



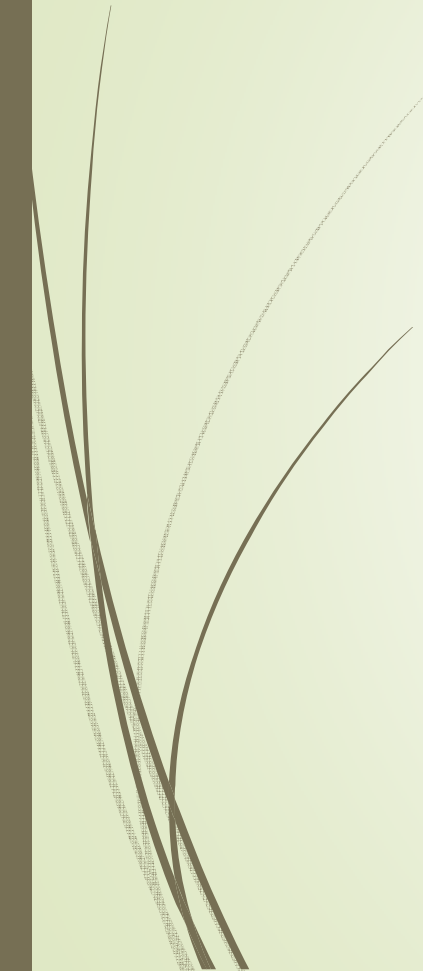
# ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

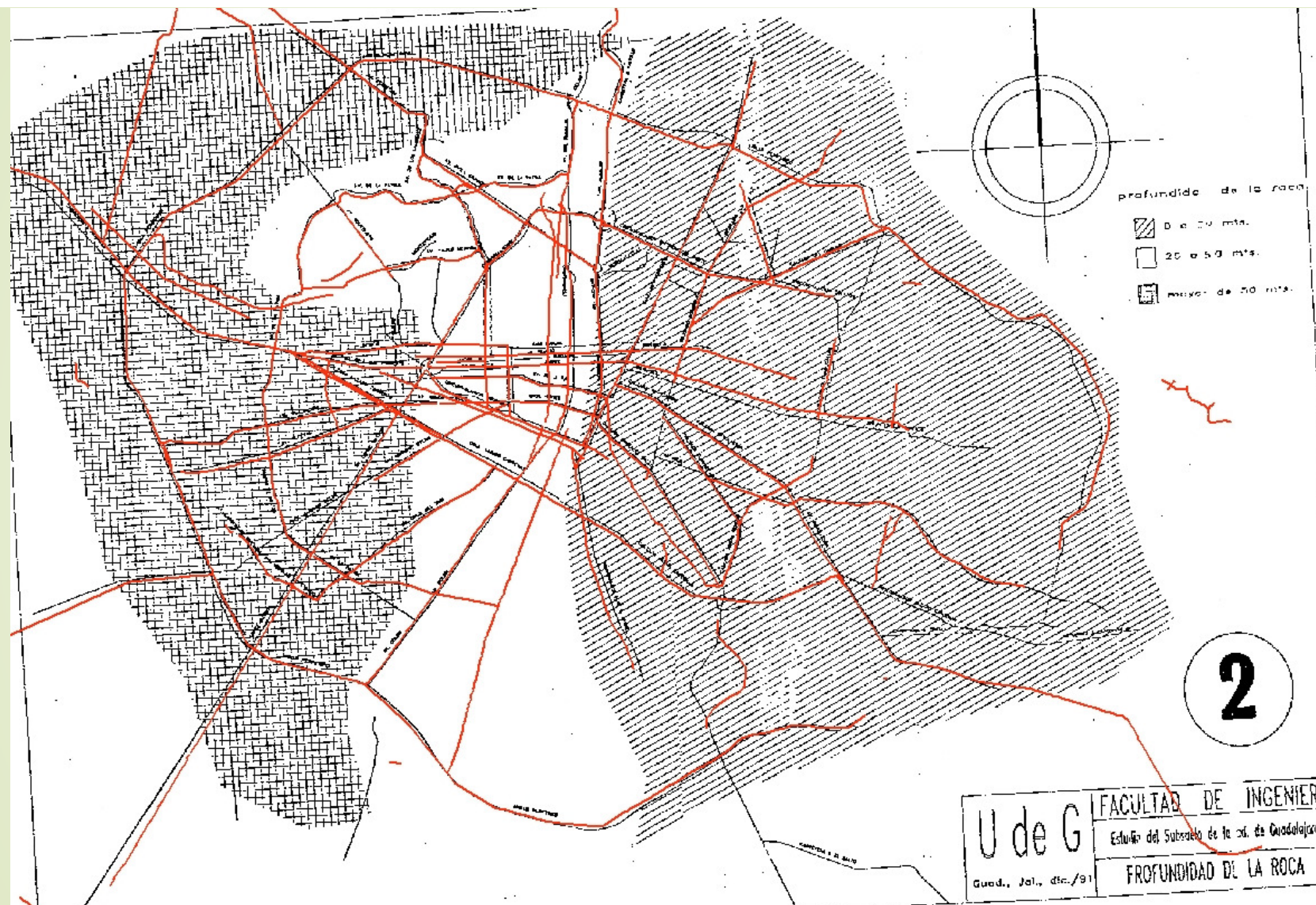
UNA PROPUESTA DE MODIFICACIÓN A LAS  
NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA  
DISEÑO POR SISMO DE 1997

M. EN C. PABLO ENRIQUE ZAMUDIO ZAVALA



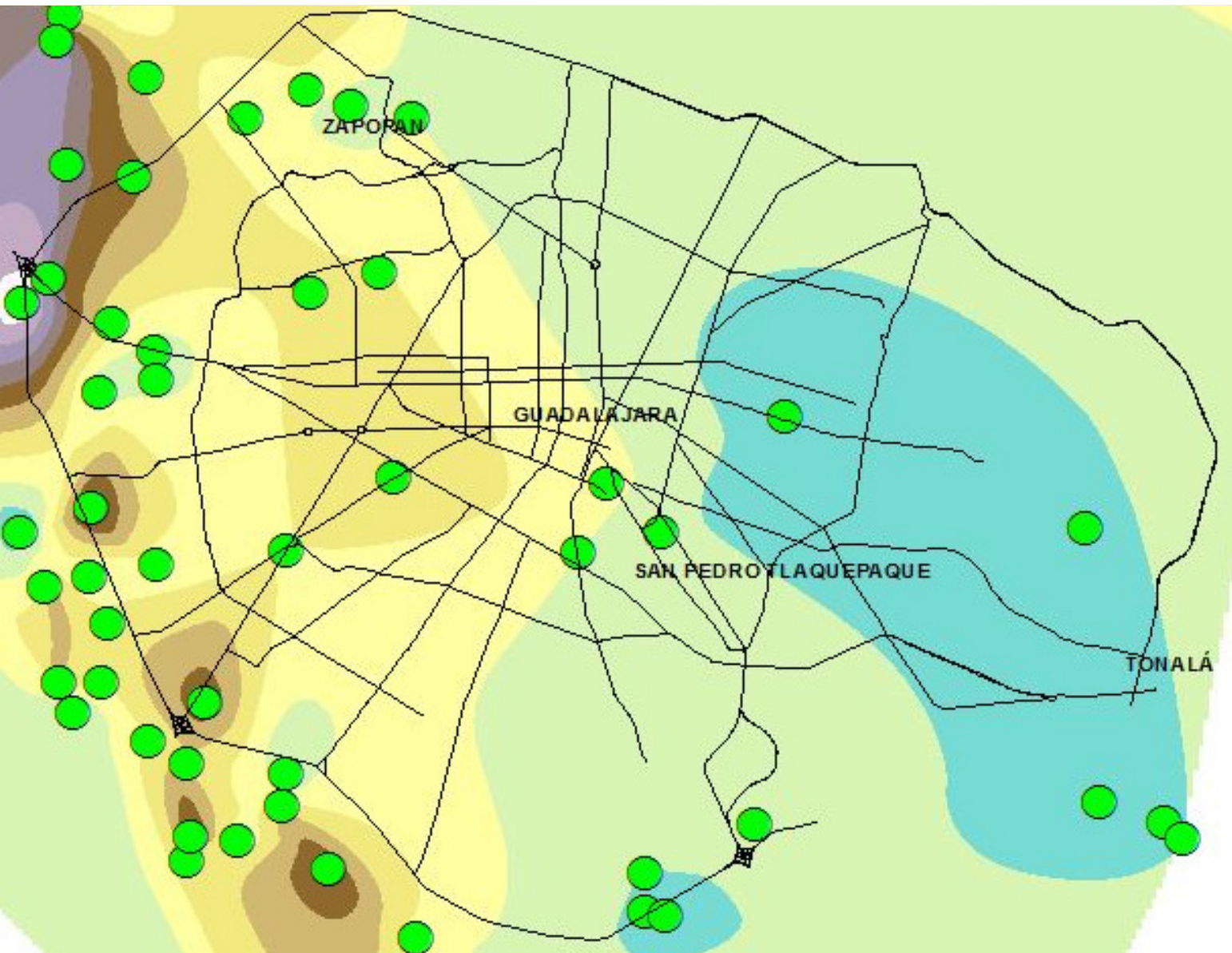
# ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

- Modelo de profundidad a la Roca de Saborio
  - Nuevo modelo de profundidad de los depósitos de suelo en la ZMG
  - Espectros de respuesta propuestos en reglamentos
  - Espectros de respuesta de sitio
  - Espectros comparativa
  - Respuesta zona poniente ZMG
  - Respuesta zona oriente ZMG
  - Puntos complementarios propuestos
  - Utilidad de la zonificación
- 

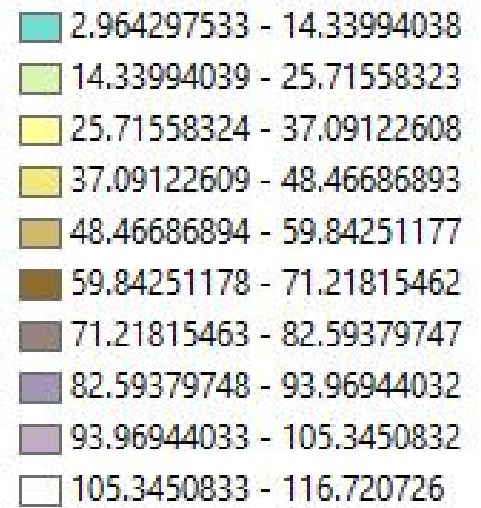


Referencia No. 12  
 Instituto de Investigaciones para Ingeniería A.C.

U de G FACULTAD DE INGENIERIA  
 Estudio del Substrato de la cd. de Guadalajara  
 Guad., Jal., dic./91 PROFUNDIDAD DE LA ROCA

