

MÉXICO

---

GOBIERNO DE LA REPÚBLICA





COORDINACIÓN NACIONAL DE  
PROTECCIÓN CIVIL  

---

---

**MÉXICO**

## **CONMEMORACIÓN DE LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 2017**

Registros sísmicos, simulación de terremotos, deslizamientos, movimiento fuerte del terreno y comportamiento estructural

Septiembre, 2018

# Deslizamientos y derrumbes durante los sismos de septiembre de 2017



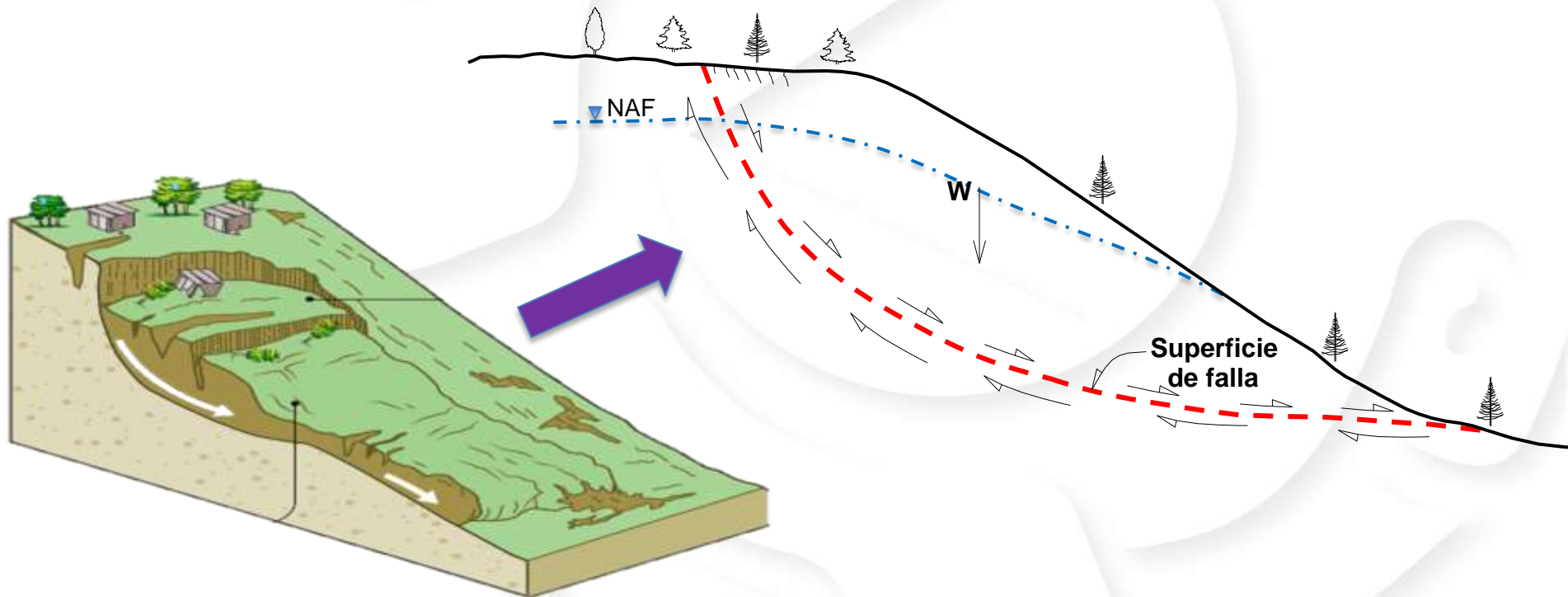
# Contenido

---

1. Introducción
2. Factor de Seguridad, FS
3. Consideraciones sísmicas
4. Mapeo de los deslizamientos detonados por los sismos
5. Conclusiones

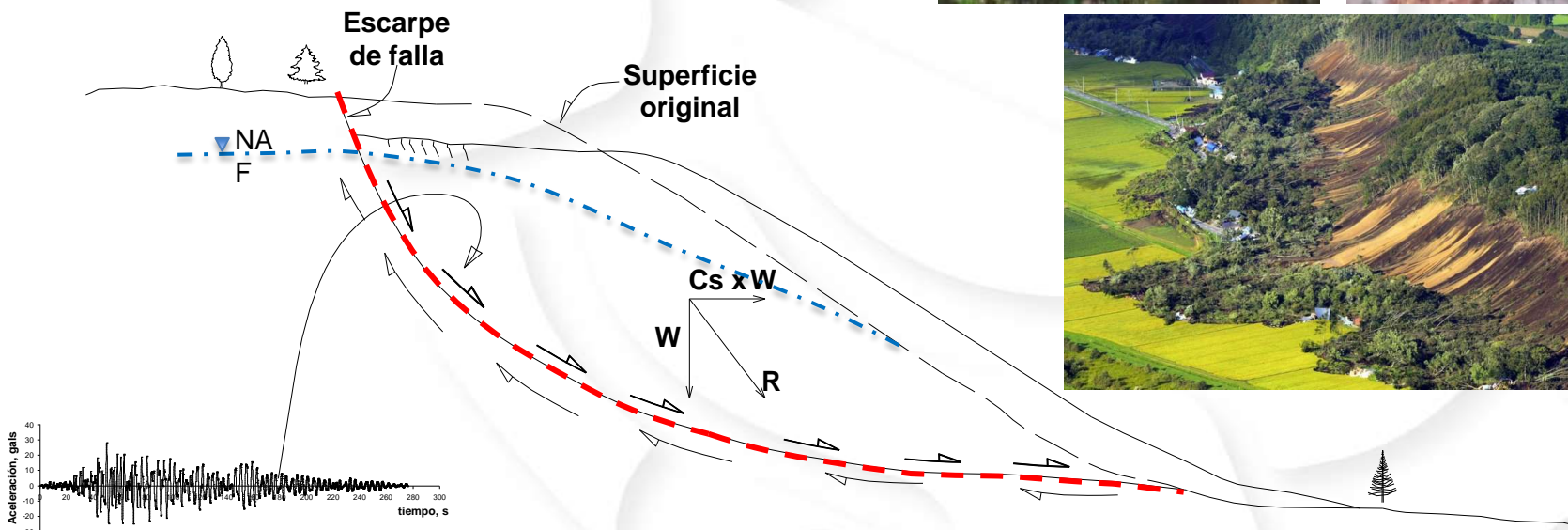
## Introducción

La inestabilidad de una ladera sucede cuando una porción de los materiales (suelo o roca) que la constituyen se moviliza y se desplaza ladera abajo a lo largo de una superficie de falla.



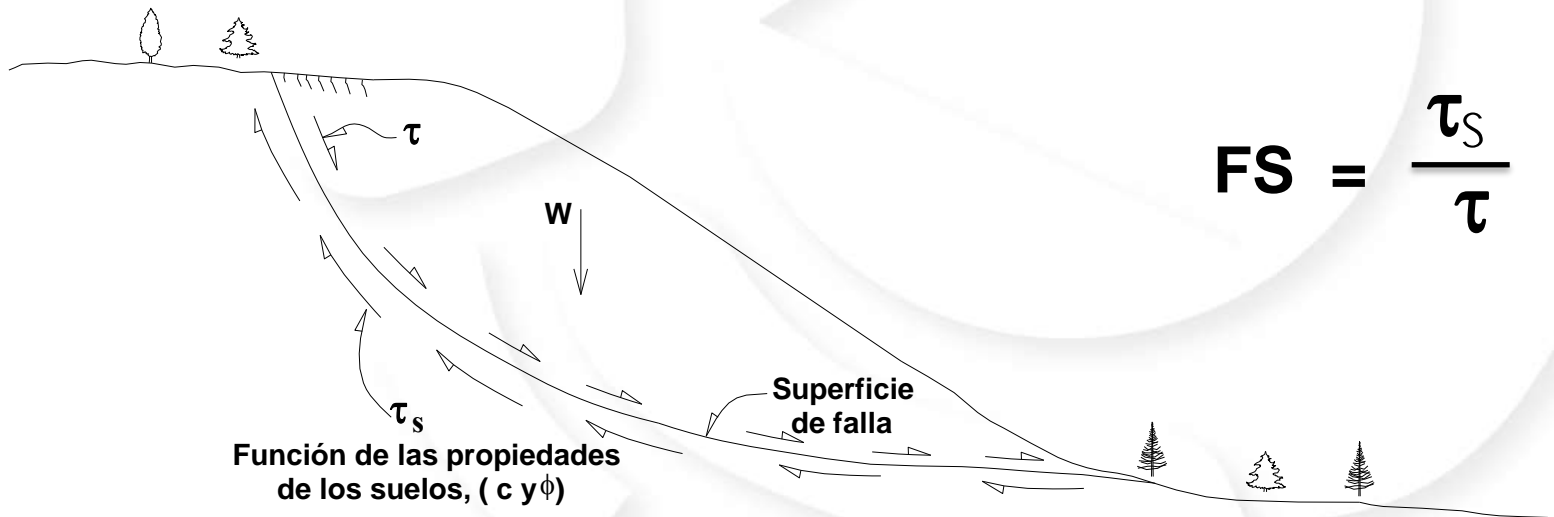
## Causas que detonan inestabilidad

1. Lluvias
2. Sismos
3. Actividad Volcánica
4. Actividad humana



## Factor de Seguridad, FS

Usualmente se expresa como el cociente mínimo entre la resistencia media al esfuerzo cortante ( $\tau_f$ ) del suelo o material que compone la ladera o talud, y el esfuerzo cortante medio que actúa en la potencial superficie de falla ( $\tau$ )



