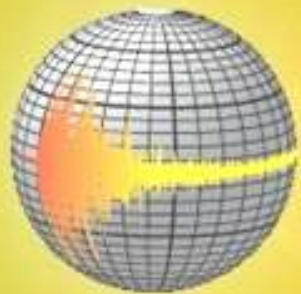
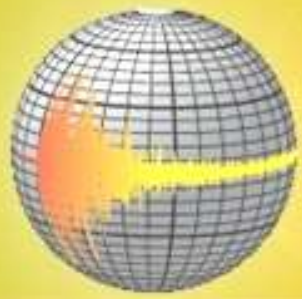


Tectónica activa y Paleosismología

Conceptos introductorios

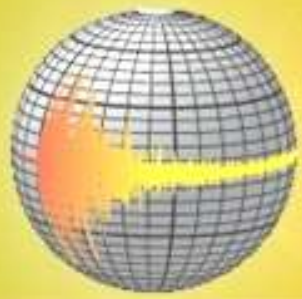


Paleosismología



Paleosismología

- Es el estudio de sismos prehistóricos, particularmente si localización, fecha y tamaño.
- Difiere de los estudios geológicos generales de los movimientos corticales lentos a rápidos durante el Cenozoico tardío (Neotectónica), en su enfoque en la deformación casi instantánea de las formas del terreno y sedimentos durante los terremotos.



Paleosismología

- Este enfoque permite el estudio de la distribución de paleosismos individuales en el espacio y en periodos de miles a decenas de miles de años.
- Estas historias paleosísmicas permiten entender muchos aspectos de neotectónica como los patrones regionales de sismicidad y el comportamiento sismogénico de fallas específicas

Paleosismología

- Complementa los registros históricos e instrumentales de sismicidad mediante la caracterización y datación de grandes terremotos prehistóricos

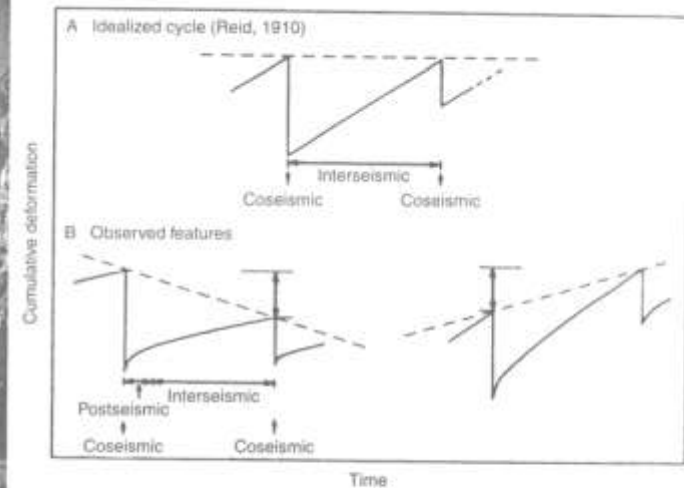
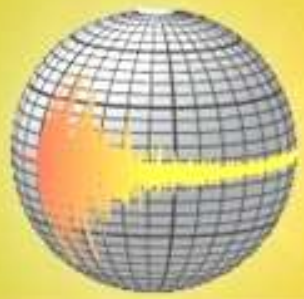
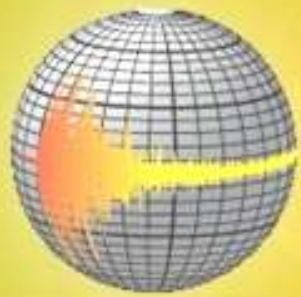


Figure 1.1: (A) The Teton Range, Wyoming (background) has been uplifted 2000 m above the floor of Jackson Hole (foreground) by hundreds of Neogene surface-rupturing earthquakes on the Teton normal fault; (B) Simplified forms of the earthquake deformation cycle. Cumulative deformation (e.g., strain, tilt, displacement) is plotted as a function of time. Step offsets correspond to the occurrence times of major earthquakes. Dashed lines show level at which failure occurs; the level varies with the effects of long-term inelastic deformation. [Part B from Thatcher (1986b). Reprinted with permission from Active Tectonics. Copyright 1986 by the National Academy of Sciences. Courtesy of the National Academy Press, Washington, D.C.]



