SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

CONCYTEC 50 años | FONDECYT Becas y financiamiento del Concytec

NEOTECTÓNICA INGEMMET - PERÚ

TECTÓNICA ACTIVA Y PALEOSISMOLOGÍA EN LA FALLA TAMBOMACHAY: en busca de los sismos perdidos en el Cusco.

Autores:
Lorena Rosell Guevara
Calos Benavente Escóbar
Briant García Fernandez Baca
Fabrizio Delgado Madera
Enoch Aguirre Alegre

Investigadores extranjeros:
Richard Walker
Sam Wimpenny
Christoph Grützner
Swann Zerathe

Institut de Recherche pour le Développement FRANCE

ISTerre Institut des Sciences de la Terre

UNIVERSITY OF OXFORD

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

Instituto Geológico y Minero de España

Convenio 006-2016-Fondecyt :Proyecto Cusco-PATA

EL PERÚ PRIMERO

PT/INGEMMET: N°

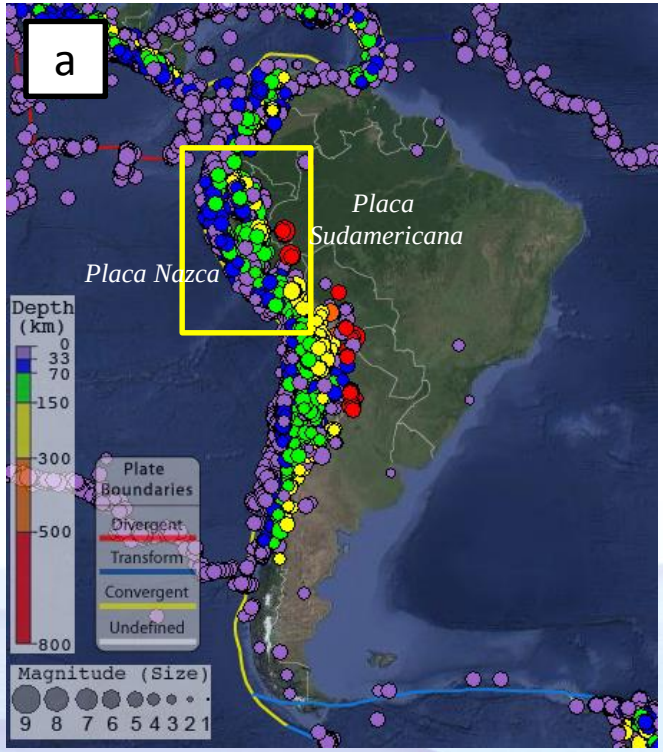
❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

CONTENIDO

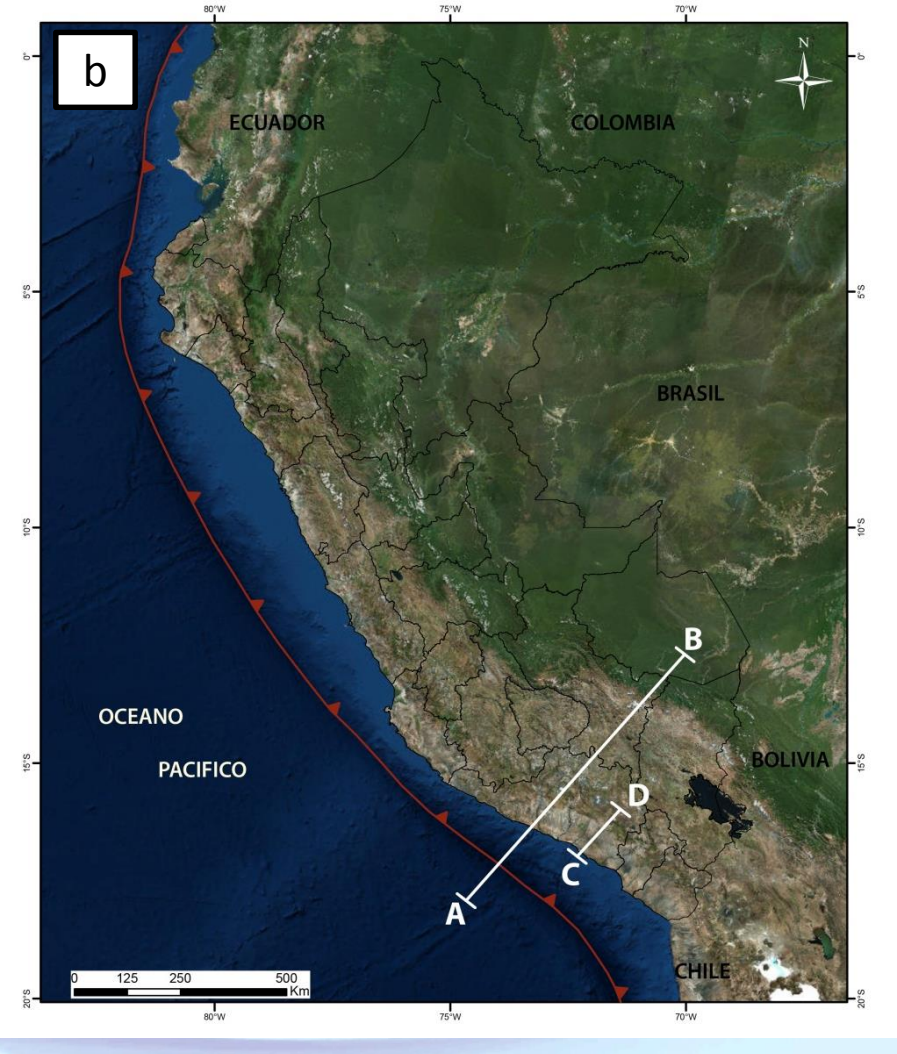
- ✓ Introducción
- ✓ Contexto Sismotectónico y geológico
- ✓ Estudio geomorfológico (metodología y resultados)
- ✓ Estudio paleosismológico (metodologíay resultados)
- ✓ Conclusiones

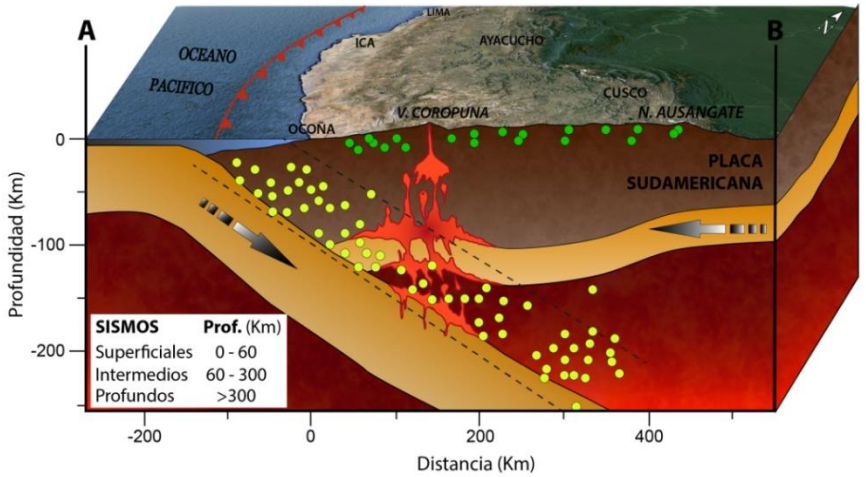
❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

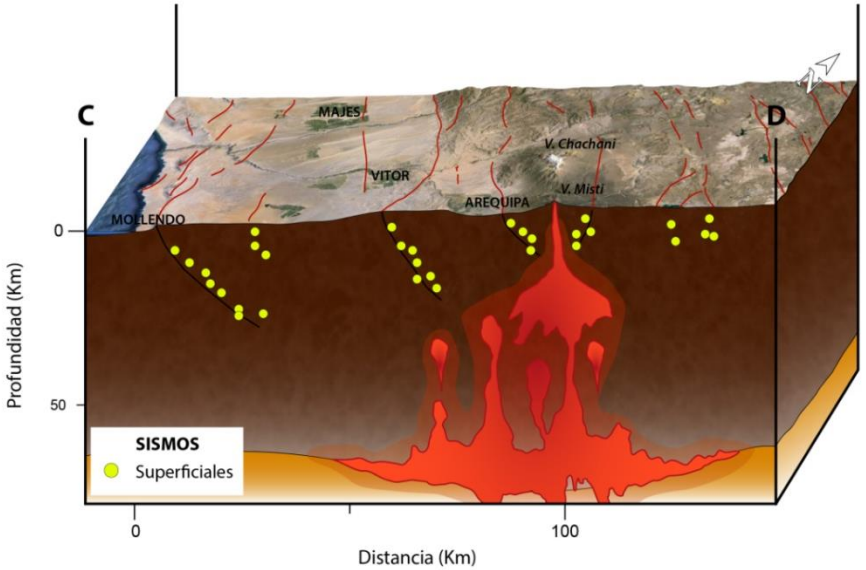
EL PERÚ PRIMERO



Fuente: IRIS Earthquake Browser







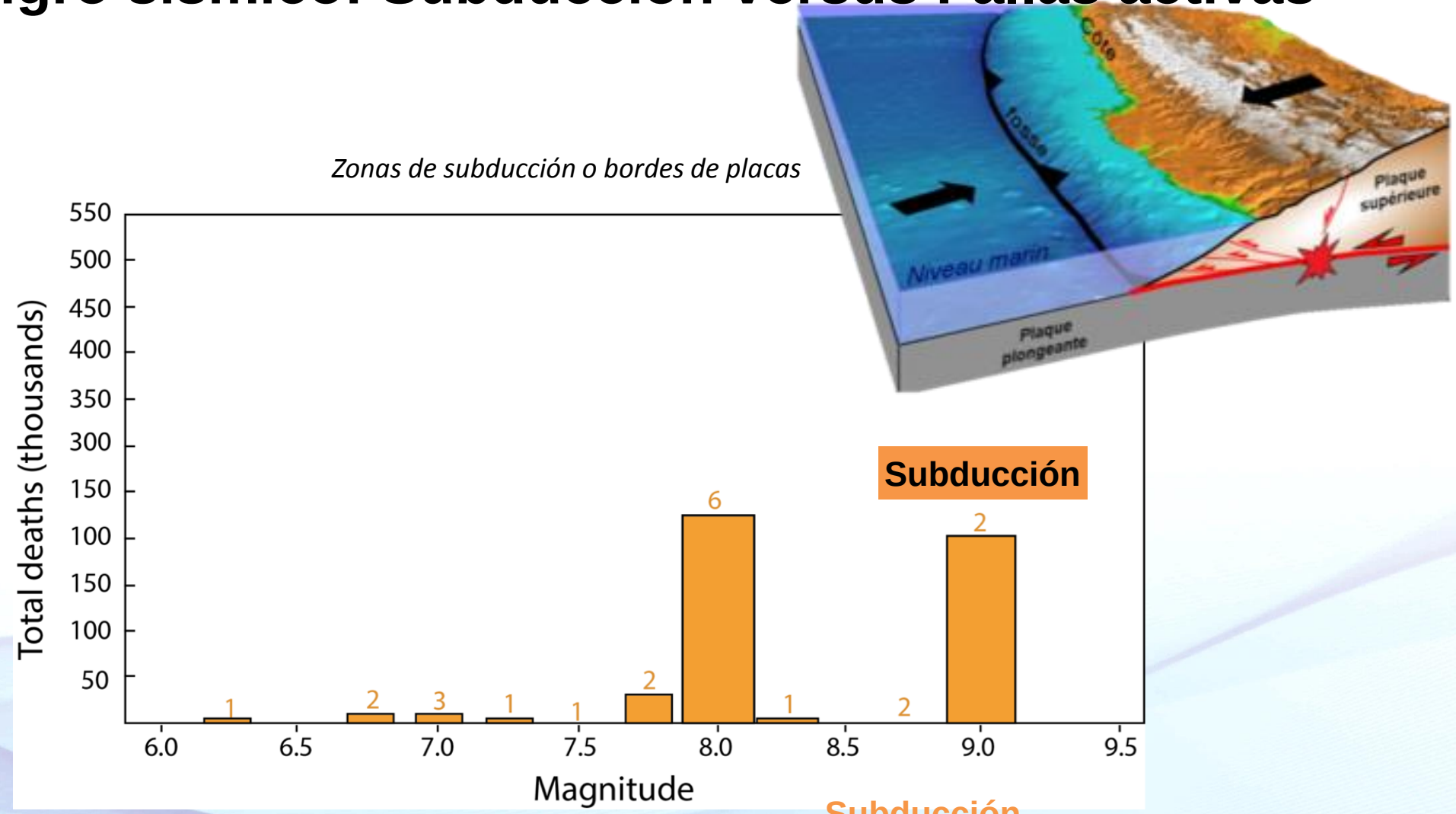
❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