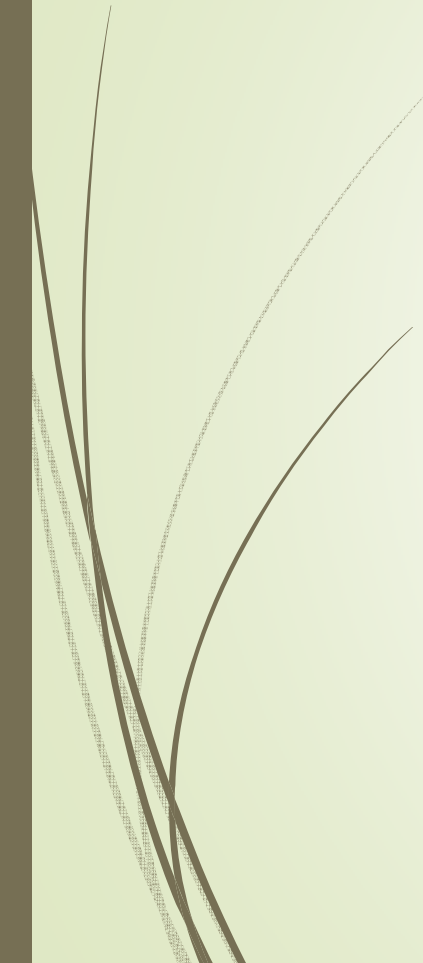


### Profundidad Suelo

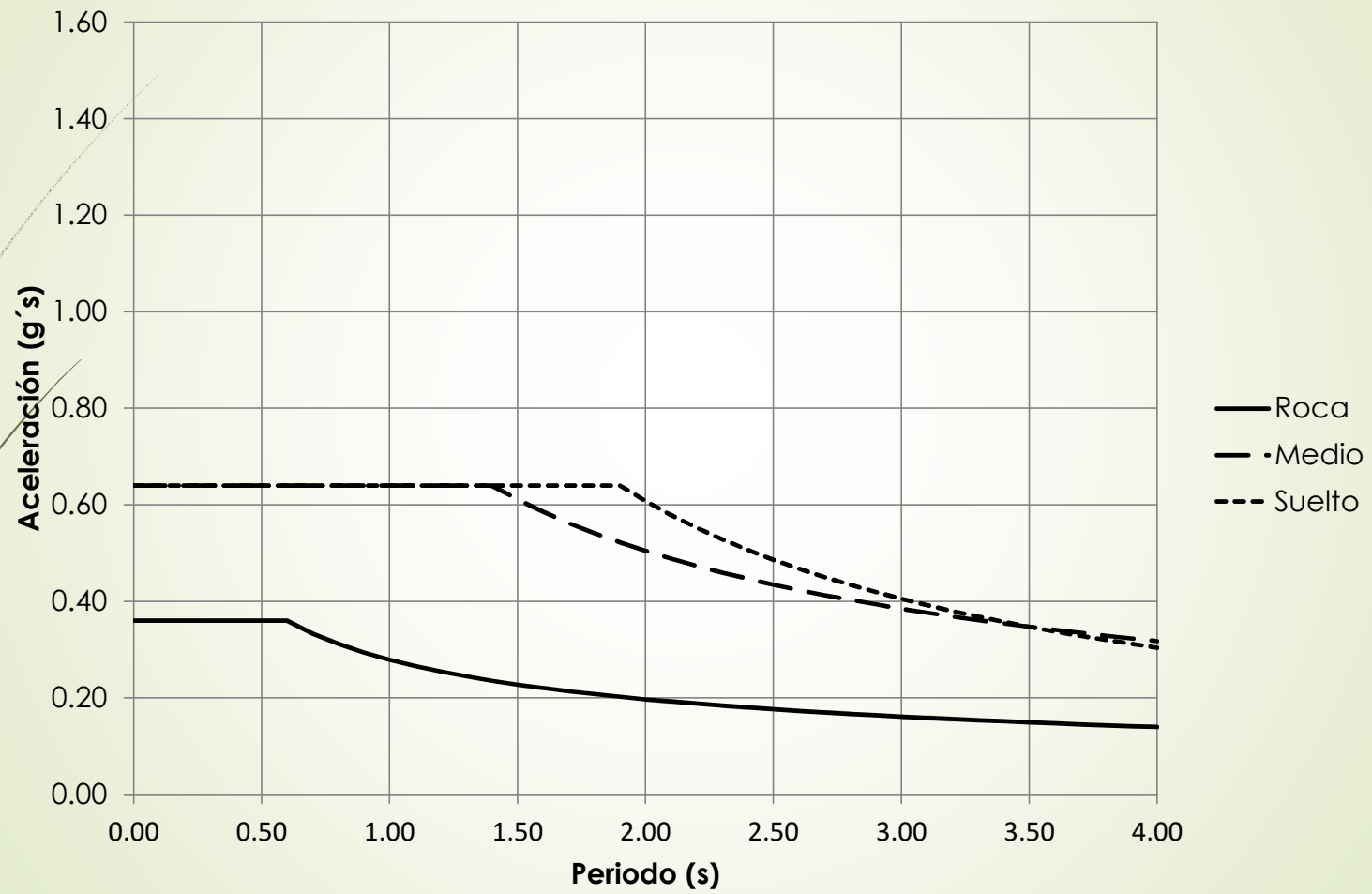




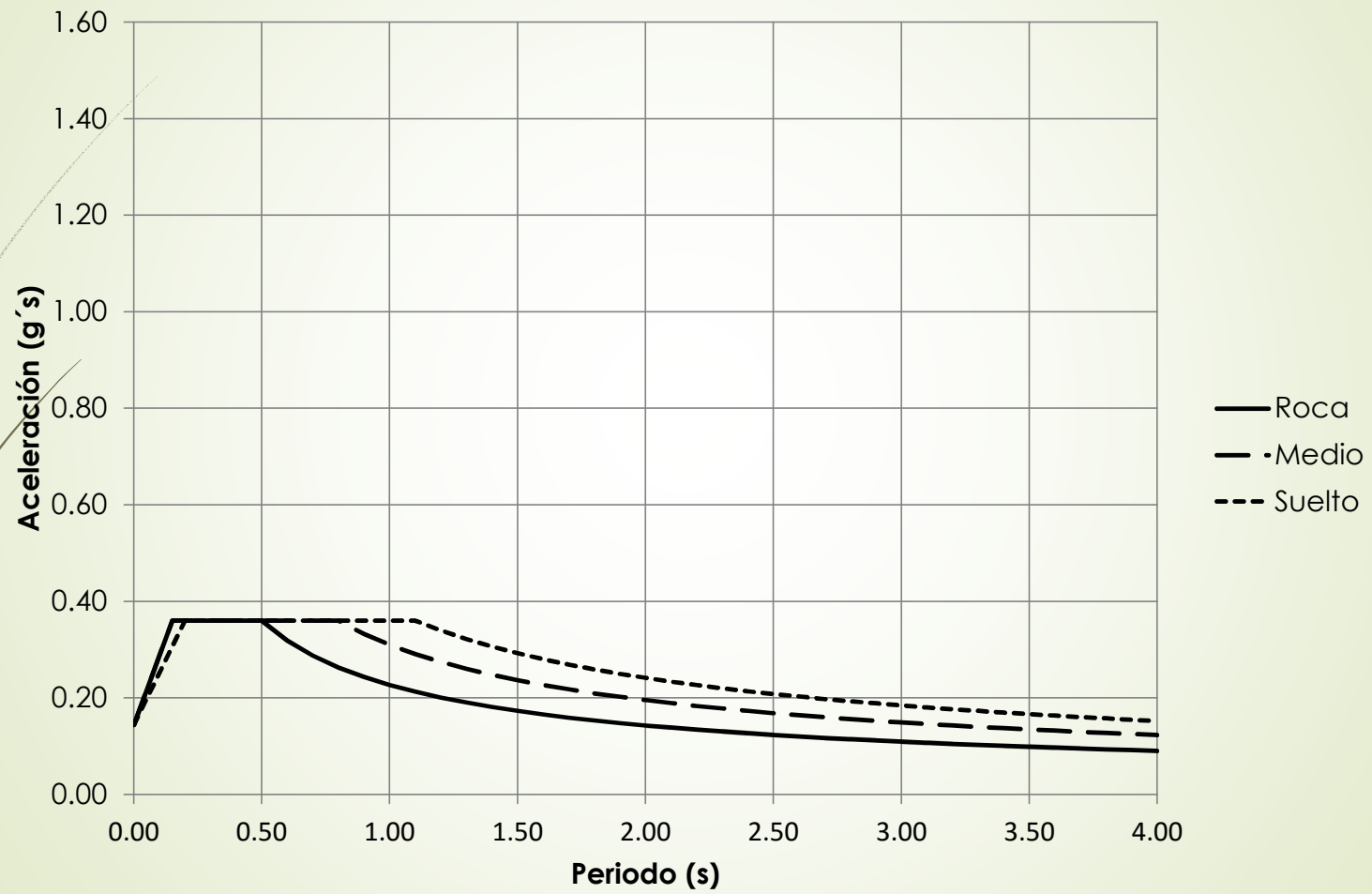
# ESPECTROS DE RESPUESTA PROPUESTOS EN LOS REGLAMENTOS

- ▶ Comisión Federal de Electricidad, 1993
  - ▶ Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo para Guadalajara, 1997
  - ▶ International Building Code, 2009
- 

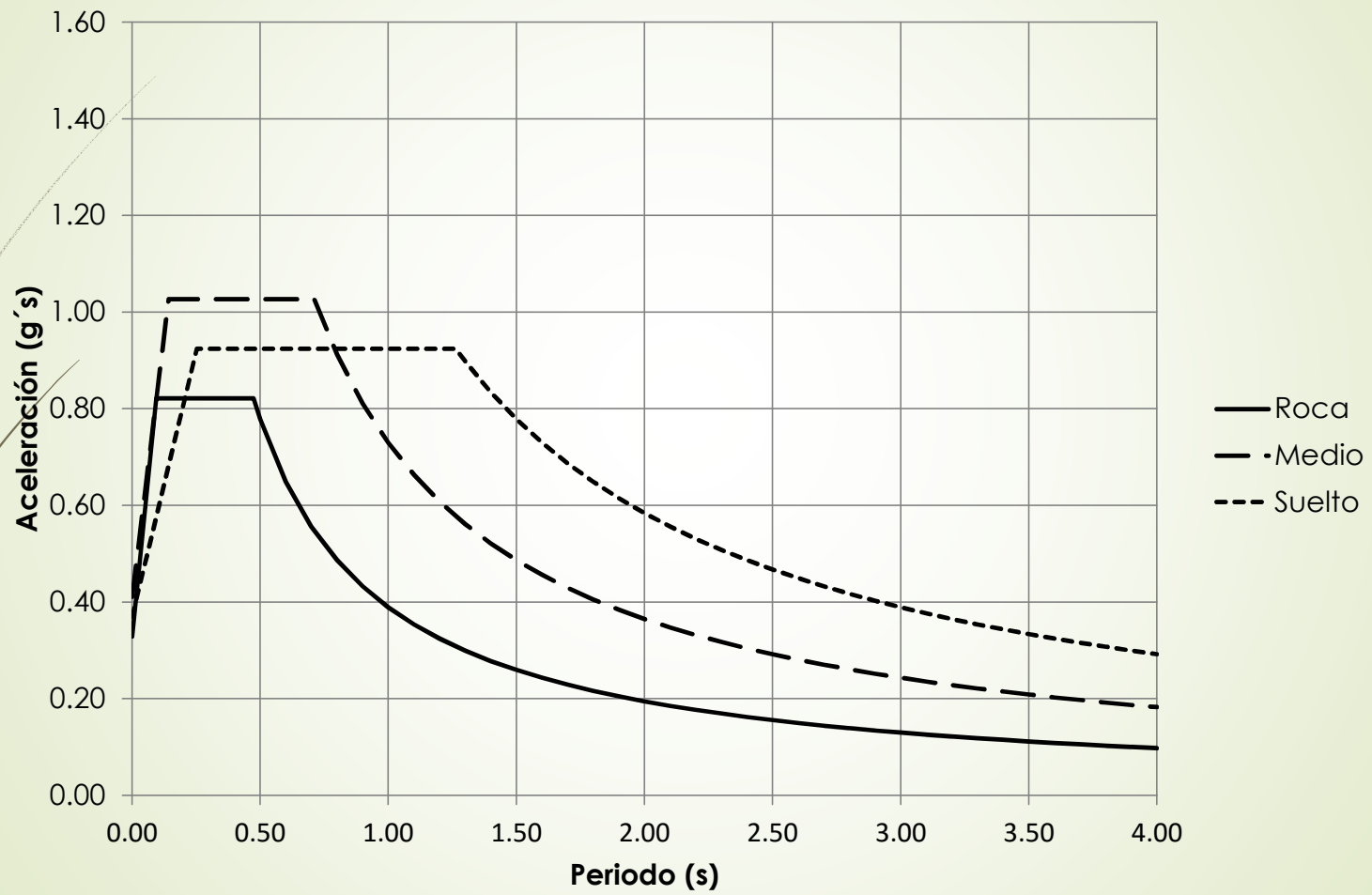
## Espectros de respuesta (CFE 1993)



## Espectros de respuesta (GDL 1997)



## Espectros de respuesta (IBC 2009)







# ESPECTROS DE RESPUESTA DE SITIO

- ▶ Comisión Federal de Electricidad, 2008

- ▶ PROGRAMA SHAKE

Pro-shake

Shake-edit

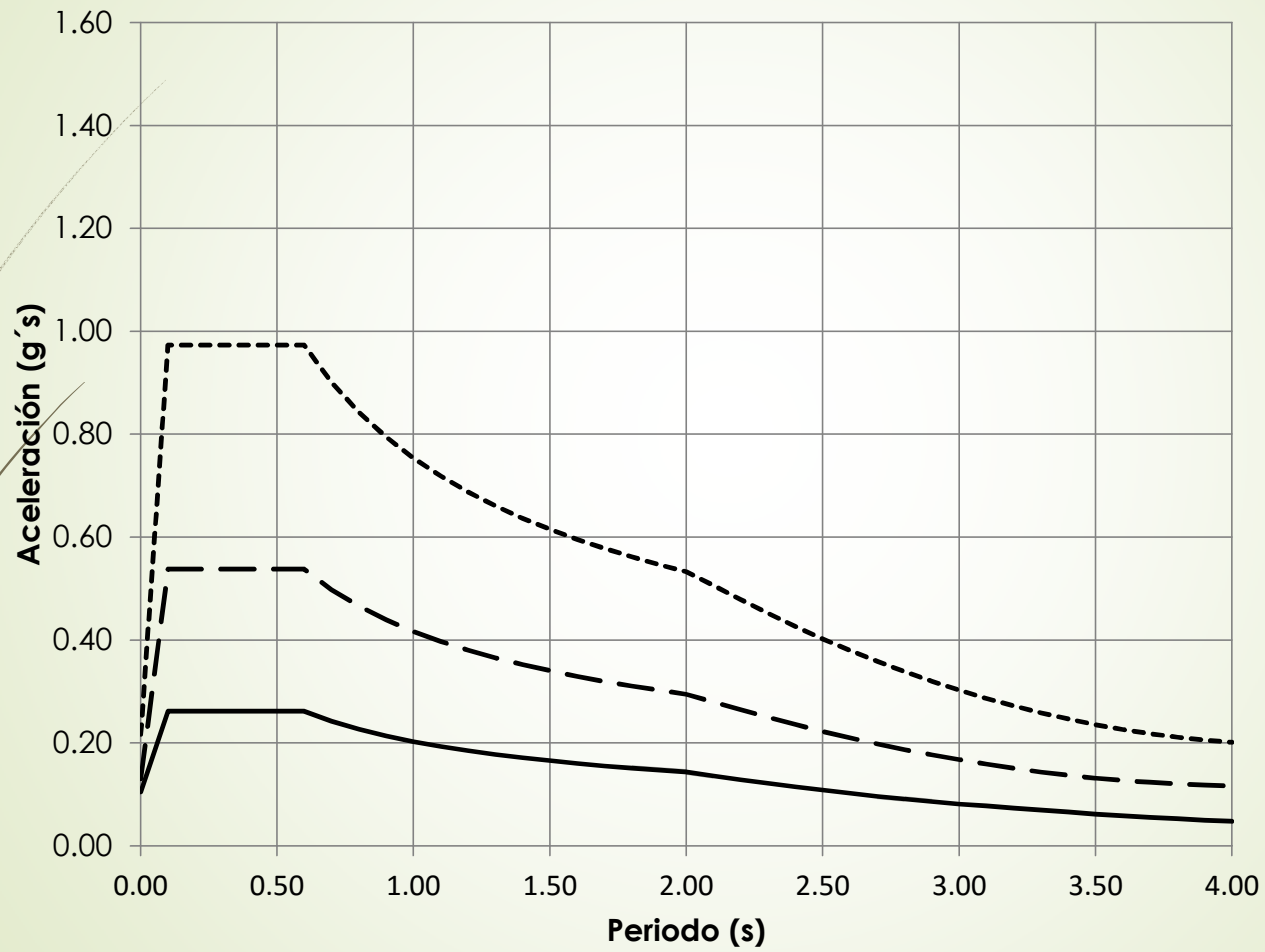
Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses (EERA), USC

# COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, 2008

- ▶ Se crearon depósitos de suelo de 20 m, 30 m, 40 m, etc.
- ▶ **La respuesta NO depende del espesor del depósito de suelo,** empleando el análisis simplificado propuesto en CFE 2008
- ▶ **La respuesta SI depende de la velocidad cortante promedio del depósito,** en el análisis simplificado propuesto en CFE 2008
- ▶ Por lo tanto se tienen espectros de diseño de sitio, empleando el reglamento CFE (2008), en función de la compacidad del depósito de suelo, lo cual es conforme a los estándares mundiales de reglamentos sísmicos.

