



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE
PREVENCIÓN DE DESASTRES



KARSTICIDAD

Detección e Identificación de la Presencia de Karsticidad

*Métodos Geofísicos de Exploración
Casos de Estudio*

Dr. René Chávez Segura¹ y Dr. Esteban Hernández Quintero²

¹Instituto de Geofísica, UNAM, Cd Universitaria

²Instituto de Geofísica, Sec. Campus Morelia

Curso de Karsticidad, CENAPRED

28 de Junio de 2023

PARTE I (DR. ESTEBAN HERNANDEZ)

METODOS GEOFISICOS EN

EXPLORACION Y KARSTICIDAD

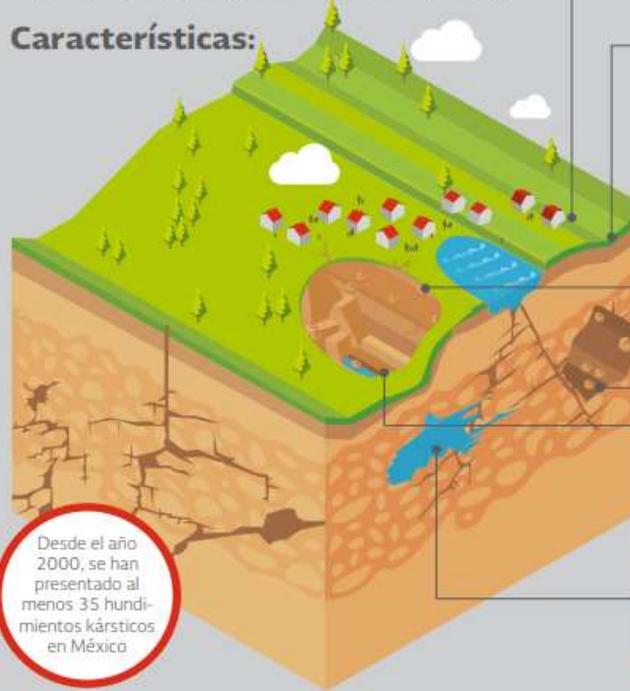
KARSTICIDAD: Hundimientos violentos del suelo

¿Qué es?

Es el fenómeno que provoca que las rocas del subsuelo, como el yeso, calizas y dolomías, al ser disueltas por el agua, **causen hundimientos de suelo o socavones y cuevas**. Puede generar situaciones de riesgo para quienes habitan estas zonas.

Cerca de 20% del territorio nacional lo desarrolla, sobre todo, en la Sierra Madre Oriental y en toda la península de Yucatán

Características:



Desde el año 2000, se han presentado al menos 35 hundimientos kársticos en México



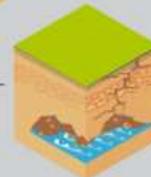
Fallas estructurales en viviendas e infraestructura

Hundimiento lento del terreno

El fenómeno se puede manifestar de manera súbita

Derrumbe repentino de cavernas subterráneas

Gran poder destructivo



Alteración de los niveles de agua subterránea y formación de cavidades

Medidas preventivas:



Evita descargar tu drenaje en zonas de hundimiento o terrenos agrietados



Si detectas deformación de estructuras en viviendas, hundimientos, grietas, acumulación de agua, aparición de manantiales, etc., avisa de inmediato a las autoridades de protección civil de tu localidad



En caso de hundimiento lento, evacua el área afectada, define un perímetro de seguridad



Si vas a construir, respeta los usos de suelo y realiza estudios previos para saber si el lugar sí es apto para tu construcción



Evita el flujo de agua hacia la zona afectada

Infórmate

Centro Nacional de Prevención de Desastres
www.gob.mx/cenapred

Fuente: Centro Nacional de Prevención de Desastres



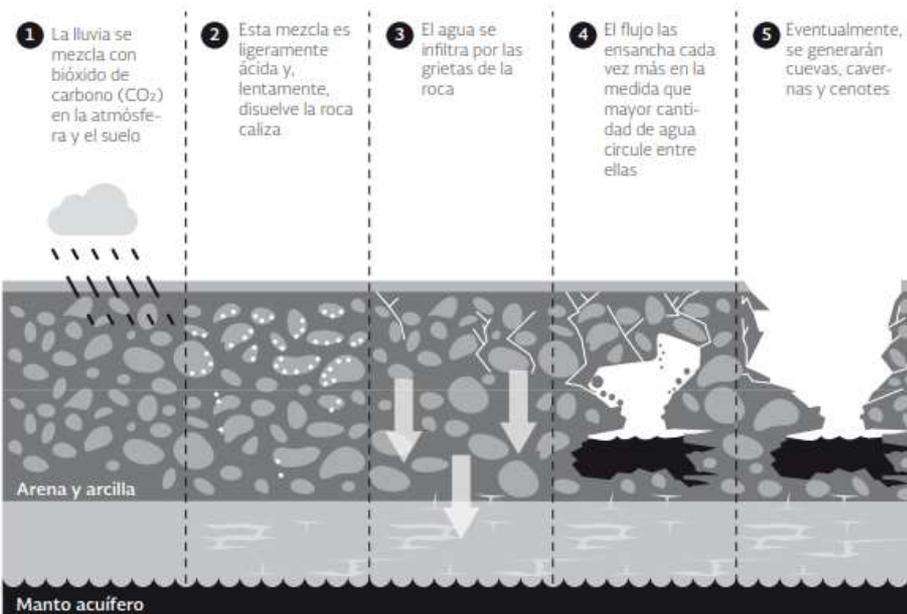
Karsticidad

Hundimiento en cavernas, barrancos o arroyos que pueden presentarse de manera súbita

¿Cómo se forman las cuevas y cavernas?

Las rocas calizas que forman la Sierra Madre Oriental, parte de la Sierra Madre del Sur, las sierras de Chiapas y la península de Yucatán, se formaron hace más de 65 millones de años por la acumulación de conchas de animales marinos microscópicos en el fondo del mar.

El peso de las capas superiores hizo que se compactaran y recristalizaran hasta convertirlas en rocas, que posteriormente fueron deformadas, plegadas y fracturadas para formar las sierras o, en el caso de la península de Yucatán, levantadas lentamente como plataforma.



Cuevas de México

La caverna más larga está en Quintana Roo, tiene

311

km de túneles y es considerada la segunda más larga en el mundo.

Existen más de

30

cuevas con más de 10 km de longitud y más de 200 superan 1.5 kilómetros.

1,545

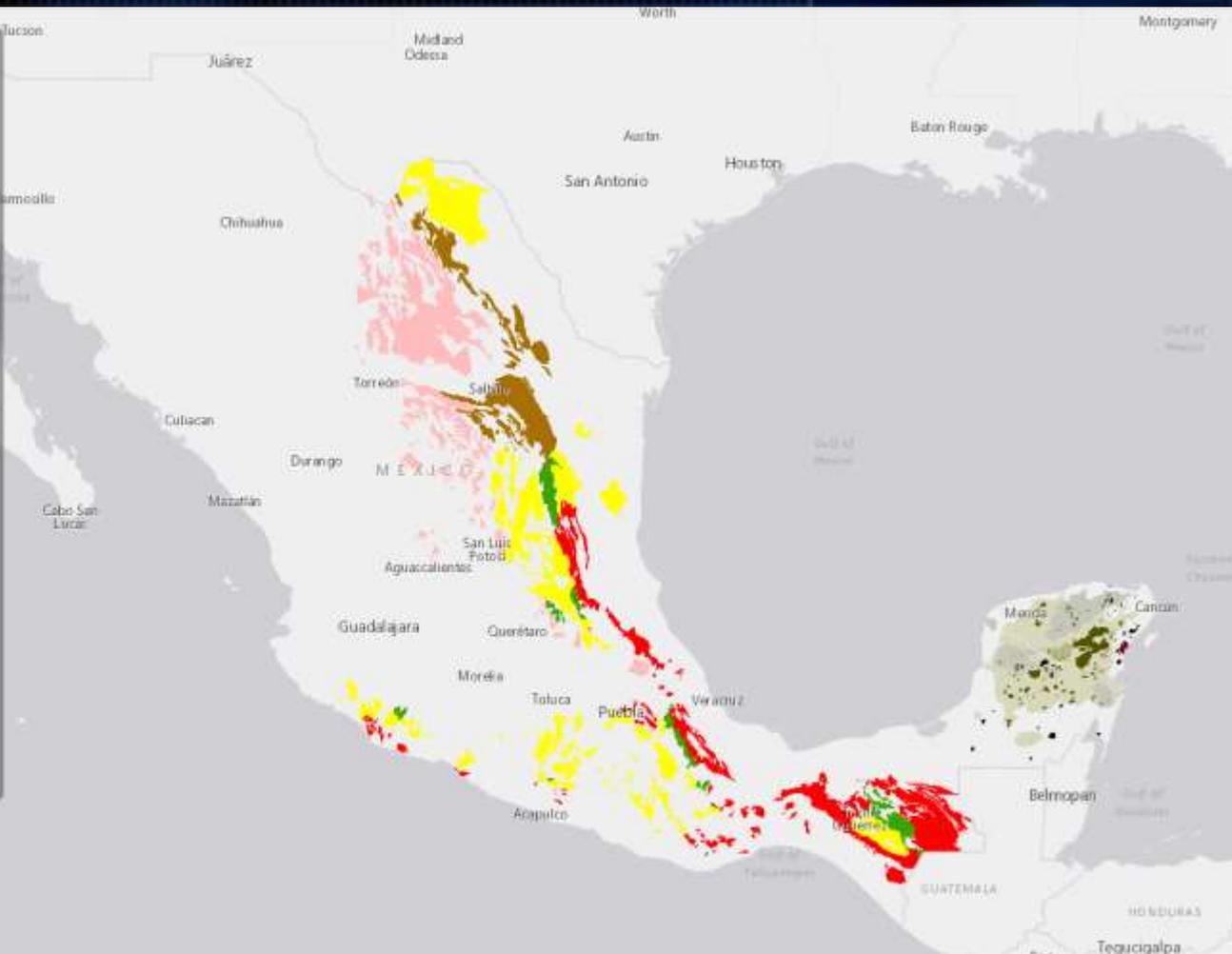
metros de desnivel tiene la cueva más profunda de México, está en Oaxaca y es la octava más profunda del mundo.

Hay más de

320

cavidades superiores a 200 m de desnivel.

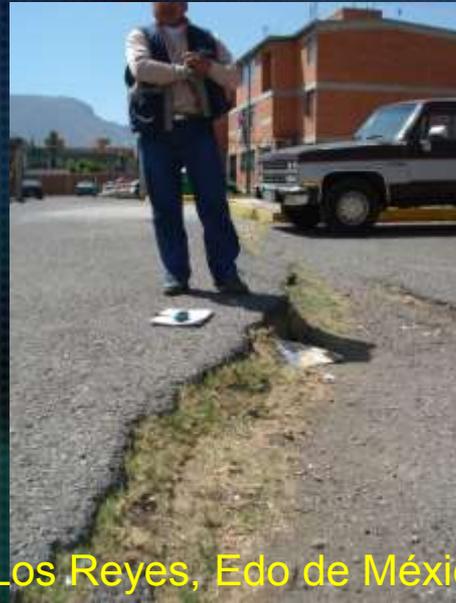
- Regiones Kársticas**
- Sierra Madre del Sur
 - Karst Tropical
 - Karst Bosque Lluvioso
 - Karst Cálido-Subhúmedo
 - Península de Yucatán
 - Karst de Plataforma 2
 - Karst de Plataforma 1
 - Karst de Depresiones Mayores
 - Región de Cuevas (QRSS, 2013)
 - Montañas de Chiapas
 - Karst Tropical
 - Karst Bosque Lluvioso
 - Karst Cálido-Subhúmedo
 - Sierra de Coahuila
 - Karst Semiarido Fósil o Inactivo
 - Cálizas No Karstificadas
 - Karst Cálido-Subhúmedo
 - Sierras Orientales de Oaxaca
 - Karst Tropical
 - Karst Bosque Lluvioso
 - Karst Cálido-Subhúmedo
 - Cálizas No Karstificadas
 - Sierra Madre Oriental
 - Karst Tropical Sierra Madre Oriental
 - Karst Tropical Cuetzalan Sierra Madre Oriental
 - Karst Bosque Lluvioso Sierra Madre Oriental
 - Karst Cálido-Subhúmedo Sierra Madre Oriental
 - Karst Semiarido Fósil o Inactivo Sierra Madre Oriental
 - Cálizas No Karstificadas Sierra Madre Oriental



Cuando las evidencias del riesgo no son concluyentes



Azcapotzalco, Cdmx



Los Reyes, Edo de México

Coacalco, Edo de México



Milpa Alta, Cdmx



Chilpancingo, Gro.