## Factor de Seguridad, FS

$$FS = \frac{\tau_s}{\tau}$$

Condición de Estabilidad

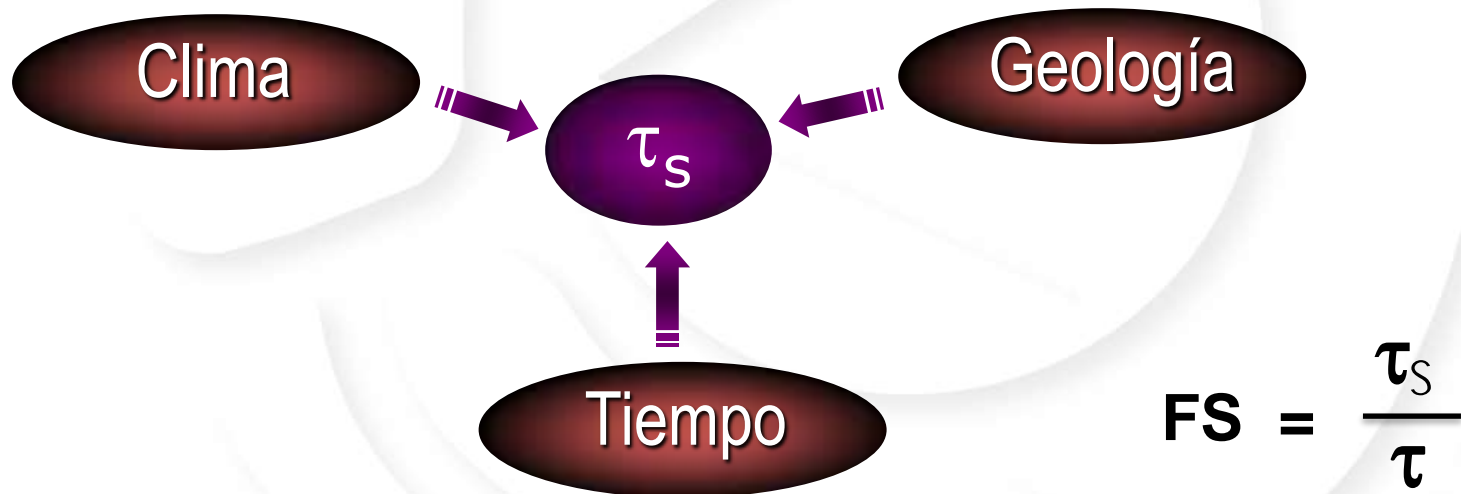
$$\tau_s > \tau$$

$$\tau_s = \tau \quad \longrightarrow \quad FS = 1$$



## Resistencia de los suelos

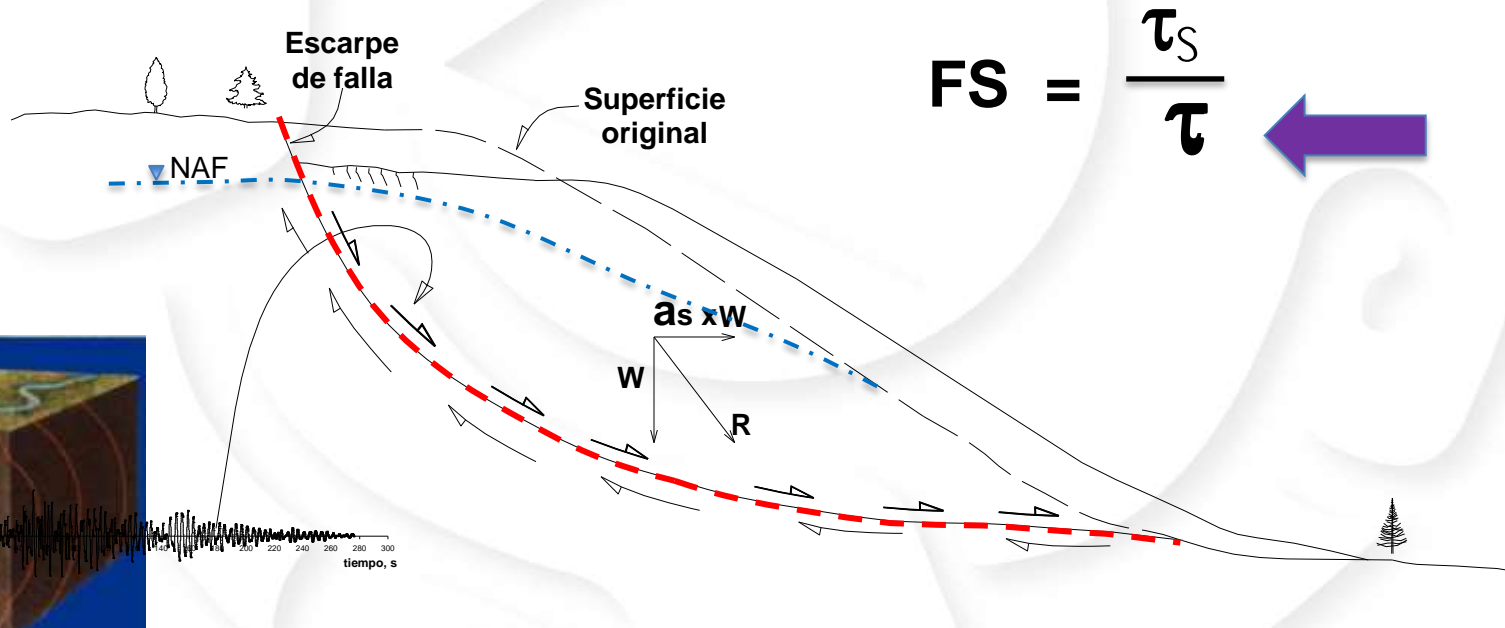
Dependen de las condiciones geológicas y climáticas de una región, y varían en el espacio y en el tiempo.



$$FS = \frac{\tau_s}{\tau}$$

## Efecto del sismo en el FS

Durante un sismo las ondas pasan por la ladera generando un campo de aceleraciones que impone una fuerza adicional sobre la potencial masa inestable ( $w$ ).



## Concepto de Aceleración crítica ( $a_c$ )

La fuerza sísmica induce un incremento en la fuerza debida al peso de la potencial masa inestable, pudiendo exceder la resistencia del suelo y detonar el deslizamiento.

$$FS = \frac{\tau_s}{\tau} \quad \leftarrow$$

$$\tau_s < \tau$$



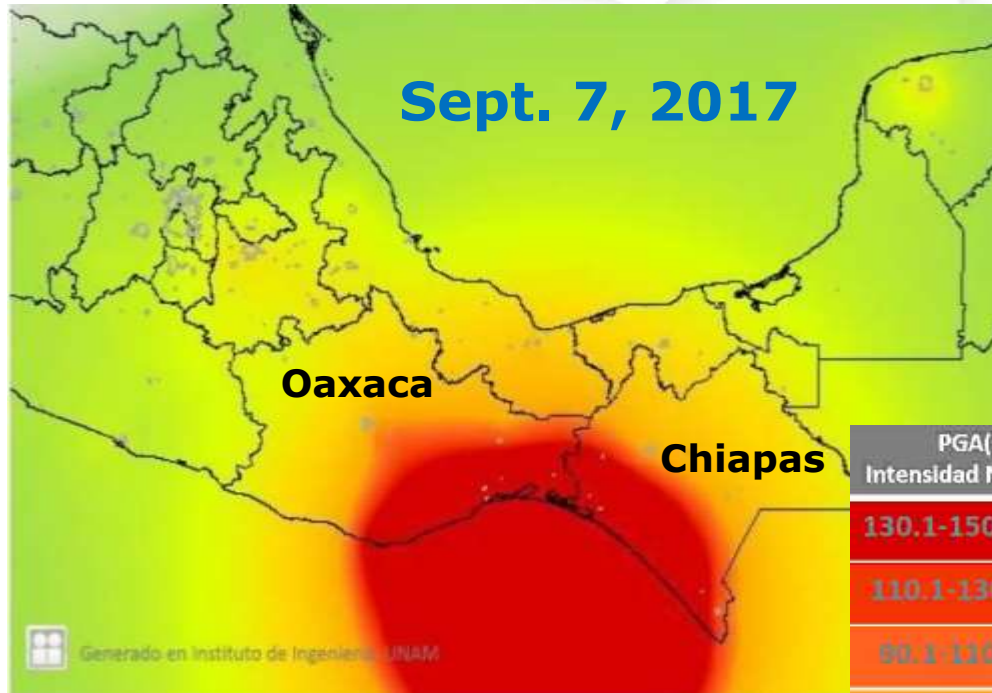
$$FS < 1$$

## Concepto de Aceleración crítica ( $a_c$ )

Es la **mínima** aceleración del suelo requerida para superar la máxima resistencia del suelo ( $\tau_s$ ).

Entonces, para que se produzca un deslizamiento, la aceleración del terreno debe exceder la aceleración crítica, ( $A_c$ )

# Sismos de septiembre de 2017



Magnitud 8.2  
Golfo de Tehuantepec  
Sismo intraplaca asociado a una falla normal.  
Sep. 23 sismo de 6.1



Magnitud 7.1 <  
Límites Morelos-Puebla  
Sismo intraplaca  
Falla normal  
120 km de la CDMX

## Imágenes de satelitales

- Es una representación visual de los datos reflejados por la superficie de la tierra que captura un sensor montado en un satélite artificial.
- Los datos son **enviados** a una estación terrena en donde se **procesan** y se convierten en **imágenes**.





## Imágenes de Satélite

- Los satélites de observación de la tierra **obtienen datos en el menor tiempo posible** para dar seguimiento a la evolución de un fenómeno.



# Metodología

Se analizarán imágenes de satélite en diferentes plataformas:

- Copernicus
- Libra (USGS)
- Alaska Facility





## Imágenes seleccionadas

- Se obtuvieron imágenes antes y después de ambos eventos sísmicos.

- Landsat-8

Imagen 1.- LC08\_L1TP\_025047\_20170321 (PUEBLA)

Imagen 2.- LC08\_L1TP\_025047\_20171116 (PUEBLA)

Imagen 3.- LC08\_L1TP\_026047\_20170224 (CDMX-MORELOS-EDO.MEX-PUEBLA GUERRERO)

Imagen 4.- LC08\_L1TP\_026047\_20171123 (CDMX-MORELOS-EDO.MEX-PUEBLA GUERRERO)

Imagen 5.- LC08\_L1TP\_023049\_20170424 (OAXACA)

Imagen 6.- LC08\_L1TP\_023049\_20171220 (OAXACA)

Imagen 7.- LC08\_L1TP\_022049\_20170212 (CHIAPAS)

Imagen 8.- LC08\_L1TP\_022049\_20171213 (CHIAPAS)