### Espectros de respuesta (CFE 2008)

**MÍNIMO PARA  
ZMG**

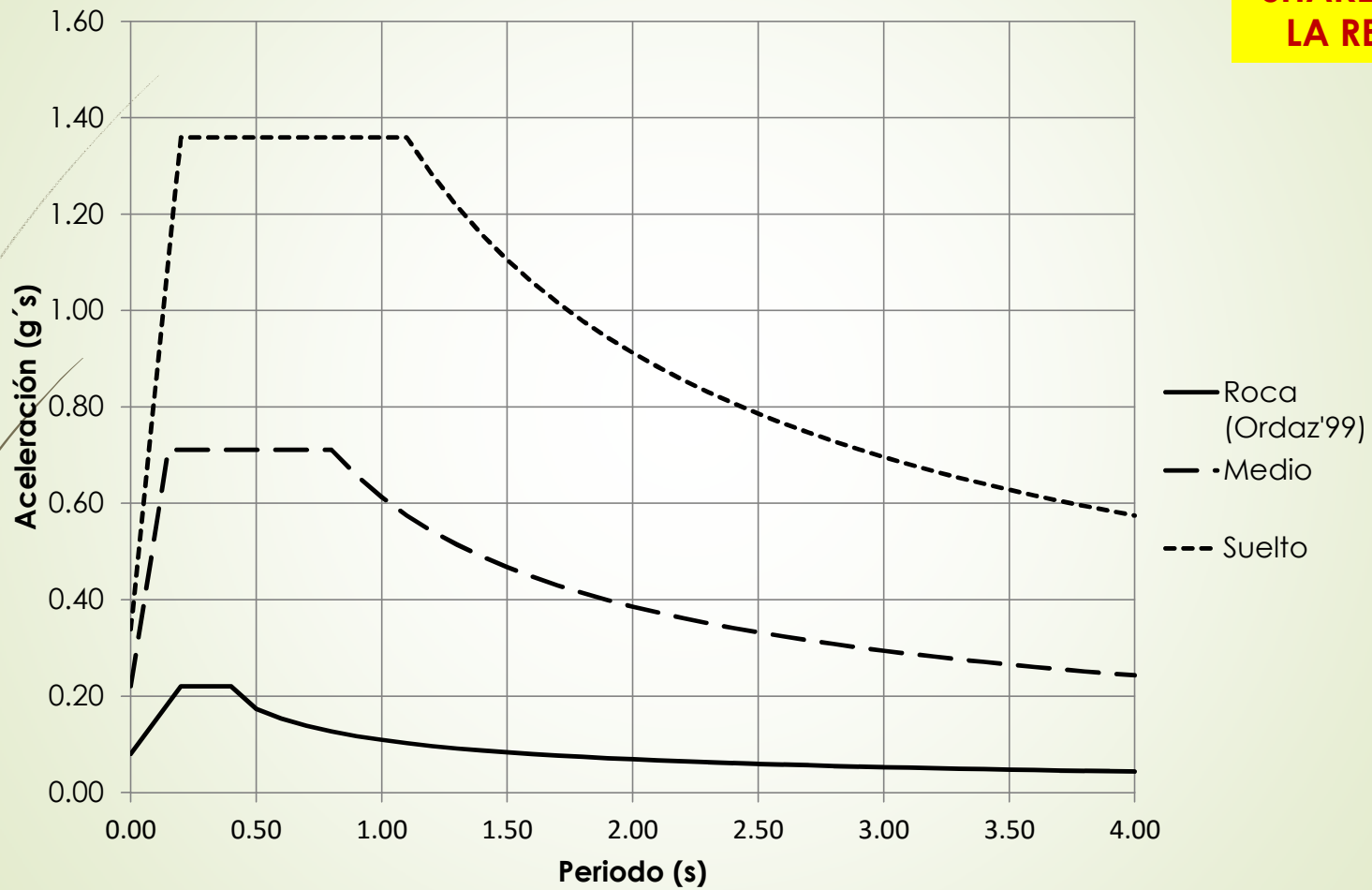


# EQUIVALENT-LINEAR EARTHQUAKE SITE RESPONSE ANALYSES (EERA)

- ▶ Se crearon depósitos de suelo de 20 m, 30 m, 40 m, etc.
- ▶ **La respuesta SI depende del espesor del depósito de suelo,** empleando el EERA
- ▶ **La respuesta SI depende de la velocidad cortante promedio del depósito,** en el análisis propuesto POR EERA
- ▶ Por lo tanto se tienen espectros de diseño de sitio, empleando el programa EERA (SHAKE), en función de la compacidad del depósito de suelo, así como de su espesor (10 m).

## Espectros de respuesta (SHAKE-EERA)

**SHAKE ENFATIZA  
LA RESPUESTA**



# ESPECTROS DE RESPUESTA COMPARATIVA

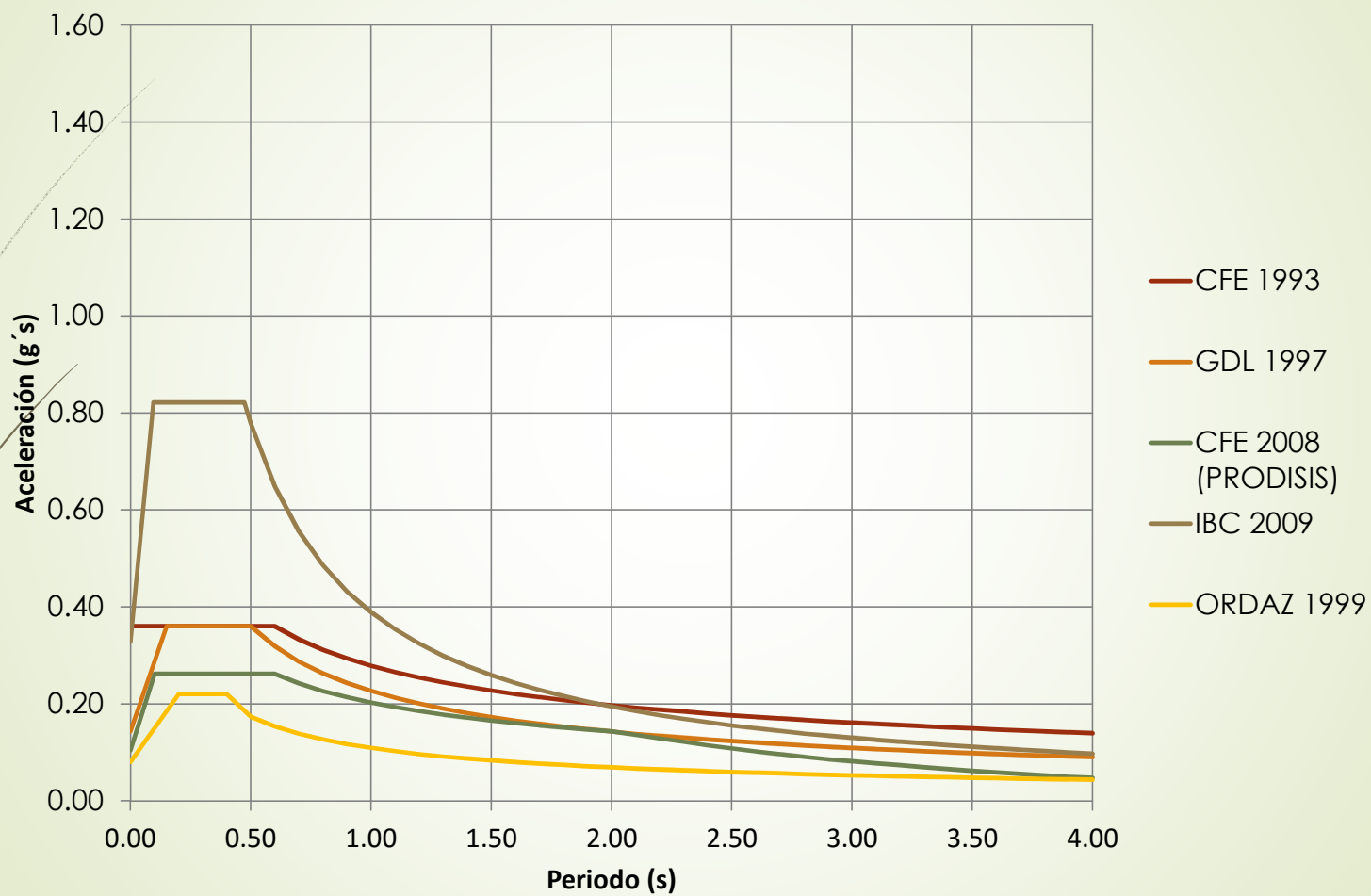
Terreno Firme

$V_s > 750$  m/s

(IBC = B)

CFE 1993	GDL 1997	CFE 2008 (PRODISIS)	IBC 2009	ORDAZ 1999
$a_0$ 0.36	$a_0$ 0.14	$a_0$ 0.11	$a_0$ 0.33	$a_0$ 0.08
$T_a$ 0.00	$T_a$ 0.15	$T_a$ 0.10	$T_0$ 0.09	$T_a$ 0.20
$T_b$ 0.60	$T_b$ 0.50	$T_b$ 0.60	$T_s$ 0.47	$T_b$ 0.35
		$T_c$ 2.00	$T_L$ 2	
$c$ 0.36	$c$ 0.36	$c$ 0.26	$S_{DS}$ 0.82	$c$ 0.22
$r$ 0.50	$r$ 0.67	$k$ 1.50		$r$ 0.67
		$\beta$ 1.00		

### Espectros de respuesta en roca ( $V_s > 750$ m/s)



# ESPECTROS DE RESPUESTA COMPARATIVA

Terreno Compacidad Media

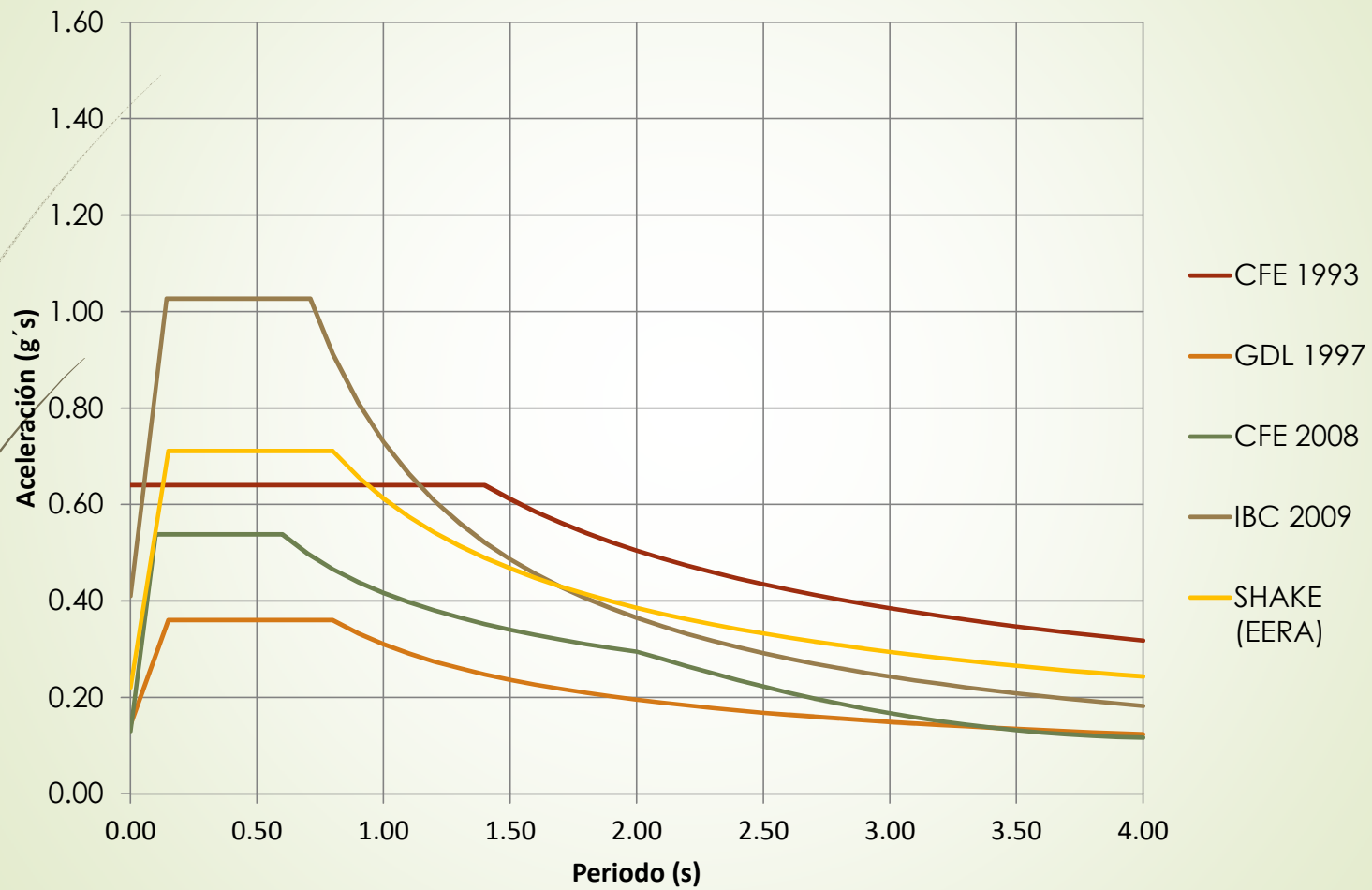
$180 < V_s < 370$  m/s

(IBC = D)