Karsticidad y el Subsuelo



Ciudad de Guatemala, C.A.



Aragón, Cdmx



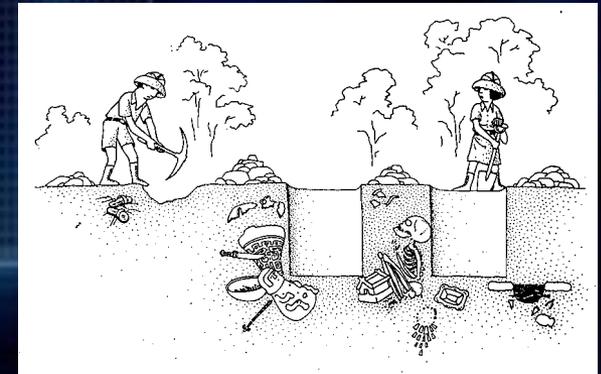
Benito Juárez, Cdmx



Puebla, Pue.



Chichén Itzá, Yuc.



¿Porqué usar los Métodos Geofísicos?

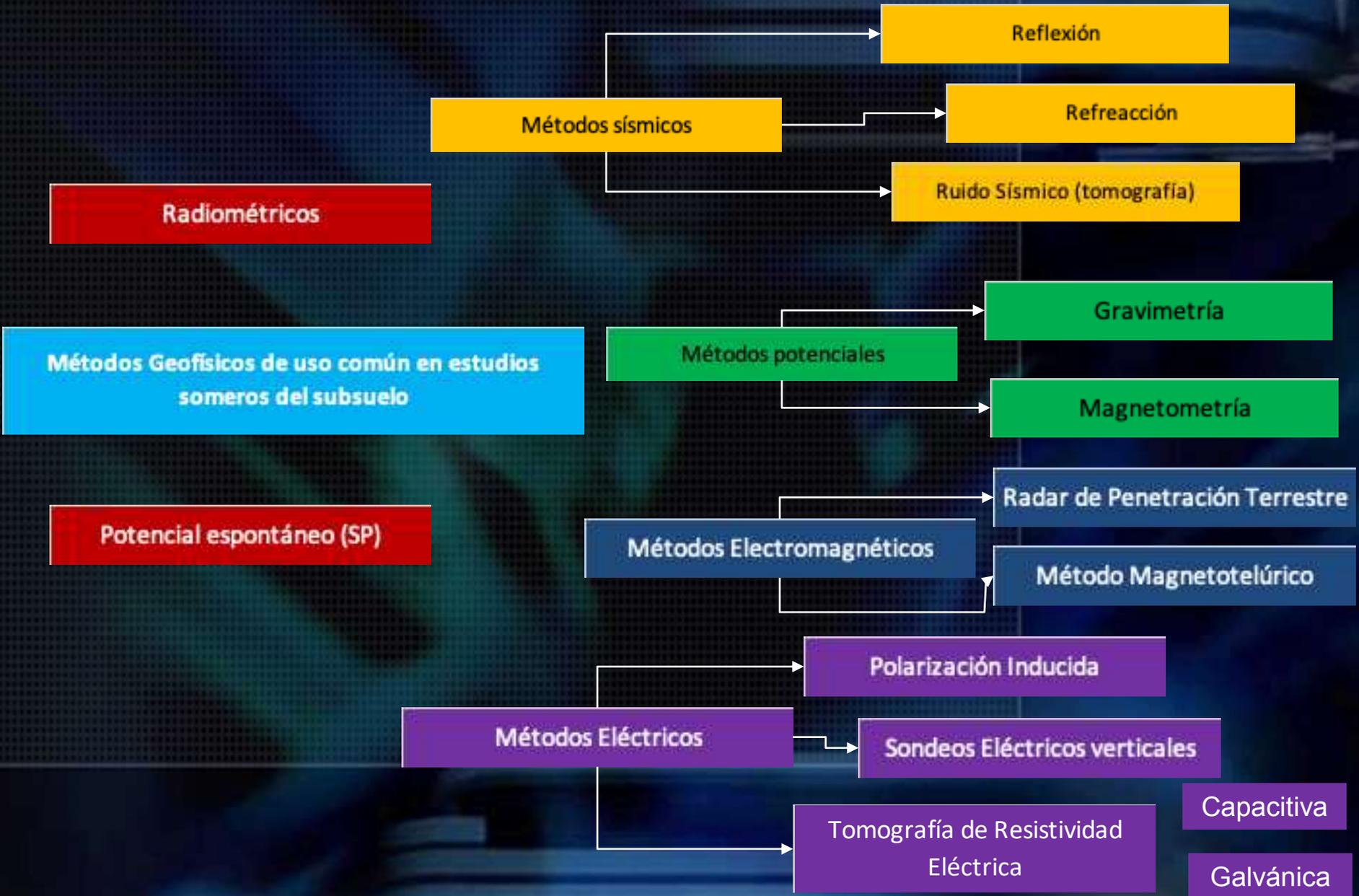
Son métodos indirectos pero no invasivos

- Caracterizan el subsuelo en zonas de riesgo
- Aportan información del subsuelo en Zonas Arqueológicas
- Definen la geometría, la profundidad y las características físicas de fallas, socavones, agujeros, hundimientos, subsidencia, etc.

¿Todos los Métodos Geofísicos funcionan bien en zonas de Karsticidad?

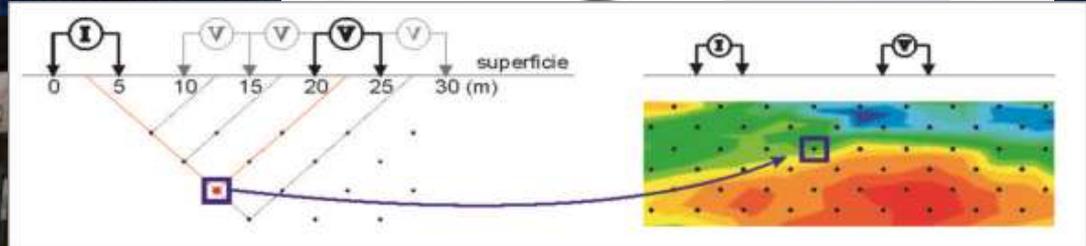
Depende de varios factores determinantes:

1. Las rocas afectadas son Calizas
2. Saturación de agua con origen subterráneo, pluvial o fluvial
3. Antecedentes de colapsos