Paleosismología

- El registro paleosísmico corresponde con sismos de gran magnitud ($M_w > 6,5$) ya que más pequeños o no dejan evidencia o bien rápidamente ésta se pierde.



Paleosismología

- Evidencias de grandes terremotos:
 - ❑ *Deformación local de la superficie del terreno cercano a lo largo de la falla: escarpes, desplazamiento de cauces o valles de ríos, entre otros.*
 - ❑ *Indicadores de levantamientos súbitos o de subsidencia de grandes regiones sobre fallas de límites de placa.*
 - ❑ *Efectos estratigráficos o geomorfológicos de sacudidas fuertes o tsunamis lejos de las zonas sismogénicas (deslizamientos, caídas de rocas, licuefacción, depósitos de tsunamis).*



Falla en el acantilado al NW de Sámara, Costa Rica. Las flechas indican el movimiento relativo.

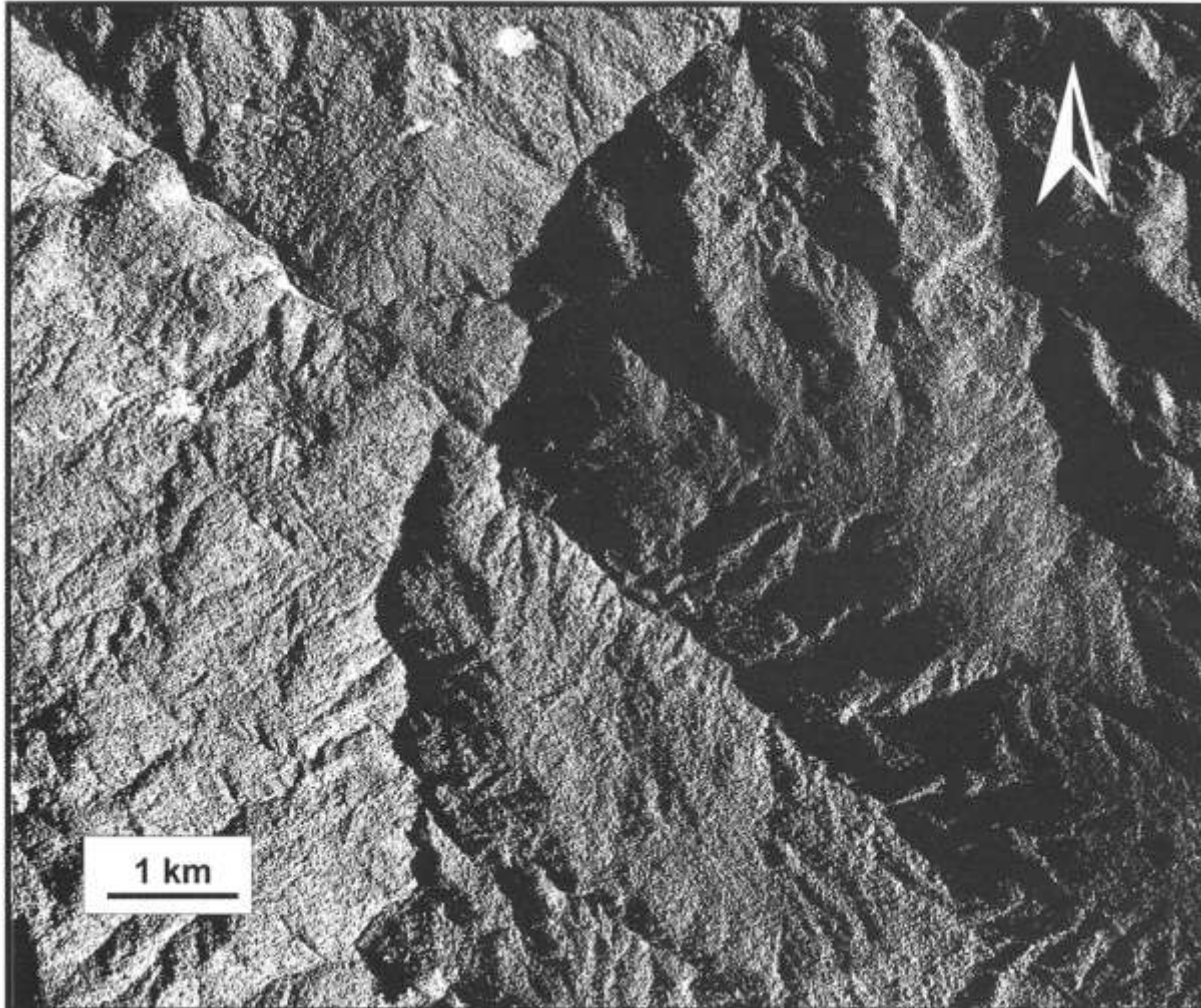
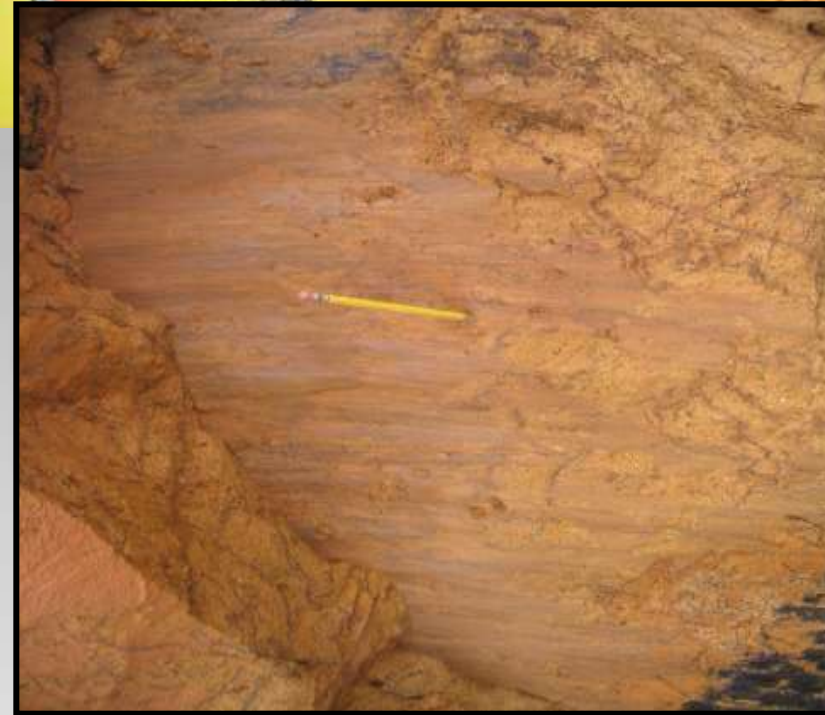