PT/INGEMMET: N°

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

Peligro sísmico: Subducción versus Fallas activas

Zonas de subducción o bordes de placas



Subducción
ciclo sísmico ~150 yr

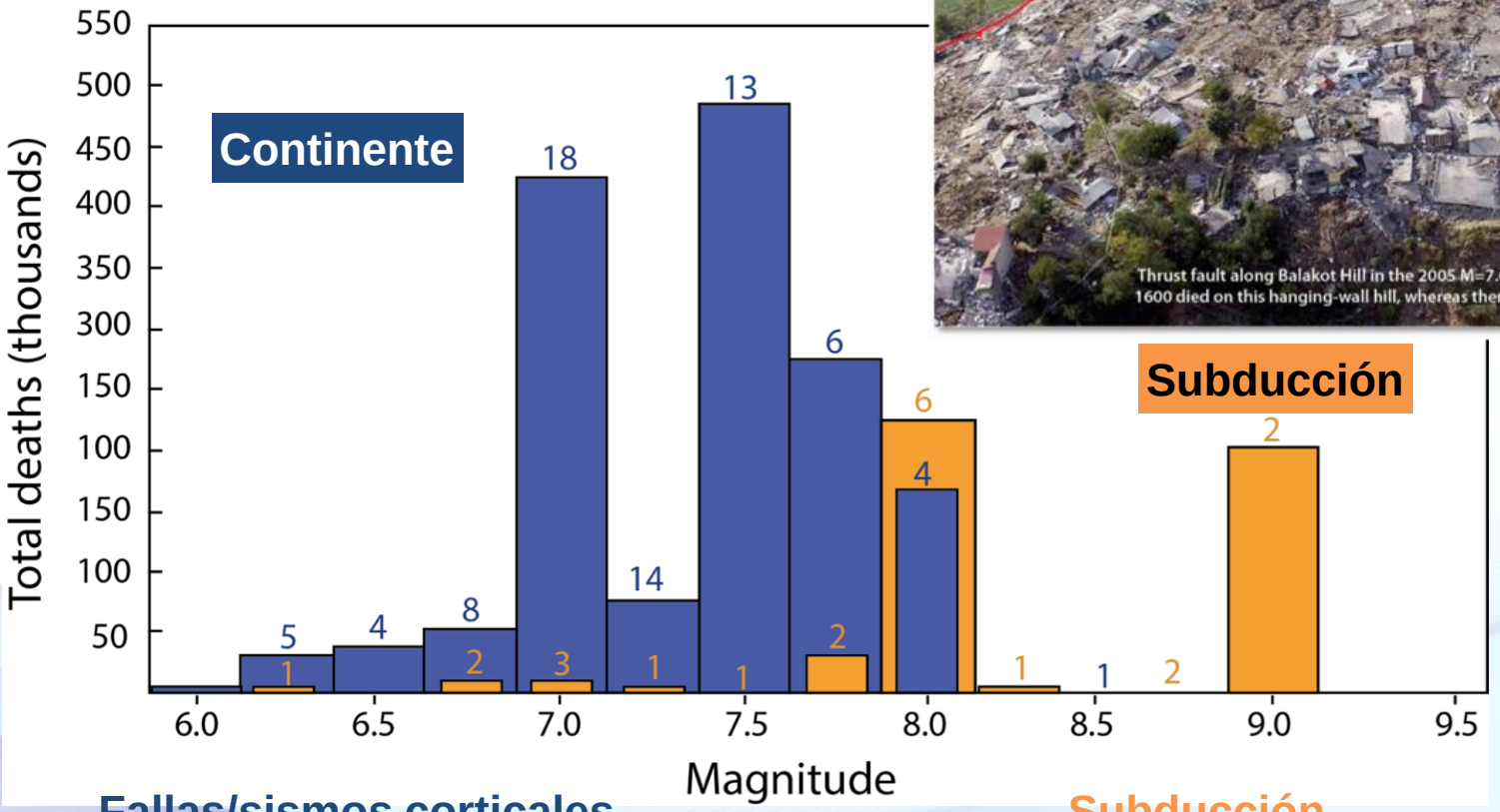
England and Jackson, Nature, 2011

❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

PT/INGEMMET: N°

EL PERÚ PRIMERO

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO



Fallas/sismos corticales
ciclo sísmico ~1000 yr

Subducción
ciclo sísmico ~150 yr

England and Jackson, Nature, 2011

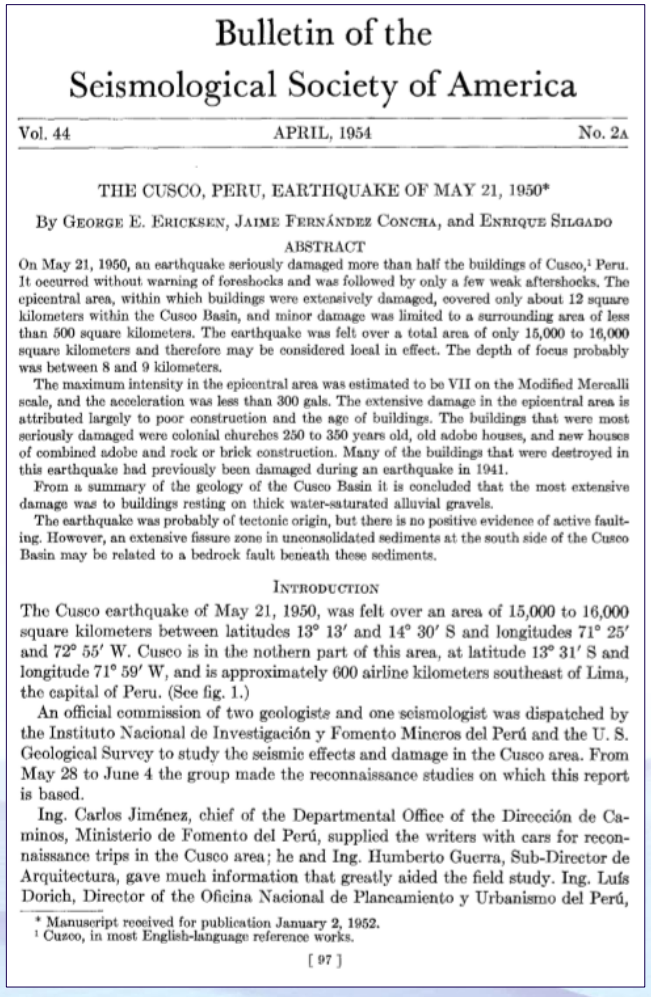
- La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

PT/INGEMMET: N°

EL PERÚ PRIMERO

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

Mapa neotectónico del Perú



Bulletin of the
Seismological Society of America

Vol. 44 APRIL, 1954 No. 2A

THE CUSCO, PERU, EARTHQUAKE OF MAY 21, 1950*

By George E. Ericksen, Jaime Fernández Concha, and Enrique Silgado

ABSTRACT

On May 21, 1950, an earthquake seriously damaged more than half the buildings of Cusco,[1] Peru. It occurred without warning of foreshocks and was followed by only a few weak aftershocks. The epicentral area, within which buildings were extensively damaged, covered only about 12 square kilometers within the Cusco Basin, and minor damage was limited to a surrounding area of less than 500 square kilometers. The earthquake was felt over a total area of only 15,000 to 16,000 square kilometers and therefore may be considered local in effect. The depth of focus probably was between 8 and 9 kilometers.

The maximum intensity in the epicentral area was estimated to be VII on the Modified Mercalli scale, and the acceleration was less than 300 gals. The extensive damage in the epicentral area is attributed largely to poor construction and the age of buildings. The buildings that were most seriously damaged were colonial churches 250 to 350 years old, old adobe houses, and new houses of combined adobe and rock or brick construction. Many of the buildings that were destroyed in this earthquake had previously been damaged during an earthquake in 1941.

From a summary of the geology of the Cusco Basin it is concluded that the most extensive damage was to buildings resting on thick water-saturated alluvial gravels.

The earthquake was probably of tectonic origin, but there is no positive evidence of active faulting. However, an extensive fissure zone in unconsolidated sediments at the south side of the Cusco Basin may be related to a bedrock fault beneath these sediments.

Introduction

The Cusco earthquake of May 21, 1950, was felt over an area of 15,000 to 16,000 square kilometers between latitudes 13° 13′ and 14° 30′ S and longitudes 71° 25′ and 72° 55′ W. Cusco is in the nothern part of this area, at latitude 13° 31′ S and longitude 71° 59′ W, and is approximately 600 airline kilometers southeast of Lima, the capital of Peru. (See fig. 1.)

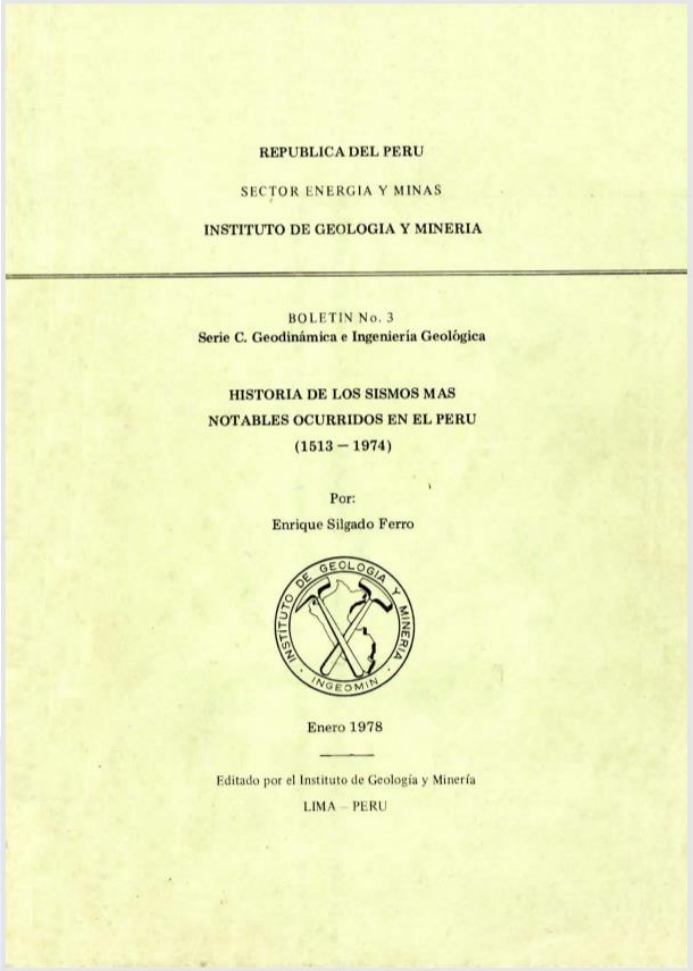
An official commission of two geologists and one seismologist was dispatched by the Instituto Nacional de Investigación y Fomento Mineros del Perú and the U. S. Geological Survey to study the seismic effects and damage in the Cusco area. From May 28 to June 4 the group made the reconnaissance studies on which this report is based.

Ing. Carlos Jiménez, chief of the Departmental Office of the Dirección de Caminos, Ministerio de Fomento del Perú, supplied the writers with cars for reconnaissance trips in the Cusco area; he and Ing. Humberto Guerra, Sub-Director de Arquitectura, gave much information that greatly aided the field study. Ing. Luís Dorich, Director of the Oficina Nacional de Plancamiento y Urbanismo del Perú,

* Manuscript received for publication January 2, 1952.
[1] Cuzco, in most English-language reference works.

[97]

Ericksen et al. (1954)



REPUBLICA DEL PERU

SECTOR ENERGIA Y MINAS

INSTITUTO DE GEOLOGIA Y MINERIA

BOLETIN No. 3
Serie C. Geodinámica e Ingeniería Geológica

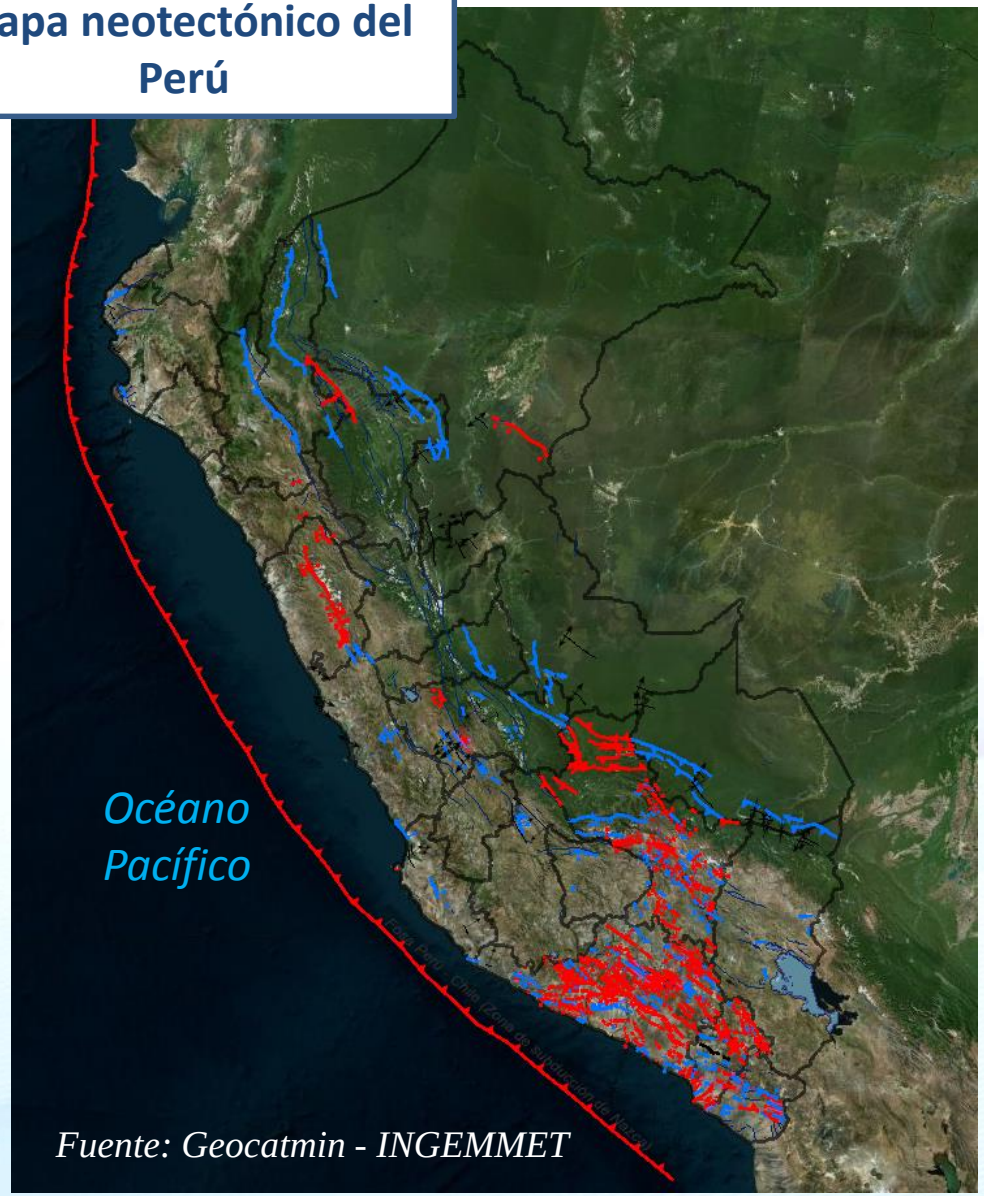
HISTORIA DE LOS SISMOS MAS NOTABLES OCURRIDOS EN EL PERU
(1513 – 1974)

Por:
Enrique Silgado Ferro

Enero 1978

Editado por el Instituto de Geología y Minería
LIMA – PERU

Silgado (1978)