Tomografía de Resistividad Eléctrica

Capacitiva



TRE-2D





A Galvánica

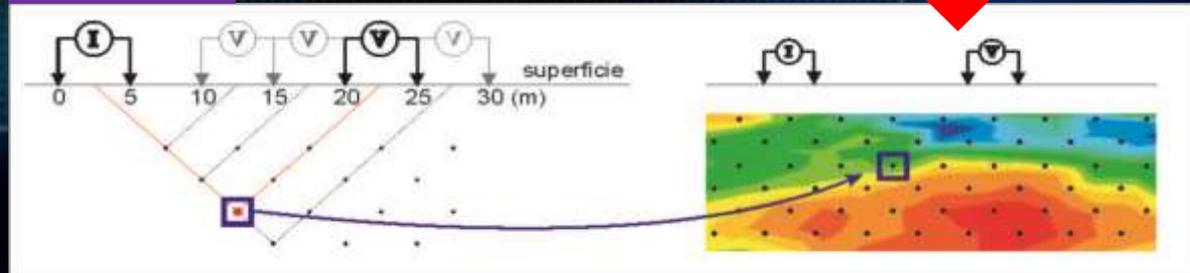


C TRE-2D



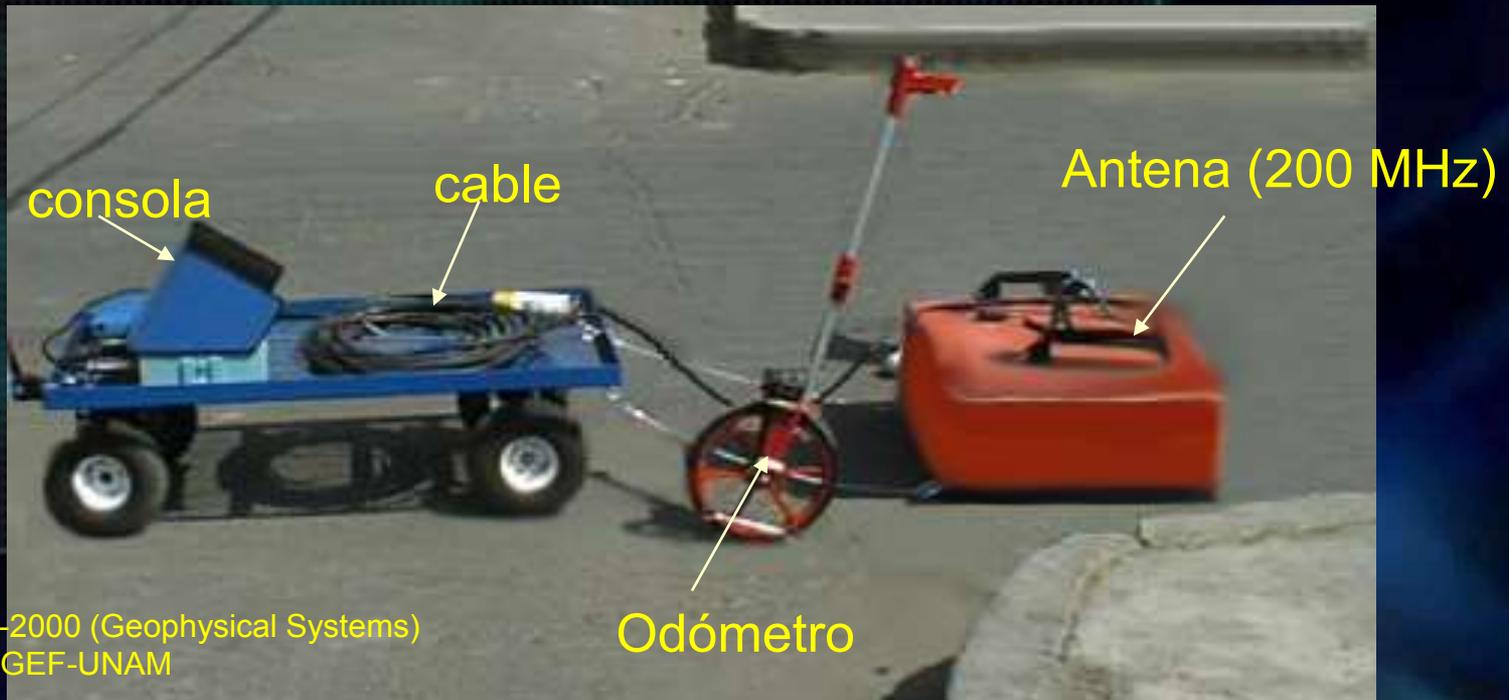
Tomografía de Resistividad Eléctrica

Syscal Pro de 48 canales



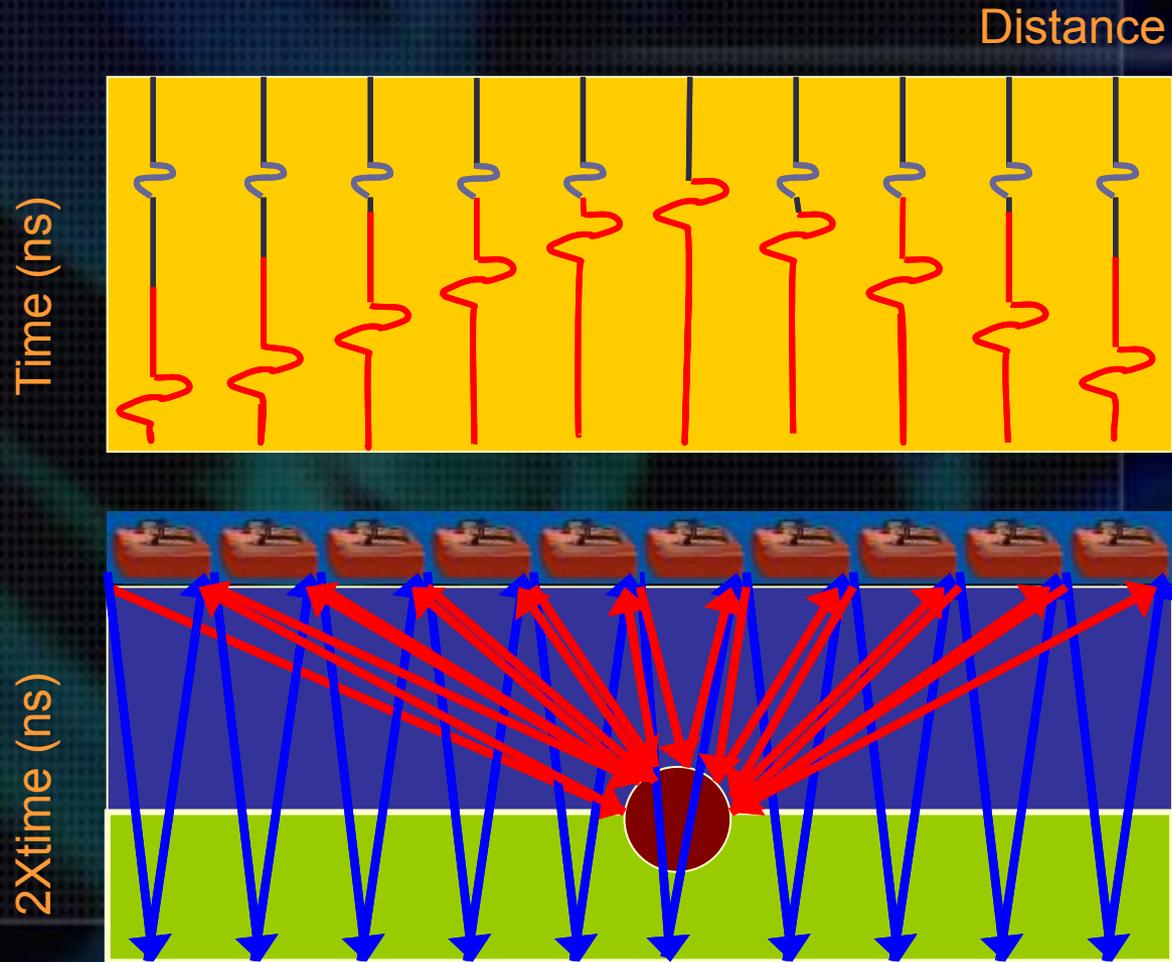
- Detecta los contrastes de permitividad
- Puede trabajar con una antena (modo mono-estatico) o dos (bi-estatico)
- La penetración está en función de la frecuencia.

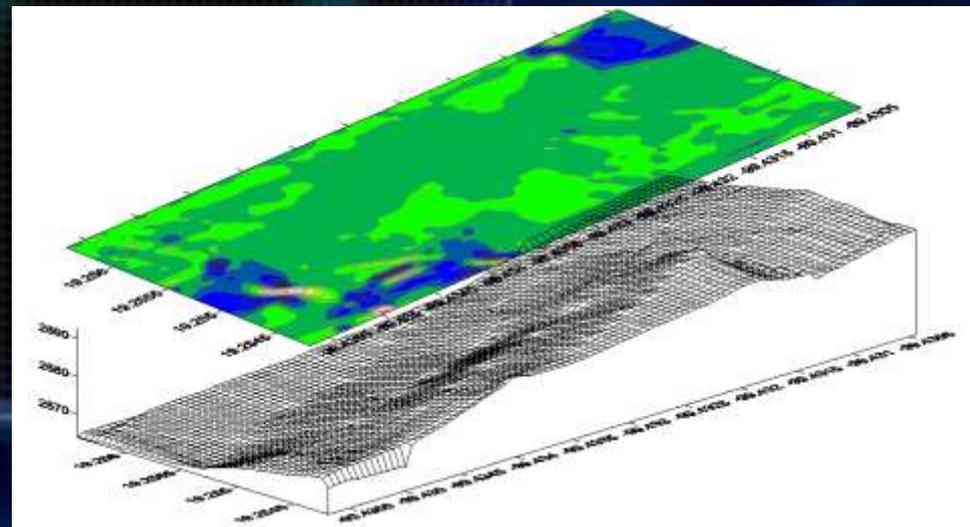
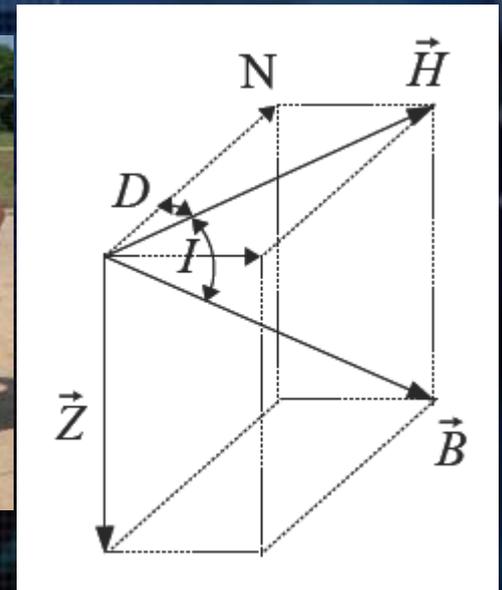
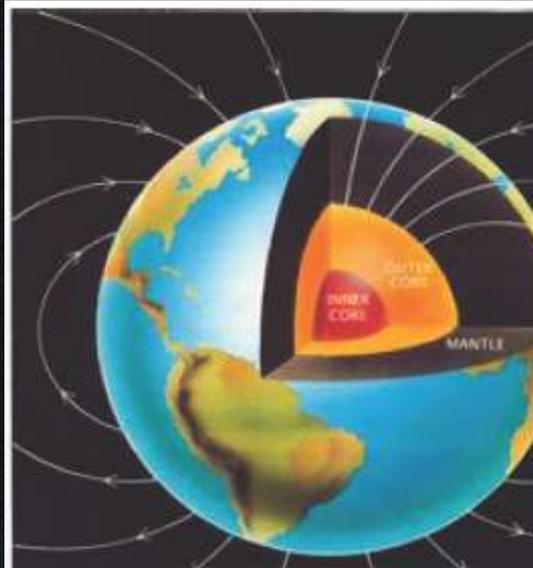
- La adquisición de datos es muy rápida
- La calidad de los datos depende de la respuesta del terreno.
- La información se obtiene a través de perfiles



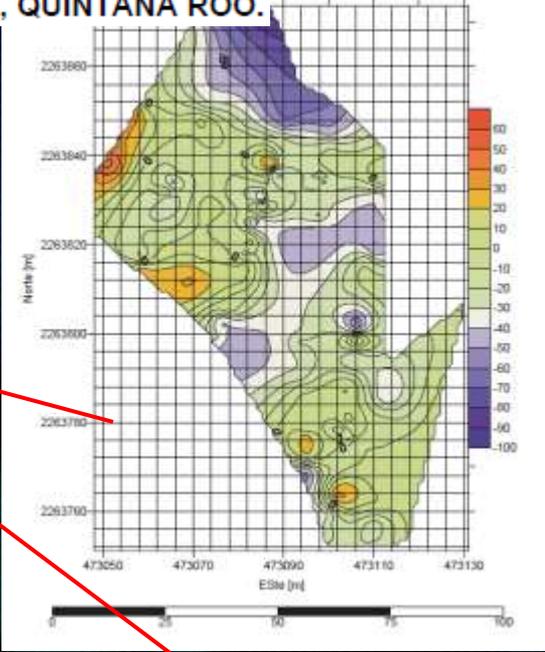
System SIR-2000 (Geophysical Systems)
Owned by: IGEF-UNAM

Como trabaja la señal electromagnética de un GPR





ESTUDIO MAGNETOMÉTRICO EN XPU HÁ, QUINTANA ROO.



La Magnetometría y su utilidad en una zona con Karsticidad

Diamagnético



Ferromagnético

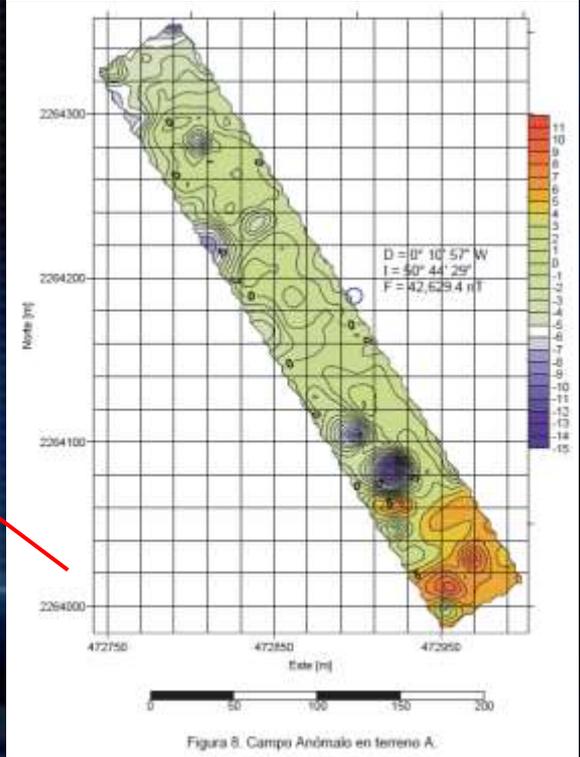
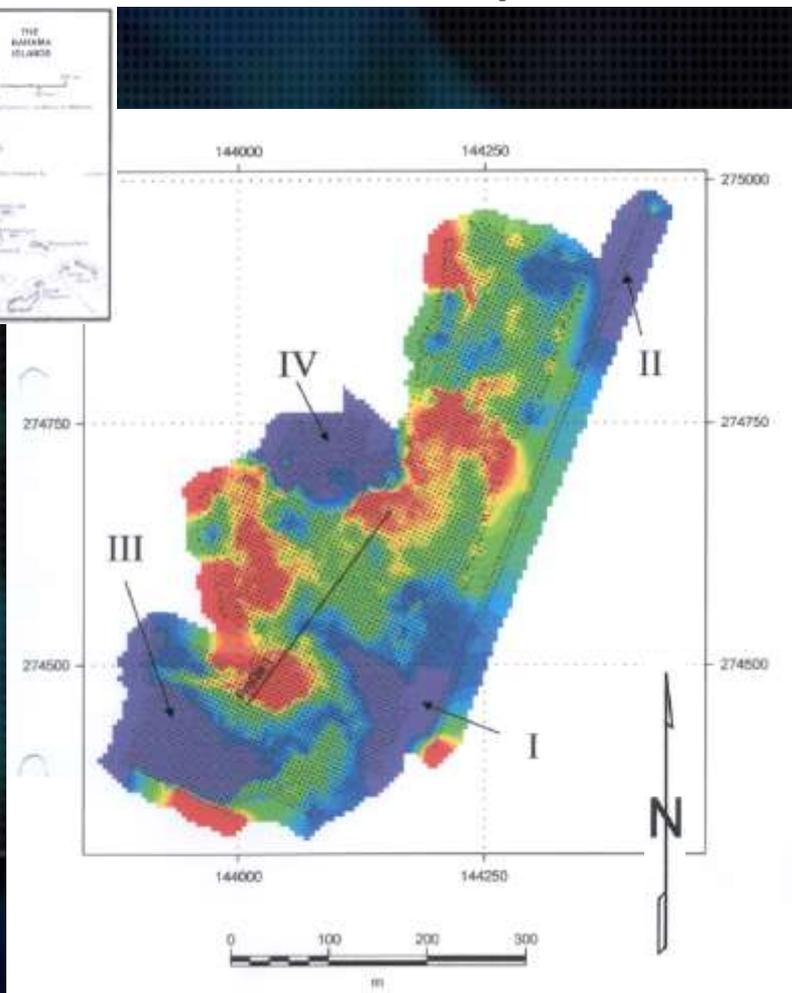
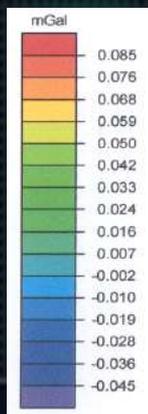


Figura 8. Campo Anómalo en terreno A.