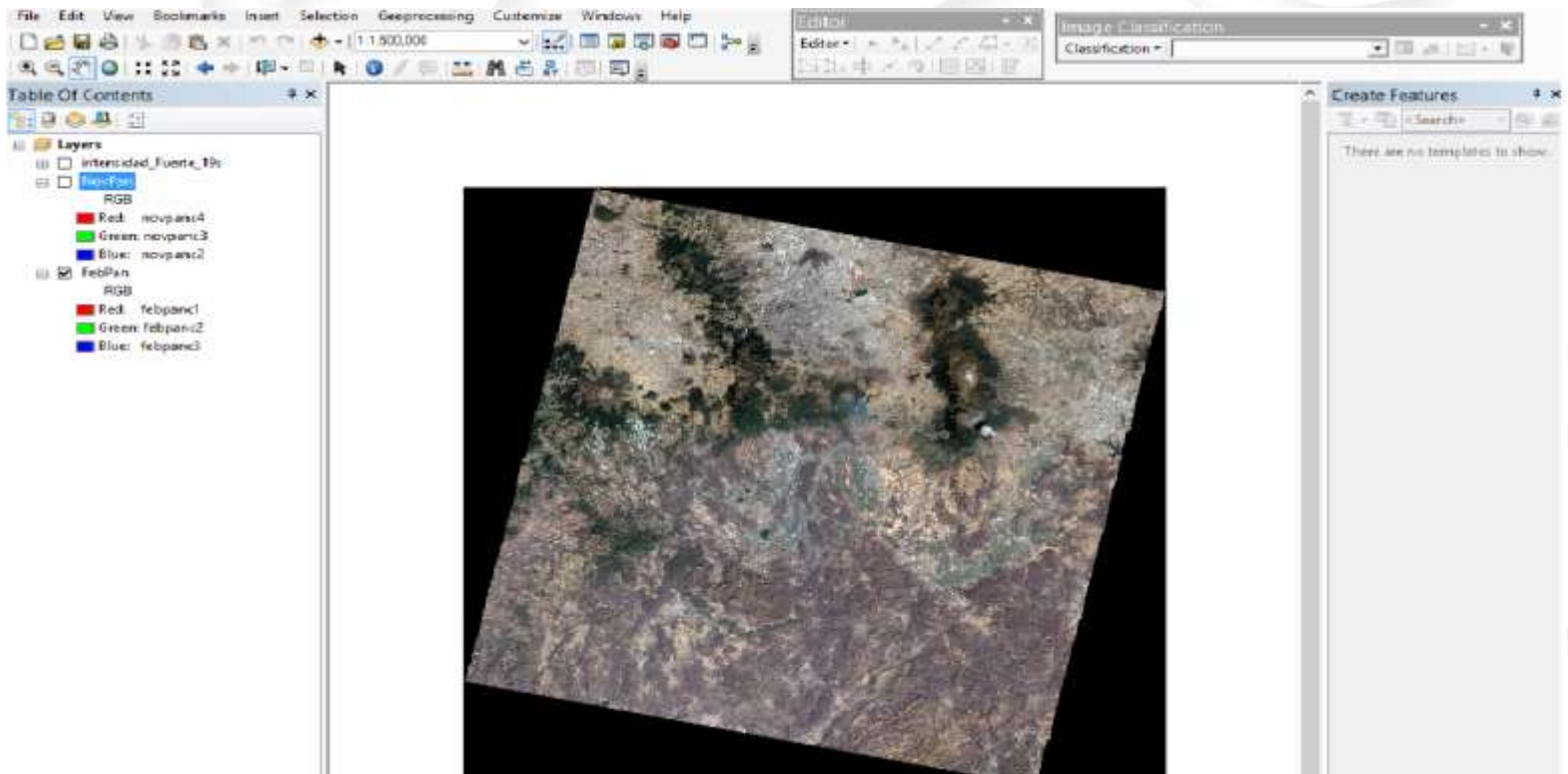
- Sentinel-2

Imagen 1.- 20171014 (MORELOS-PUEBLA-GUERRERO)

Imagen 2.- 20170721 (MORELOS-PUEBLA-GUERRERO)

## Procesamiento

- Las imágenes Landsat 8 fueron **procesadas** utilizando las bandas 2, 3, 4, 5 y 8. En tanto que las de Sentinel 2 se utilizaron las bandas 2, 3, 4 y 8. En ambos casos se utilizó una **combinación en falso color**.





Previa al sismo



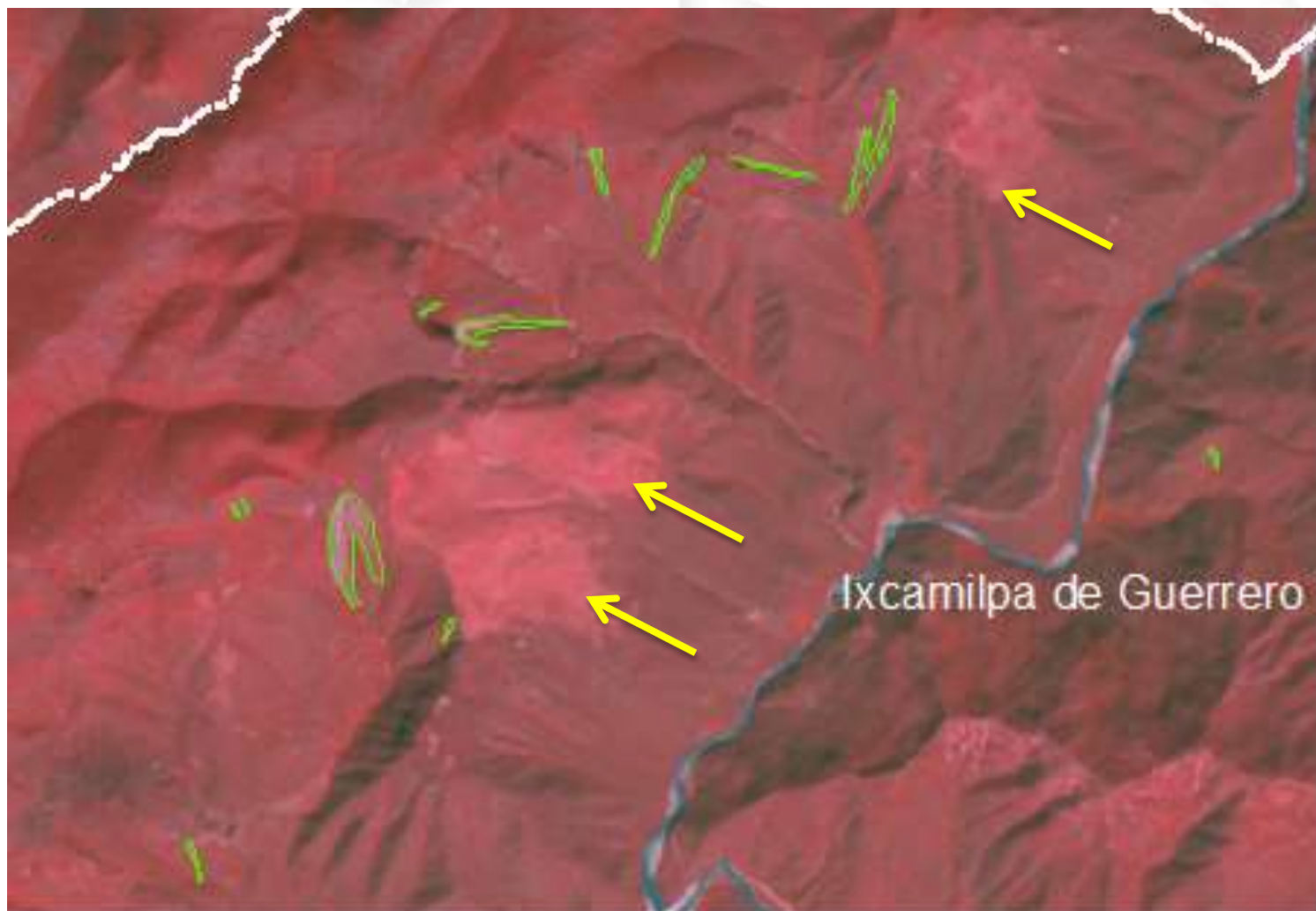
Después

La identificación de posibles deslizamientos se obtuvo con base en:

- 1) Cambio en respuesta espectral.
- 2) Forma
- 3) Pendiente (Orientación)

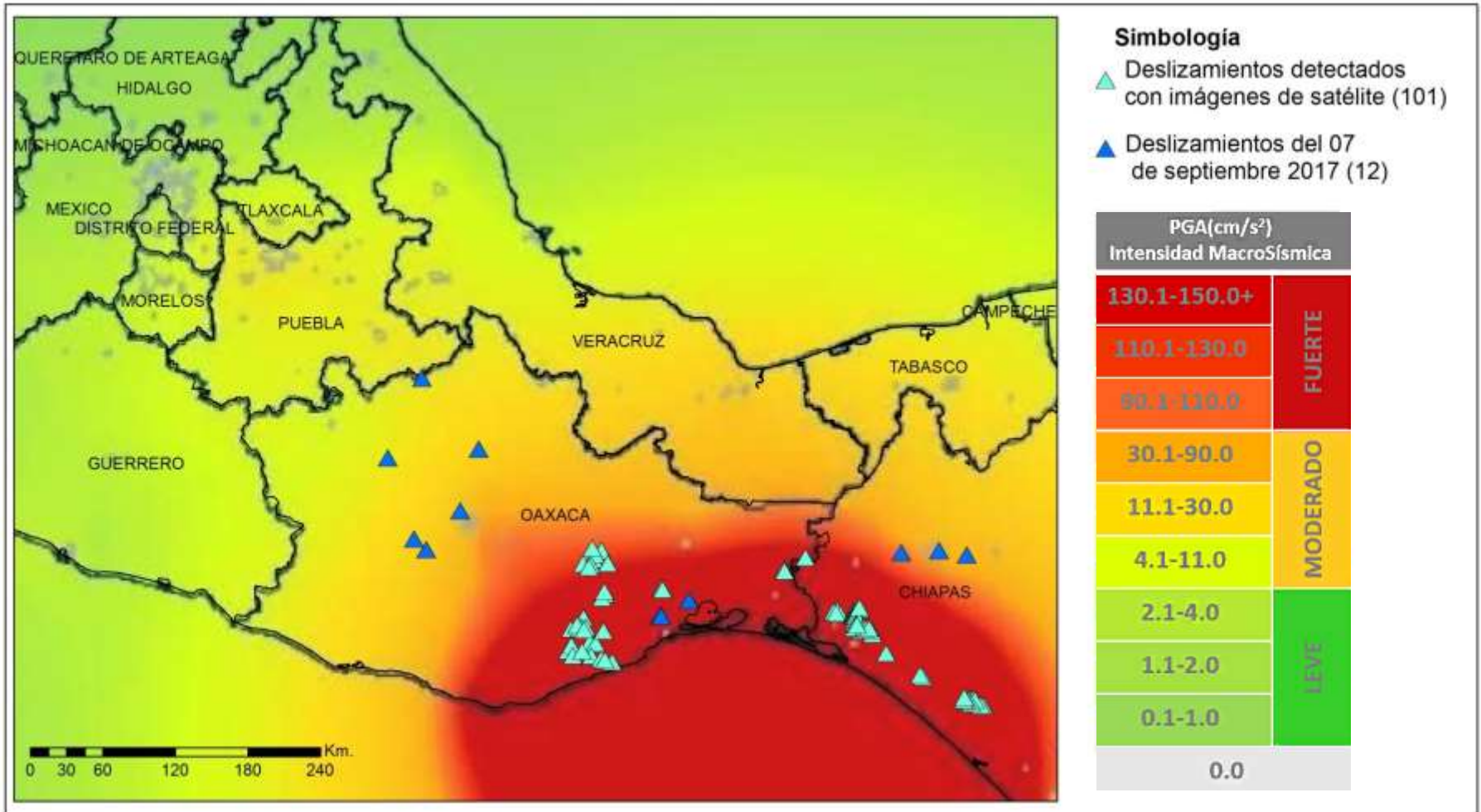
Imágenes correspondientes al mpio. de Ixcamilpa de Gro., Pue.