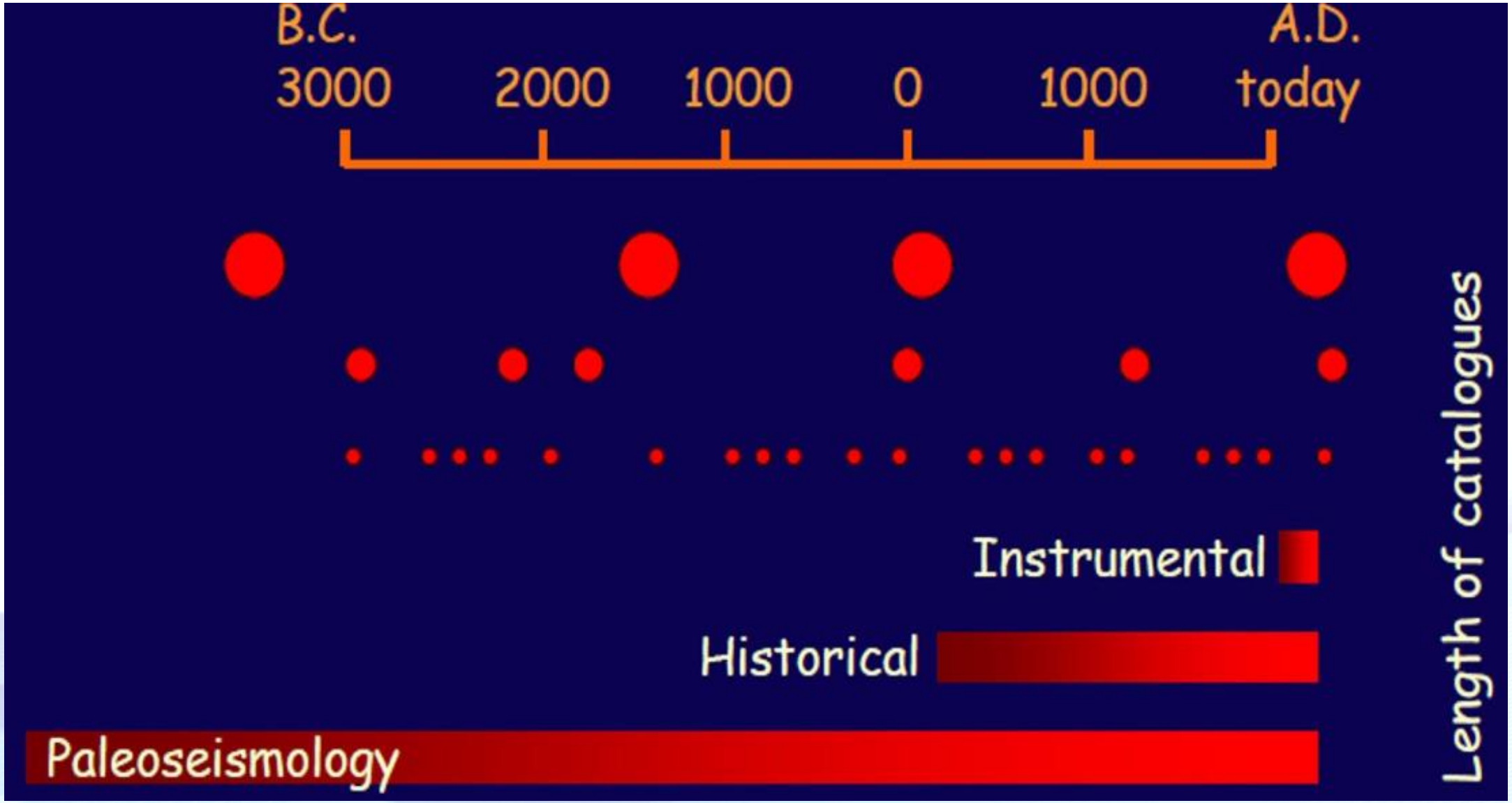


Fuente: Geocatmin - INGEMMET

❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

PT/INGEMMET: N°

EL PERÚ PRIMERO

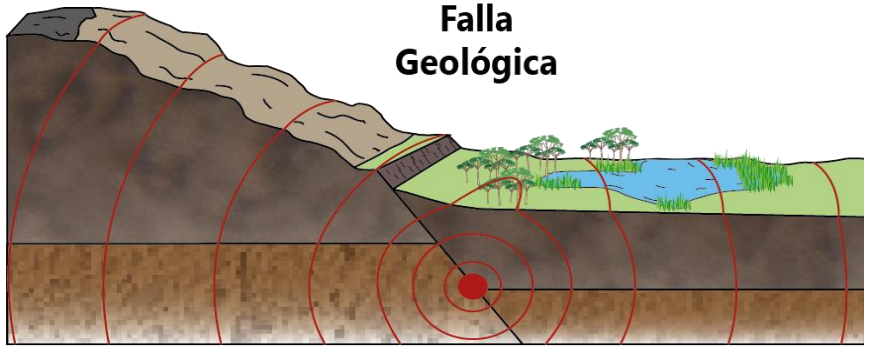


❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

EL PERÚ PRIMERO

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

Cuadro mandado a pintar por: Alonso Monroy y Cortés



Fuente sismogénica??

Silgado (1978)

❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

PT/INGEMMET: N°

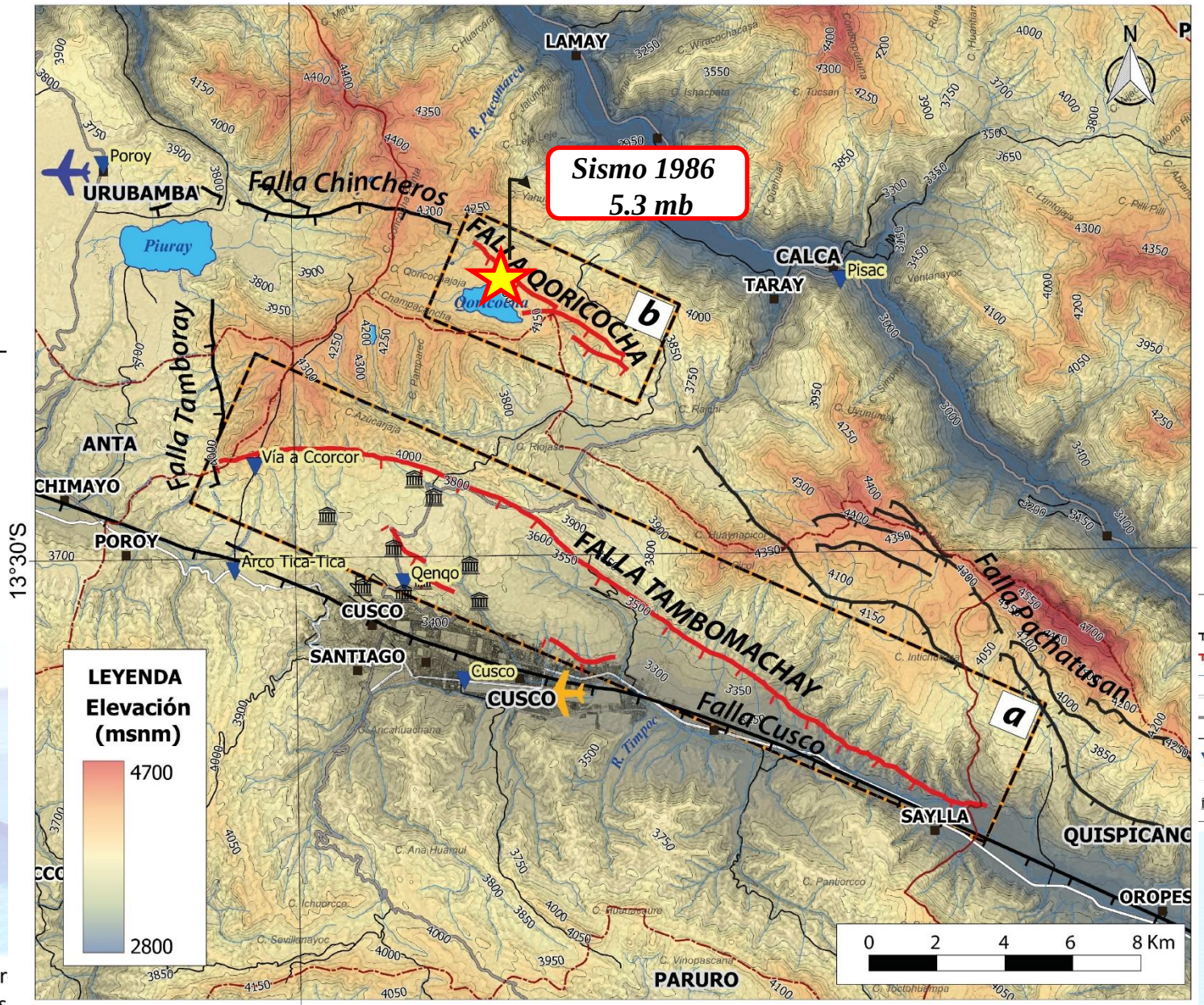
EL PERÚ PRIMERO

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

Ubicación

*a

Latitud (°)	Longitud (°)
13°26′44″S	72°0′36″O
13°29′5″S	72°1′42″O
13°34′39″S	71°48′48″O
13°32′27″S	71°47′47″O



SIMBOLOGÍA

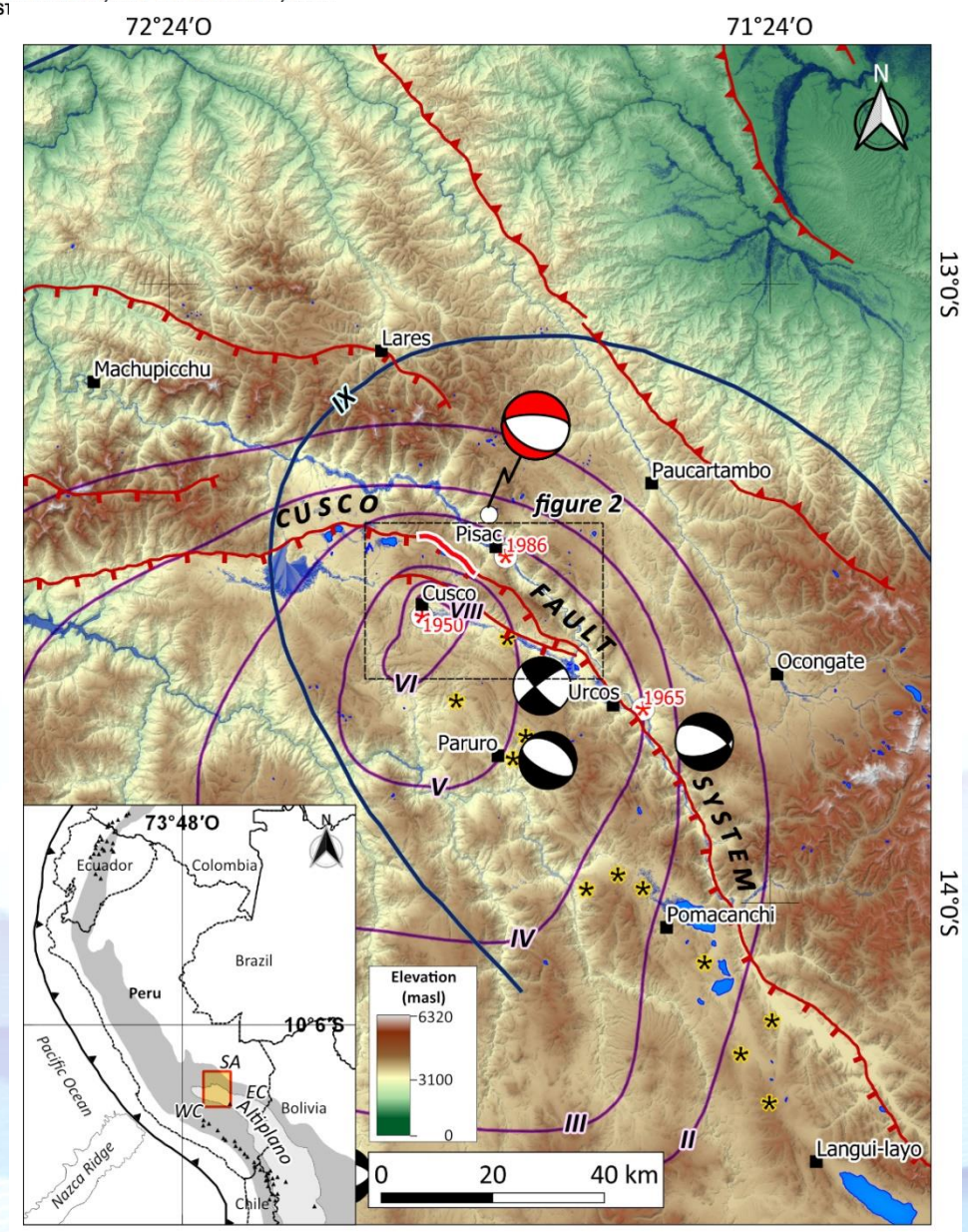
- Fallas geológicas activas
- Fallas geológicas en estudio
- Ríos
- Vía nacional
- Vía departamental
- Vía vecinal
- Accesos
- Catastro ciudad del Cusco
- Centros arqueológicos