MICRO-GRAVITY SURVEY AT TRACTEBEL LNG TERMINAL SITE, FREEPORT, GRAND BAHAMA



PROBLEMA	POT. MAG/GRAV	ELEC. CAPAC	ELEC GALV.	GPR	EXP. SÍSM.	GPS
KARSTICIDAD	○		○	○	○	
FRACTURAS Y FALLAS		○	○	○	○	
CAVIDADES SUBTERRÁNEAS			○		○	
ARQUEOLOGÍA	○	○		○		
PLUMAS CONTAMINANTES		○	○			
SUBSIDENCIA			○		○	○
TÚNELES	○	○	○	○		
INSPECCIÓN FUGAS FILTRACIONES		○	○	○	○	
NIVELES FREÁTICOS	○		○		○	

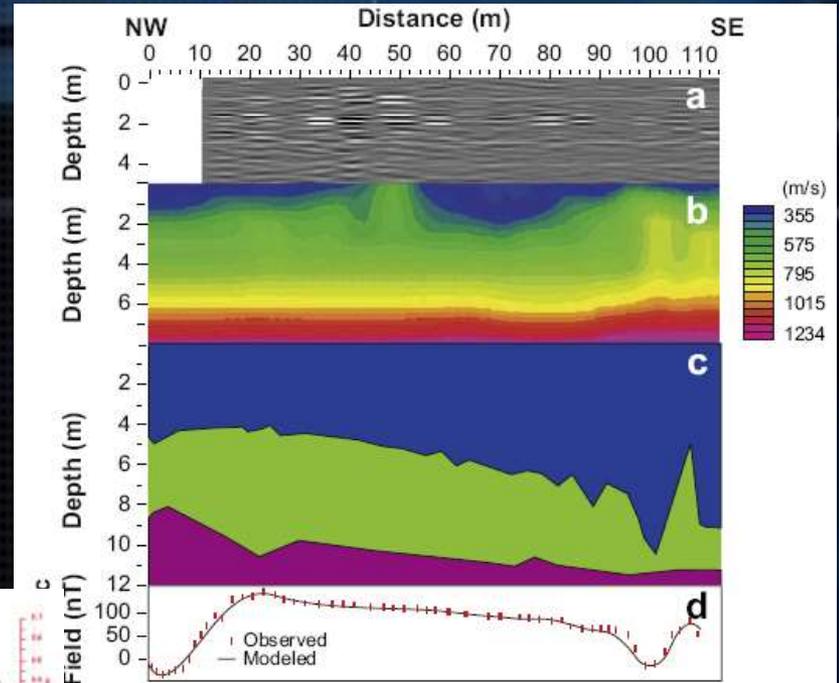
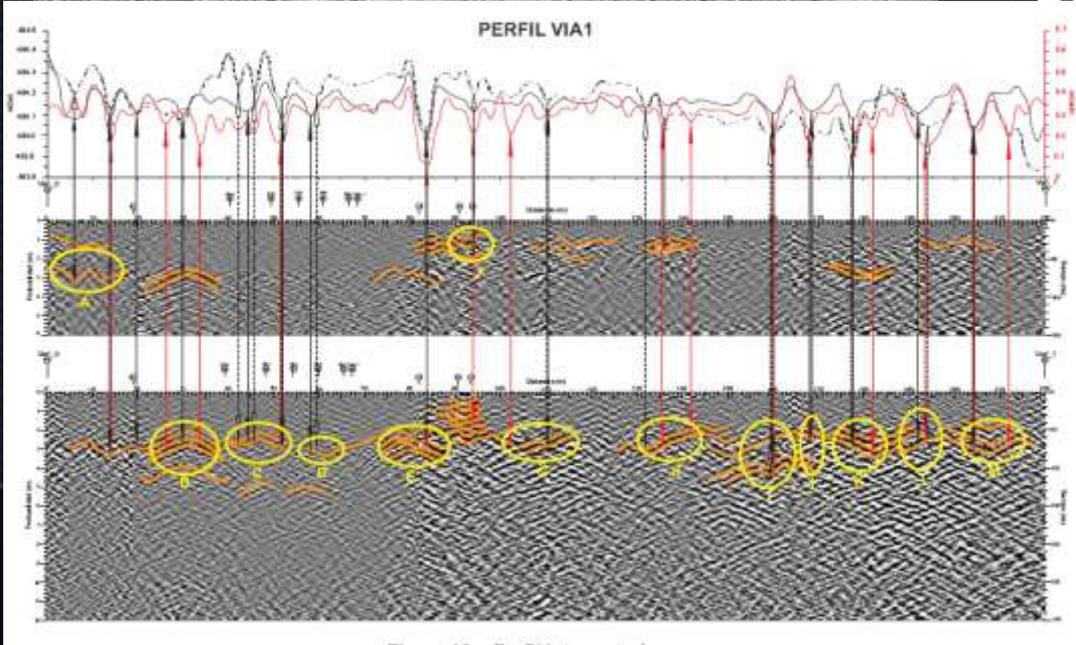
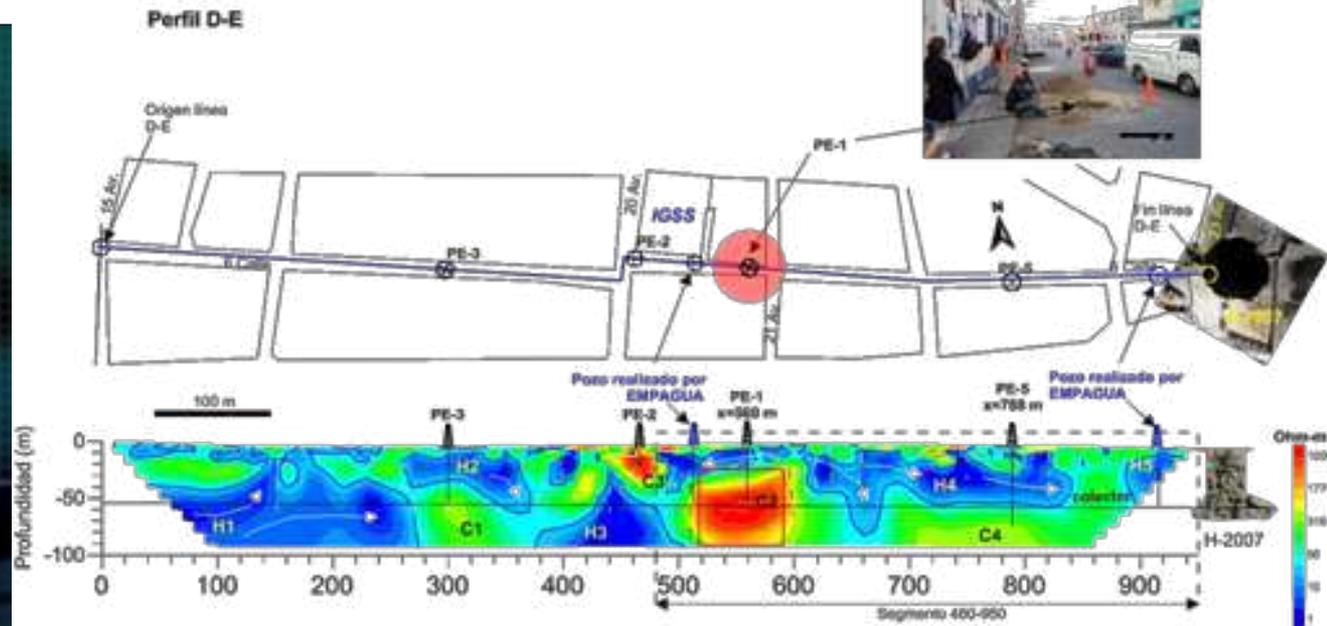
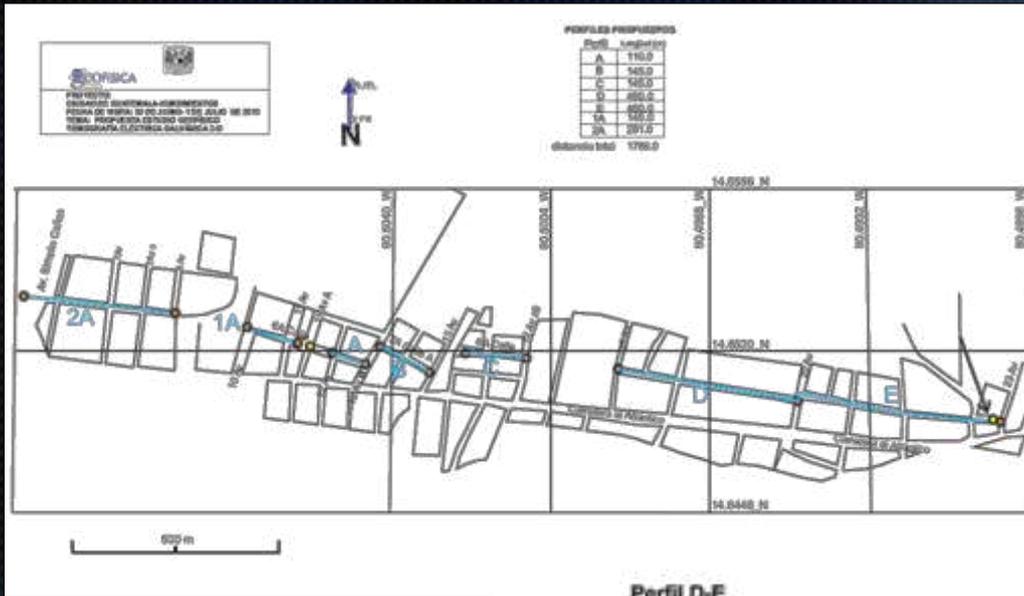