CFE 1993	GDL 1997	CFE 2008	IBC 2009	SHAKE (EERA)
$a_0$ 0.64	$a_0$ 0.14	$a_0$ 0.13	$a_0$ 0.41	$a_0$ 0.22
$T_a$ 0.00	$T_a$ 0.15	$T_a$ 0.10	$T_0$ 0.14	$T_a$ 0.15
$T_b$ 1.40	$T_b$ 0.80	$T_b$ 0.60	$T_s$ 0.71	$T_b$ 0.80
		$T_c$ 2.00	$T_L$ 2	
$c$ 0.64	$c$ 0.36	$c$ 0.54	$S_{DS}$ 1.03	$c$ 0.71
$r$ 0.67	$r$ 0.67	$k$ 1.50		$r$ 0.67
		$\beta$ 1.00		



### Espectros de respuesta suelos compacidad media ( $180 < V_s < 370$ m/s)



# ESPECTROS DE RESPUESTA COMPARATIVA

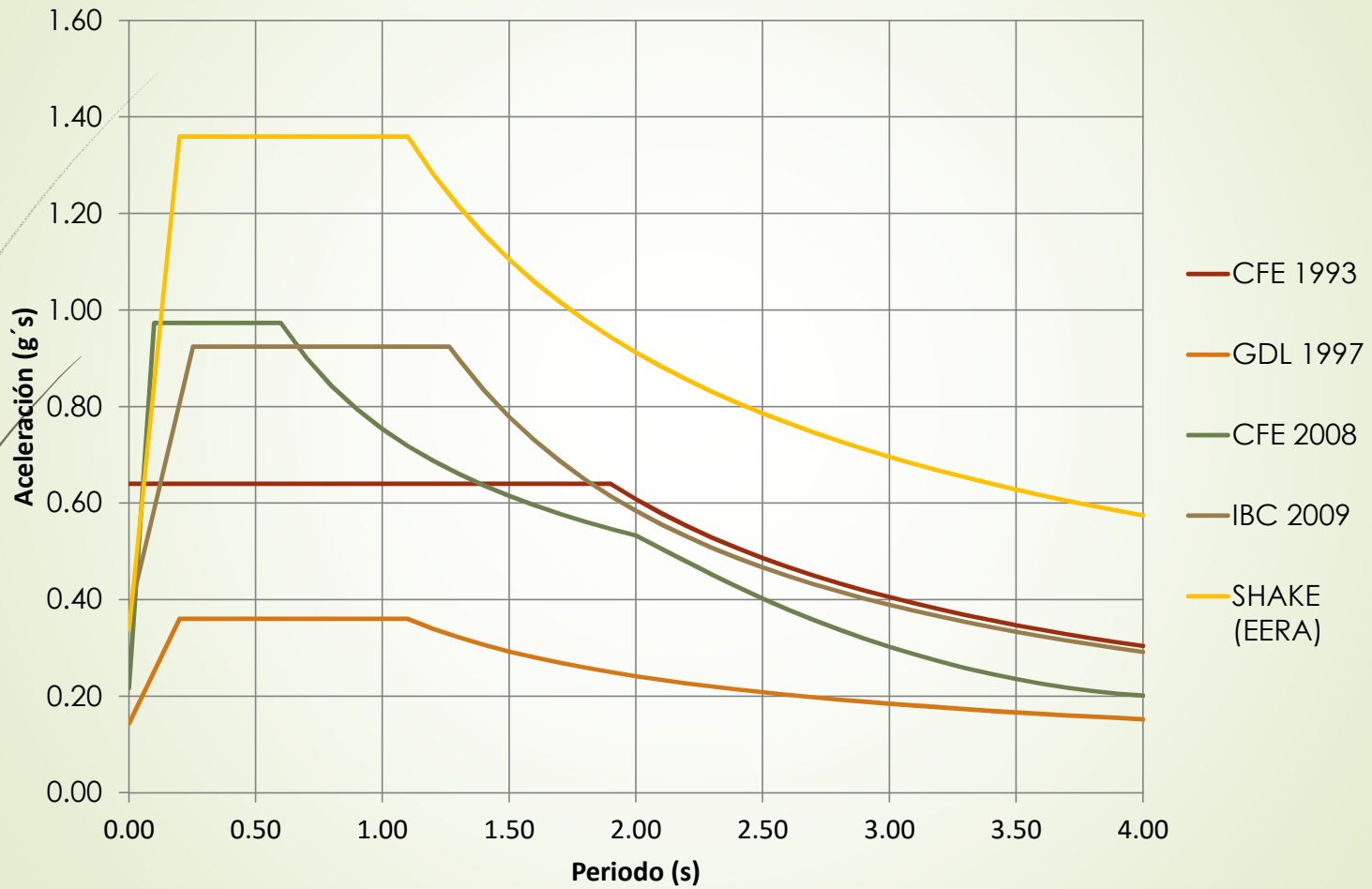
Terreno Compacidad Suelta

$V_s < 180$  m/s

(IBC = E)


CFE 1993	GDL 1997	CFE 2008	IBC 2009	SHAKE (EERA)
$a_0$ 0.64	$a_0$ 0.14	$a_0$ 0.13	$a_0$ 0.41	$a_0$ 0.22
$T_a$ 0.00	$T_a$ 0.15	$T_a$ 0.10	$T_0$ 0.14	$T_a$ 0.15
$T_b$ 1.40	$T_b$ 0.80	$T_b$ 0.60	$T_s$ 0.71	$T_b$ 0.80
		$T_c$ 2.00	$T_L$ 2	
<b>c 0.64</b>	<b>c 0.36</b>	<b>c 0.54</b>	<b><math>S_{DS}</math> 1.03</b>	<b>c 0.71</b>
$r$ 0.67	$r$ 0.67	$k$ 1.50		$r$ 0.67
		$\beta$ 1.00		

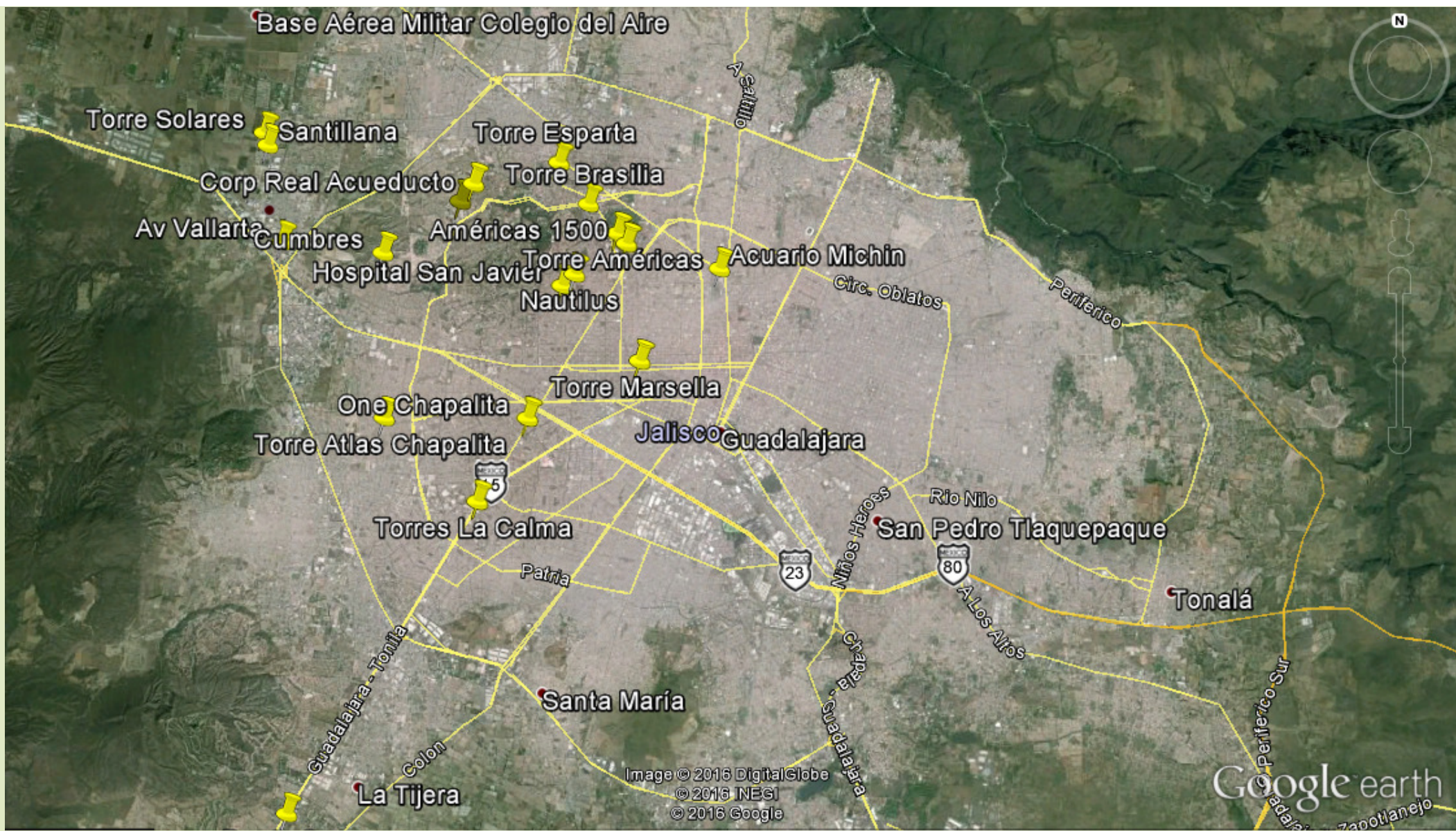
### Espectros de respuesta suelos compacidad suelta ( $V_s < 180$ m/s)





## RESPUESTA ZONA PONIENTE ZMG

- ▶ Base de datos de 30 estudios de mecánica de suelos, donde se realizaron ensayos SPT y pruebas de prospección geofísica sísmica del tipo down-hole.
  - ▶ Espesor de los depósitos de suelo desde los 15 m y hasta los 60 m.
  - ▶ Distribuidos de forma coherente en lo que a álgebra de mapas se refiere (geomática), es decir, con una buena distribución para la influencia de áreas en un análisis geoespacial (densidad).
- 



Base Aérea Militar Colegio del Aire

Torre Solares

Santillana

Torre Esparta

Corp Real Acueducto

Torre Brasilia

Av Vallarta

Cumbres

Américas 1500

Torre Américas

Acuario Michin

Hospital San Javier

Nautilus

One Chapalita

Torre Marsella

Torre Atlas Chapalita

Jalisco Guadalajara

Torres La Calma

San Pedro Tlaquepaque

Patria

Tonalá

La Tijera

Santa María

Image © 2016 DigitalGlobe  
© 2016 INEGI  
© 2016 Google

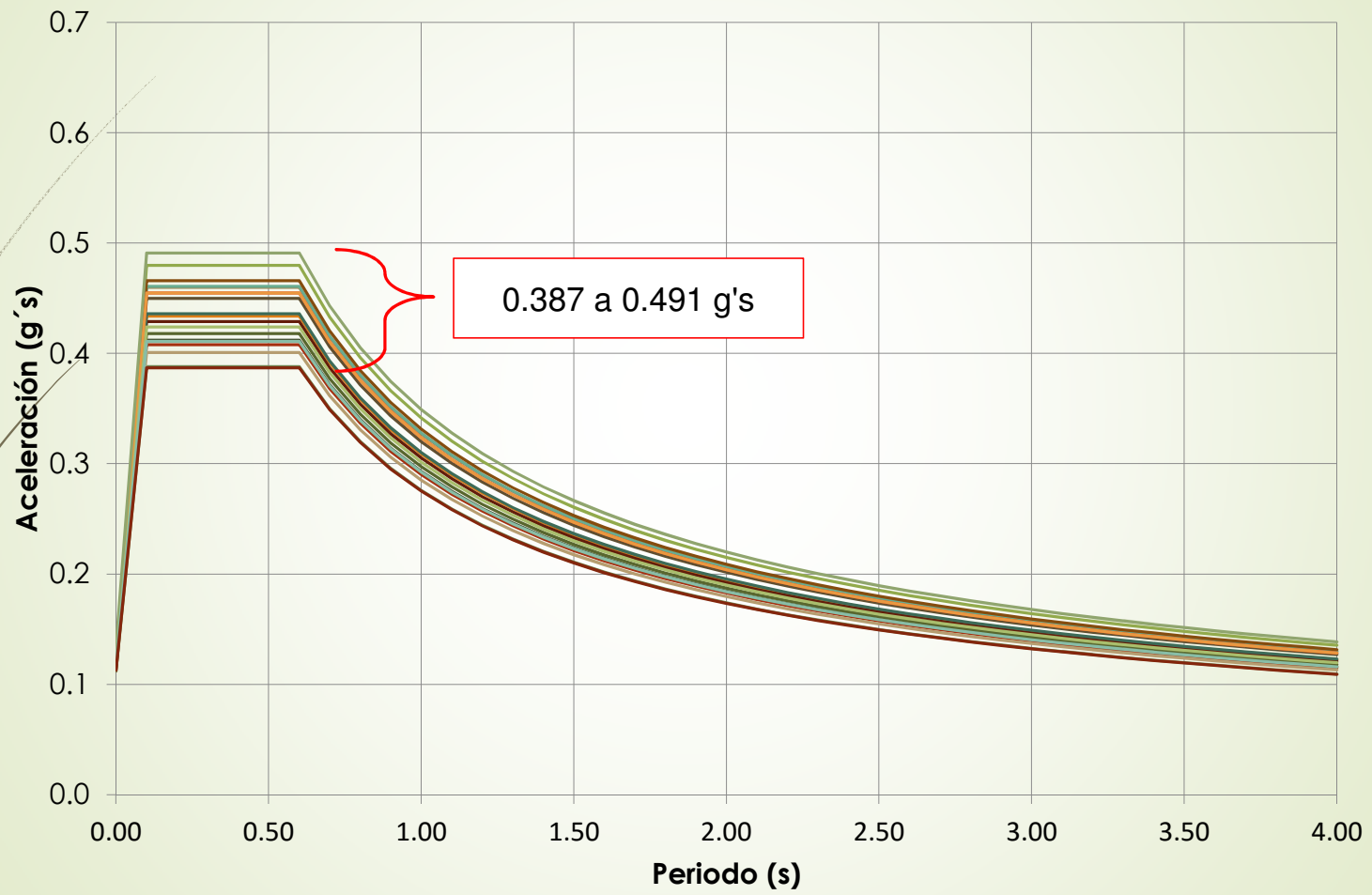
Google earth

# RESPUESTA ZONA PONIENTE ZMG

- ▶ Parámetros dinámicos del sitio obtenidos a través de estudio geofísico mediante la técnica de prospección sísmica denominada down-hole.
- ▶ Propuesta de la aceleración máxima probable para terreno firme (roca), mediante PRODISIS.
- ▶ Cálculo de la respuesta del terreno utilizando método simplificado del reglamento de diseño sísmico CFE 2008.