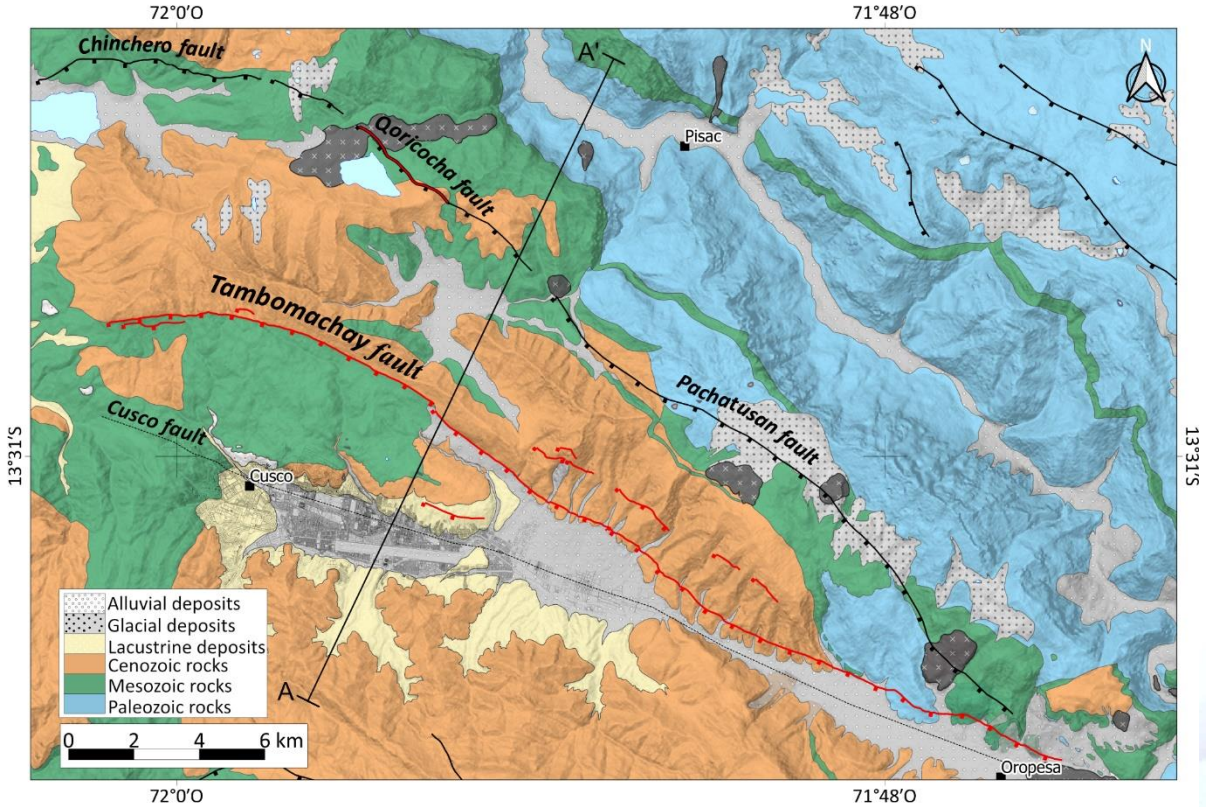
Aeropuertos

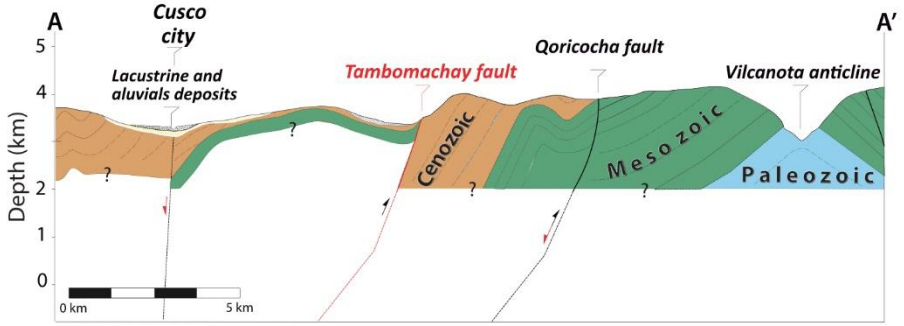
- Aeropuerto en planificación
- Aeropuerto Internacional
- Poblados importantes
- Límite provincial
- Zona de estudio
- Lagos

❖ La información contenida en esta pr
debiendo considerarse los derechos

EL PERÚ PRIMERO





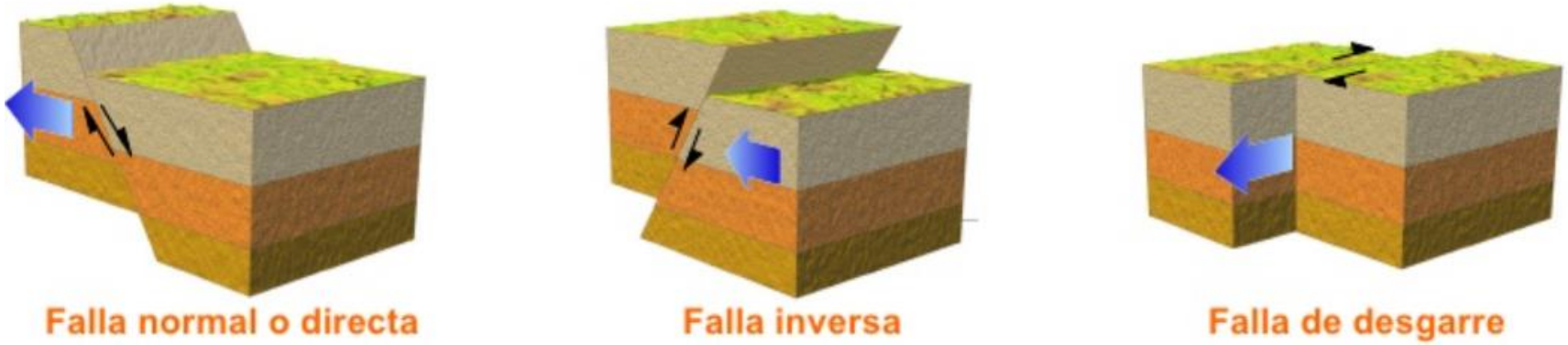


❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

PT/INGEMMET: N°

ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO

1) Conocer la geometría y cinemática de la falla



2) Identificar zonas con deformación cuaternaria

3) Identificar zonas potenciales para el estudio paleosismológico

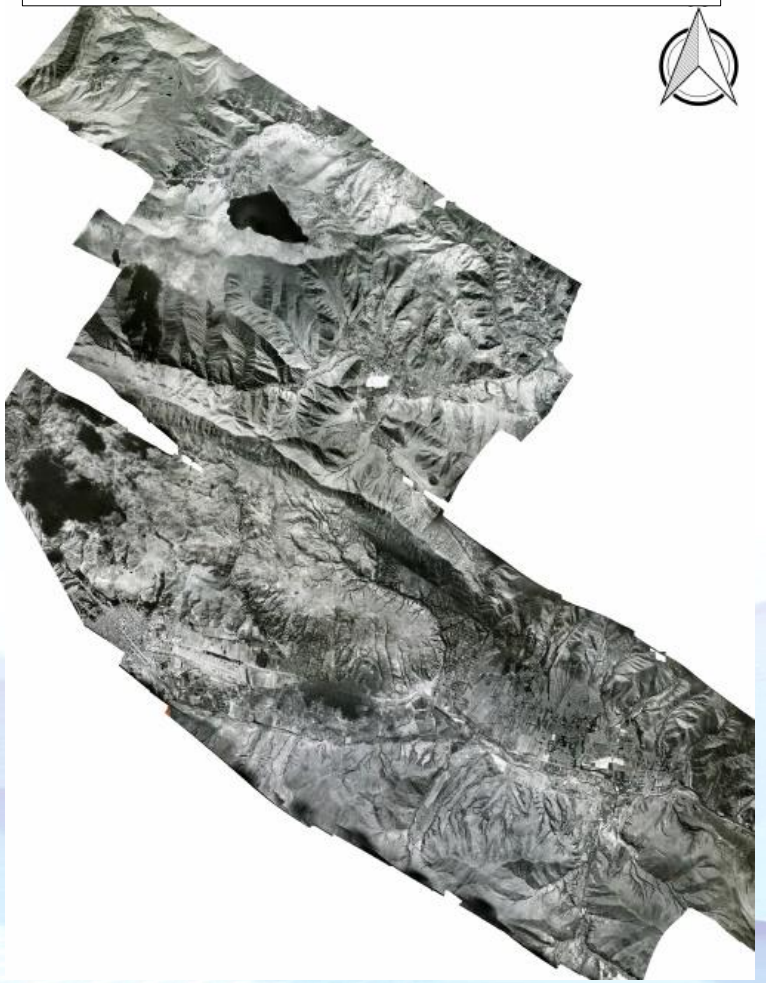
❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

EL PERÚ PRIMERO

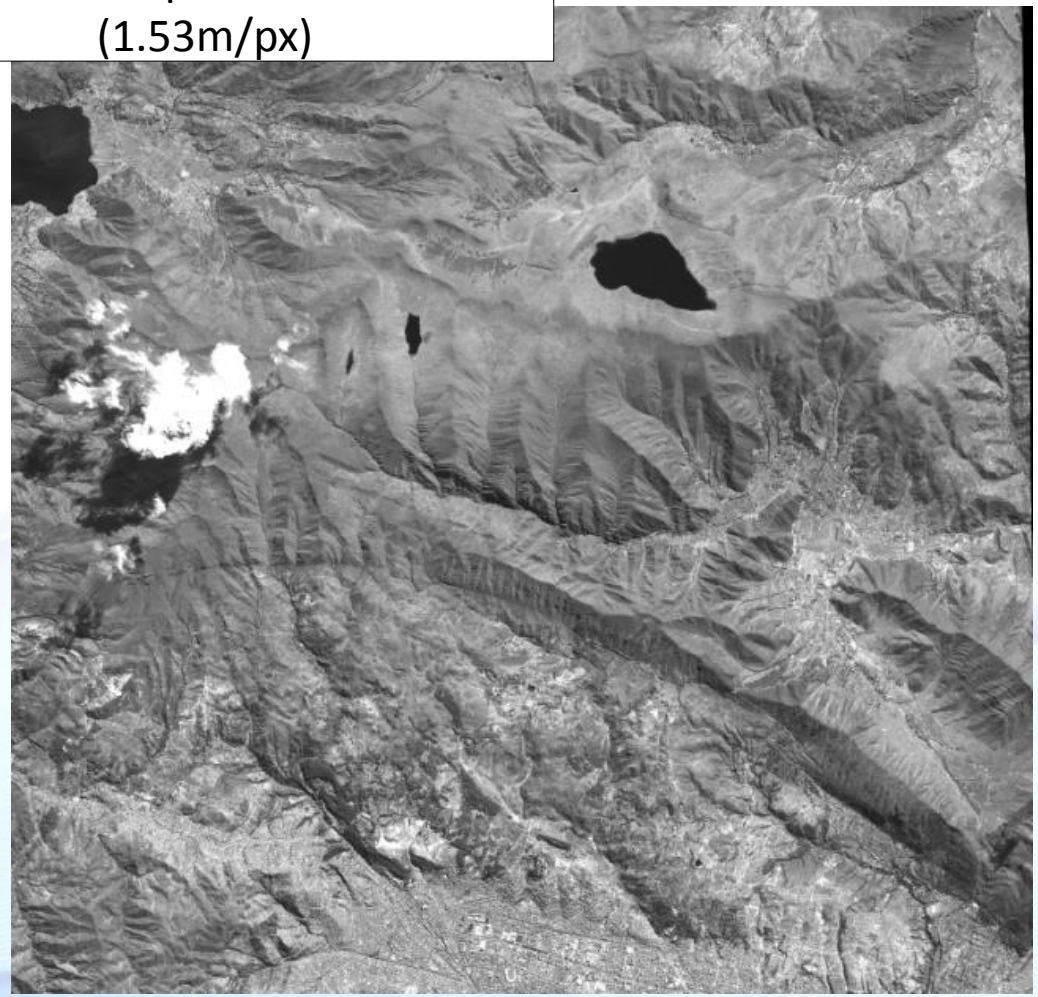
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

Data topográfica de alta resolución

Ortomosaico 1956 (2.5 m/px)



Ortomosaico pléiades del 2019 (1.53m/px)

