillosos el material se puede comportar como un suelo flexible, se licua, y se comporta como un líquido viscoso, generándose grandes deformaciones que pueden dar origen a múltiples mecanismos de falla, algunas de ellas catastróficas

CONCLUSION



- La fiabilidad de los resultados depende de los estudios de suelos realizados por distintas empresas autorizadas para ello, si bien se considera que fueron realizados con buenas prácticas profesionales y personal cualificado, estos estudios de suelos fueron realizados inicialmente con un objetivo distinto al planeado en el presente trabajo.

fin

- Gracias