# Ixcamilpa de Gro., Puebla a





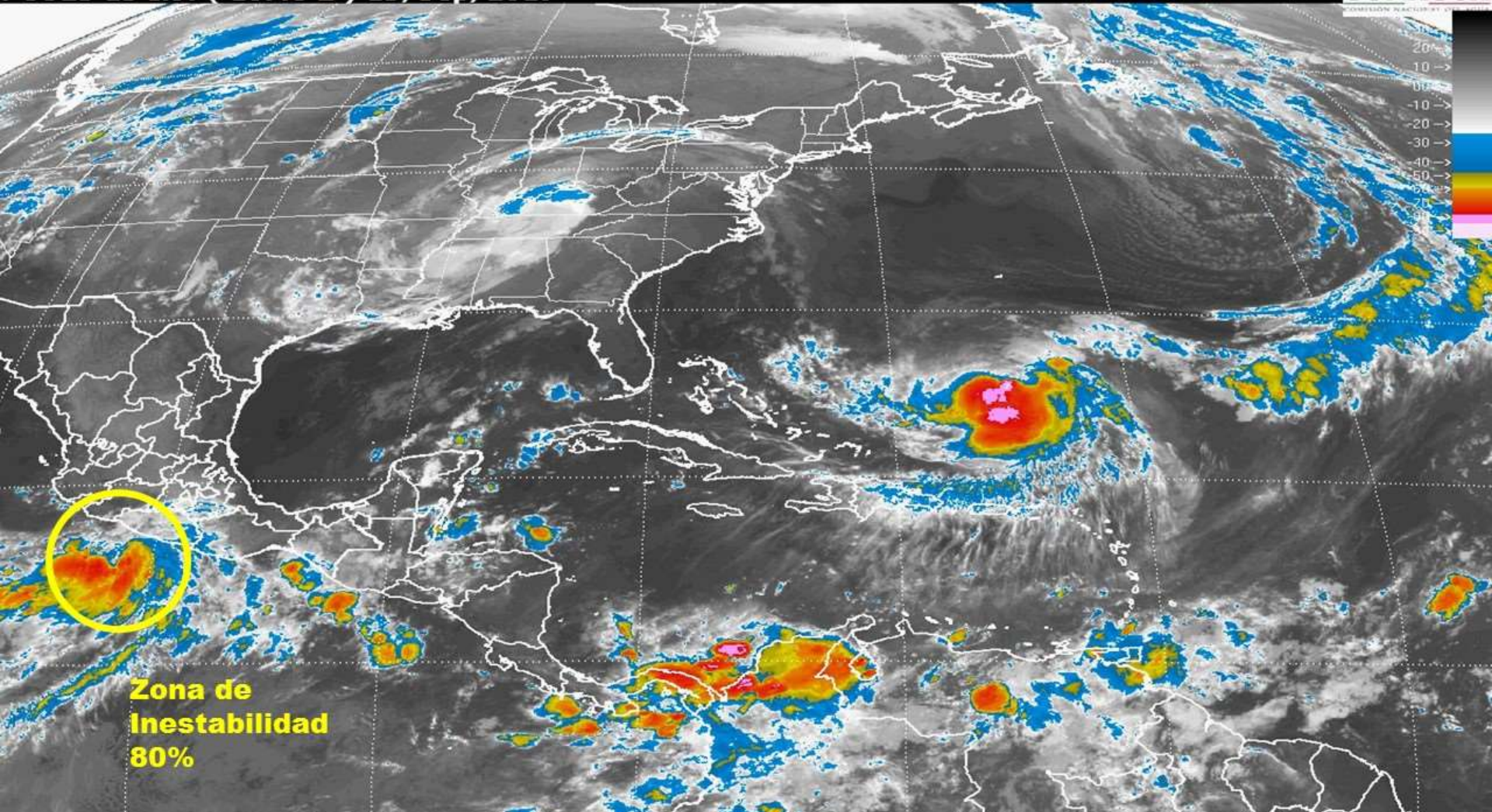
# Sismo 7 de septiembre, M 8.2



# Huracán Max, septiembre 13, 2017

GOES 13 IR4 ( 10:45 Z ) 13/Sep/2017

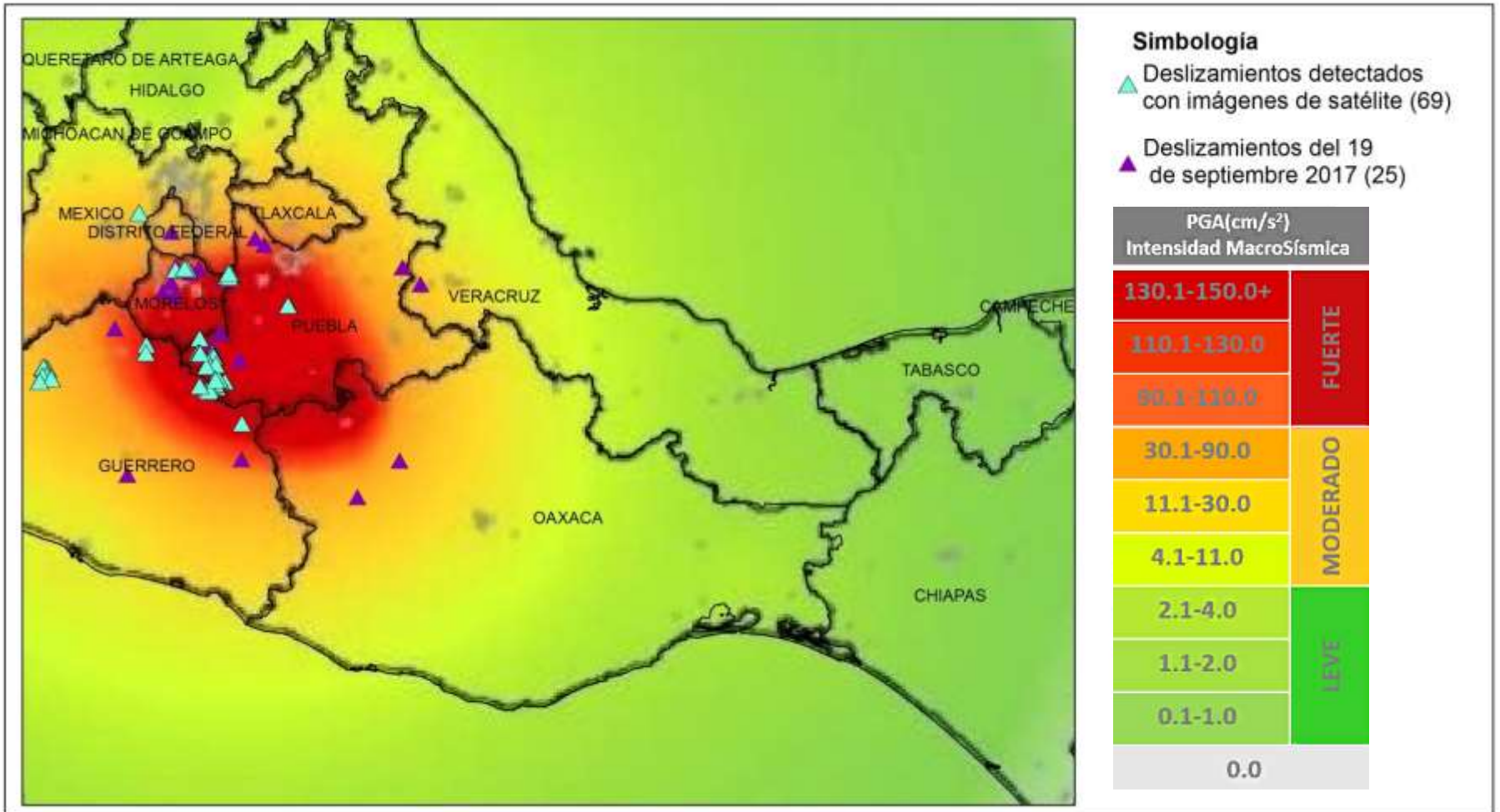
CONAGUA



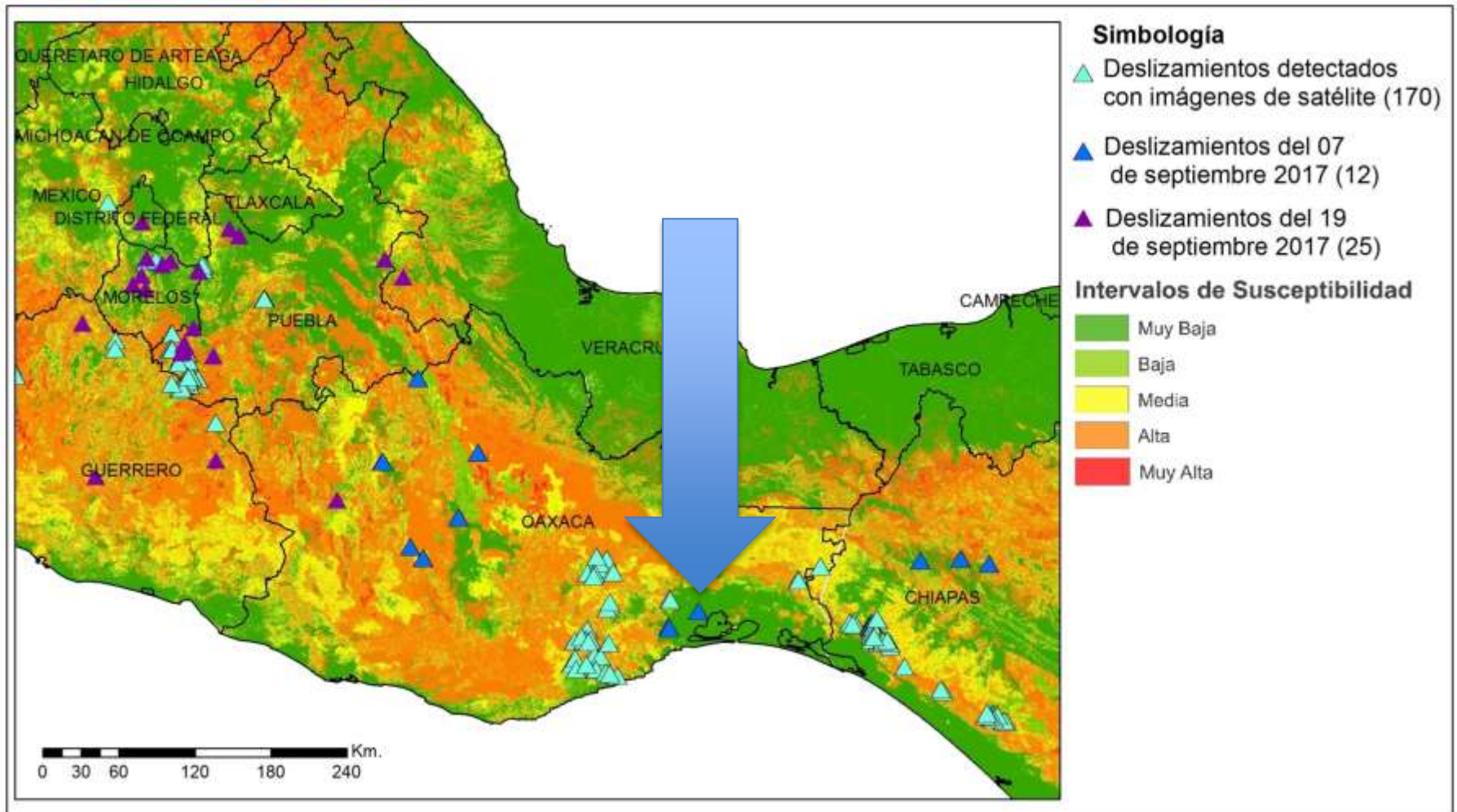
**Zona de  
Inestabilidad  
80%**



# Sismo 19 de septiembre, M 7.1



# Susceptibilidad por Inestabilidad de Laderas

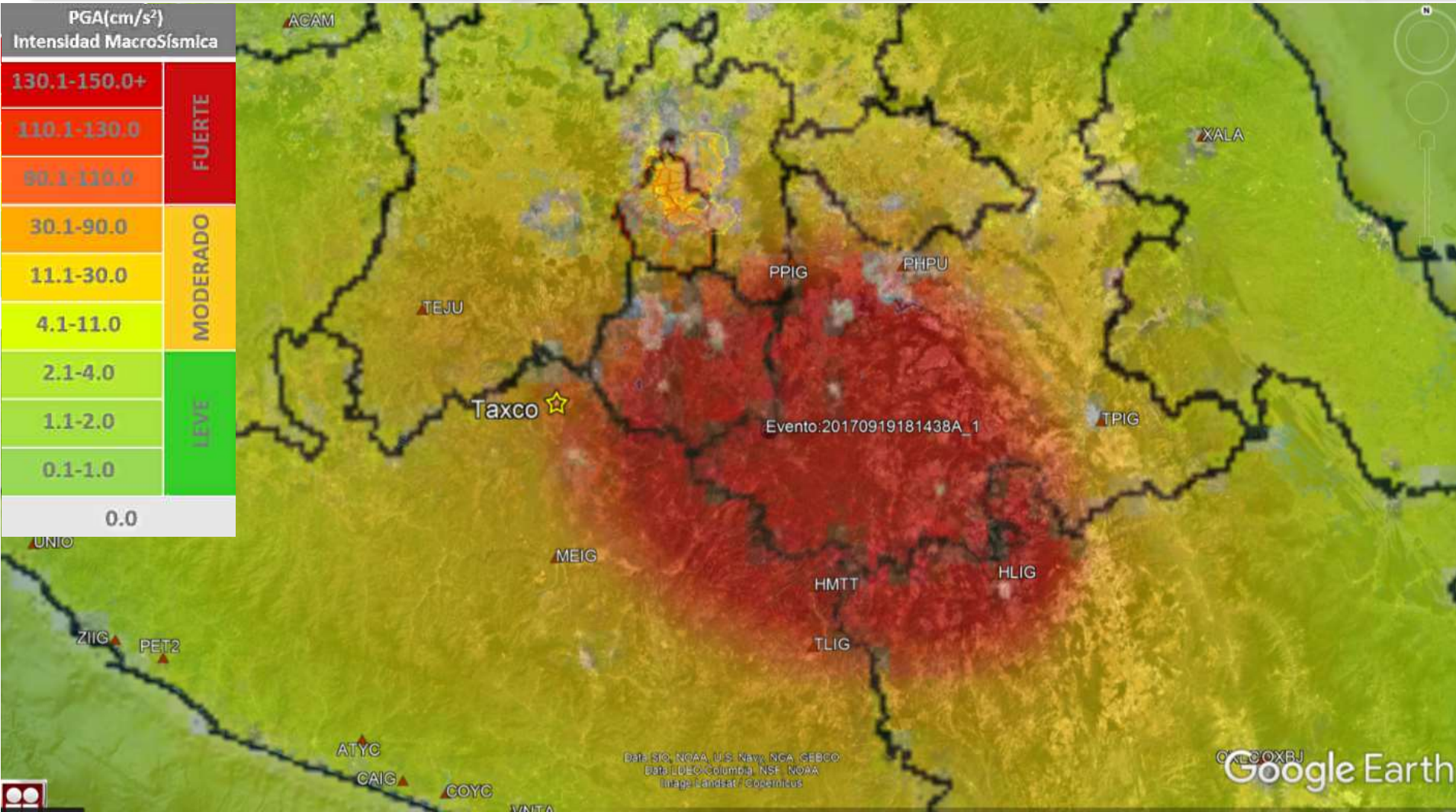




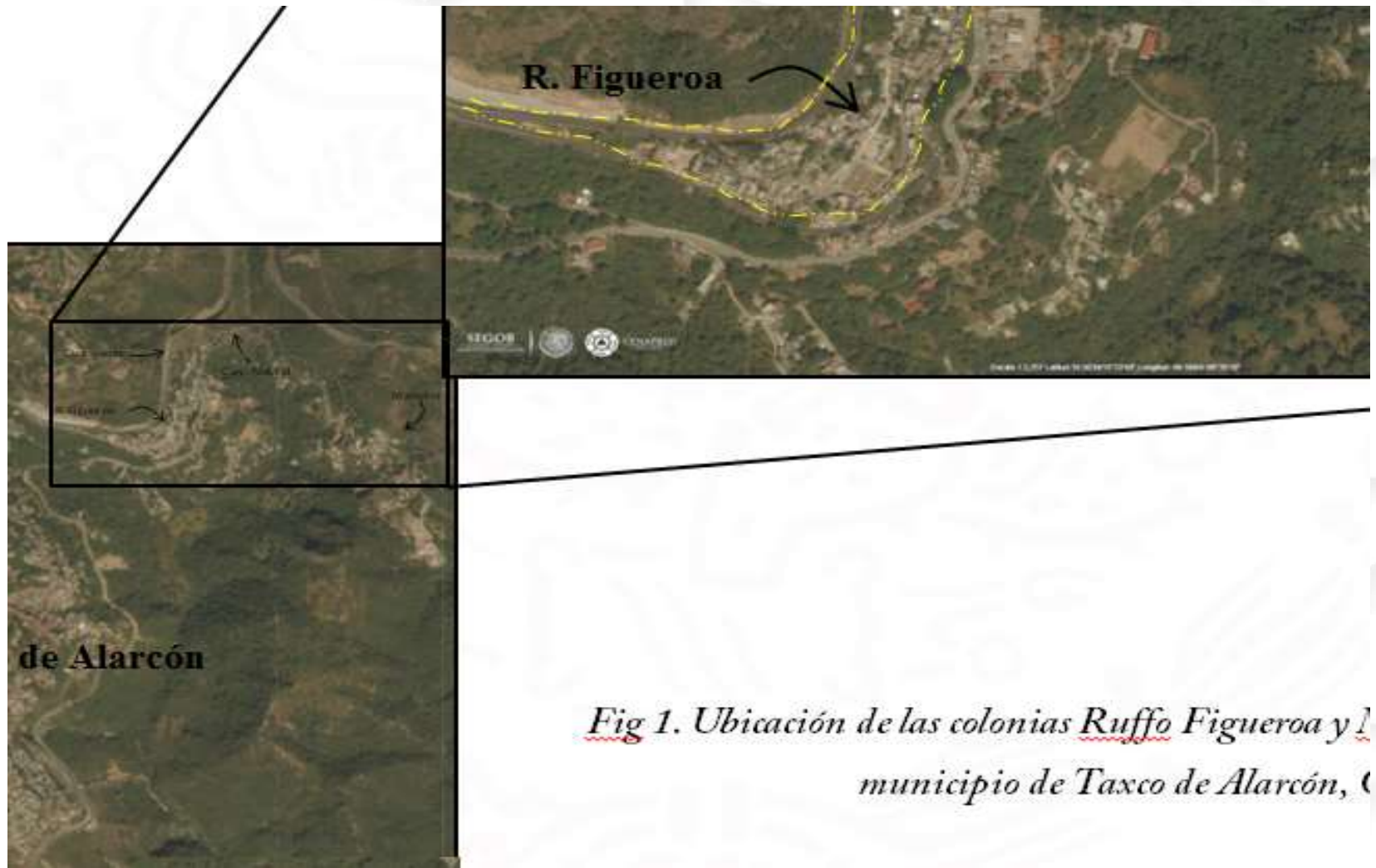
# Total de casos identificados y documentados

Susceptibilidad a deslizamientos	Detectados con imágenes de satélite	Reportados en noticias, fuentes oficiales y vistas a campo
Muy alto	3	1
Alto	136	9
Medio	23	28
Bajo	10	-
Subtotal	170	37
<b>TOTAL</b>	<b>207</b>	

# Deslizamiento y derrumbes en Taxco, Guerrero



# Deslizamiento y derrumbes en Taxco, Guerrero



*Fig 1. Ubicación de las colonias Ruffo Figueroa y ... municipio de Taxco de Alarcón, C*



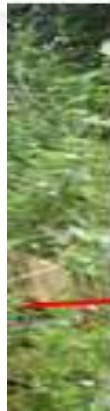
# Deslizamiento y derrumbes en Taxco, Guerrero



# Deslizamiento y derrumbes en Taxco, Guerrero



e)