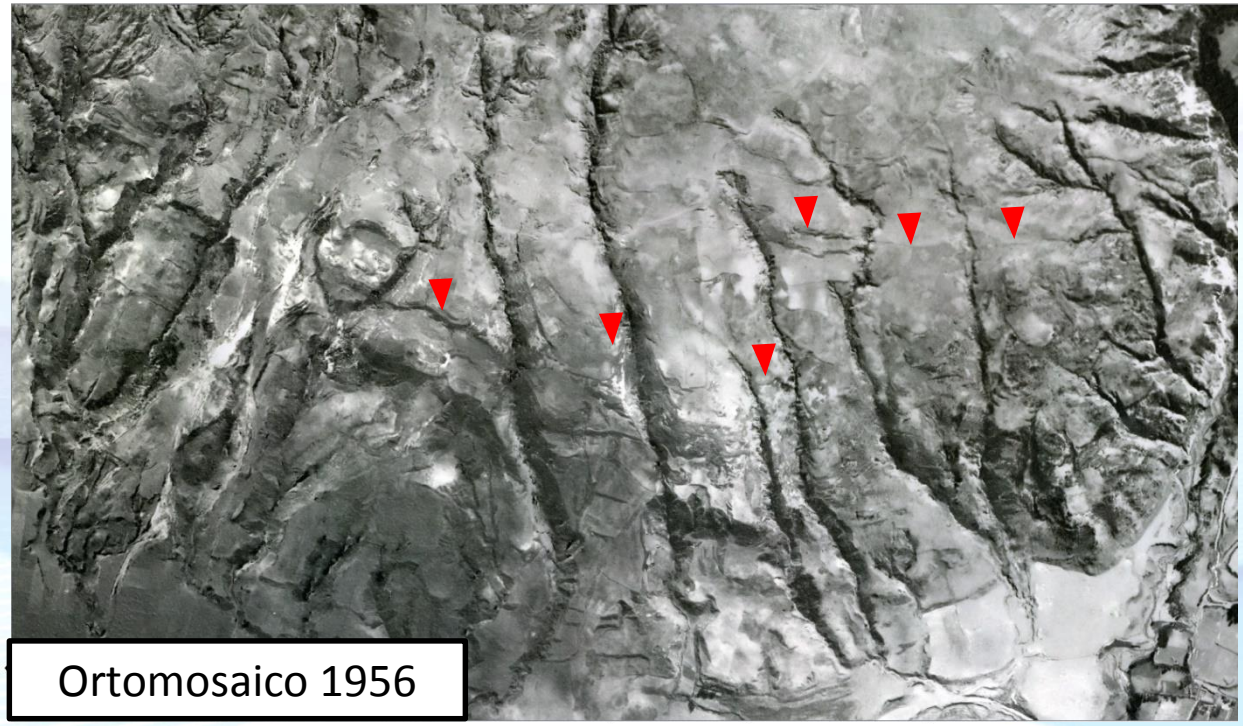


❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

PT/INGEMMET: N°

EL PERÚ PRIMERO

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO



Ortomosaico 1956

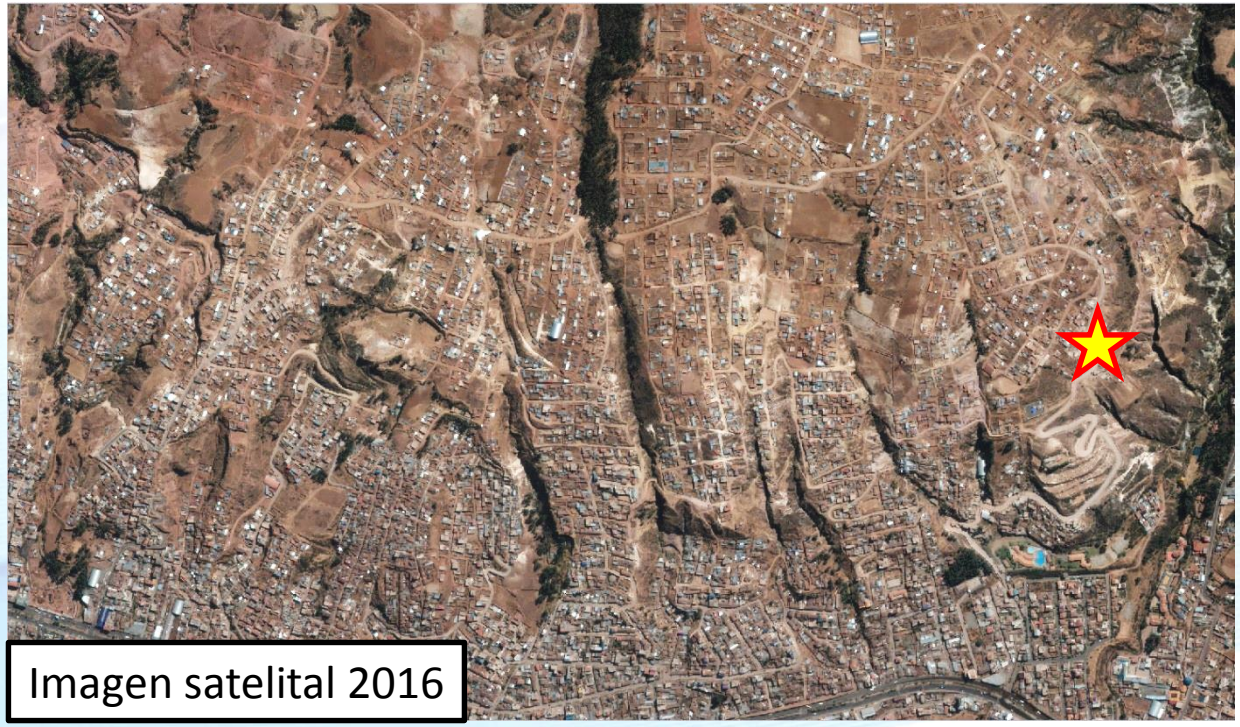


Imagen satelital 2016

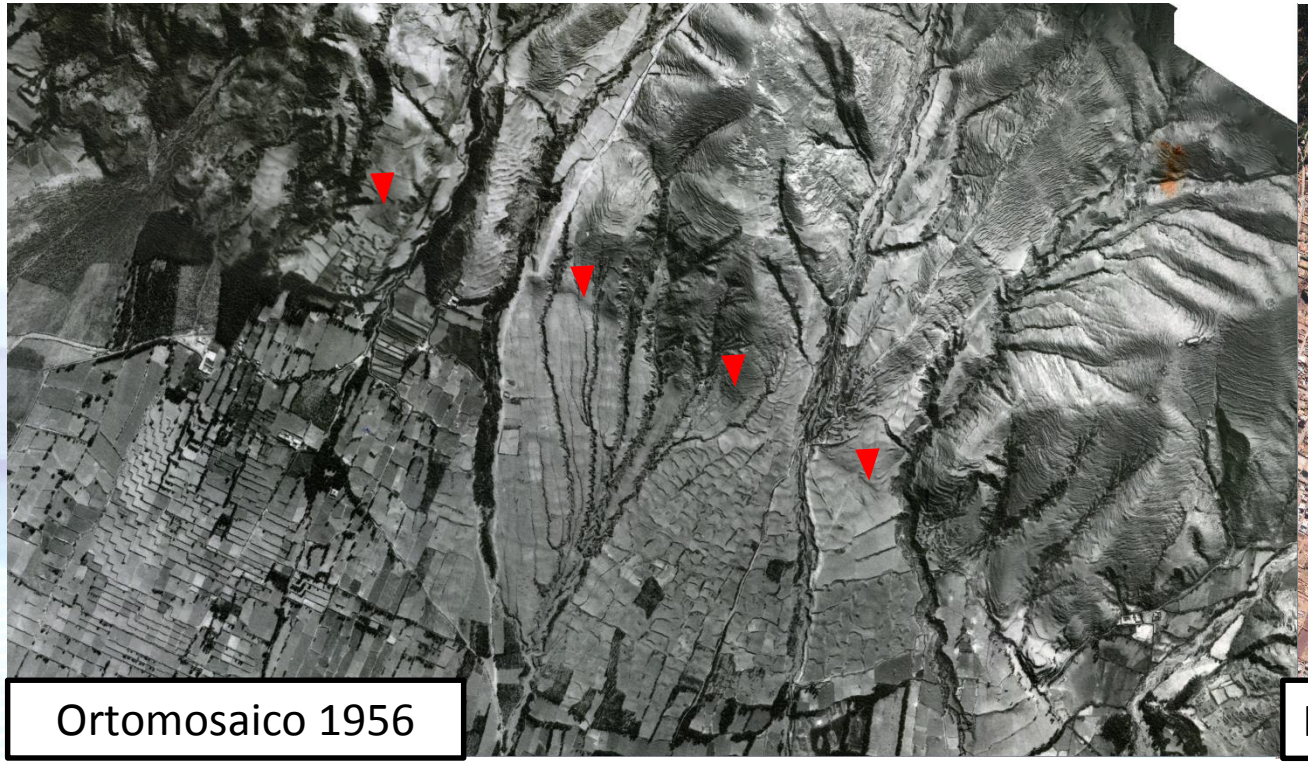
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

PT/INGEMMET: N°

EL PERÚ PRIMERO

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO



Ortomosaico 1956

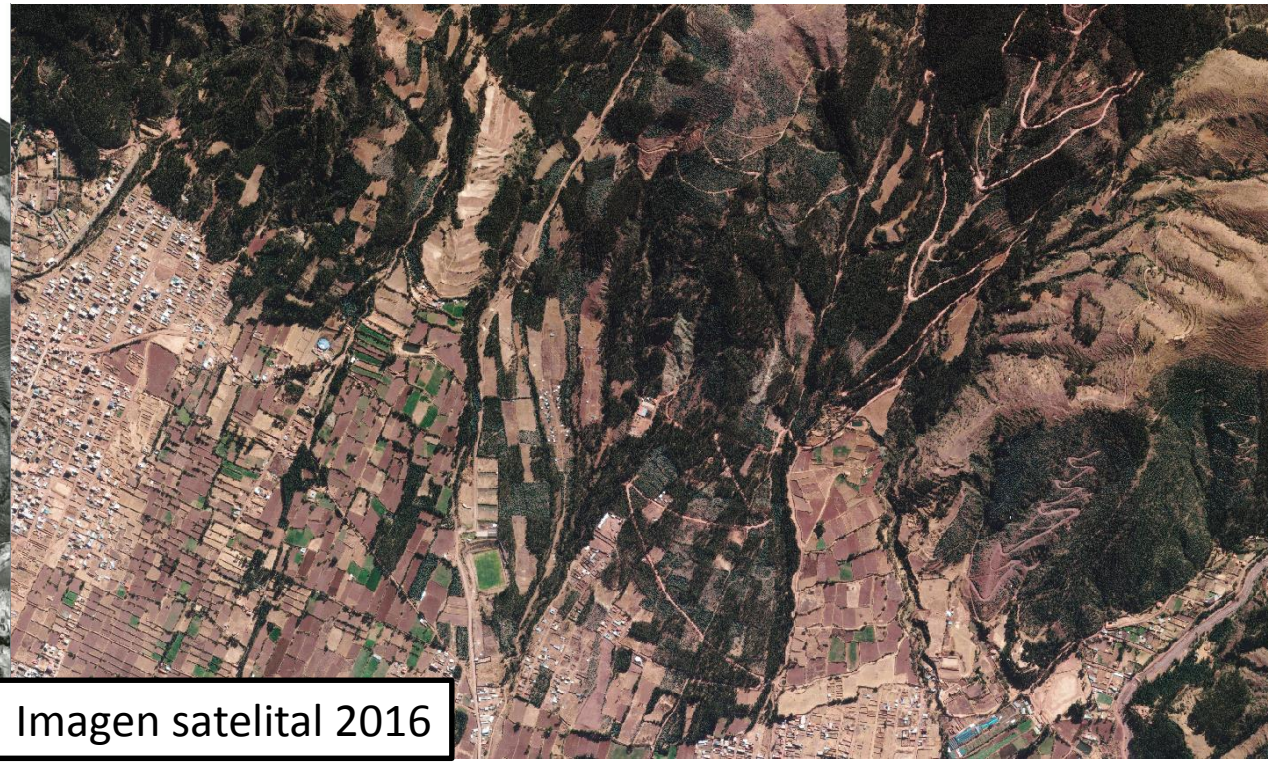
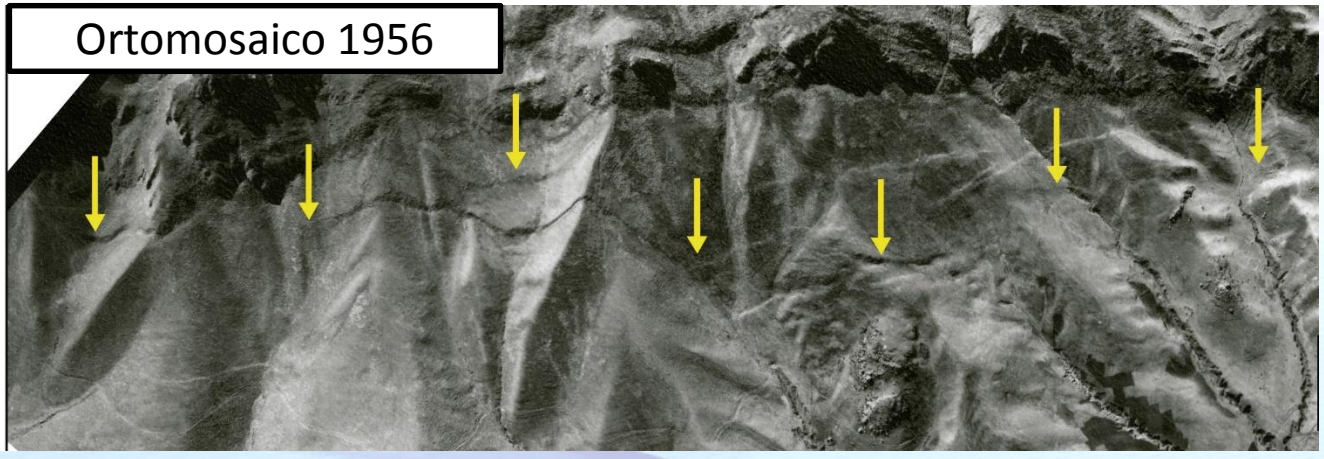
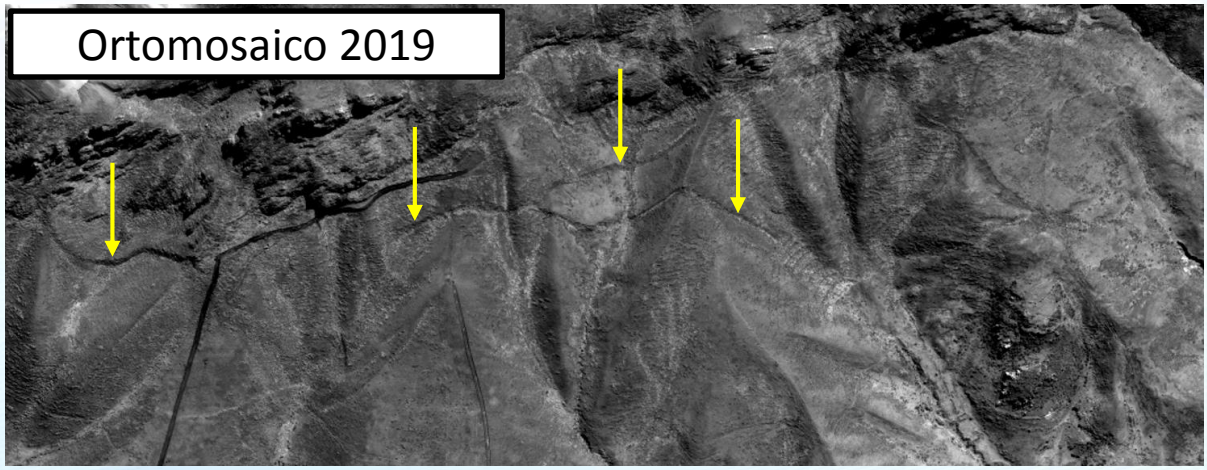