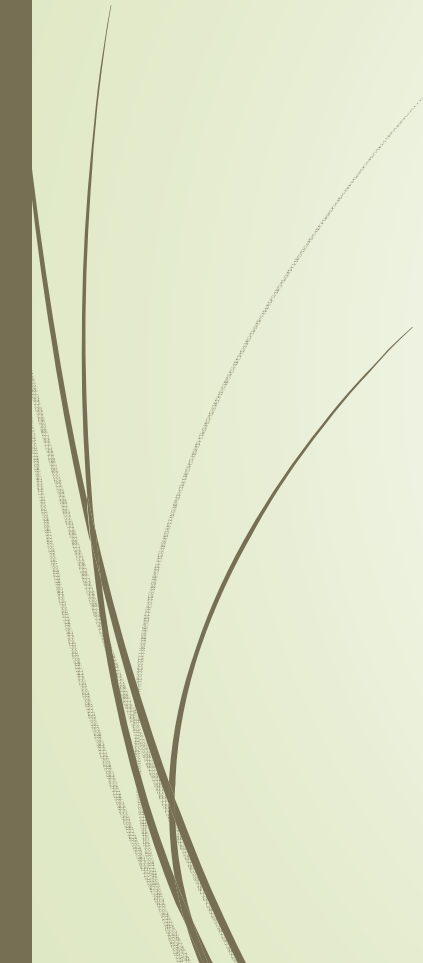
periodo	coeficiente	acel. max.
T (s)	c (g's)	a <sub>0</sub> (g's)

## Espectros de respuesta Zona Poniente ZMG

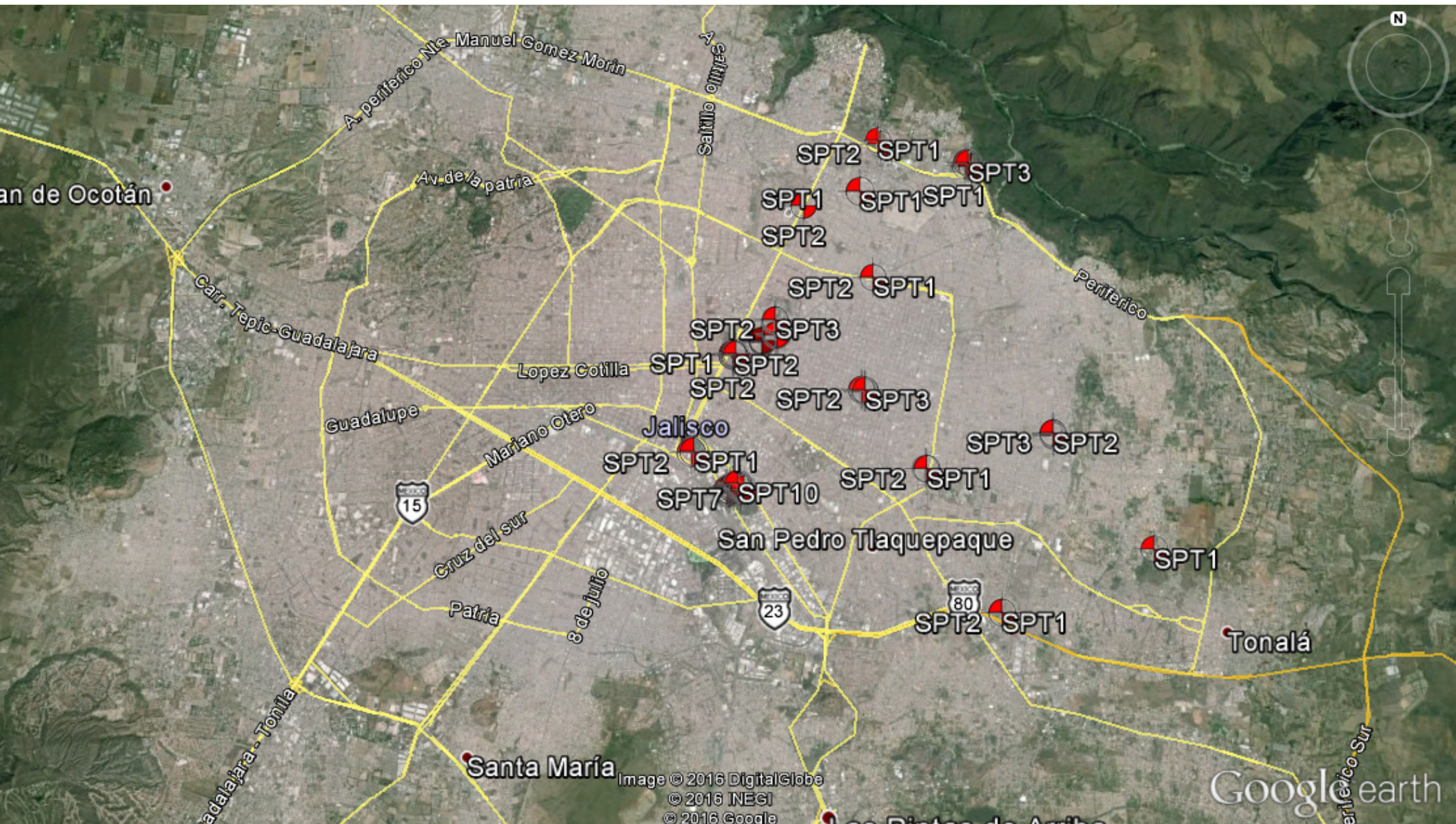




## RESPUESTA ZONA ORIENTE ZMG

- ▶ Base de datos de 20 estudios de mecánica de suelos, en mismo número de sitios, equivalente a 50 sondeos de penetración estándar (SPT).
  - ▶ Espesor de los depósitos de suelo desde los 5 m y hasta los 20 m.
  - ▶ Distribuidos de forma coherente en lo que a algebra de mapas se refiere (geomática), es decir, con una buena distribución para la influencia de áreas en un análisis geoespacial.
- 



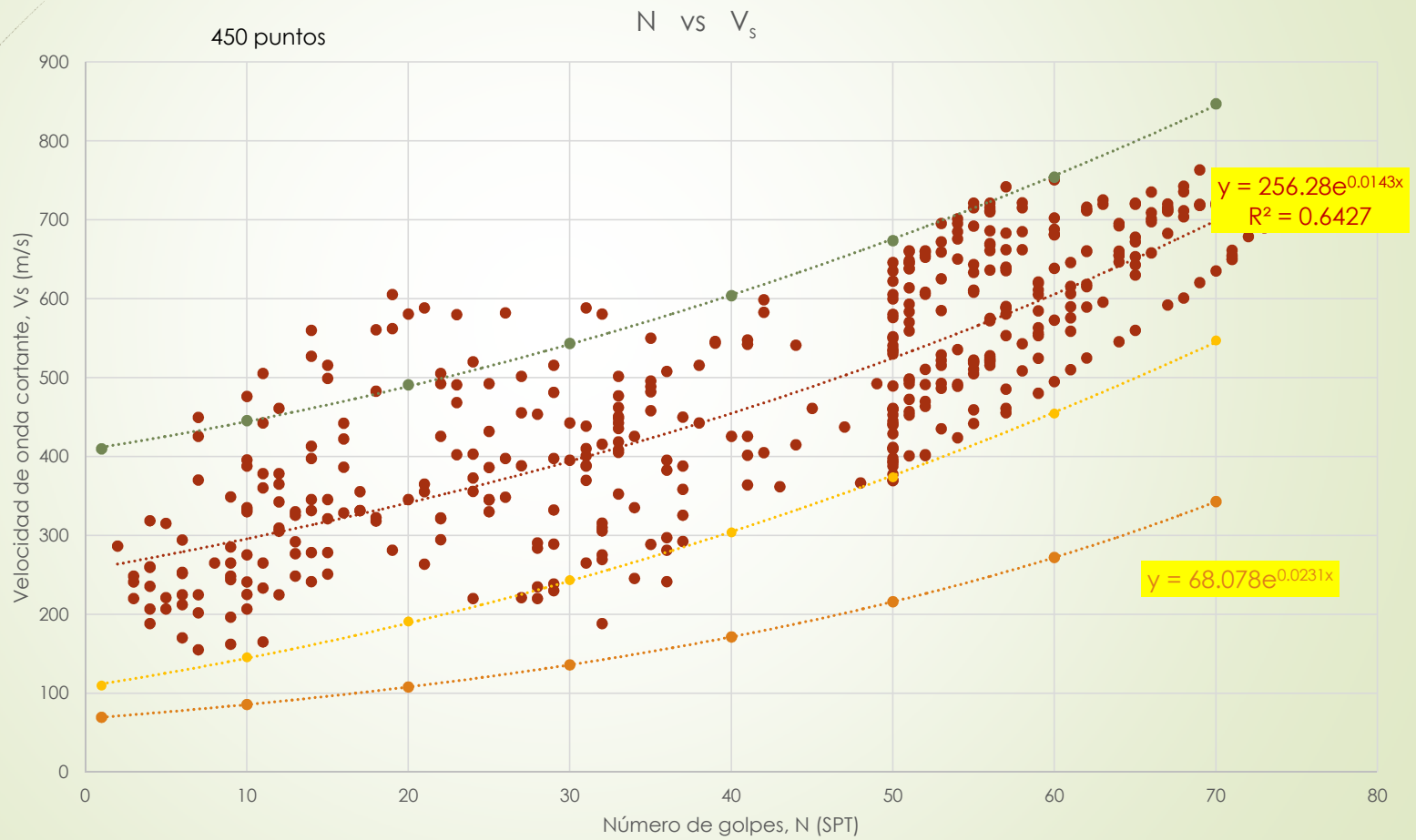


# RESPUESTA ZONA ORIENTE ZMG

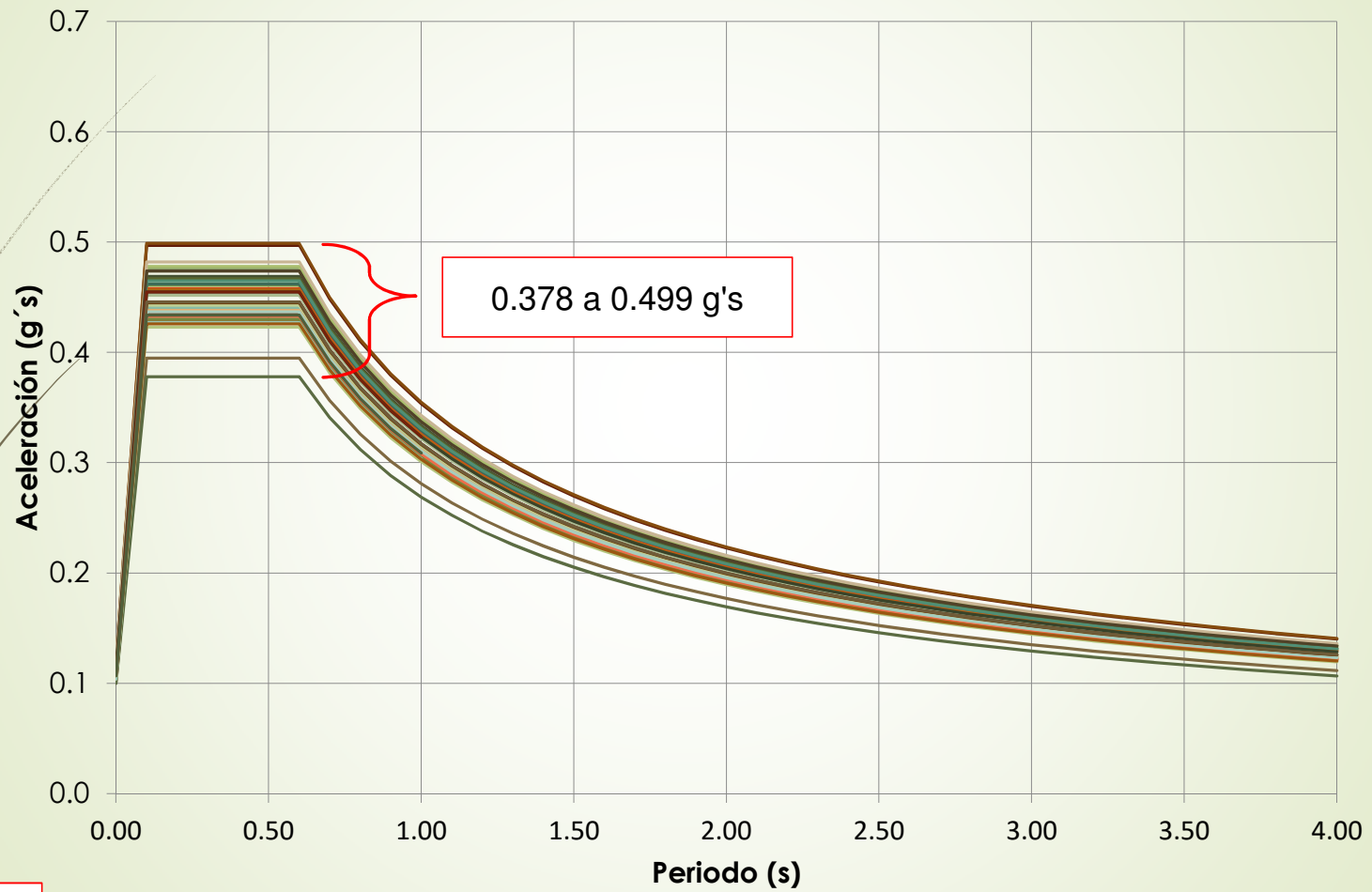
- ▶ Parámetros dinámicos del sitio obtenidos a través de correlación de 450 puntos de la zona poniente.
- ▶ Propuesta de la aceleración máxima probable para terreno firme (roca), mediante PRODISIS.
- ▶ Cálculo de la respuesta del terreno utilizando método simplificado del reglamento de diseño sísmico CFE 2008.