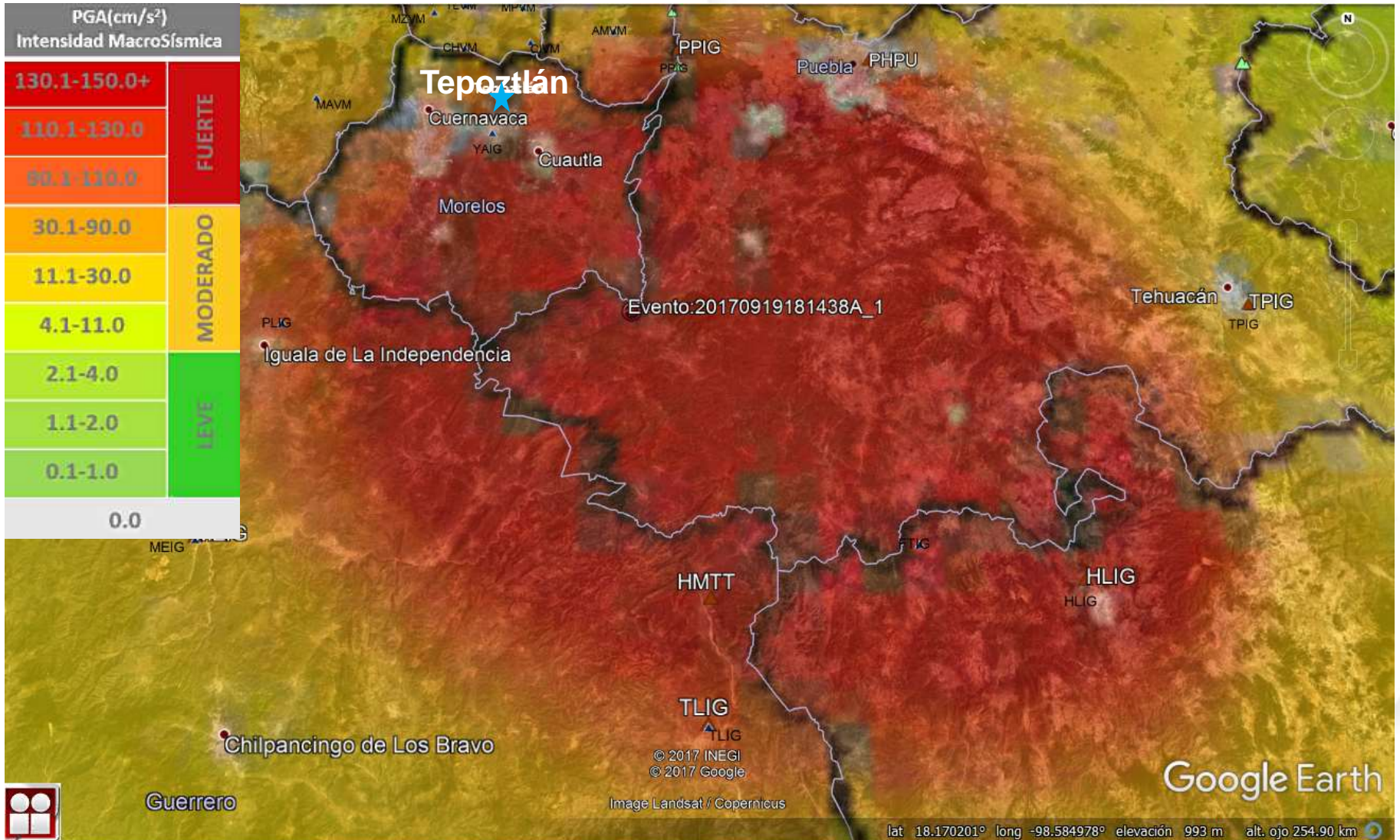


# Deslizamiento y derrumbes en Taxco, Guerrero





# Derribos en Tepoztlán, Mor., cerro La Miel



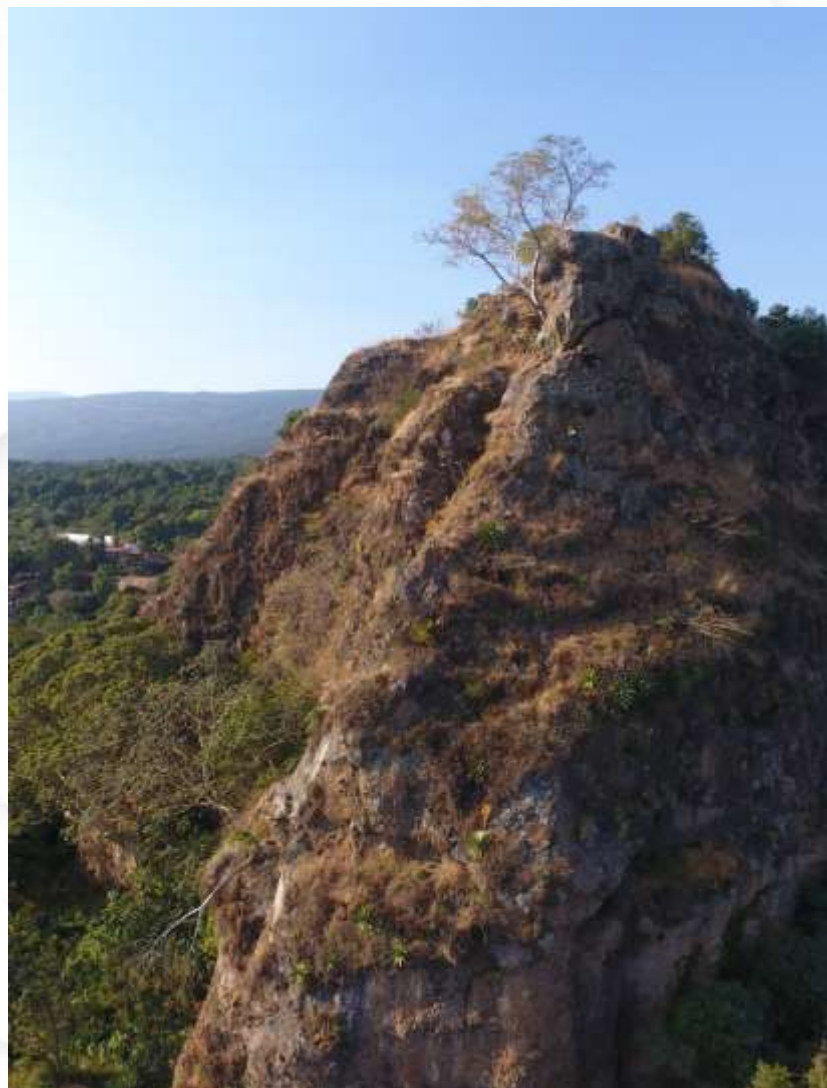
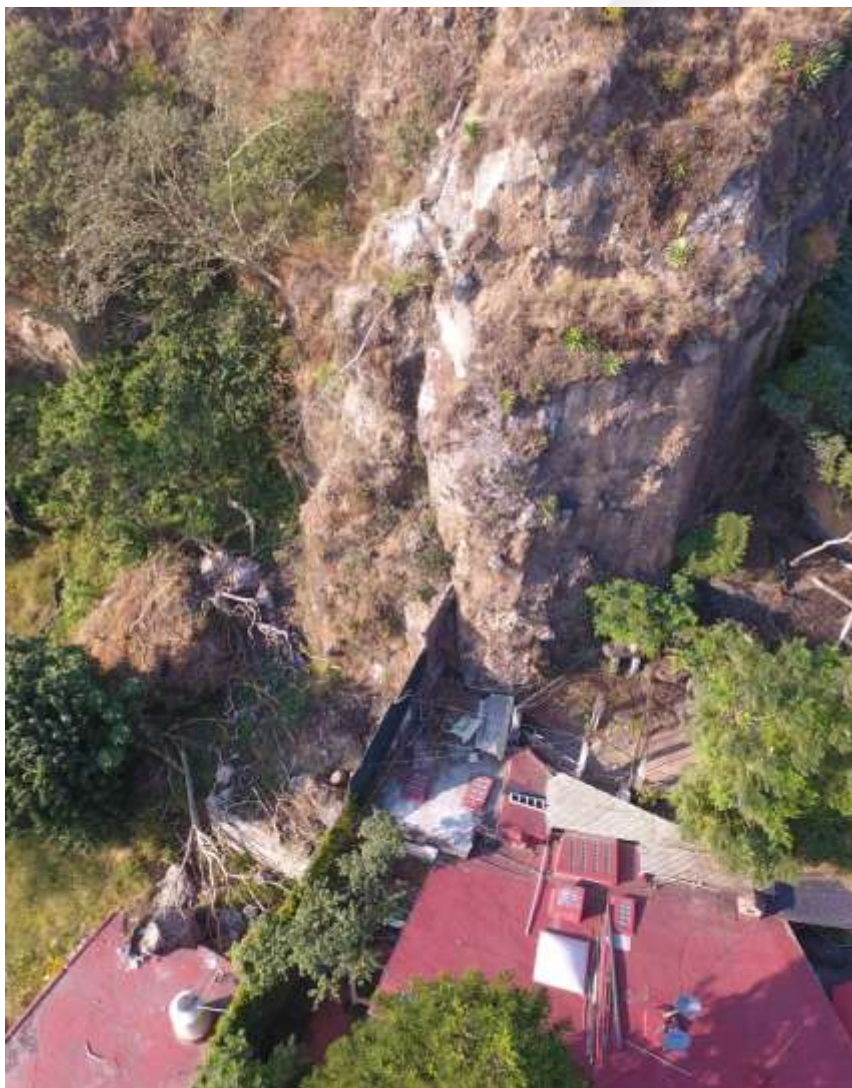


# Derrumbes en Tepoztlán, Mor., cerro La Miel





# Derrumbes en Tepoztlán, Mor., cerro La Miel



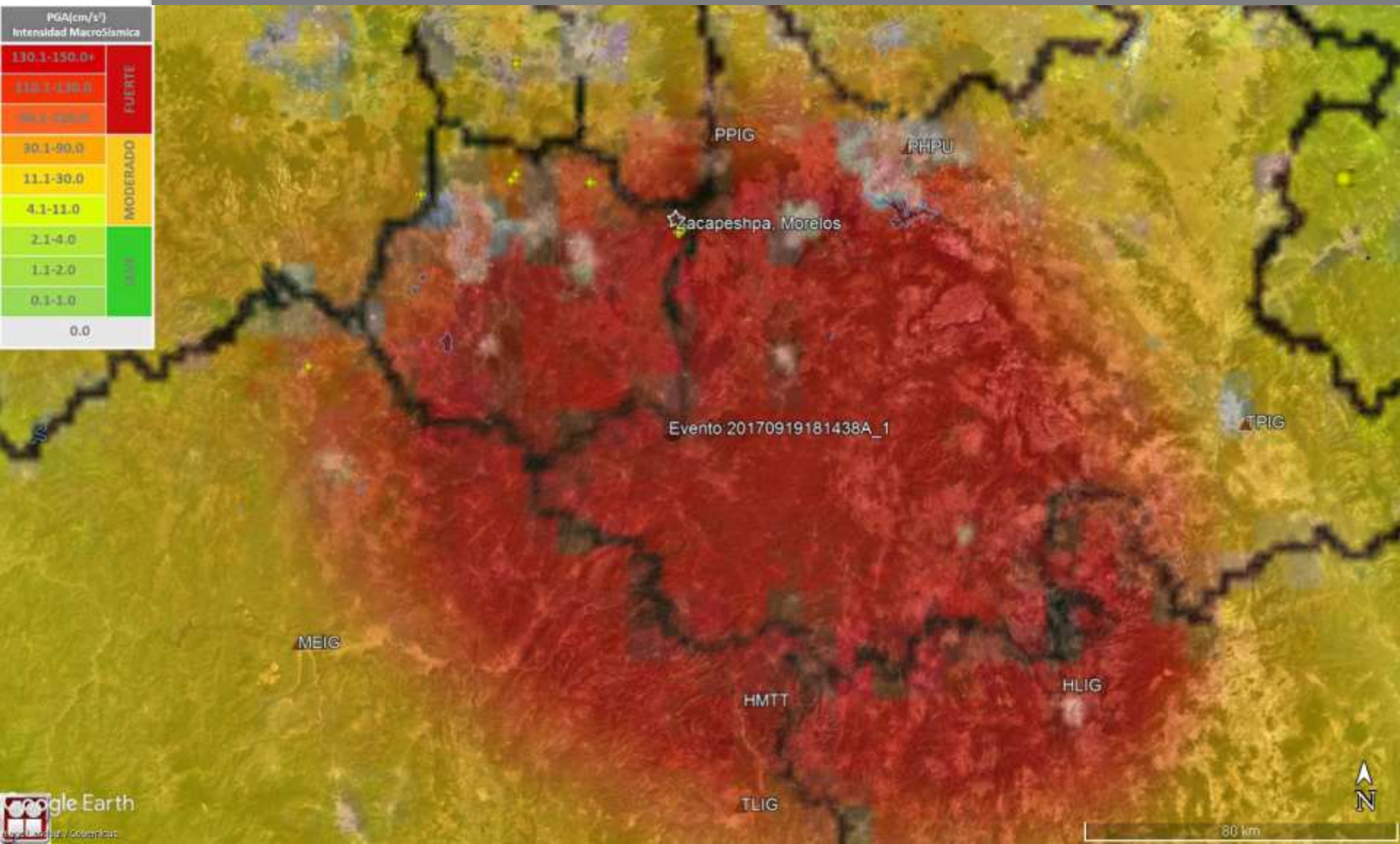
# Derrumbes en Tepoztlán, Mor., cerro La Miel