Imagen satelital 2016

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

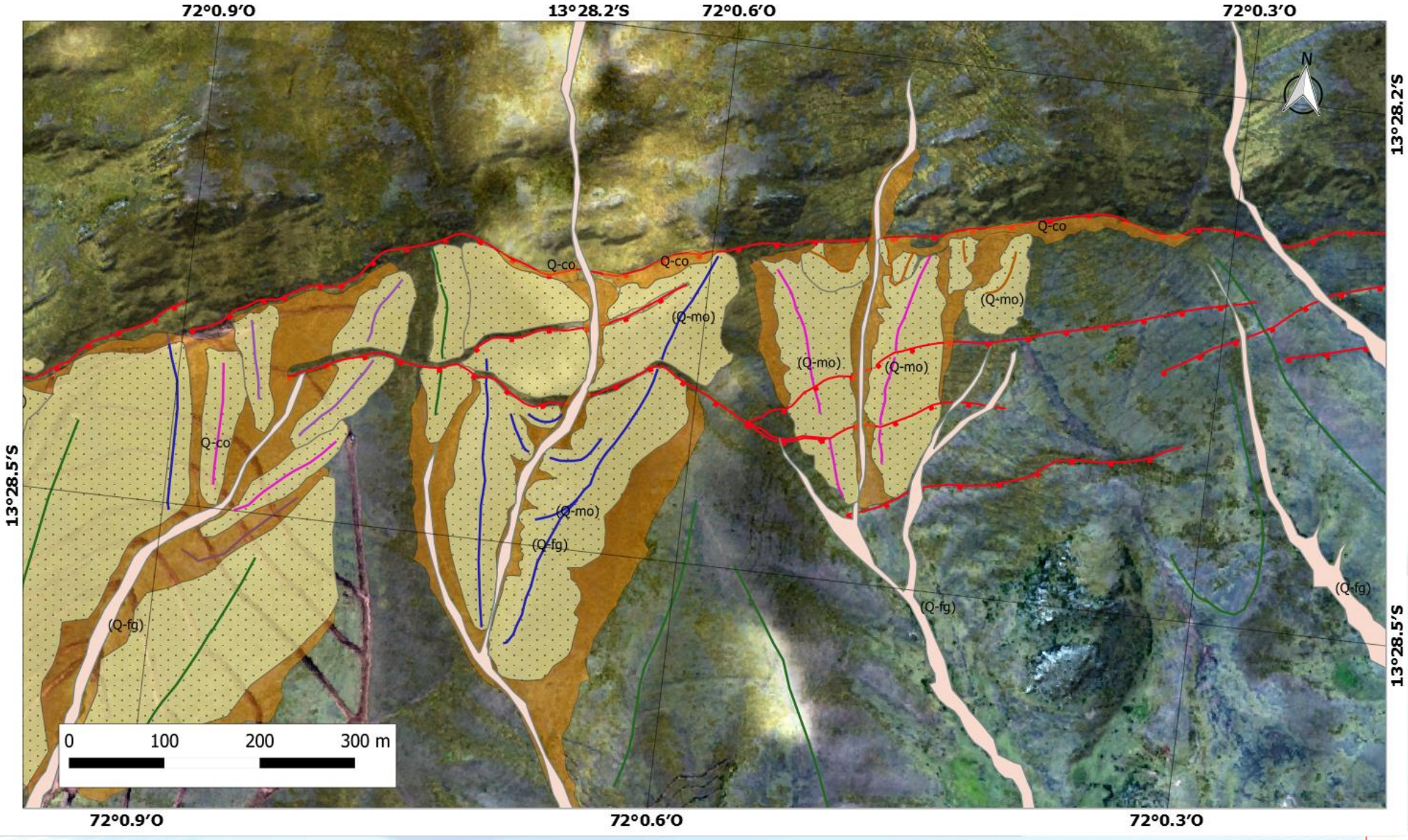




❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

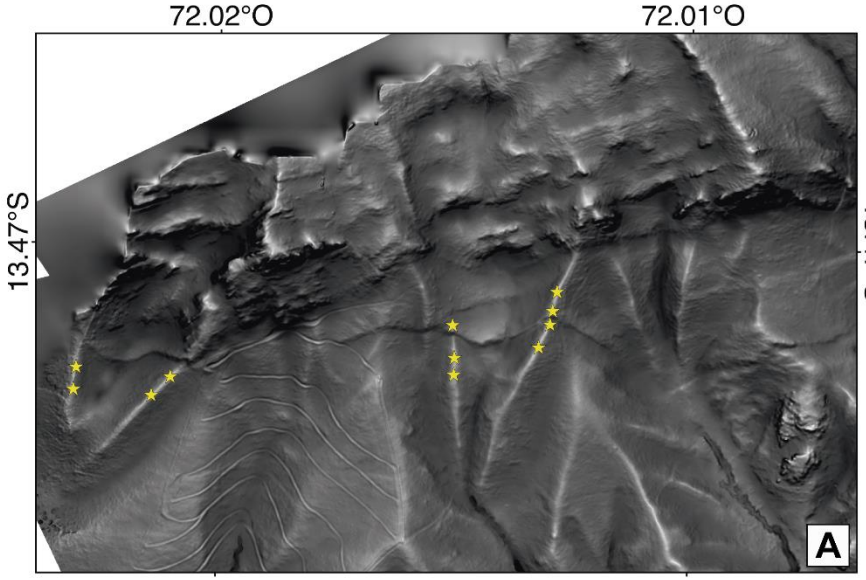
PT/INGEMMET: N°

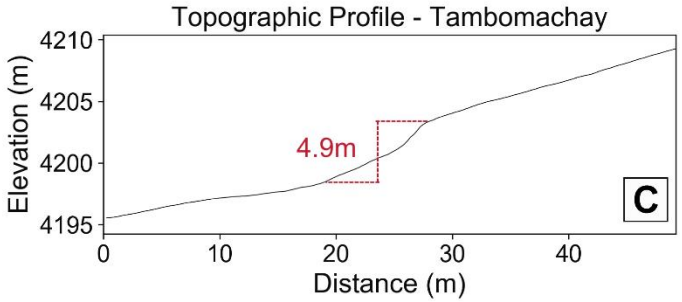
EL PERÚ PRIMERO

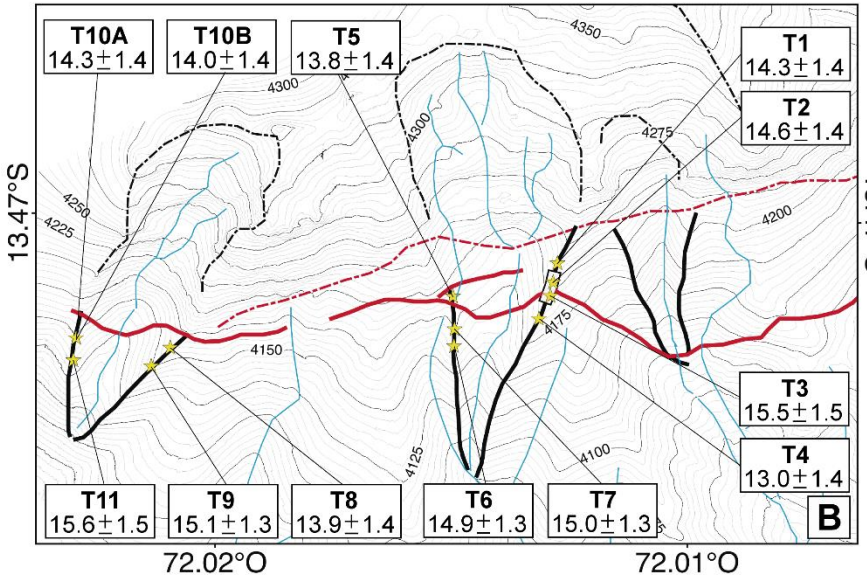


❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

PT/INGEMMET: N°







❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

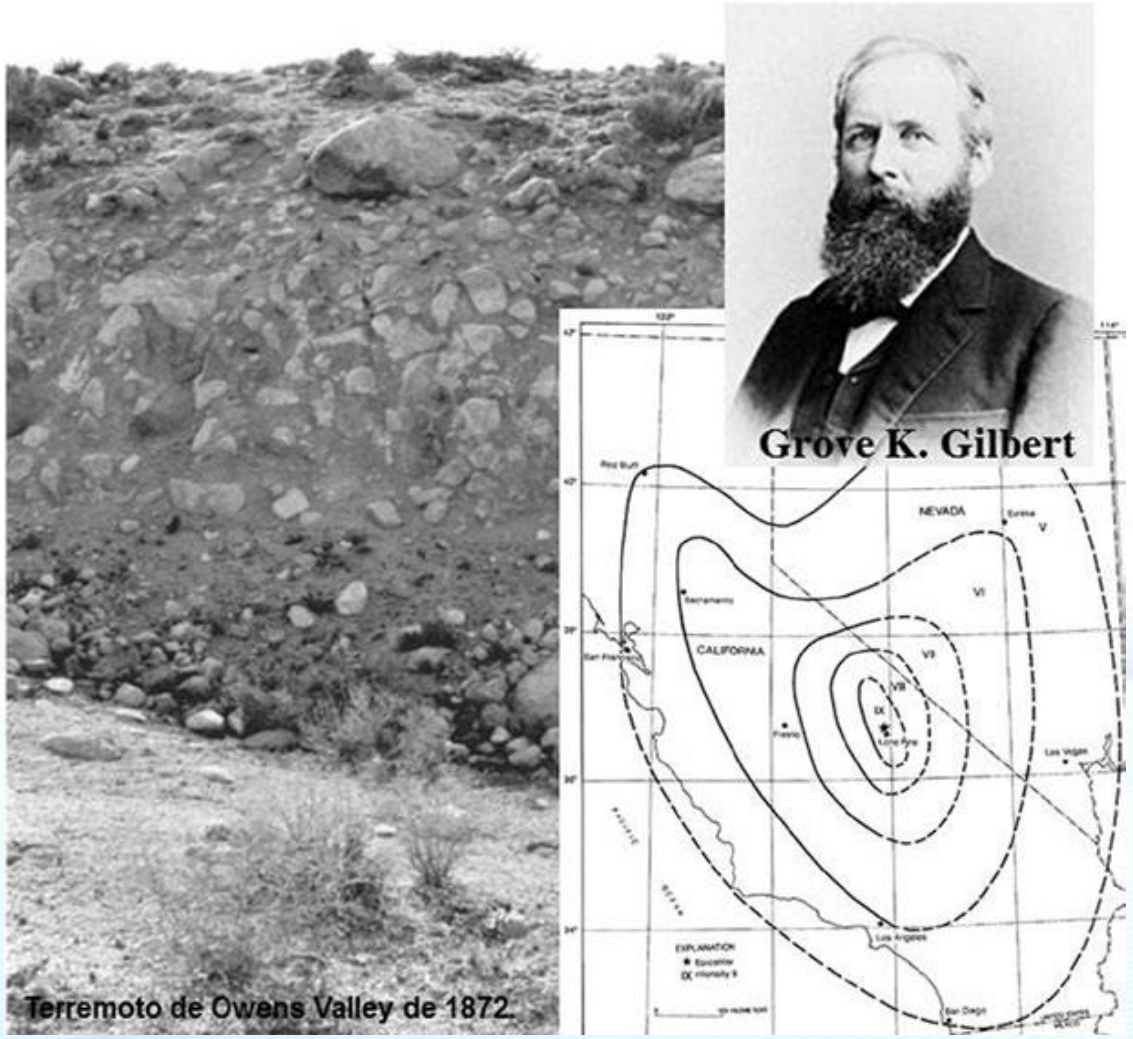
PT/INGEMMET: N°

debido a estas observaciones realizamos el levantamiento de una columna estratigráfica.

¿Qué es la paleosismología?

Herramienta geológica que estudia los terremotos ocurridos en el pasado.

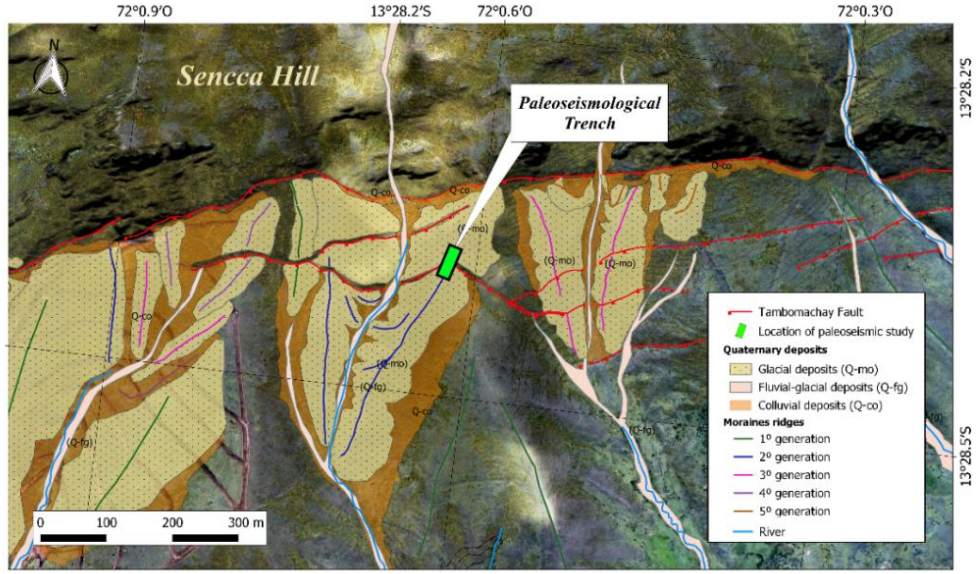
(Yeats, 1996)



❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

EL PERÚ PRIMERO

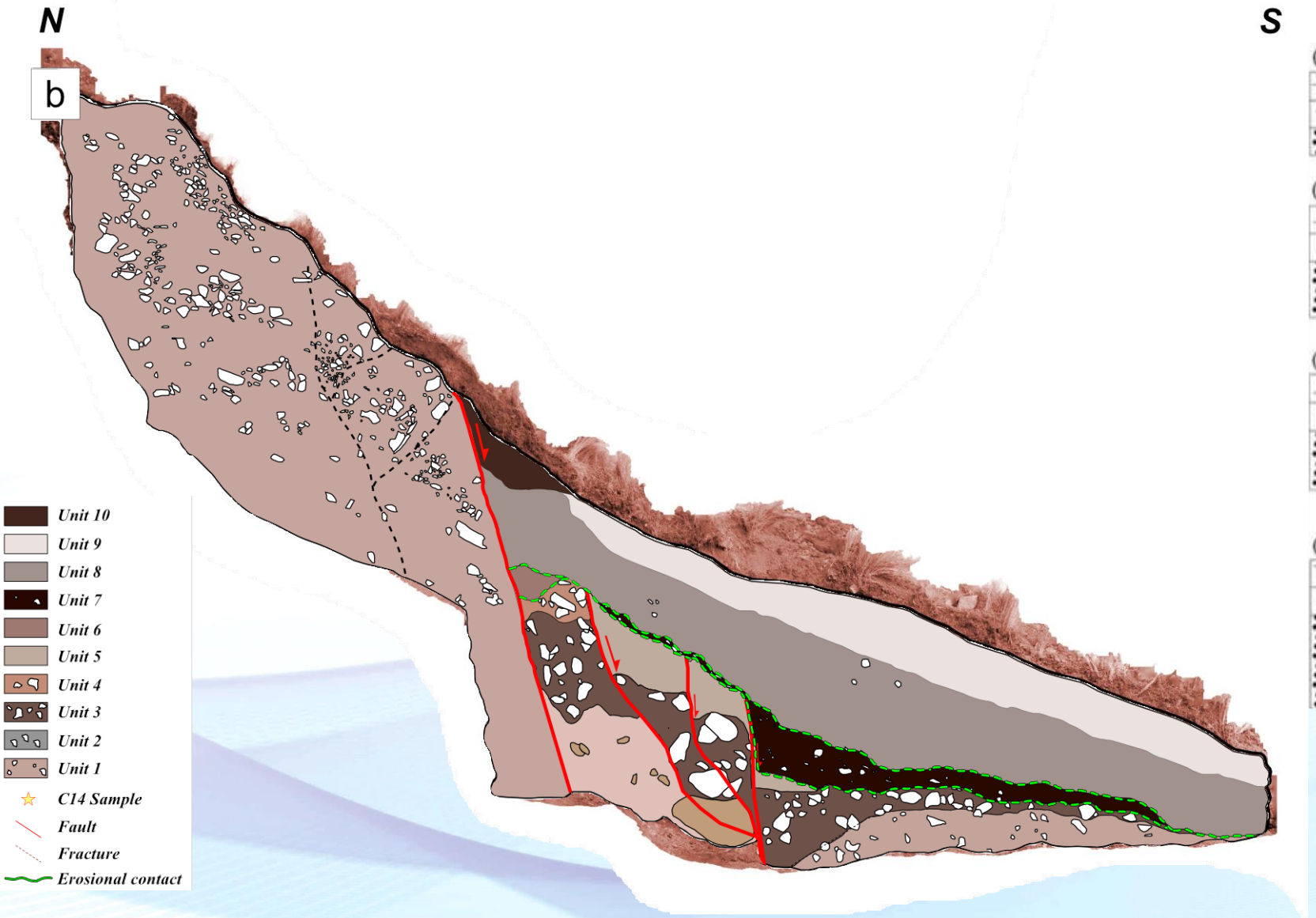
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