periodo	coeficiente	acel. max.
T (s)	c (g's)	a <sub>0</sub> (g's)

# RESPUESTA ZONA ORIENTE ZMG

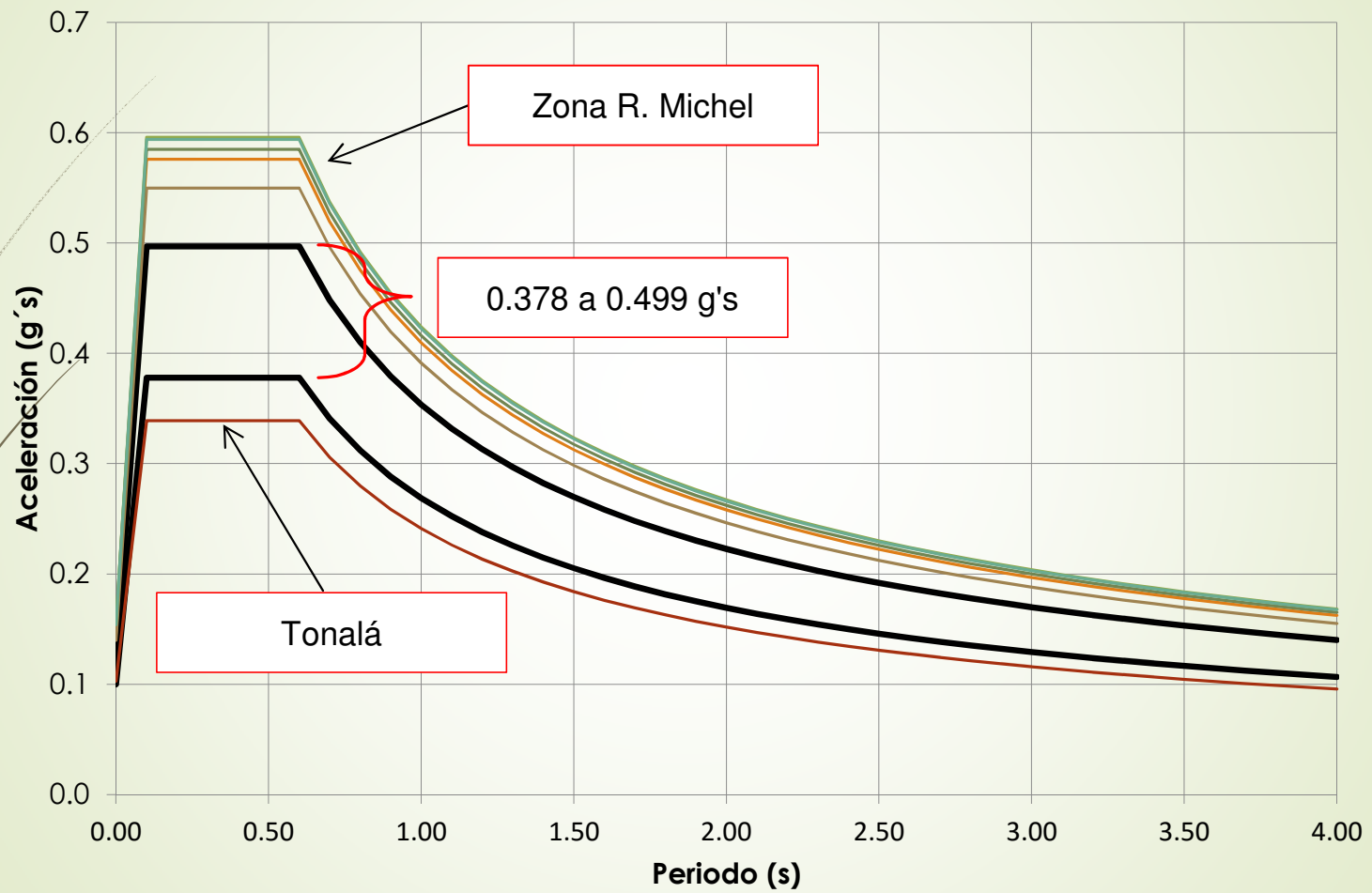


## Espectros de respuesta Zona Oriente ZMG



0.387 a 0.491 g's

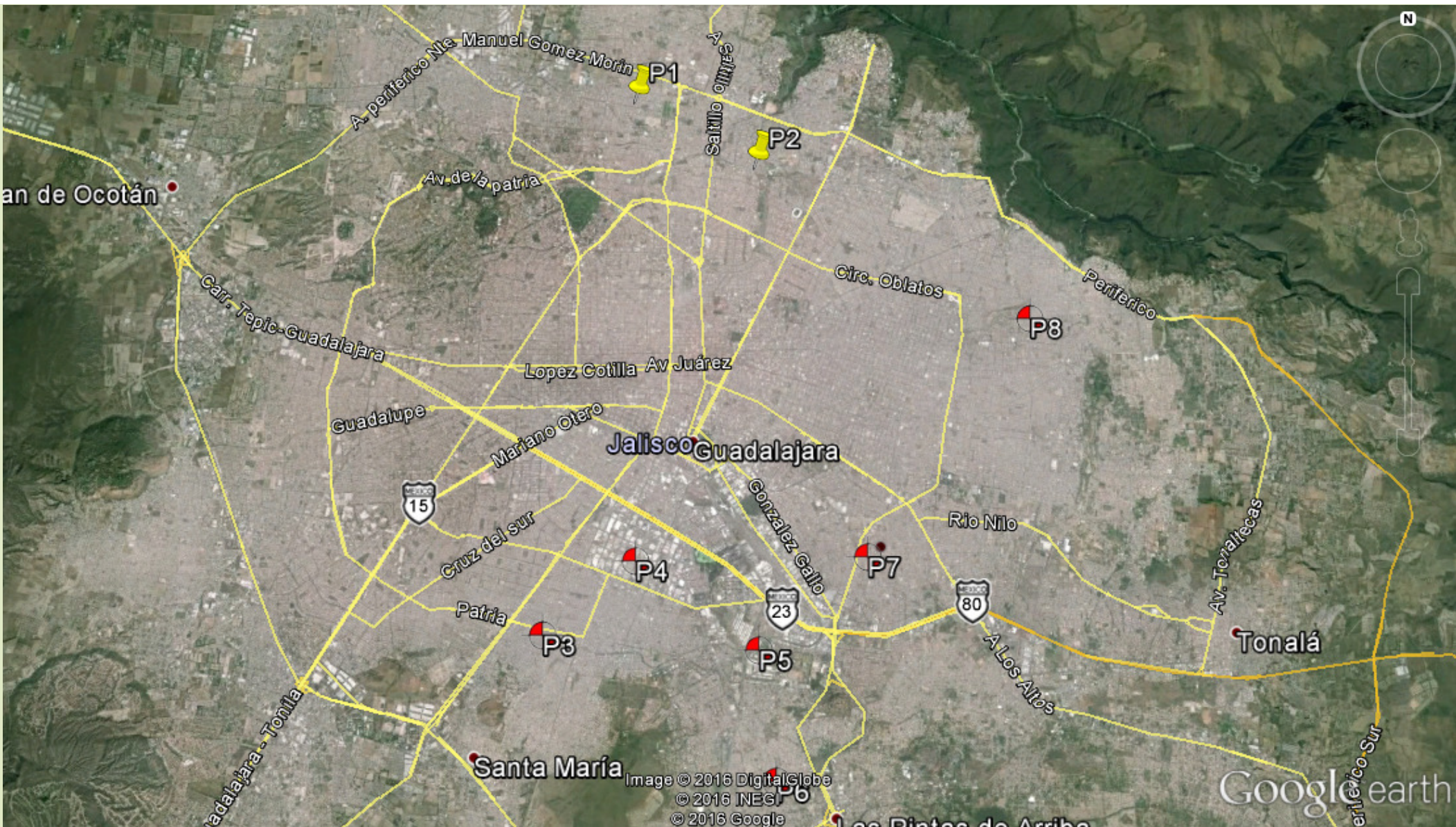
## Espectros de respuesta Diferenciados

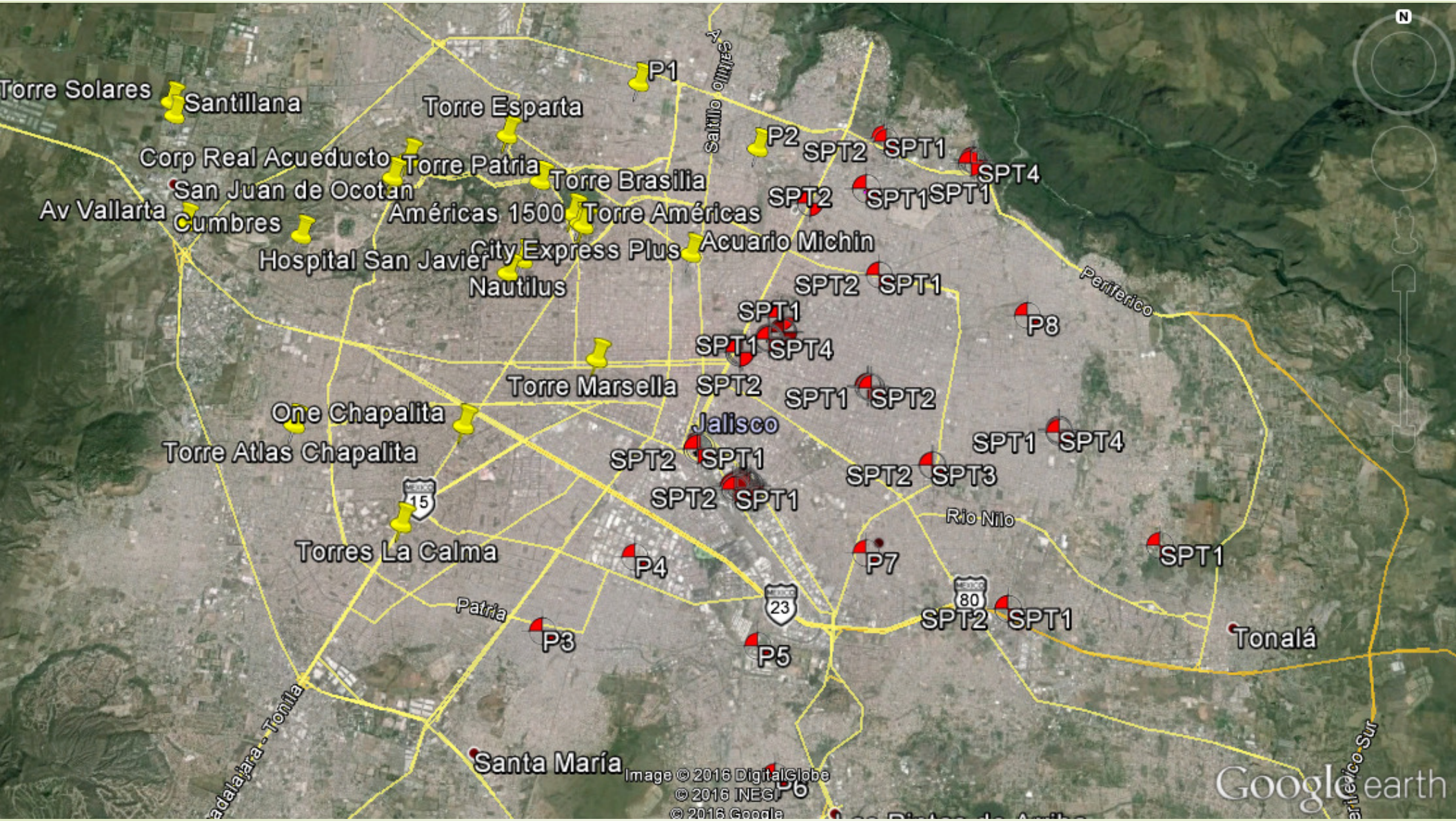




# PUNTOS COMPLEMENTARIOS PROPUESTOS

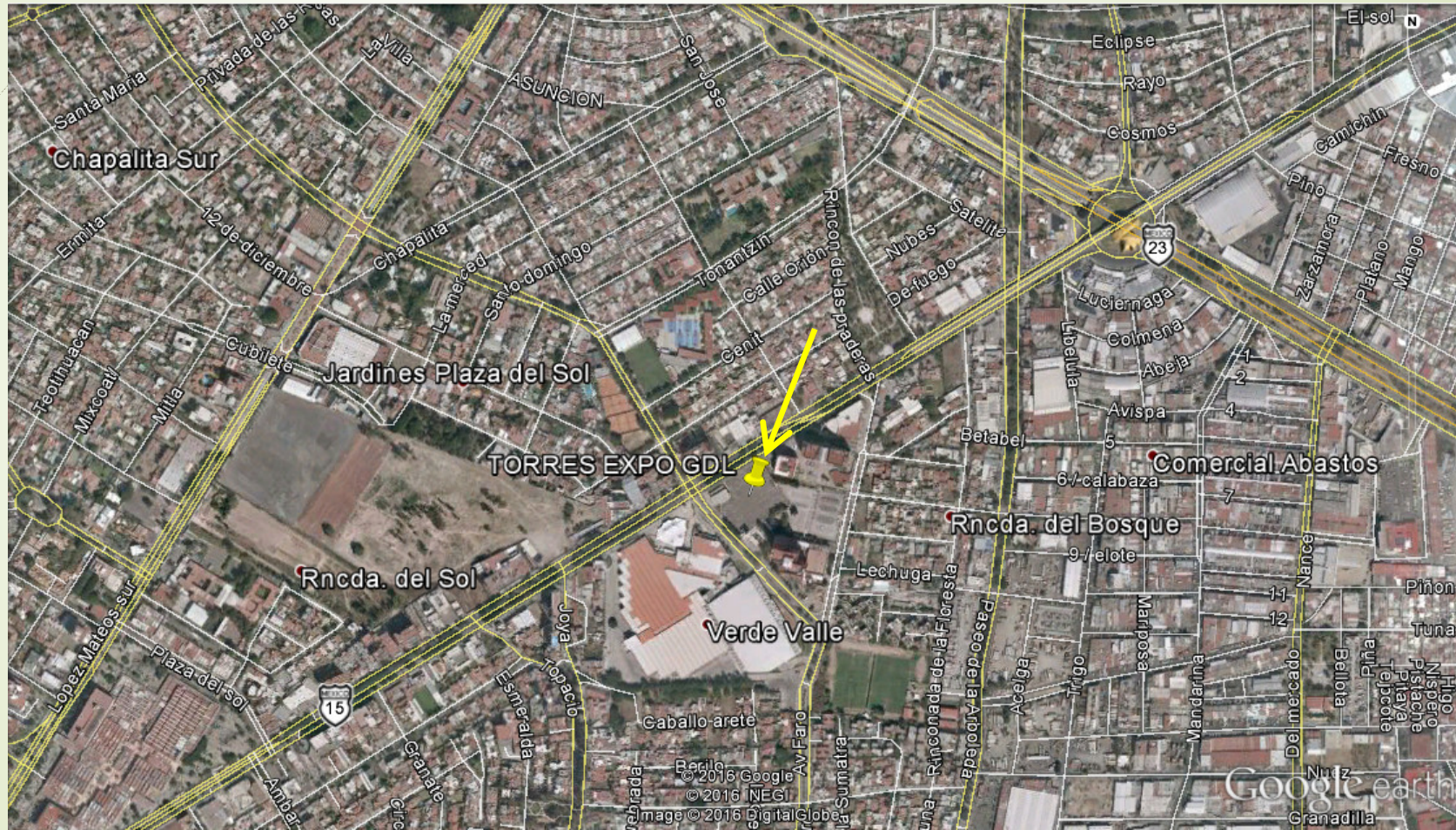