# Zacapashpa, Tetel a del Volcán, Morelos

PGA(cm/s <sup>2</sup> )	Intensidad MacroSismica
130.1-150.0+	FUERTE
110.1-130.0	
90.1-100.0	
30.1-90.0	MODERADO
11.1-30.0	
4.1-11.0	
2.1-4.0	BASTANTE BAJA
1.1-2.0	
0.1-1.0	
0.0	





# Tetela del Volcán, Morelos

## Tetela del Volcán

Deslizamientos y agrietamientos por sismo

Barranca El Rodeo

Barranca Hueyetlaquixtle

### Leyenda

- Agrietamientos
- Coronas de deslizamiento
- Deslizamientos
- Panadería San Miguel
- Parque Los Venados
- Poblaciones

Zacapán

Parque Los Venados

Panadería San Miguel

Google earth

Imágenes © 2017 DataCubes  
© 2017 Google  
© 2017 NGA

Espinasa R. y Oscayo A., 2017

600 m





# Tetela del Volcán, Morelos

## El Rodeo



## El Rodeo





# Tetela del Volcán, Morelos



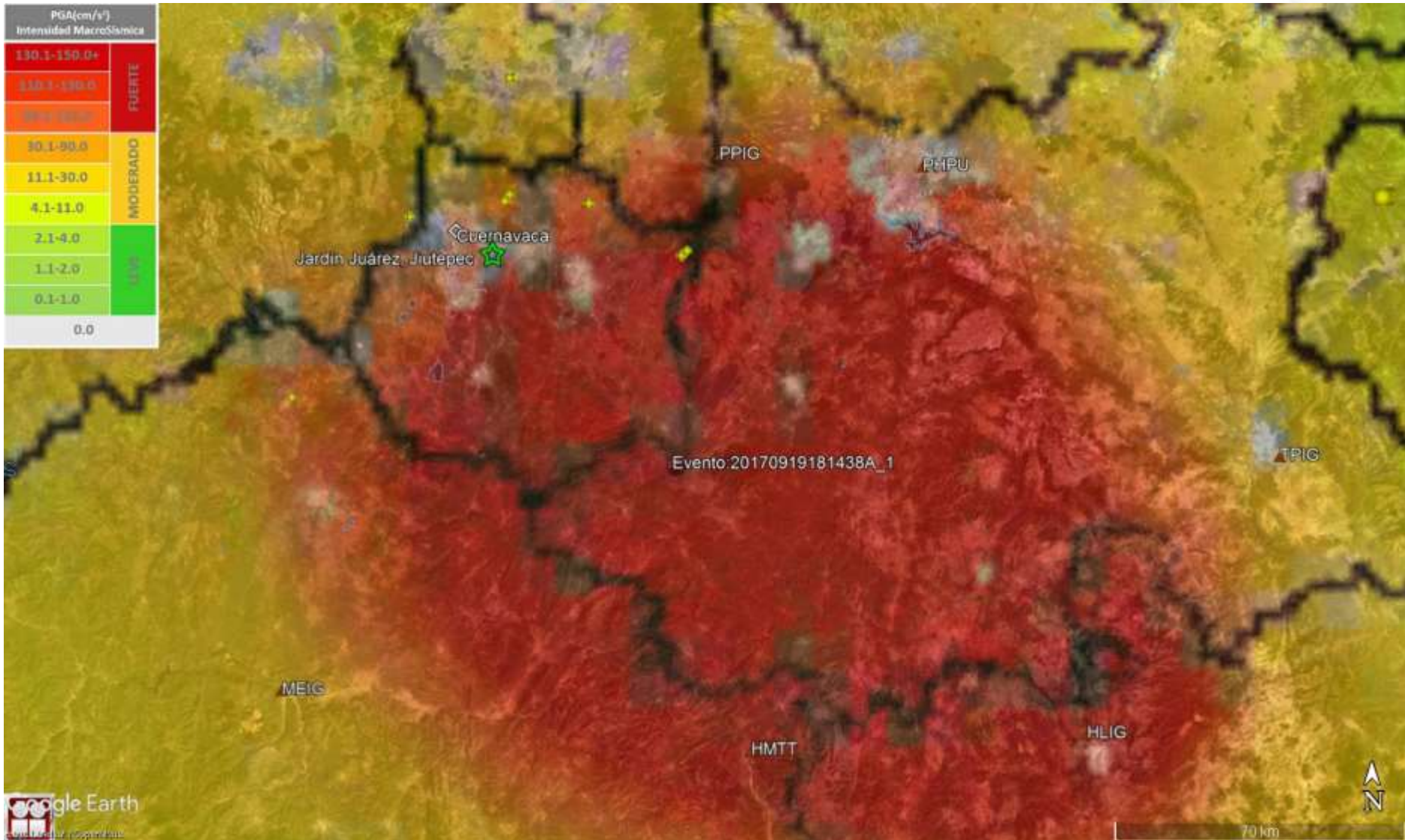
Zacapeshpa



Espinasa R. y Osoy A., 2017



# Col. Jardín Juárez, Jiutepec, Morelos





# Col. Jardín Juárez, Jiutepec, Morelos



Espinasa R. y Oscoy A., 2017



## Terremoto en Japón

- Los **deslizamientos** de tierra resultantes de este terremoto dejaron un gran número de viviendas afectadas.

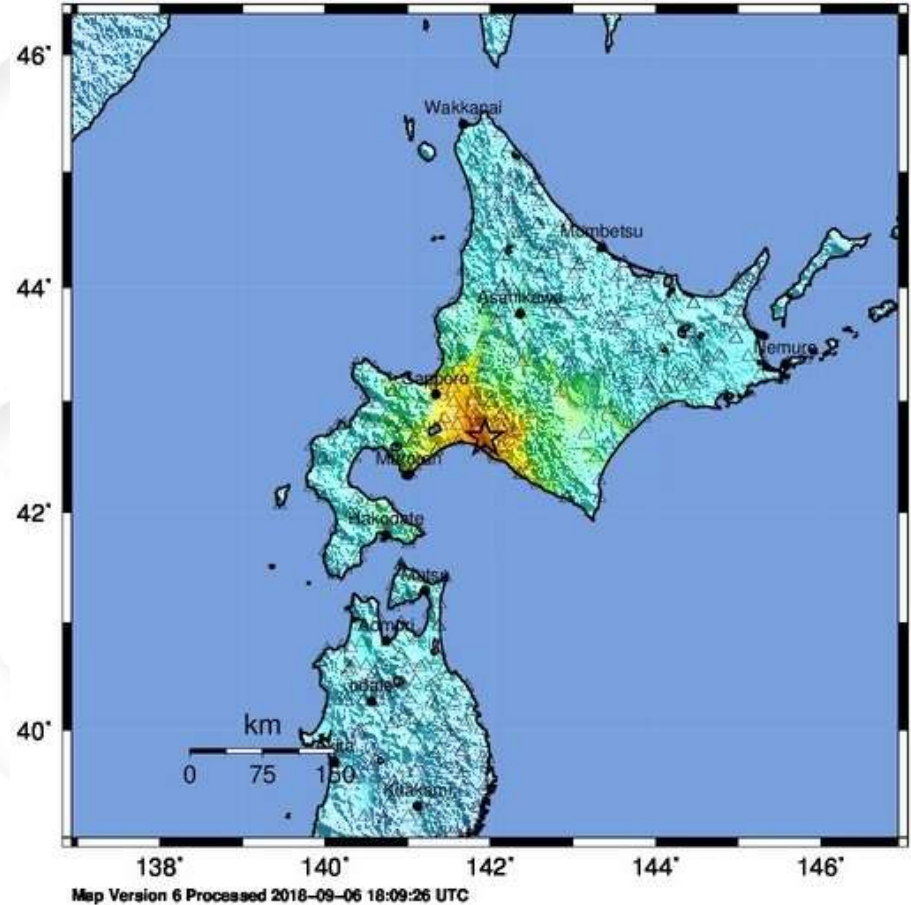


Foto tomada el 6 de septiembre de 2018 desde un avión. Muestra los deslizamientos en Atsuma, Hokkaido.  
Fuente: CNN

# Terremoto en Japón

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC. (%g)	<0.05	0.3	2.8	6.2	12	22	40	75	>139
PEAK VEL. (cm/s)	<0.02	0.1	1.4	4.7	9.6	20	41	86	>178
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Warden et al. (2012)