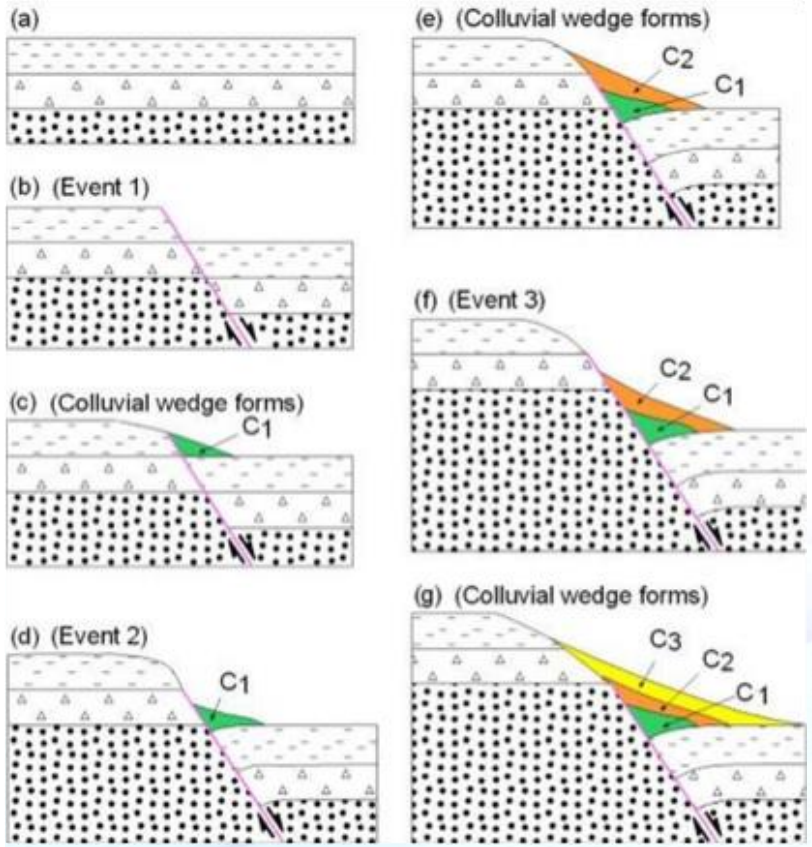


❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

PT/INGEMMET: N°

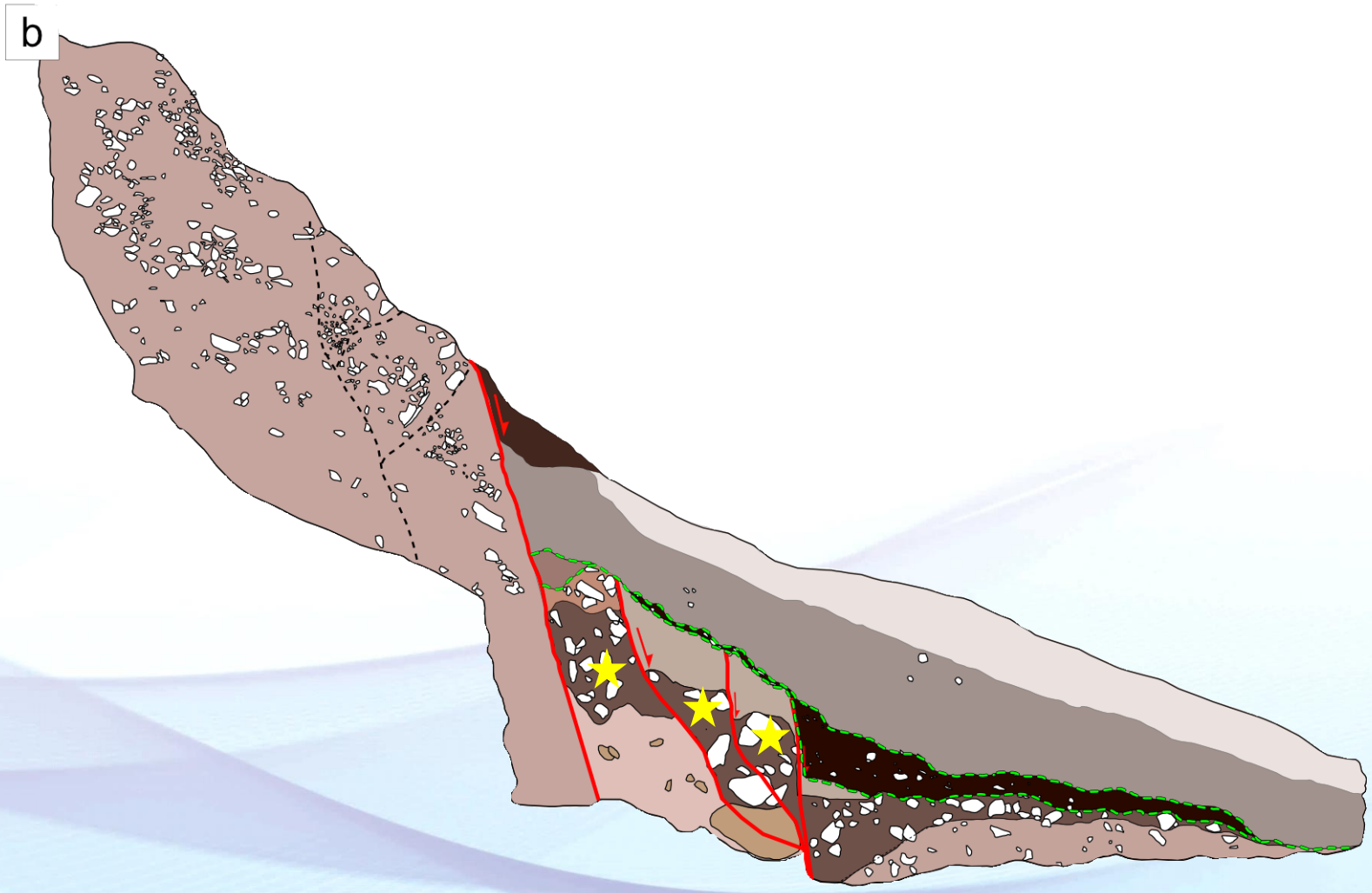
EL PERÚ PRIMERO

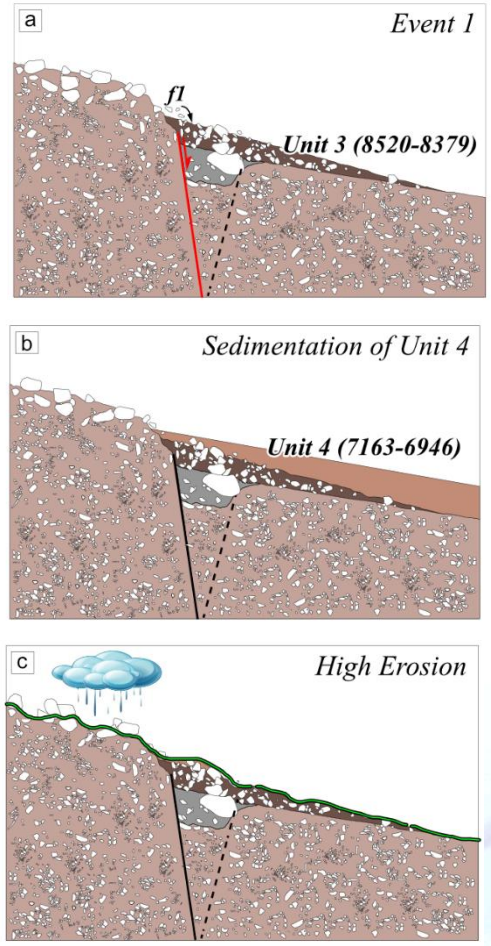




❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

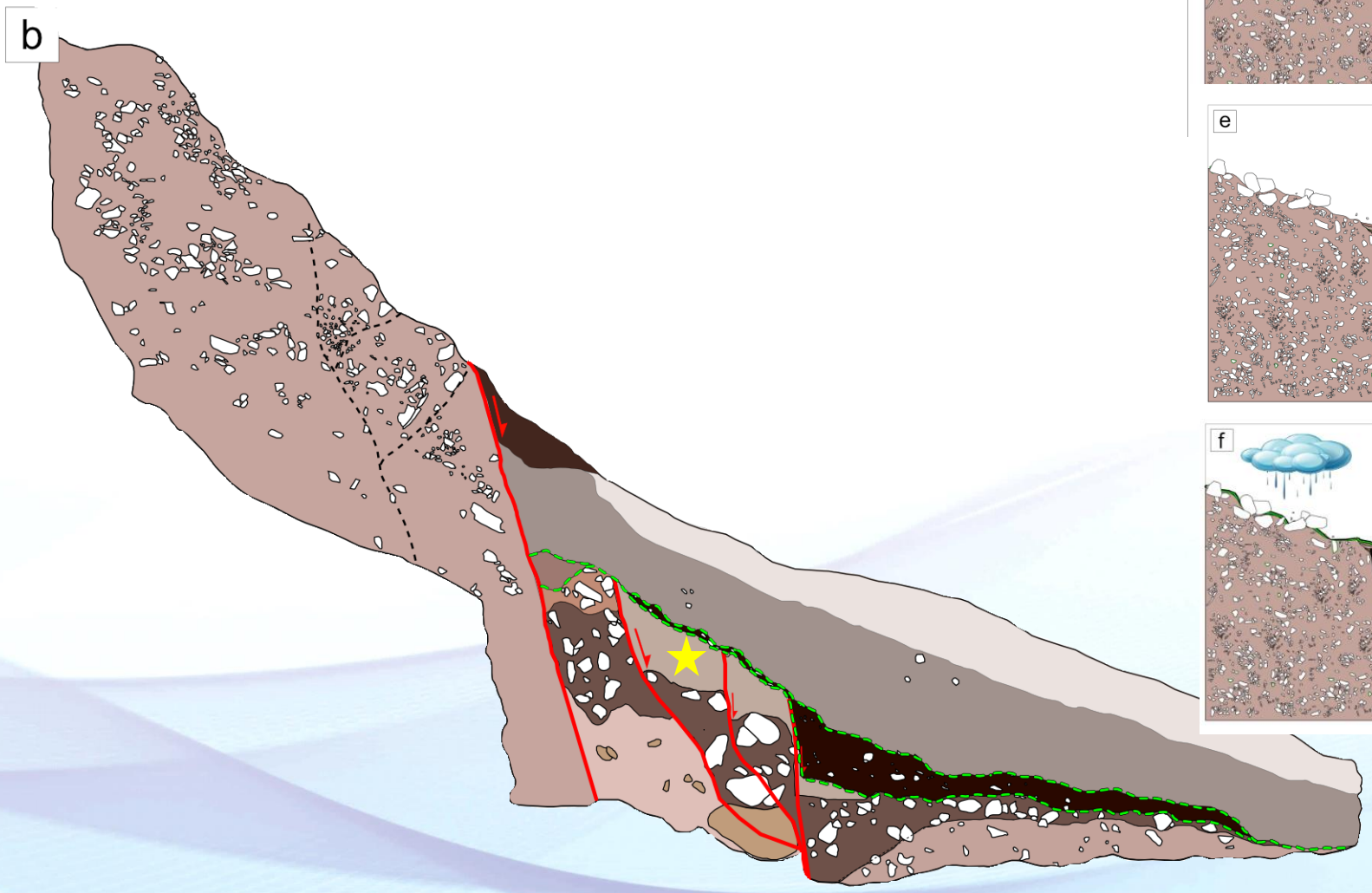
PT/INGEMMET: N°

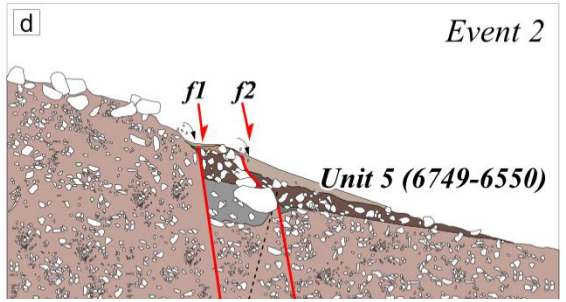


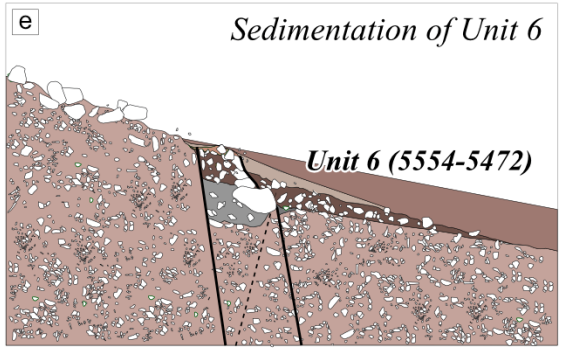


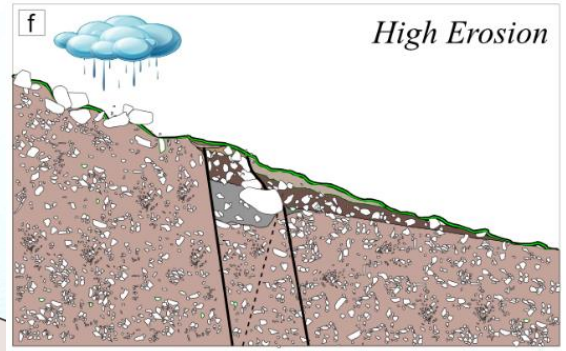
❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