- ▶ Base de datos de 8 sondeos de penetración estándar (SPT) y 8 sondeos geofísicos del tipo down-hole.
- ▶ Espesor de los depósitos de suelo desde los 10 m y hasta los 25 m.
- ▶ Distribuidos de forma tal que completen una densidad de puntos coherente.



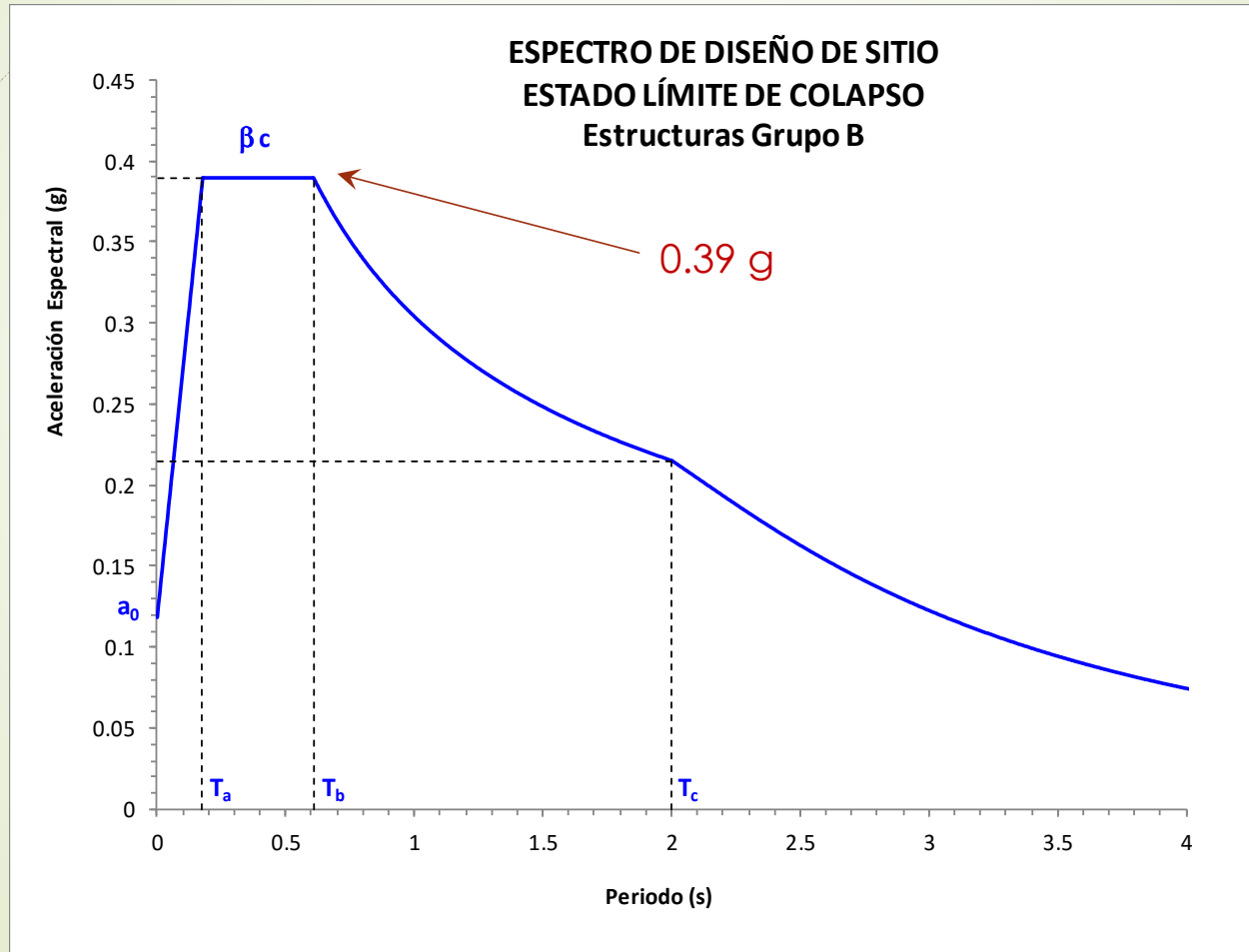


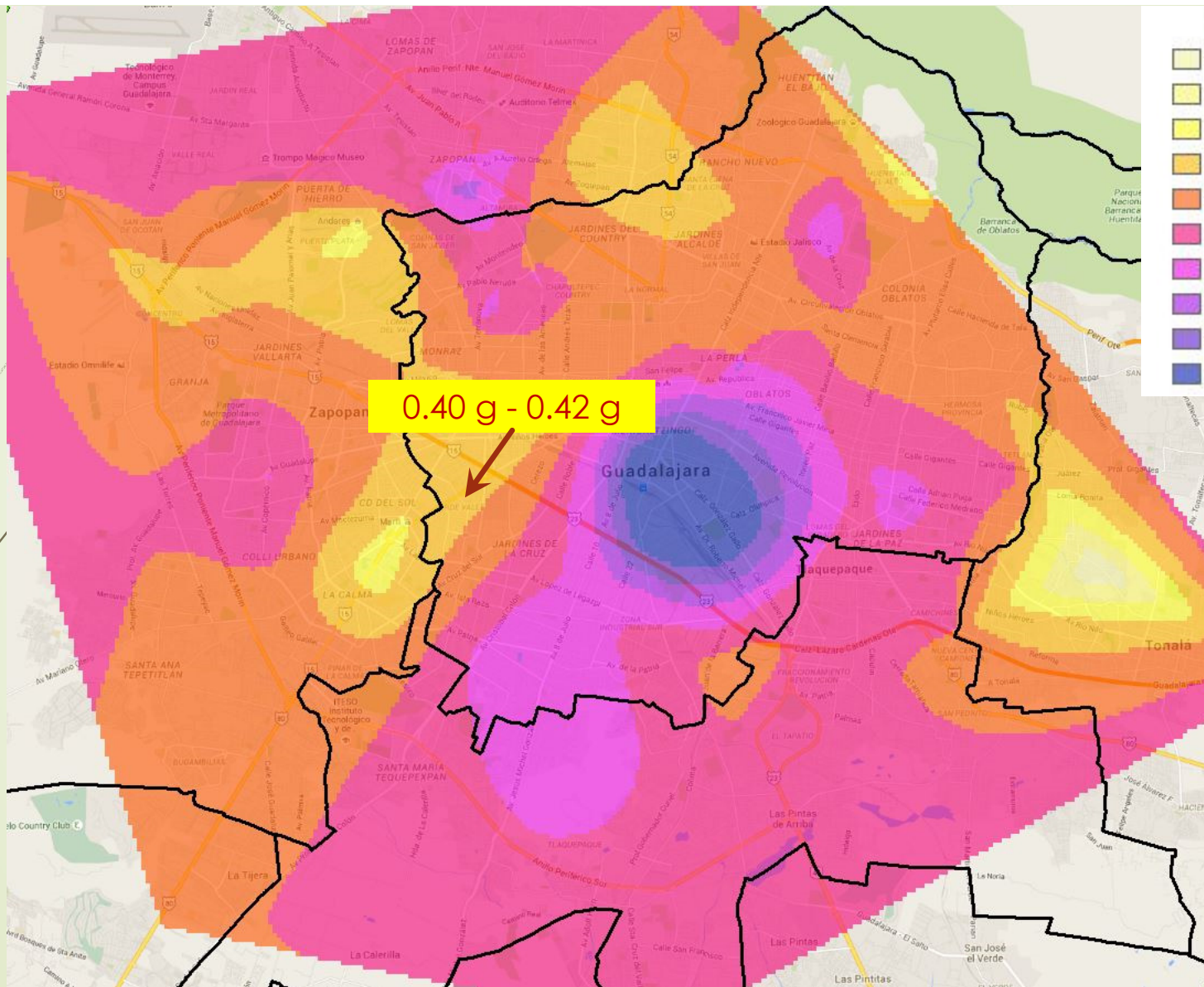


# UTILIDAD DE LA ZONIFICACIÓN



# UTILIDAD DE LA ZONIFICACIÓN



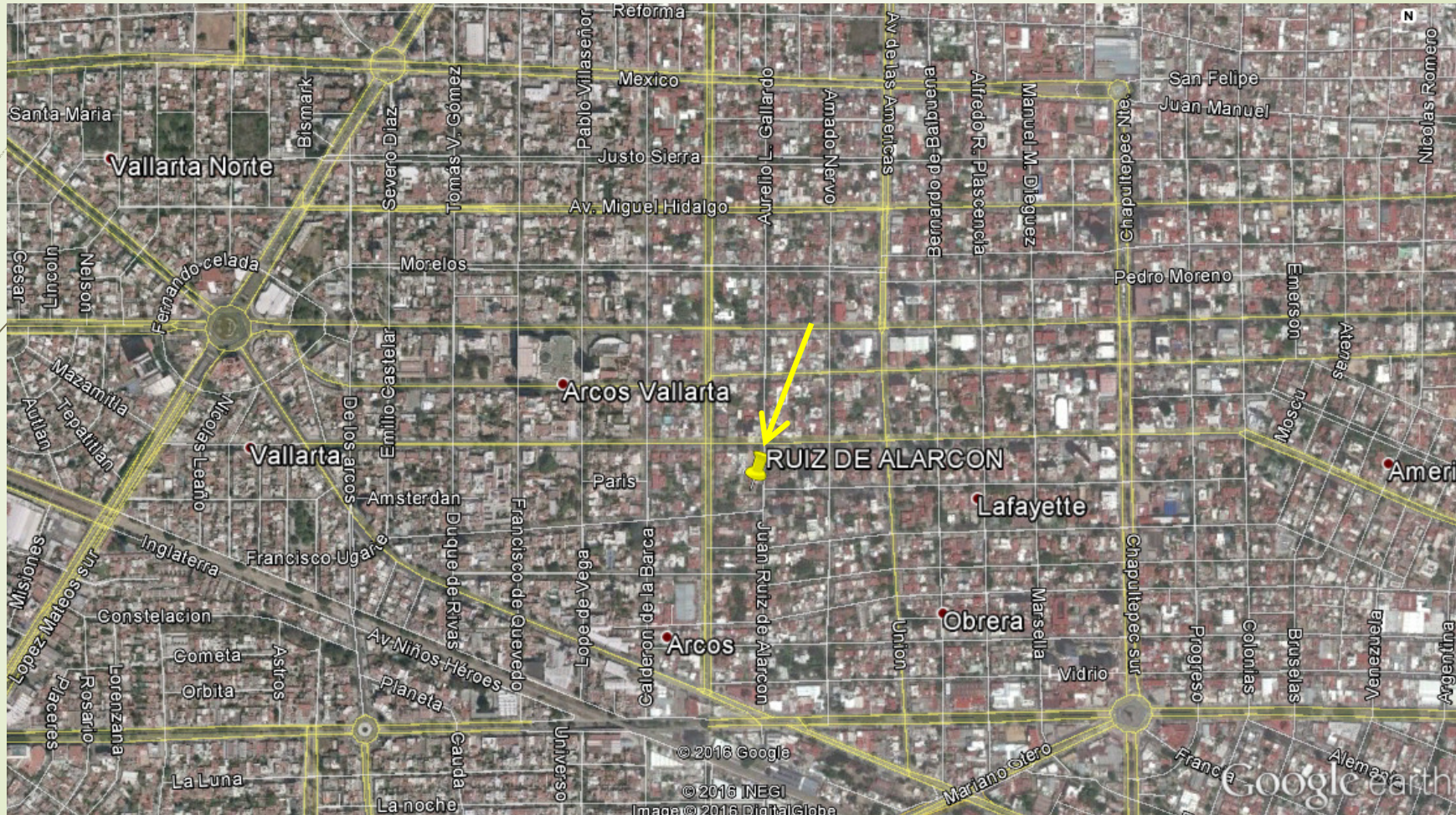


Coeficiente sísmico (g's)