Foto aérea del 16-03-1960 del IGN. Las flechas indican el trazo de la falla transcurrente dextral Atirro en Turrialba, Costa Rica. Tomado de: Denyer et al. 2003



Ejemplos de planos de falla observados en Pérez Zeledón, Costa Rica.
Fotos: Mauricio Mora Fernández.

Efectos del terremoto de Limón: 22 de abril de 1991

Atlas tectónico de Costa Rica: Lámina 6



Plataforma expuesta en la isla Uvita por el levantamiento cosísmico producido por el terremoto.



Daño en la carretera Siquirres-Limón.
Foto: Sergio Paniagua.

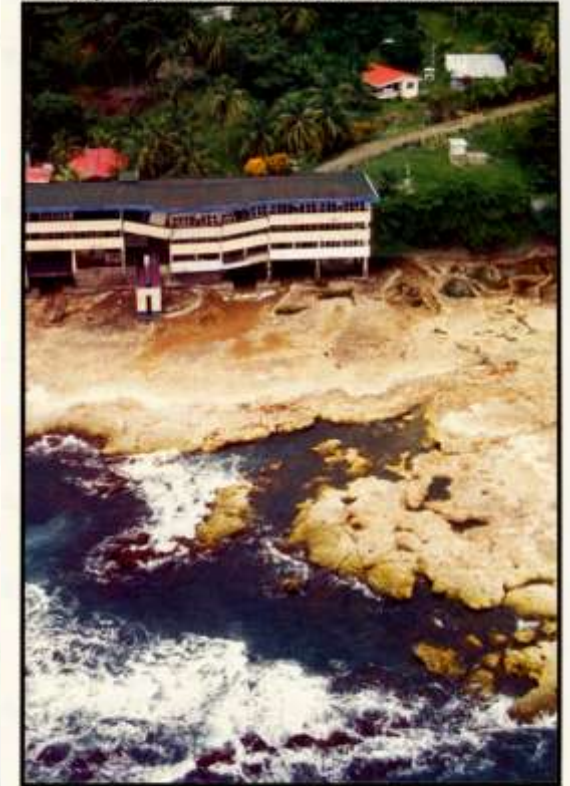


Deformación de varios puentes ferroviarios fue otro efecto del terremoto. Foto: Sergio Paniagua.

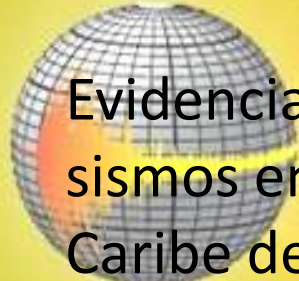


La falla Río Blanco se movió durante el terremoto y produjo el escarpe de 1,5 m que se observa.

Percy Denyer, Walter Montero & Guillermo E. Alvarado

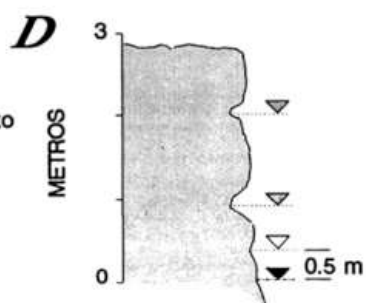
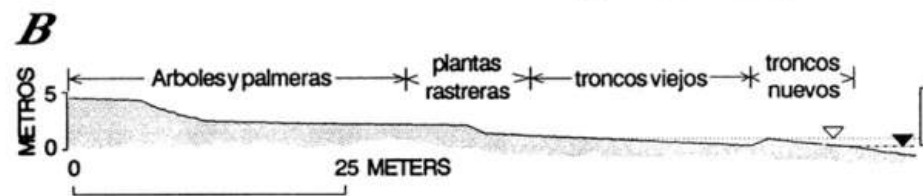
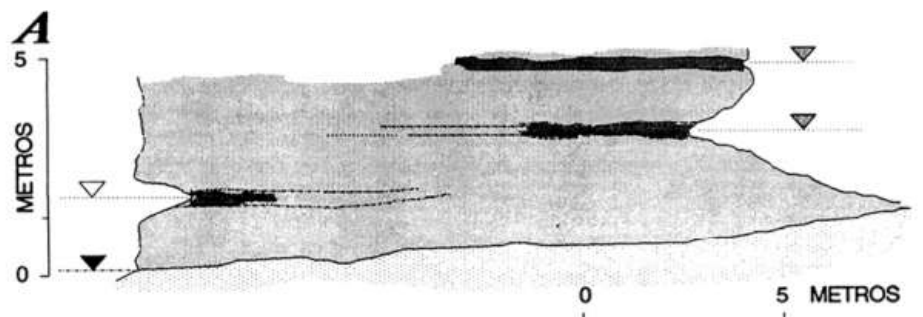


El daño al hotel Las Olas, bajo el cual los turistas podían observar el oleaje del mar Caribe. La plataforma expuesta fue terreno ganado al mar.

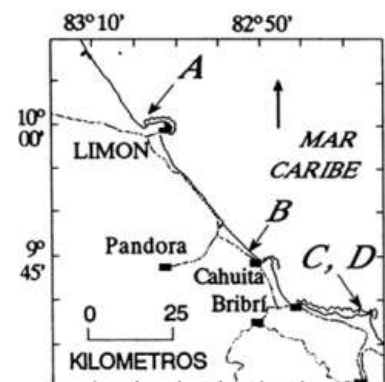


Evidencias de paleo-sismos en la costa Caribe de Costa Rica.