EL PERÚ PRIMERO



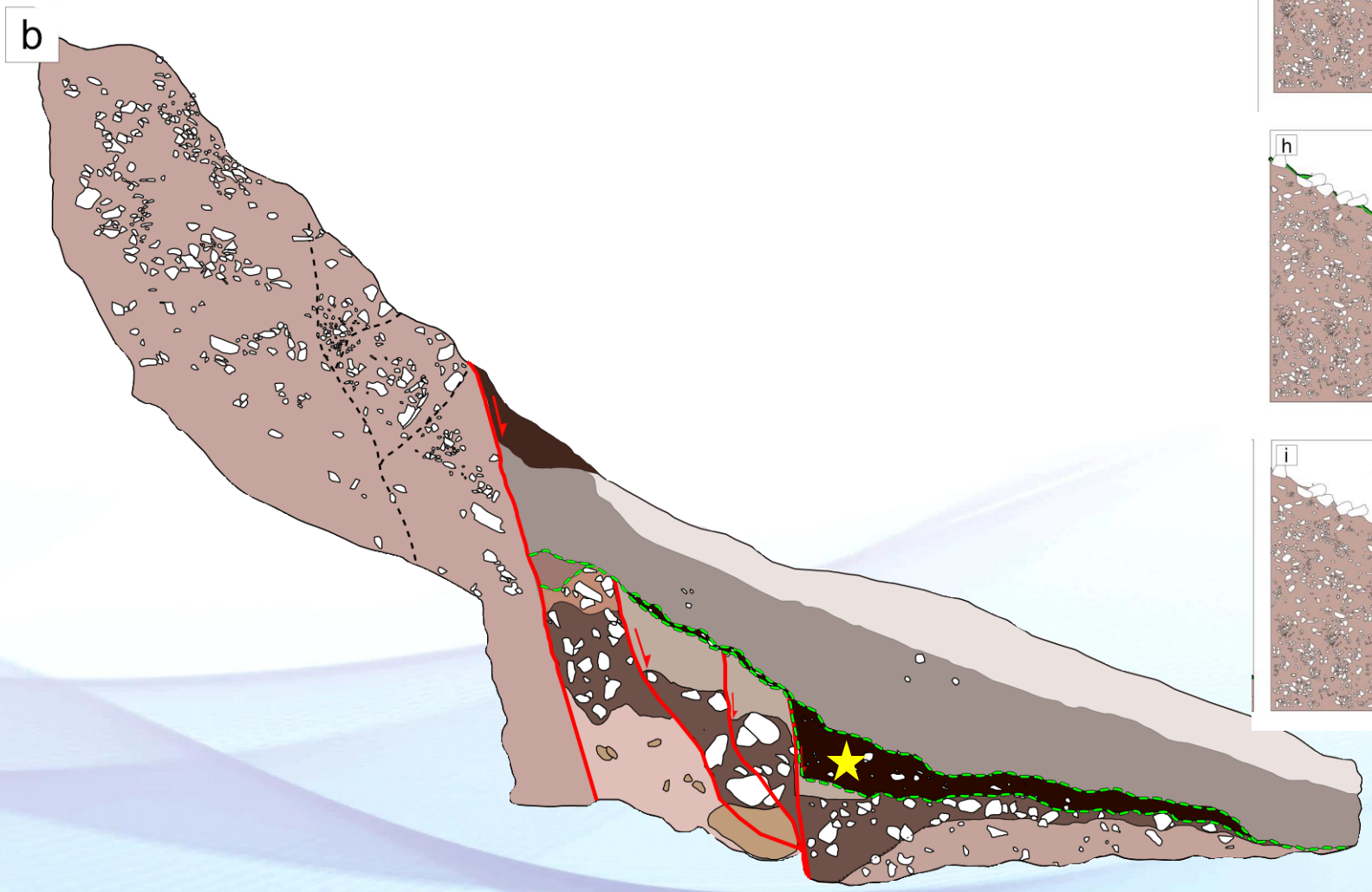


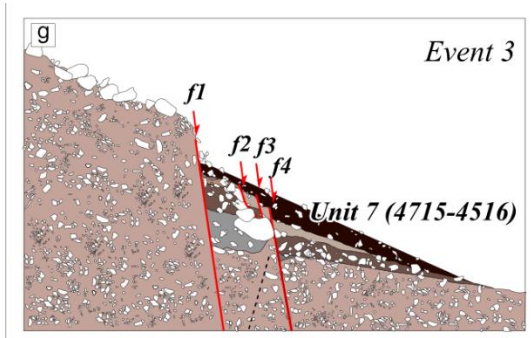


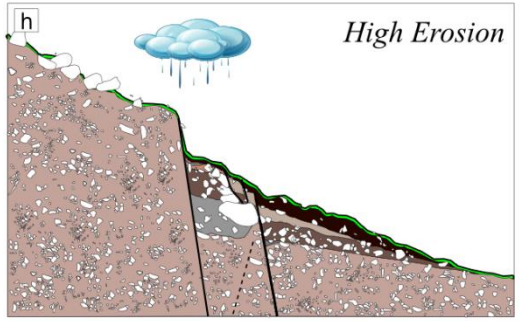


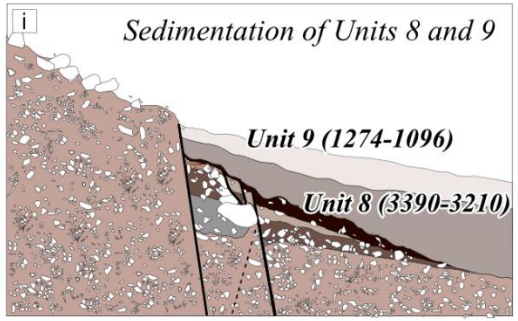
❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

PT/INGEMMET: N°



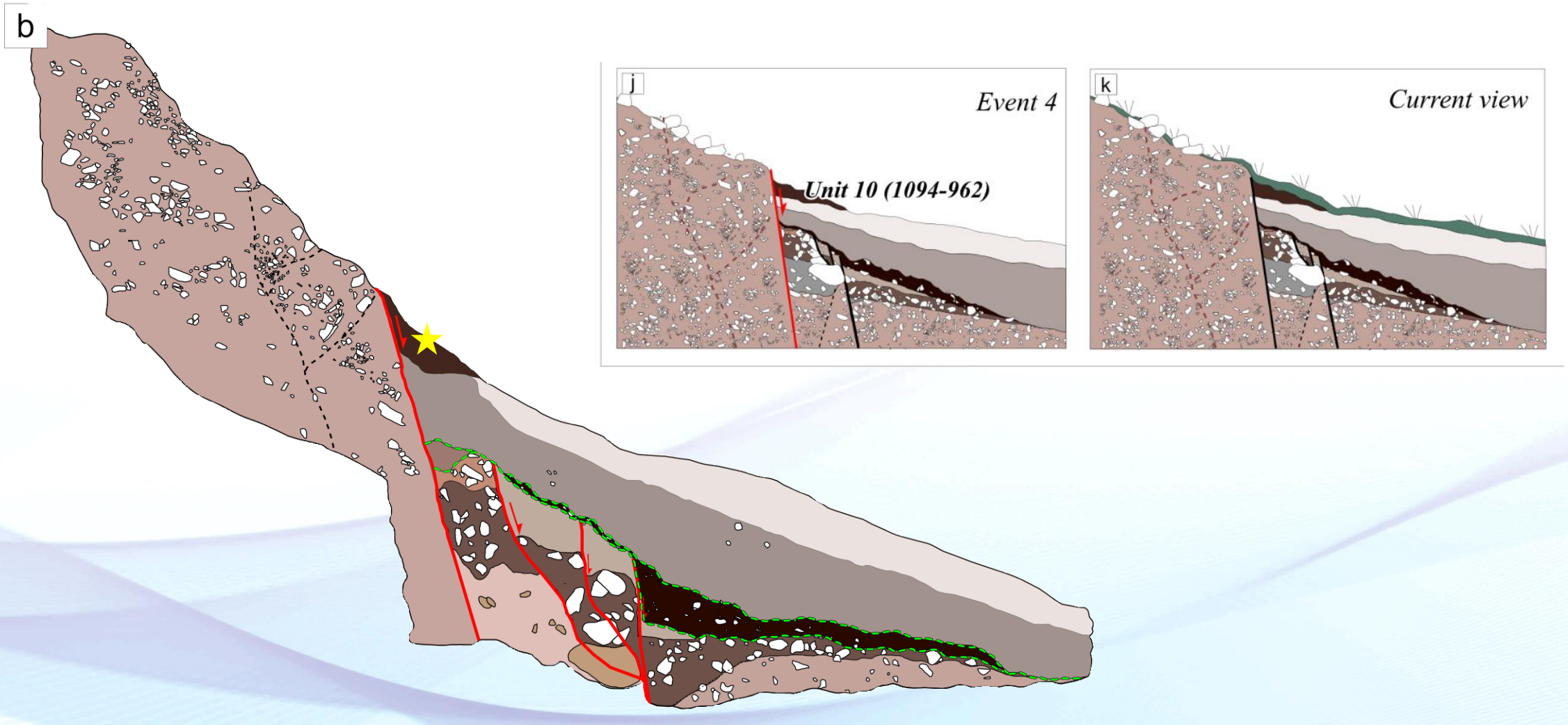






❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

PT/INGEMMET: N°



❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

EL PERÚ PRIMERO

Cálculo de Paleomagnitudes

Equation*	Slip Type	Number of Events	Coefficients and Standard Errors a (sa)	b (sb)	Standard Deviation s	Correlation Coefficient r	Magnitude Range	Displacement Range (km)
$M = a + b * \log(MD)$	SS	43	6.81(0.05)	0.78(0.06)	0.29	0.90	5.6 to 8.1	0.01 to 14.6
	{R‡	21	6.52(0.11)	0.44(0.26)	0.52	0.36	5.4 to 7.4	0.11 to 6.5}
	N	16	6.61(0.09)	0.71(0.15)	0.34	0.80	5.2 to 7.3	0.06 to 6.1
	All	80	6.69(0.04)	0.74(0.07)	0.40	0.78	5.2 to 8.1	0.01 to 14.6
$\log(MD) = a + b * M$	SS	43	−7.03(0.55)	1.03(0.08)	0.34	0.90	5.6 to 8.1	0.01 to 14.6
	{R	21	−1.84(1.14)	0.29(0.17)	0.42	0.36	5.4 to 7.4	0.11 to 6.5}
	N	16	−5.90(1.18)	0.89(0.18)	0.38	0.80	5.2 to 7.3	0.06 to 6.1
	All	80	−5.46(0.51)	0.82(0.08)	0.42	0.78	5.2 to 8.1	0.01 to 14.6
$M = a + b * \log(AD)$	SS	29	7.04(0.05)	0.89(0.09)	0.28	0.89	5.6 to 8.1	0.05 to 8.0
	{R	15	6.64(0.16)	0.13(0.36)	0.50	0.10	5.8 to 7.4	0.06 to 1.5}
	N	12	6.78(0.12)	0.65(0.25)	0.33	0.64	6.0 to 7.3	0.08 to 2.1
	All	56	6.93(0.05)	0.82(0.10)	0.39	0.75	5.6 to 8.1	0.05 to 8.0
$\log(AD) = a + b * M$	SS	29	−6.32(0.61)	0.90(0.09)	0.28	0.89	5.6 to 8.1	0.05 to 8.0
	{R	15	−0.74(1.40)	0.08(0.21)	0.38	0.10	5.8 to 7.4	0.06 to 1.5}
	N	12	−4.45(1.59)	0.63(0.24)	0.33	0.64	6.0 to 7.3	0.08 to 2.1
	All	56	−4.80(0.57)	0.69(0.08)	0.36	0.75	5.6 to 8.1	0.05 to 8.0

Tomado de Wells & Coppersmith (1994)

Evento	AD (m)	Mw
1	0.430	6.542
2	0.763	6.704
3	1.314	6.857
4	0.430	6.542

❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

EL PERÚ PRIMERO

CONCLUSIONES

✓ El trabajo demuestra que el análisis de imágenes satelitales y fotografías aéreas de alta resolución nos permiten caracterizar la evidencia geomorfológica de fallas activas; tales como la geometría y cinemática de la falla, identificar zonas con deformación reciente y potenciales para estudios paleosismológicos.

✓ Con el estudio paleosismológico logramos:

- Afirmar que la falla muestra evidencias de deformación holocena.
- Identificar 4 eventos sísmicos ocurridos en los últimos 8520 años.
- Determinar los desplazamientos por evento, el que varía de entre 0.43 a 1.31 m.
- Determinar que la magnitud de los terremotos generados es mayor a los 6.7 Mw.
- Estimar un período de recurrencia de ~2000 años.
- Por primera vez calculamos tasas de desplazamiento para esta falla, la cual varía entre 0.22 a 0.36 mm/año.
- Determinar la edad del último evento, el cual aconteció en el año 900 d.C. o hace 1000 años.

✓ La integración de los resultados generados a partir del estudio geomorfológico junto a los datos obtenidos en la trinchera y la geocronología nos permiten hacer una caracterización completa de fuentes sismogénicas (fallas activas), información que posteriormente será ultilizada para la evaluación del peligro sísmico en una región.

❖ La información contenida en esta presentación es de acceso libre y abierto (Ley N°30035), debiendo considerarse los derechos de autor (Decreto Legislativo N° 822).

EL PERÚ PRIMERO