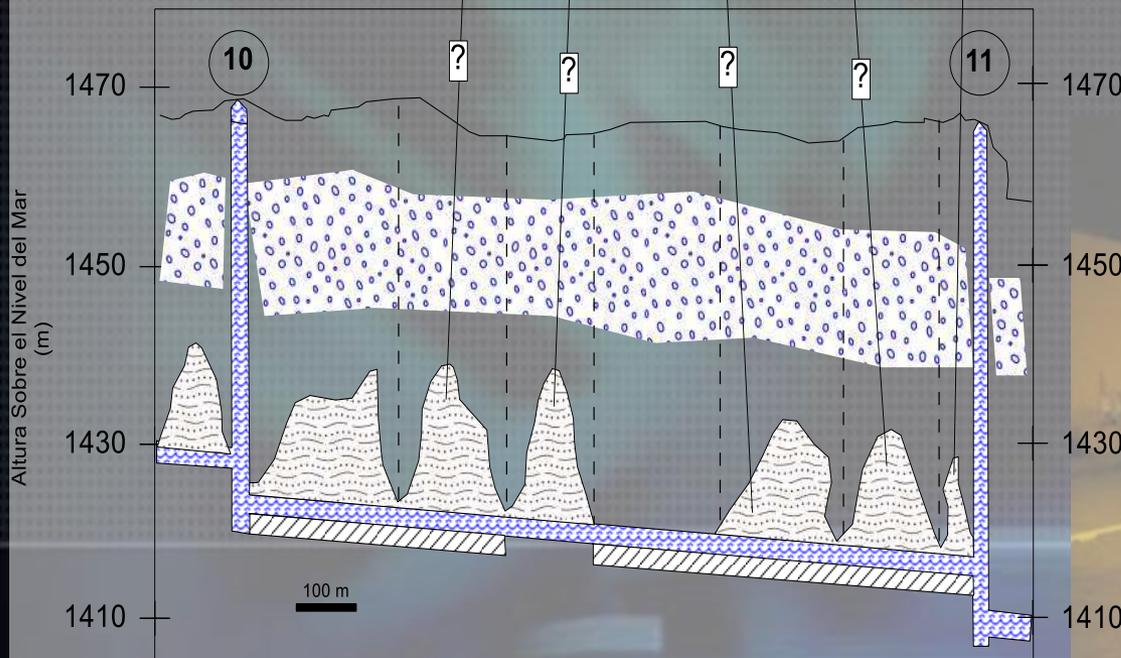
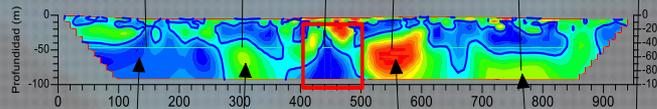
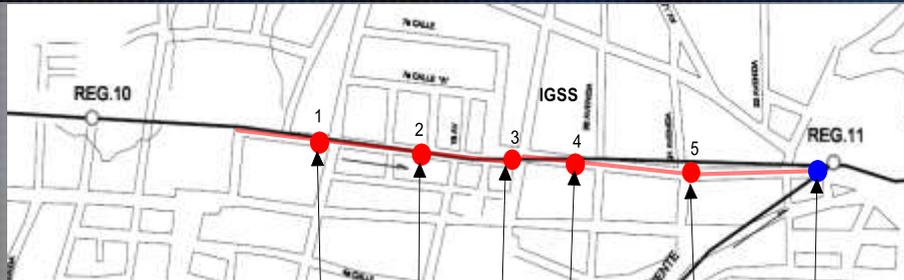
Fig. 8. Same as in Fig. 6 along section D5



APLICACIONES: Hundimiento en la Cd de Guatemala



Siguiendo el problema



La utilidad de un sondeo mecánico



37 m



Excavación del PE-1 por EMPAGUA



14.65°



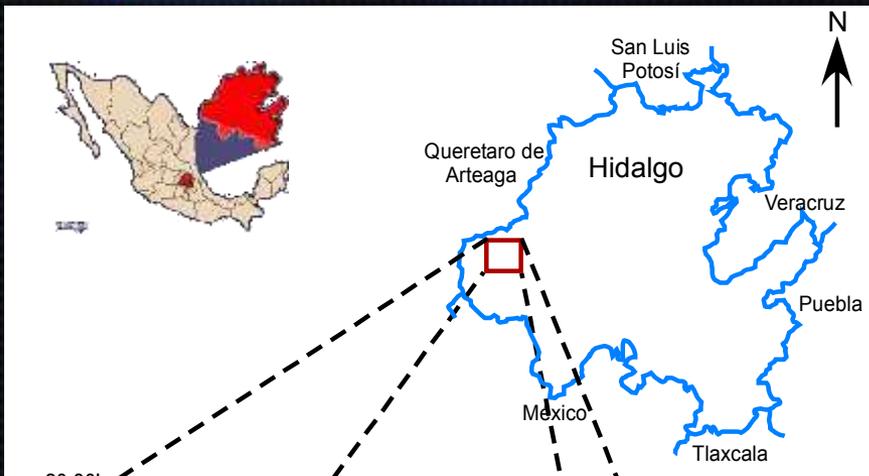
90.5°

PARTE II (DR. RENE CHAVEZ):

Algunos ejemplos

- 1. Parece una oquedad: El sitio arqueológico del Pahñu (Edo. De Hidalgo).***
- 2. Es un Karst(?): La ciudad Sagrada de Chichen Itza → La Pirámide de Kukulcán***

Localización del sitio arqueológico del Pahñu



Mapa Geológico de la zona de estudio (SGM, 2011)

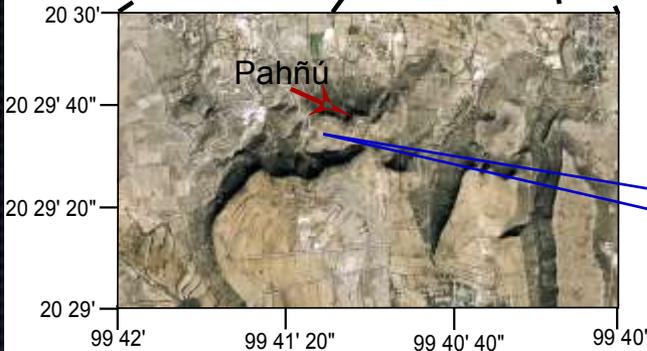
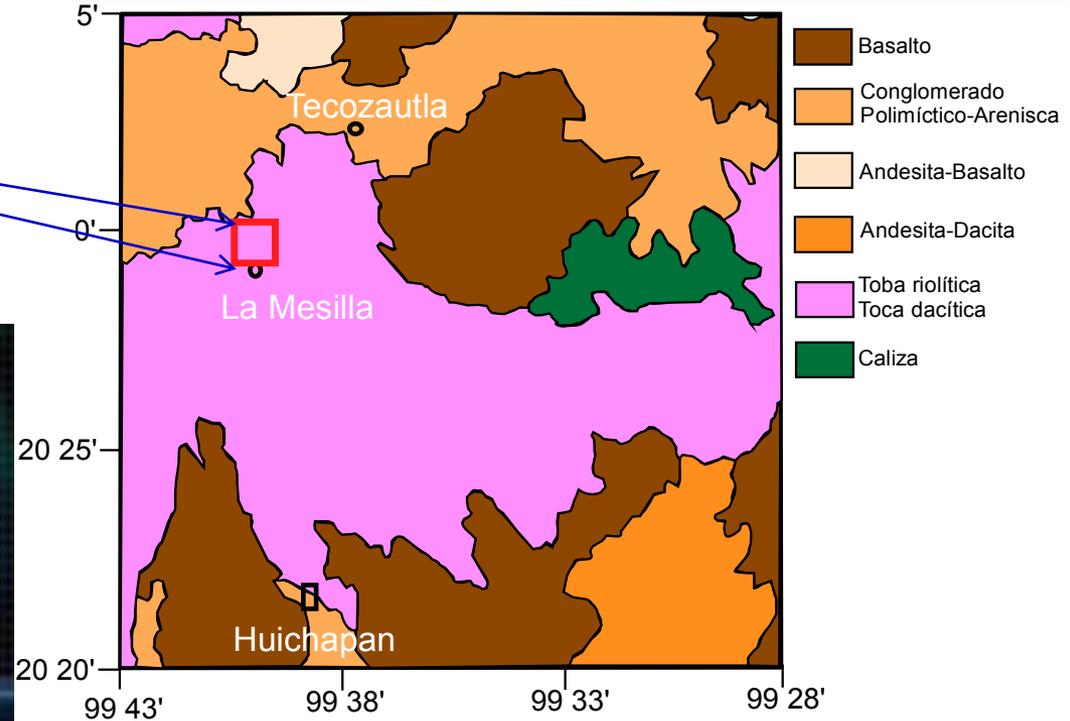
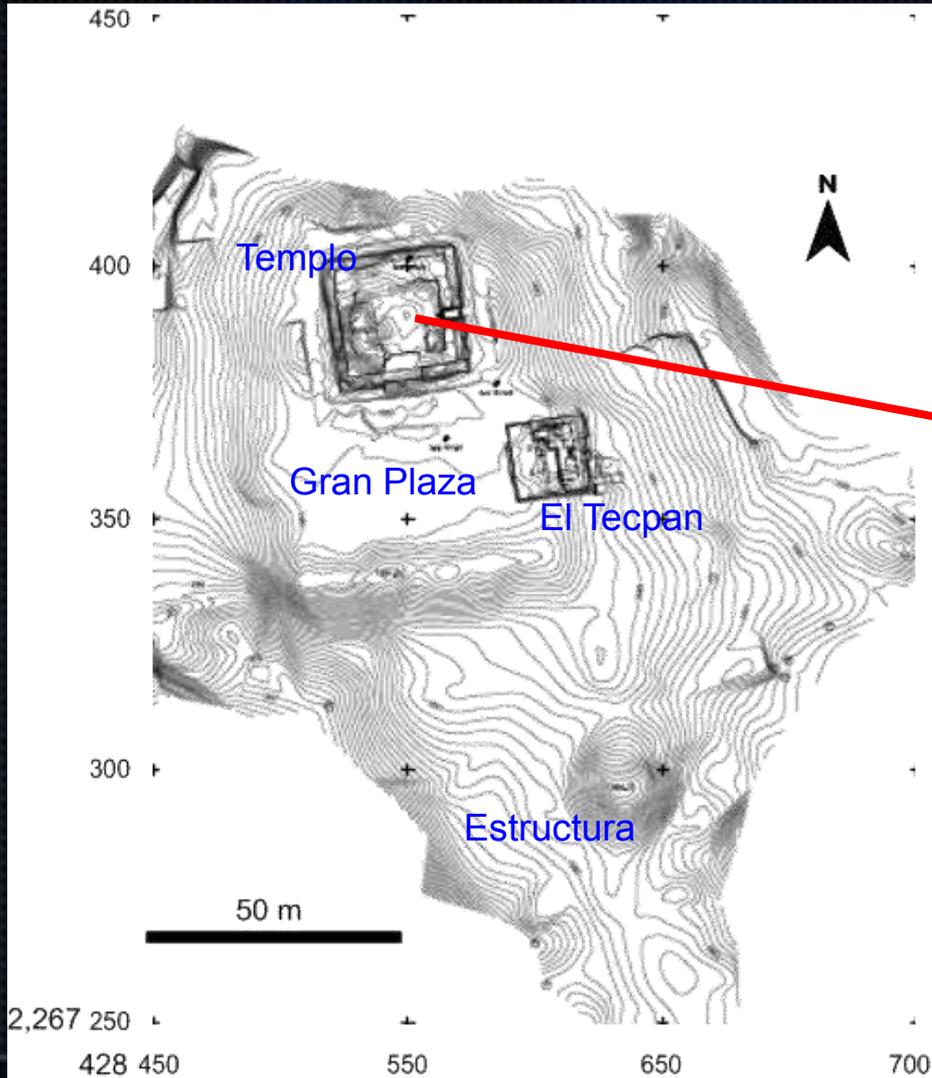


Imagen satelital (Google-Earth, 2011)





Templo

Topografía del sitio arqueológico

Inestabilidades en la Pirámide Principal (?)