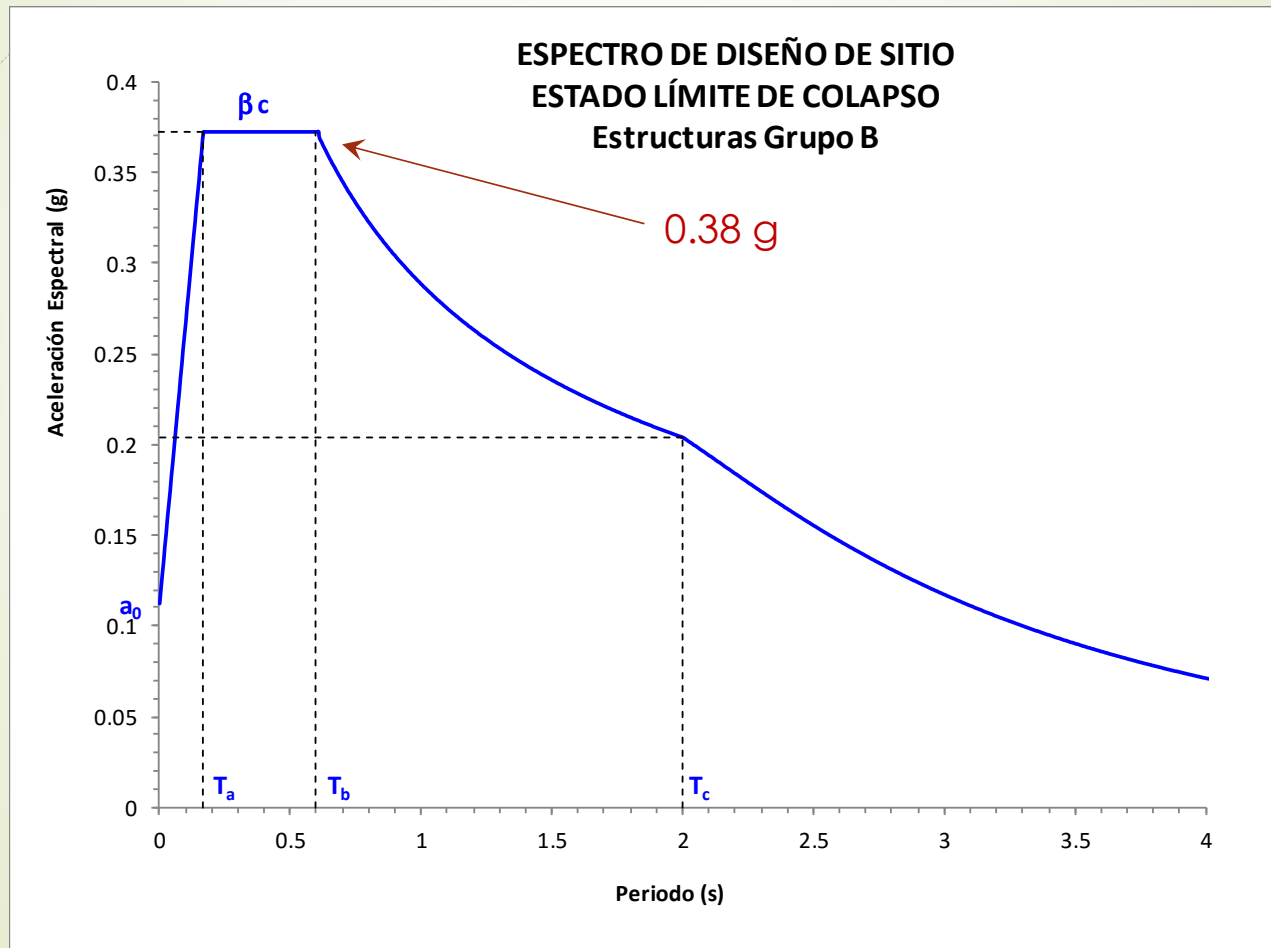
- 0.34 - 0.36
- 0.36 - 0.38
- 0.38 - 0.4
- 0.4 - 0.42
- 0.42 - 0.44
- 0.44 - 0.46
- 0.46 - 0.48
- 0.48 - 0.5
- 0.5 - 0.52
- 0.52 - 0.54

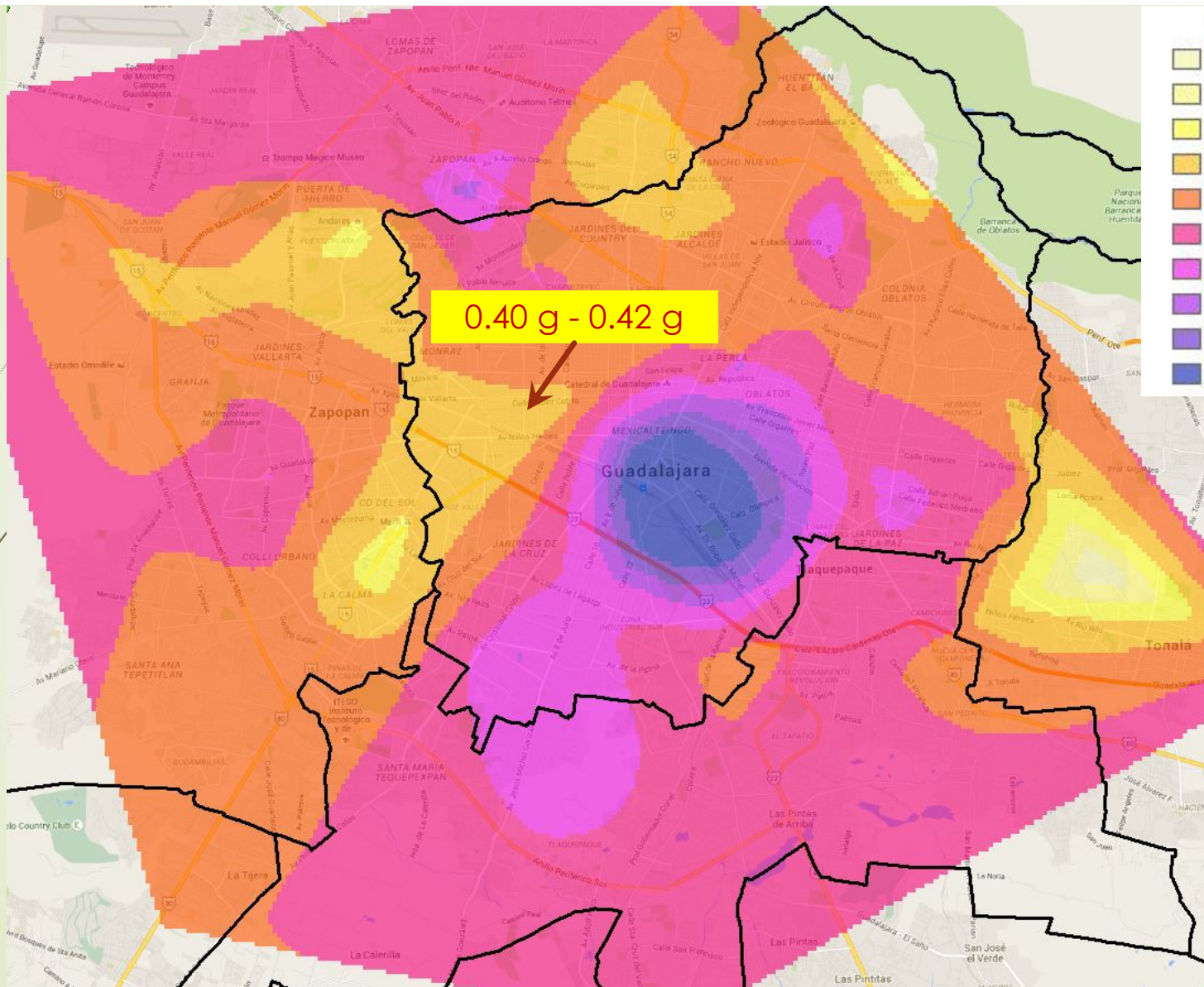
0.40 g - 0.42 g

# UTILIDAD DE LA ZONIFICACIÓN



# UTILIDAD DE LA ZONIFICACIÓN

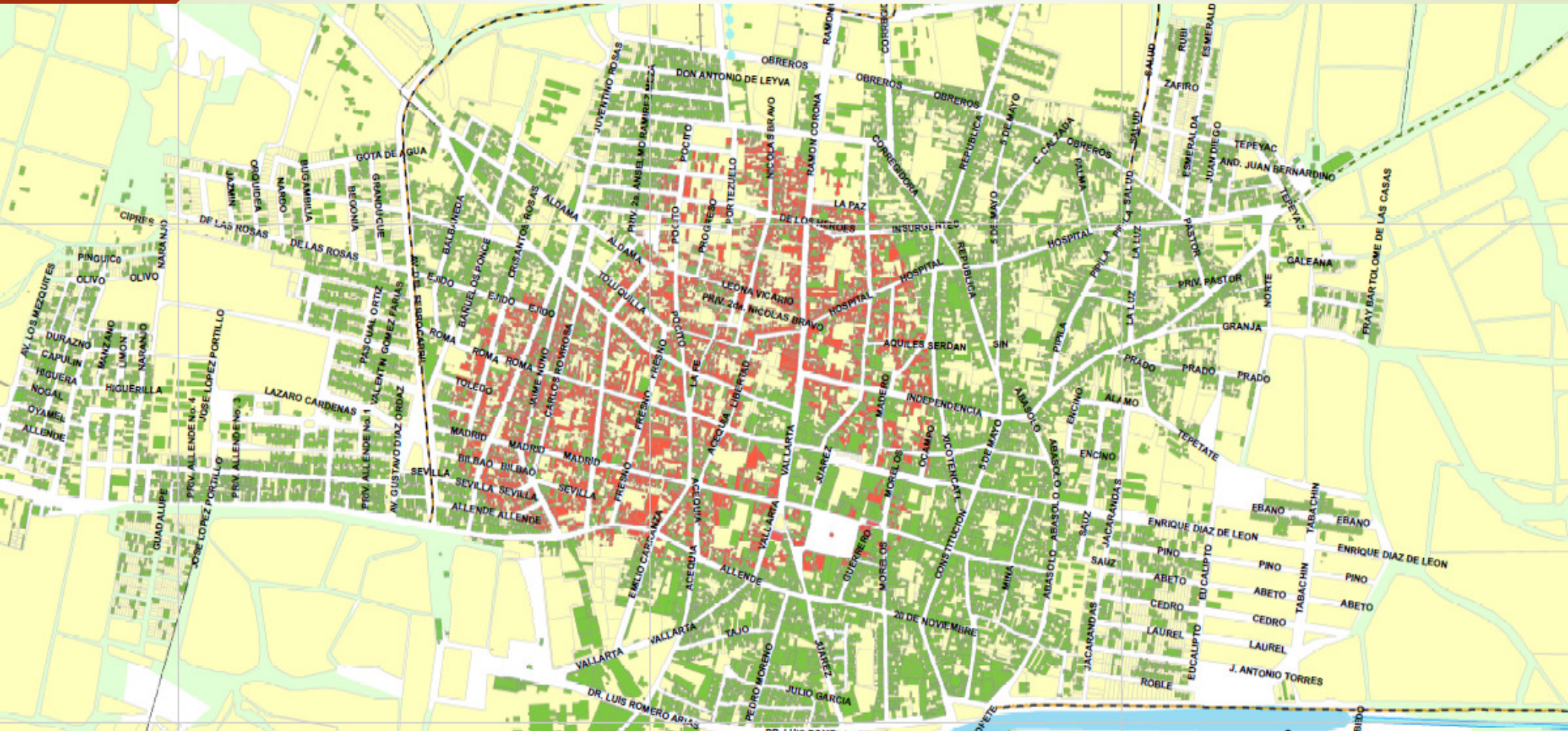




Coefficiente sísmico (g's)

- 0.34 - 0.36
- 0.36 - 0.38
- 0.38 - 0.4
- 0.4 - 0.42
- 0.42 - 0.44
- 0.44 - 0.46
- 0.46 - 0.48
- 0.48 - 0.5
- 0.5 - 0.52
- 0.52 - 0.54

# UTILIDAD DE LA ZONIFICACIÓN





# UTILIDAD DE LA ZONIFICACIÓN

- ▶ Actualizar las NTC para diseño por sismo de la ZMG.
- ▶ Establecer áreas de coeficientes sísmicos de sitio, que están en función de los parámetros dinámicos y no del espesor del depósito.
- ▶ Utilizar el mapa de isoperiodos para evitar que las construcciones futuras entren en una posible resonancia.
- ▶ Construir mapas de riesgo por resonancia de las edificaciones antiguas.
- ▶ Emplear el mapa de aceleraciones máximas del terreno para el diseño sísmico.
- ▶ Obtener velocidades y desplazamientos de diseño a partir de las aceleraciones del suelo.





## ¿QUE SIGUE?

- ▶ Estudiar los parámetros dinámicos de la zona oriente de la ZMG
- ▶ Discutir cual es el método más adecuado para la obtención de la respuesta del terreno en la ZMG
- ▶ Obtener más datos (espectros de sitio) en la ZMG, que alimenten el modelo para detallar su sensibilidad
- ▶ Incluir los efectos del nivel freático en la respuesta del terreno
- ▶ Evaluar la posibilidad de mecanismos de falla del terreno ante un evento sísmico, como licuación.
  
- ▶ ***El crecimiento de la ZMG, sobre todo en la zona poniente, es eminentemente vertical***