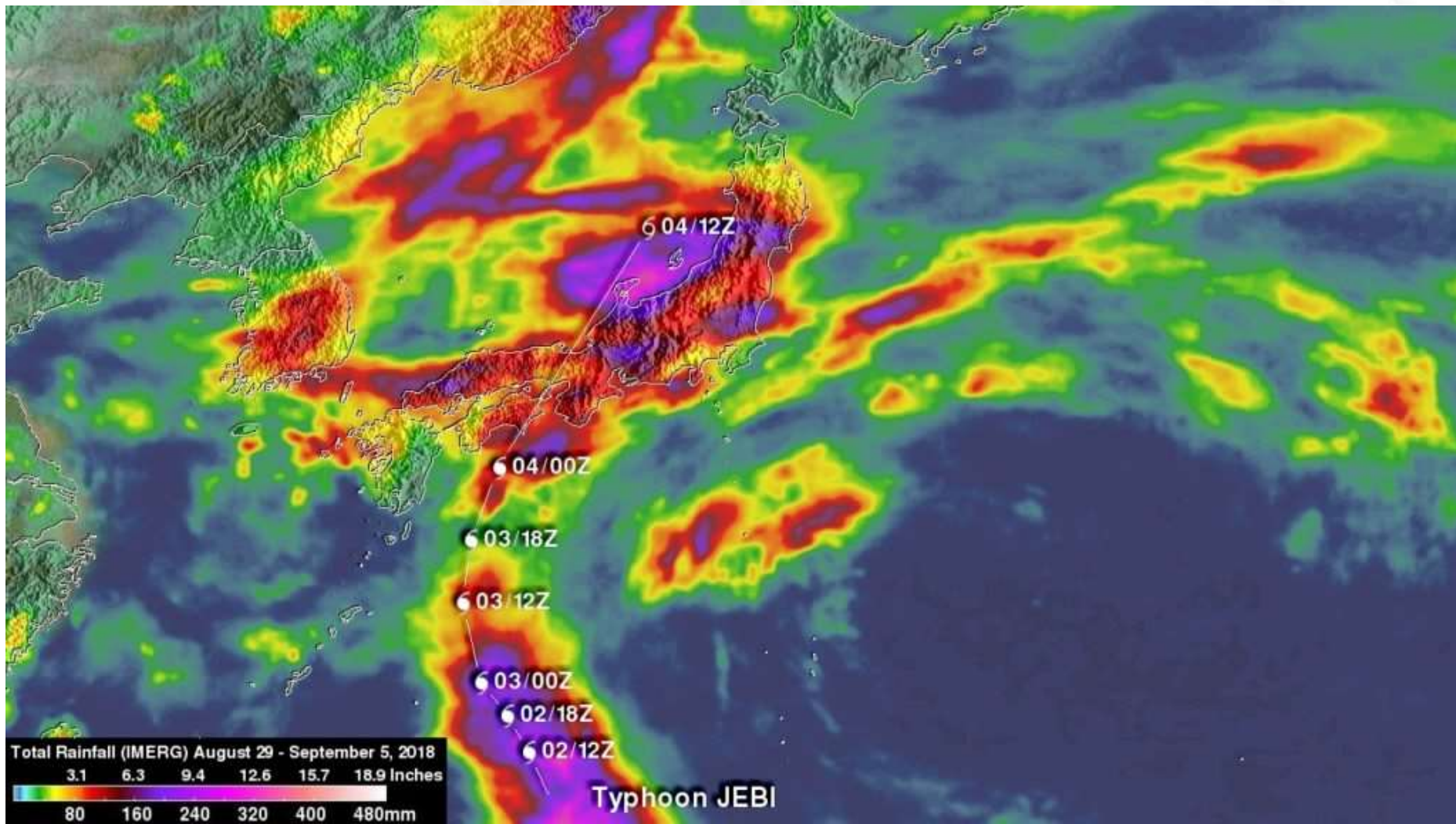


USGS ShakeMap : HOKKAIDO, JAPAN REGION

Sep 5, 2018 18:07:58 UTC M 6.6 N42.87 E141.93 Depth: 33.4km ID:us2000h8ty



# Tifón Jebi



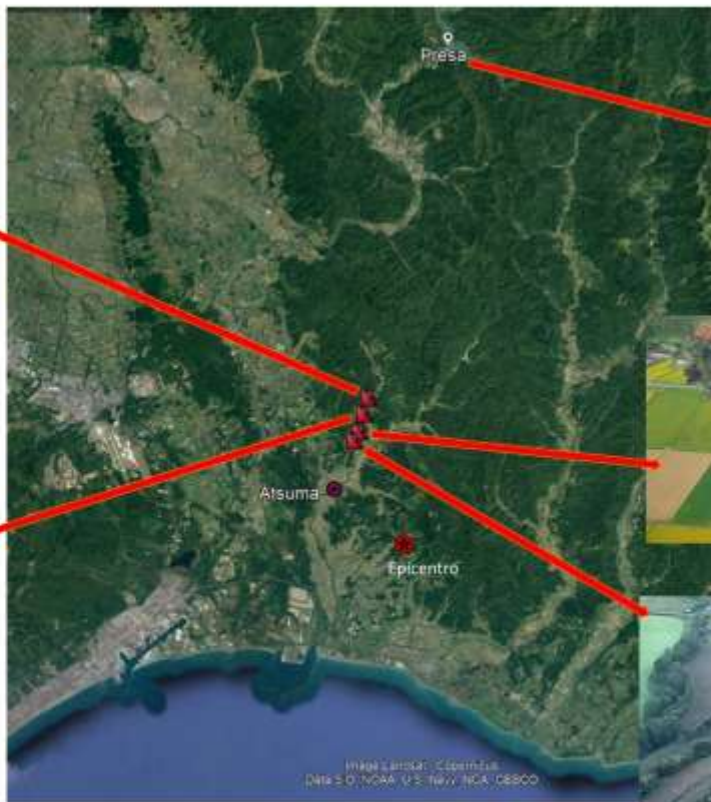


# Terremoto en Japón

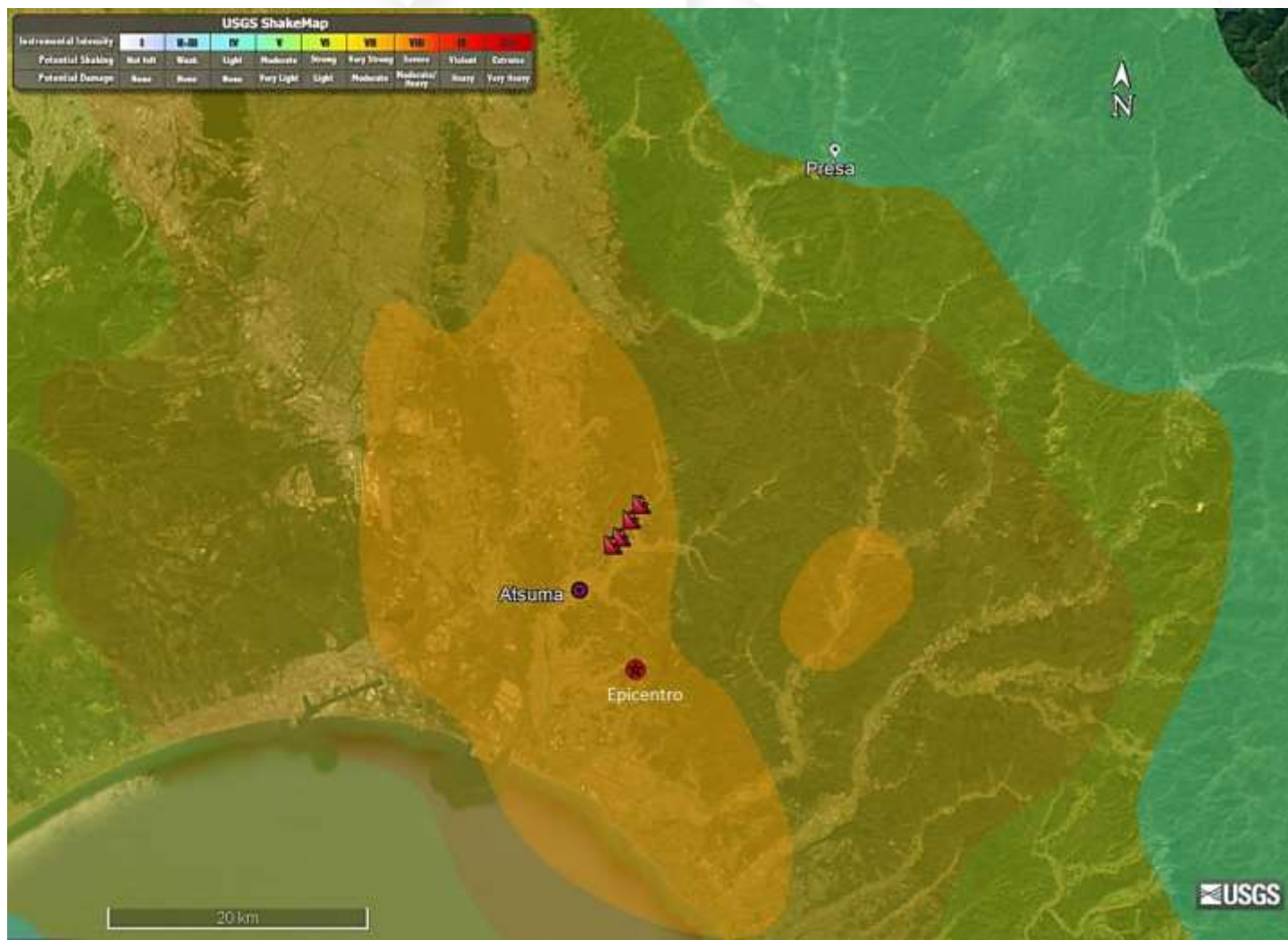




# Terremoto en Japón



# Terremoto en Japón





## CONCLUSIONES

- Los **eventos sísmicos** suscitados en septiembre del 2017 produjeron diversos **deslizamientos** en los estados de Puebla, Morelos, Chiapas, Oaxaca y Guerrero.
- Las **imágenes de satélite** son de gran ayuda para **identificar** los **cambios** en la topografía de sitios poco accesibles.
- El análisis de imágenes de satélite nos permiten **identificar zonas vulnerables** a estos deslizamientos, **pudiendo así alertar** a las poblaciones cercanas a estas zonas.

## CONCLUSIONES

- Para este trabajo se utilizaron imágenes con resolución en pixel de **10 y 15 metros**. Lo que significa que aquellos deslizamientos que sean menores a este tamaño no fueron detectados.
- Para mejorar los criterios de análisis y determinar los valores más precisos de la aceleración crítica, se requiere realizar análisis más detallados, que incluyan la determinación de **propiedades mecánicas de los suelos**.



COORDINACIÓN NACIONAL DE  
PROTECCIÓN CIVIL  
MÉXICO

---

Leobardo Domínguez Morales  
Subdirector Dinámica de Suelos y Procesos  
Gravitacionales  
@DomnguezM  
[ldm@cenapred.unam.mx](mailto:ldm@cenapred.unam.mx)

**SEGOB**  
SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN



[www.segob.gob.mx](http://www.segob.gob.mx)  
@segob\_mx

protección civil federal:  
[www.proteccioncivil.gob.mx](http://www.proteccioncivil.gob.mx)  
@pcsegob