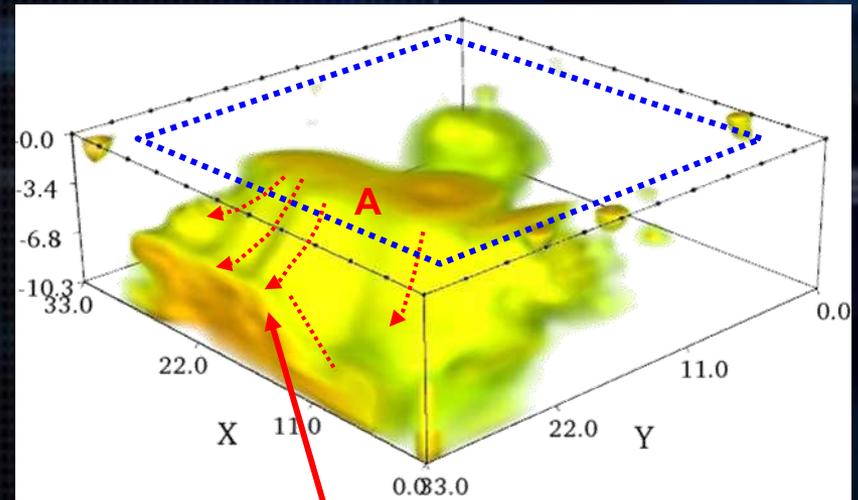
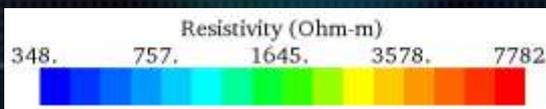
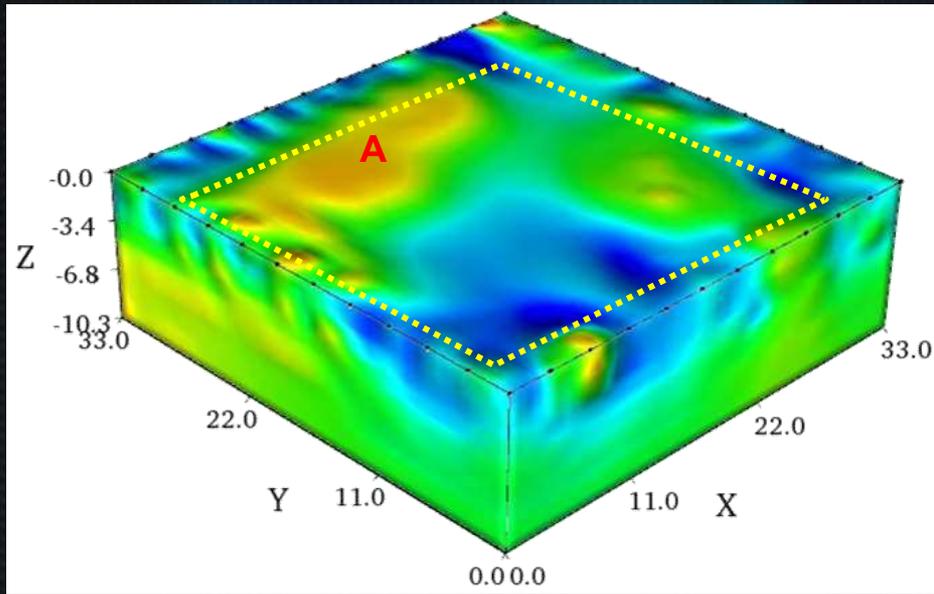
Deslizamientos y fisuras

Reforzamiento de la Subestructura que se inclina hacia el NE

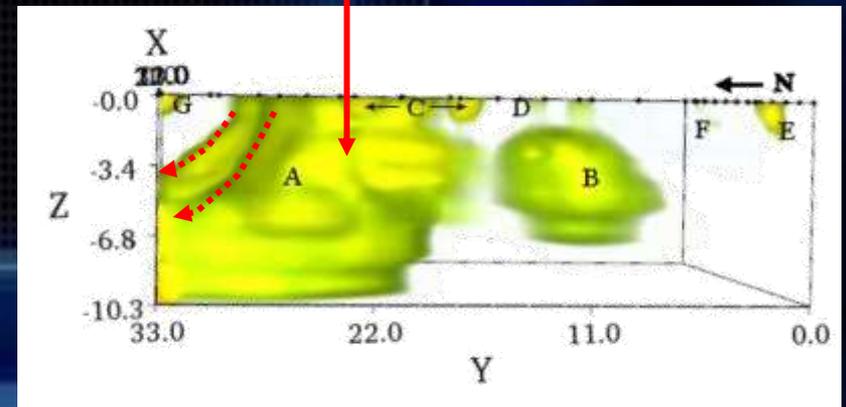
Necesidad de conocer el comportamiento del subsuelo sobre el que se asienta la Pirámide



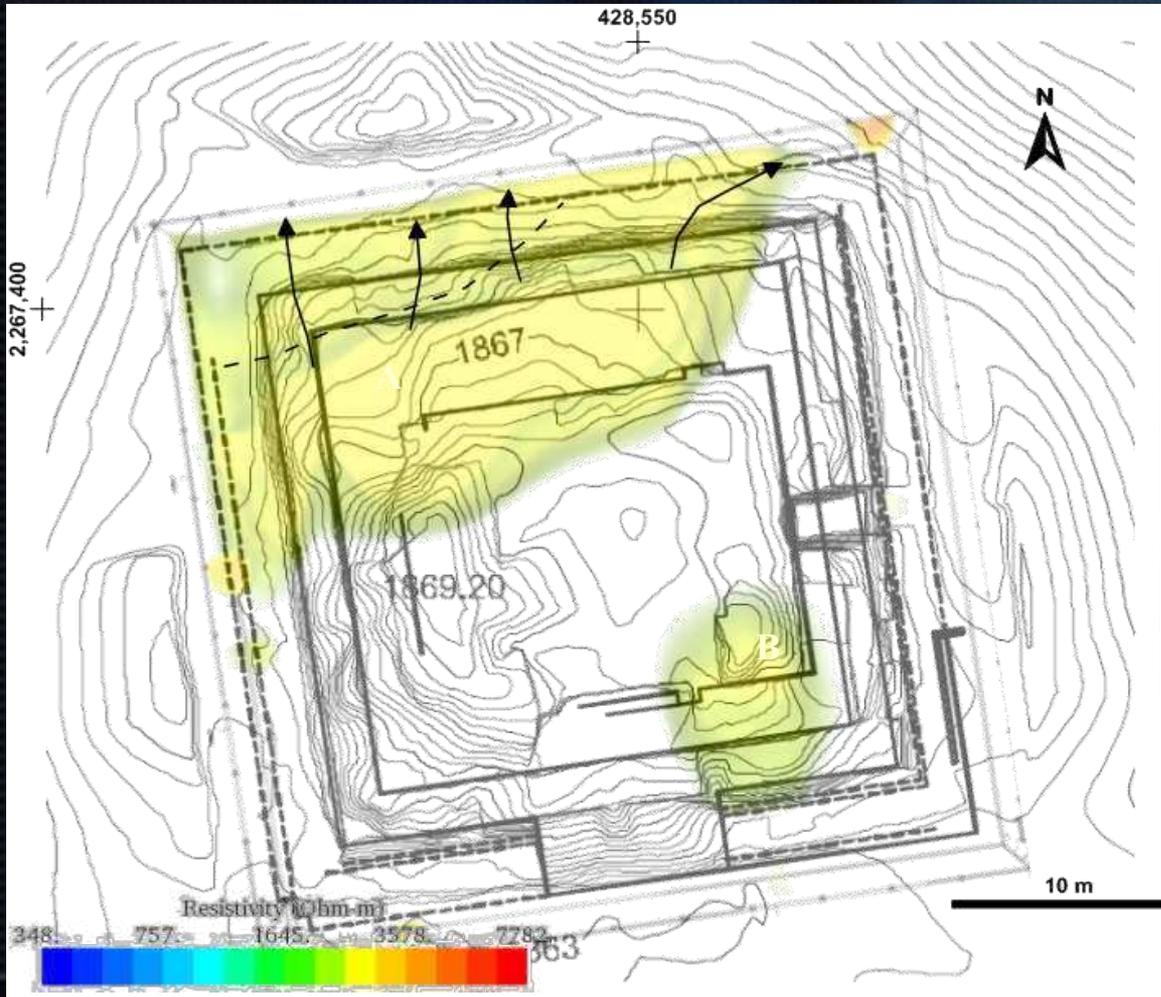
Modelo de Resistividades: Edificio Principal



Relleno



Modelo de Resistividades: Edificio Principal



Polines de soporte

Fisuras y agrietamientos

Sitio Arqueológico de Chichen Itzá

To Mérida

Sacred Cenote (karst)

To Can Cun

Ball Court

Main Entrance

El Castillo

Warriors temple

El Osario

Xtoloc Cenote

Observatory

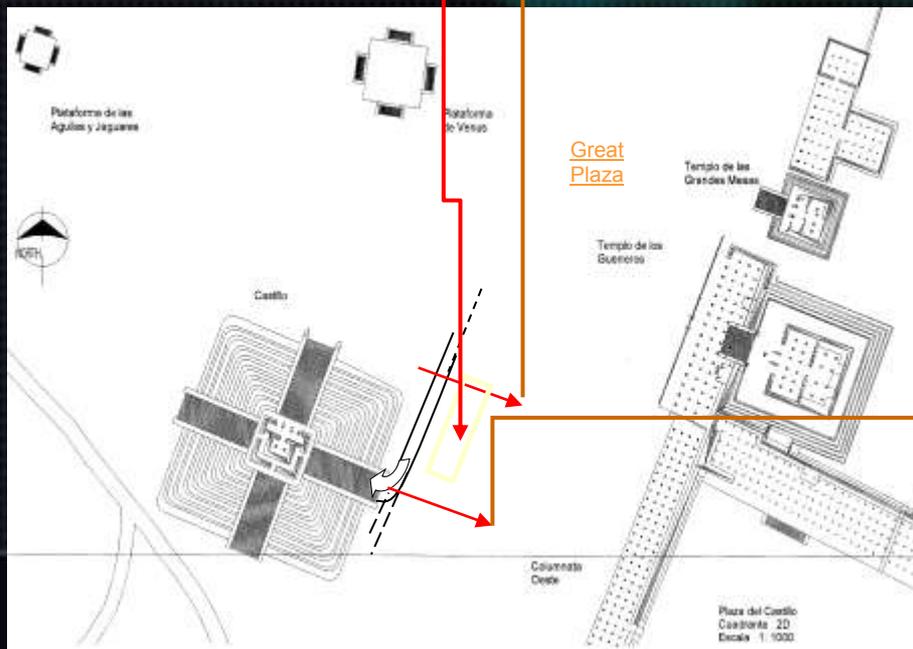
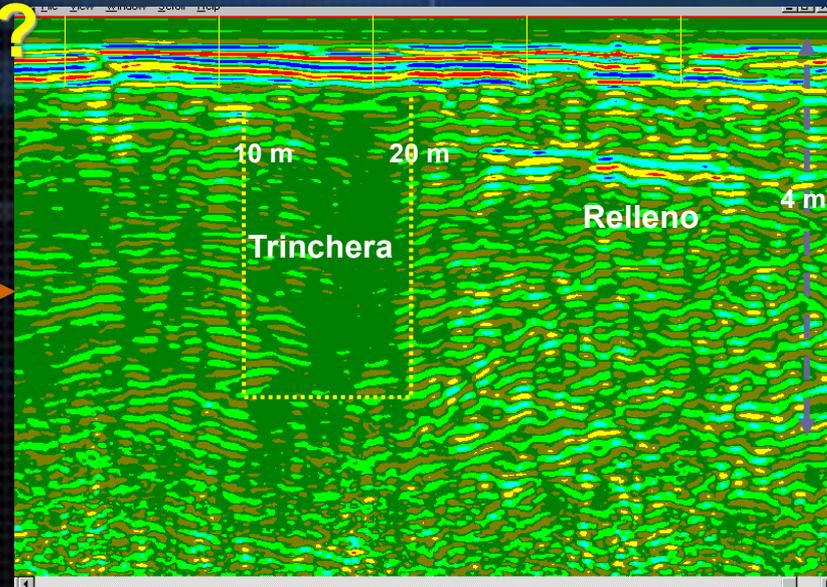
N



Space Imaging's IKONOS satellite took this image of Chichen Itza March 5, 2001.

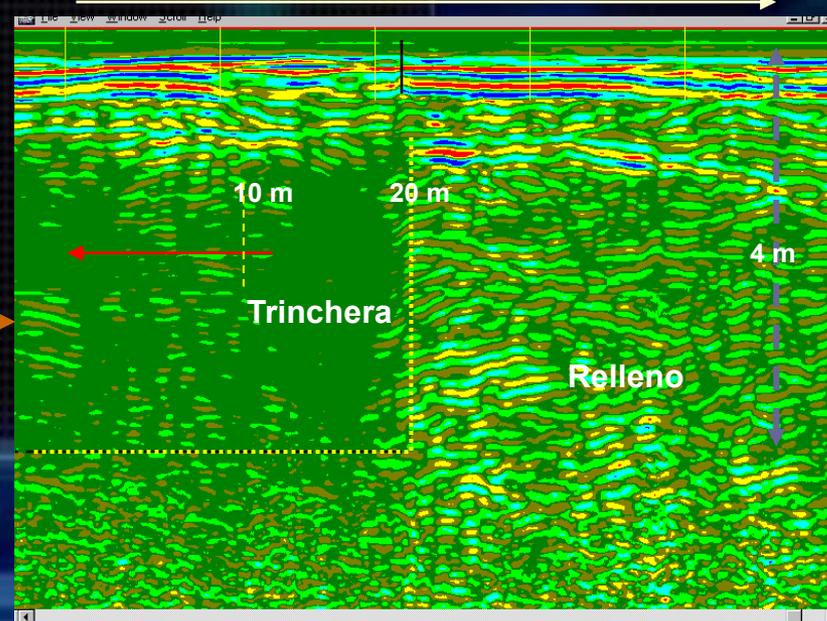
<http://www.cicy.mx/sitios/flora%20digital/areaestudio.html>

Perfiles de GPR: Evidencia de un túnel bajo El Castillo?



NW

SE

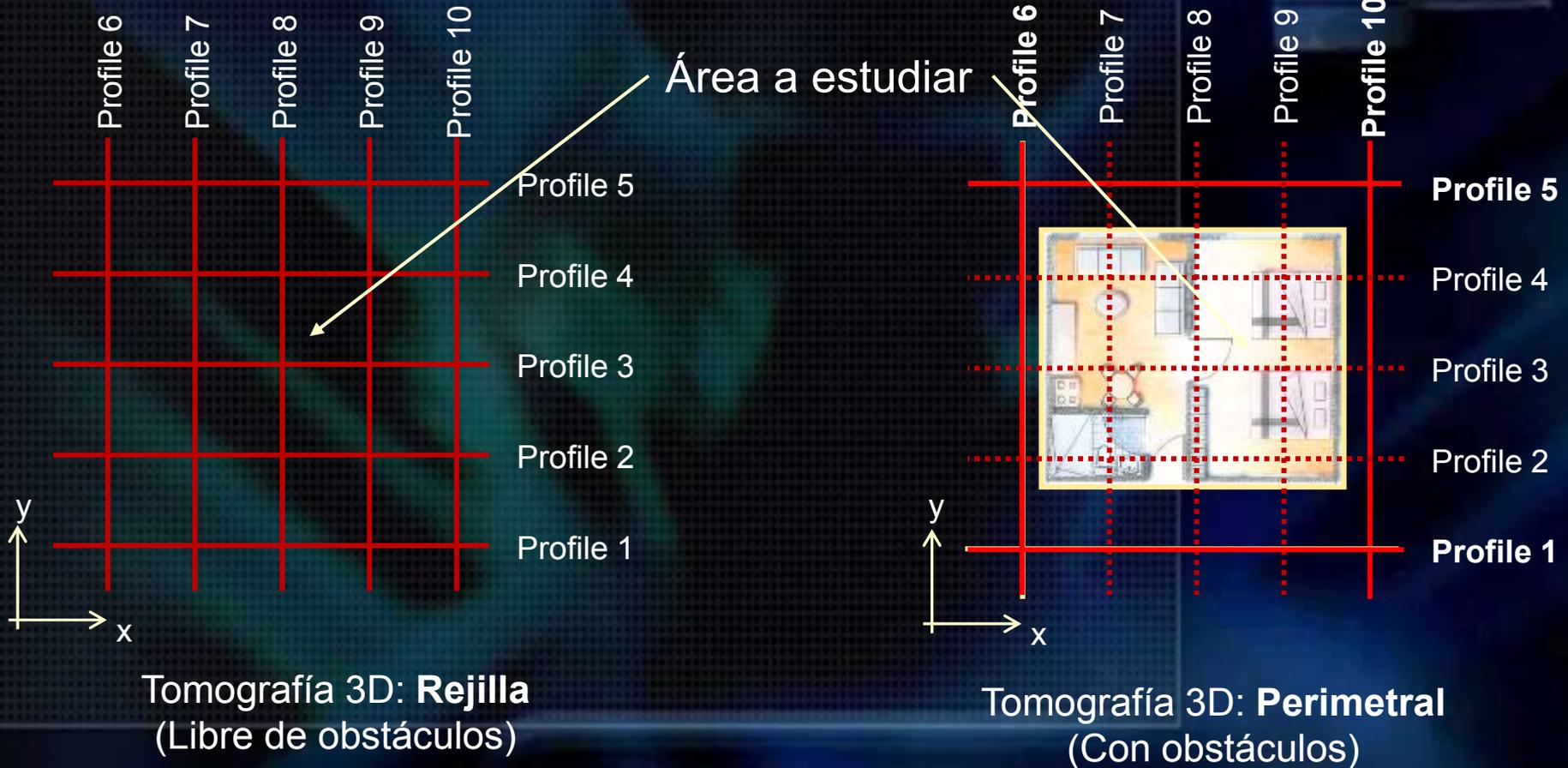


(Sauck et al., 1998)

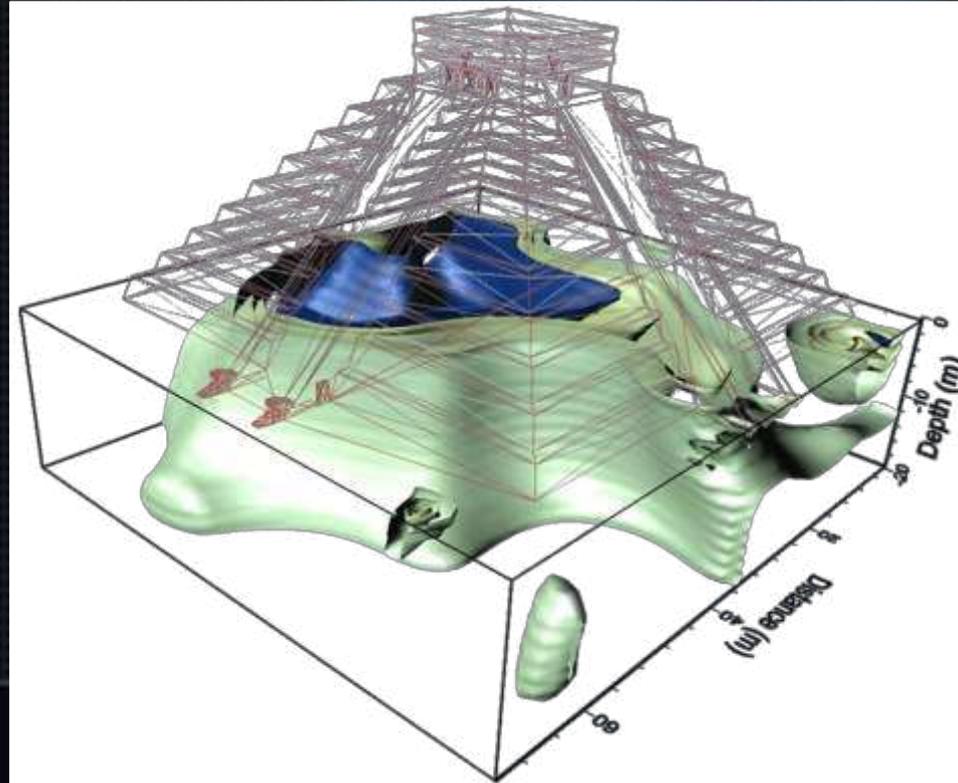
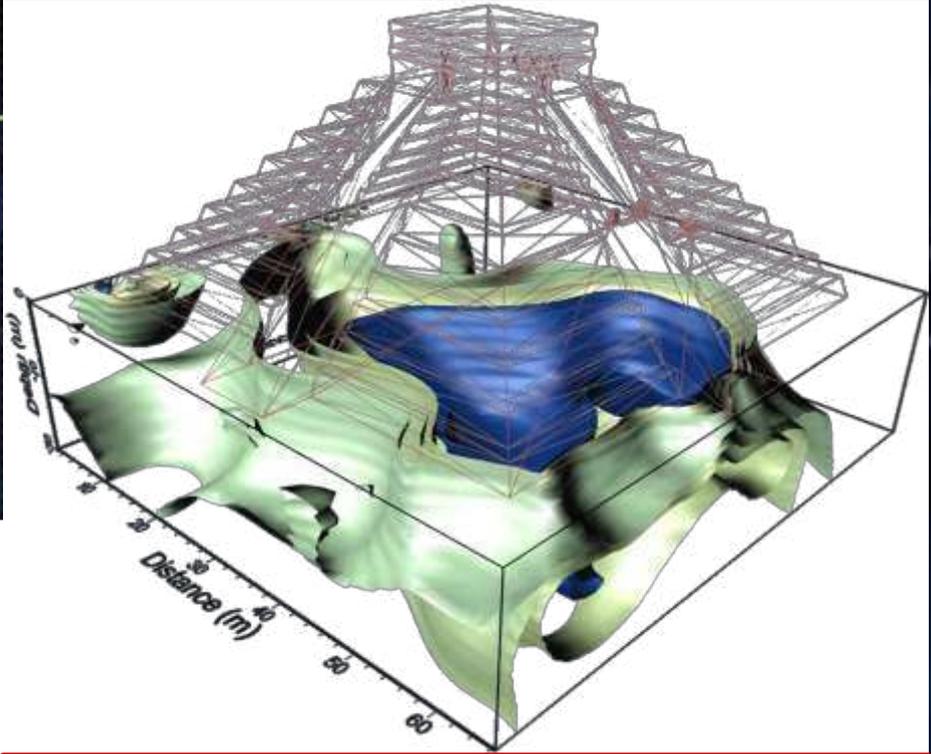
PIRÁMIDE DEL CASTILLO: Estudio geofísico



Tomografía Eléctrica 3D en zonas urbanas y de interés histórico



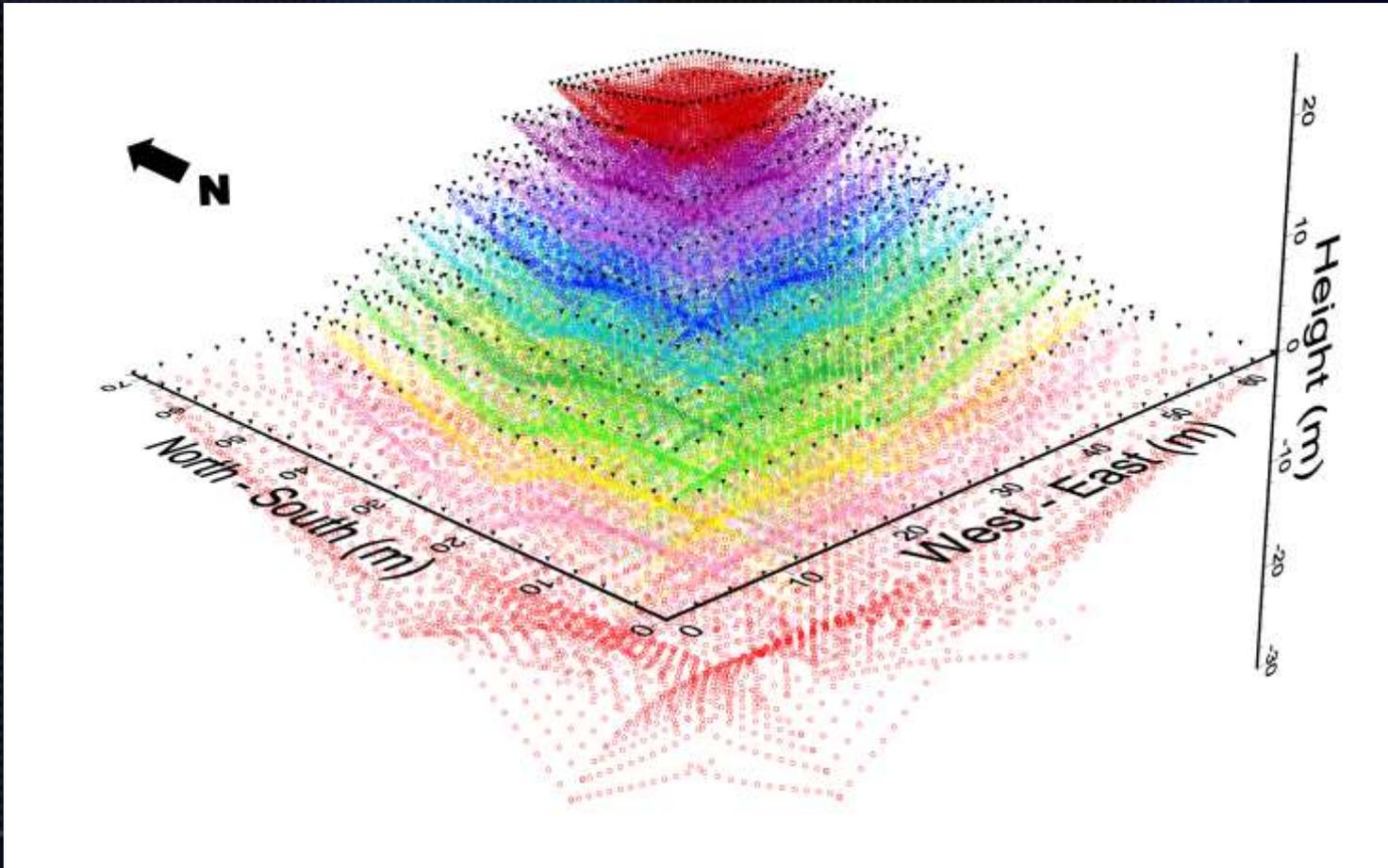
Cavidad Kárstica
parcialmente llena de
agua bajo la Pirámide
El Castillo



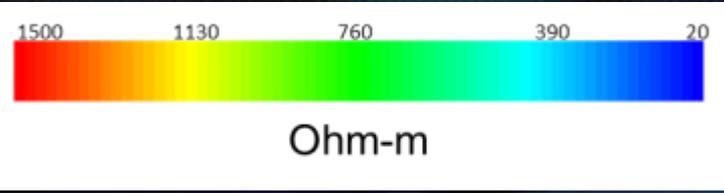
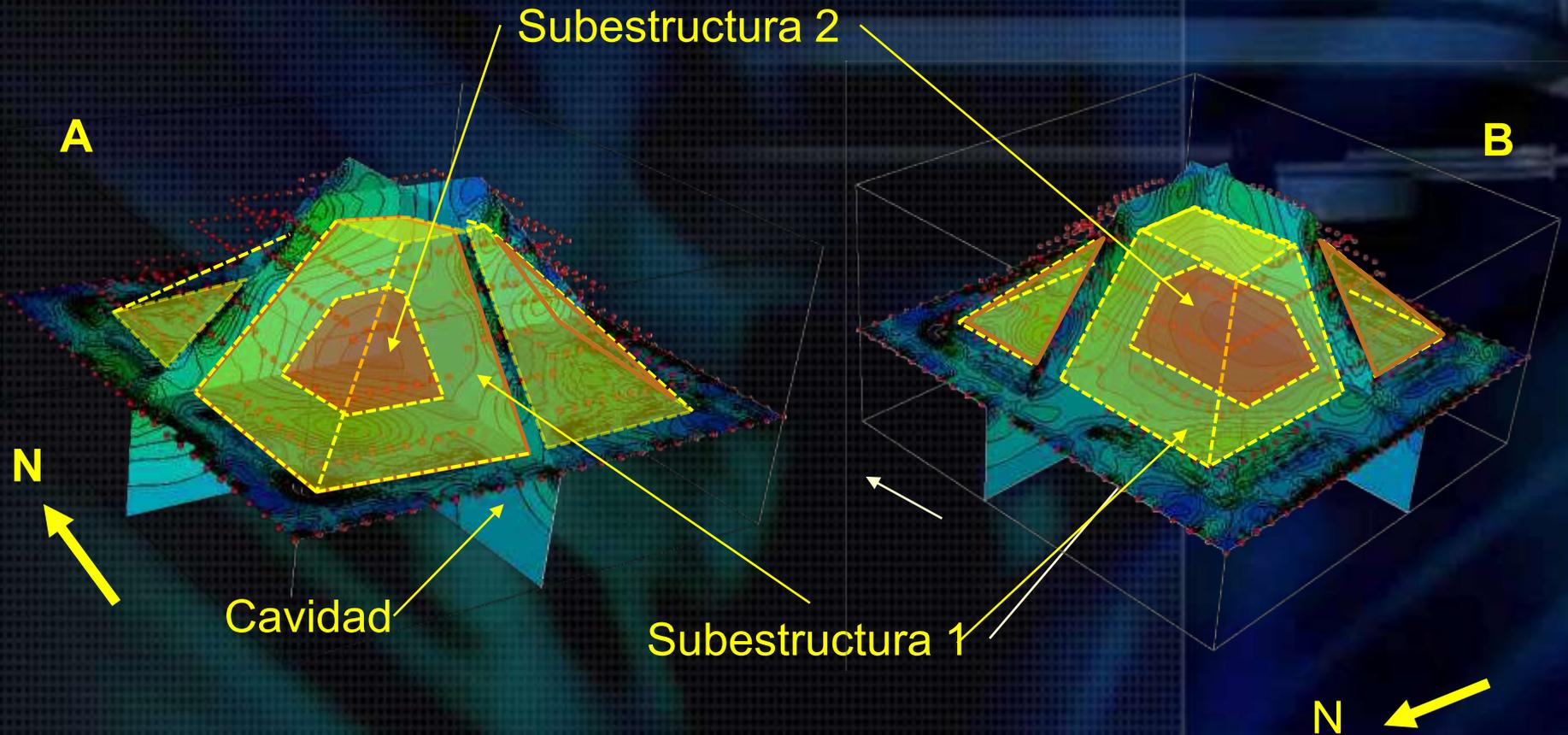
PREGUNTAS:

- ❖ Sin embargo, ¿Sabían los antiguos Mayas de este Karst subterráneo?
- ❖ Si es cierto, ¿Por qué los Mayas construyeron este enorme templo en la parte superior de este Karst ?

ILUMINACION DE LOS 10 NIVELES DE LA PIRAMIDE DE KUKULKAN

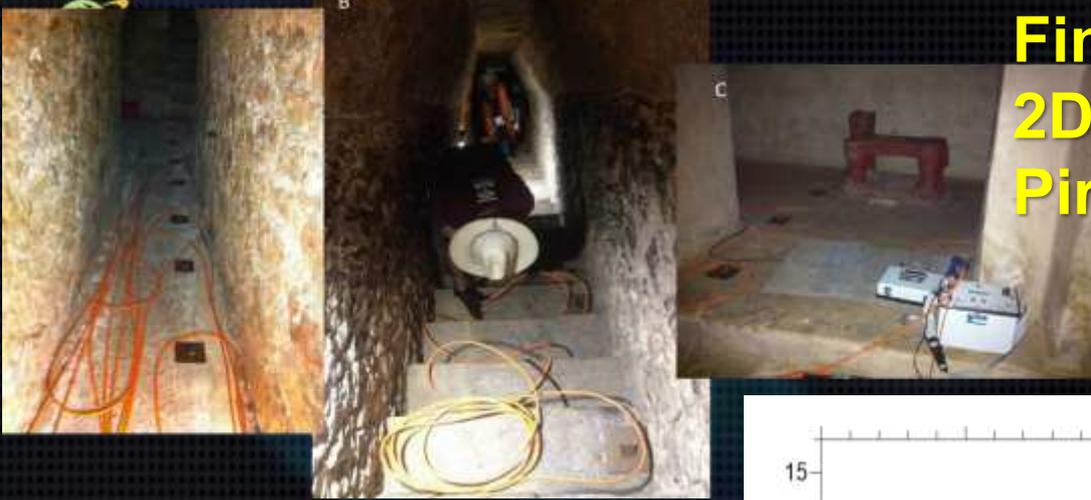


Número de Observaciones 37,539



Se pueden inferir la posición y el tamaño de las subestructuras

Finalmente, un perfil TRE-2D en el interior de la Pirámide de El Castillo

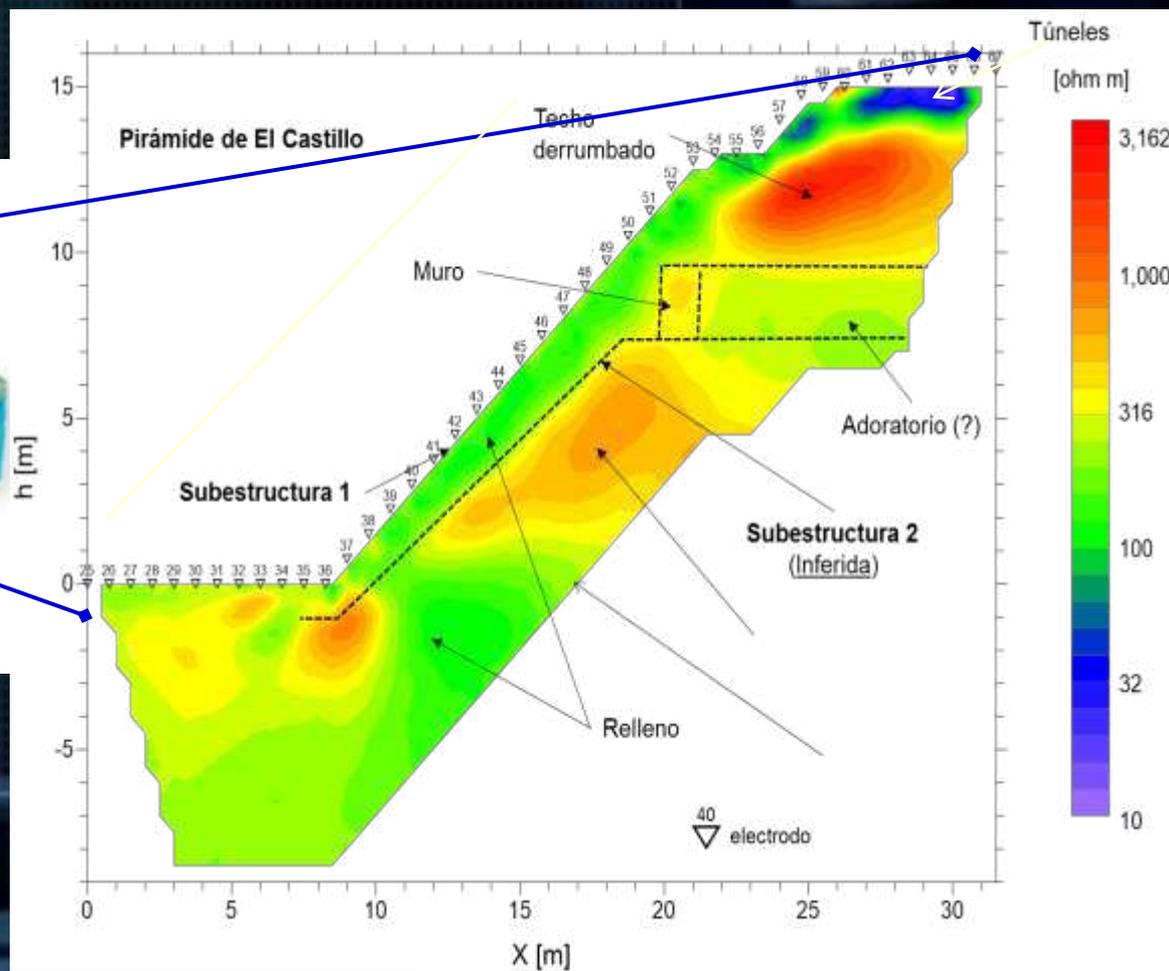


Pirámide de El Castillo



www.spade10.blogspot.com

Este perfil 2D proporciona una fuerte evidencia sobre la existencia de una segunda subestructura al interior de El Castillo



Conclusiones

LOS MÉTODOS GEOFISICOS SE APLICAN CONSIDERANDO SIEMPRE CUATRO VARIABLES IMPORTANTES:
LA PROFUNDIDAD
LA GEOMETRÍA DEL OBJETO DE ESTUDIO
LA PROPIEDAD QUE SE DESEA INVESTIGAR

ESTOS MÉTODOS PUEDEN MITIGAR EL RIESGO EN ZONAS DE ALTA VULNERABILIDAD.

PUEDEN APLICARSE A NUEVOS PROBLEMAS Y ENIGMAS DEL PASADO

QUEDA MUCHO POR ESTUDIAR Y APRENDER DE LAS ZONAS CON KARSTICIDAD Y LOS METODOS GEOFISICOS.