Tomado de: Denyer et al., 1994



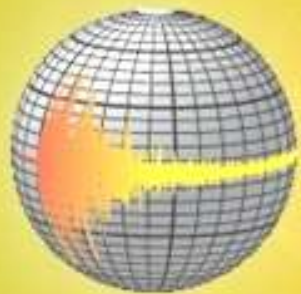
LOCALIZACION DE CROQUIS



SIMBOLOGIA

- Nivel del mar**
- ▼ Después del terremoto
 - ▽ Antes del terremoto
 - ◀ Previo
- Tipo de costa**
- Rocosa
 - Arenosa
- Coordenadas de los croquis**
- A Lat 10° 01' 00" N., long 83° 04' 00" W.
 - B Lat 09° 45' 00" N., long 82° 51' 30" W.
 - C Lat 09° 38' 30" N., long 82° 39' 00" W.
 - D Lat 09° 38' 30" N., long 82° 38' 50" W.

Fig. 8: Evidencias de paleo-sismos en la costa Caribe de Costa Rica: A) Perfil en el acantilado arrecifal entre Portete y Playa Bonita. B) Perfil de la costa arenosa del norte de Cahuita, donde se pueden apreciar las diferentes pendientes, y la formación de la nueva bermá. Las plantas rastreras marcan el nivel máximo del agua antes de abril de 91 y la distancia entre la acumulación de troncos nuevos y viejos indica el desplazamiento horizontal de la línea de costa.



Paleosismología

- Los rasgos (depósitos o formas del terreno) formadas durante un sismo se describen como efectos ***cosísmicos*** y comúnmente se contrastan con los rasgos no-sísmicos formados por erosión, depositación y deformación no relacionada con terremotos.

- Es una subdisciplina dentro de muchos otros campos más amplios de estudio de neotectónica, tectónica activa y la geología de terremotos.

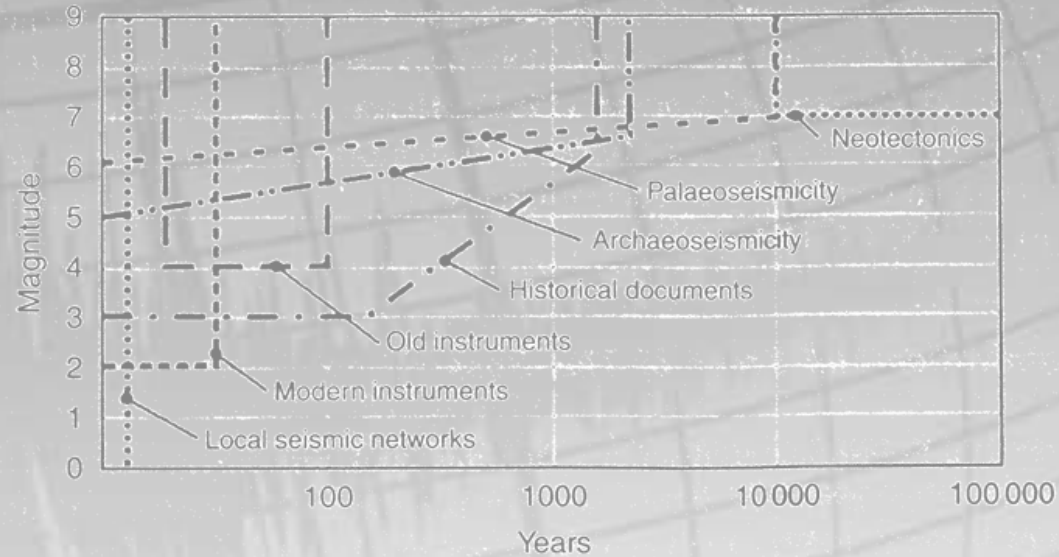


Figure 1.2: The range of earthquake magnitudes detected and time spans covered by different disciplines applied to the study of past earthquakes, From Caputo and Helly (2008), adapted from Levret (2002).

Table 1.1: Comparison of definitions for paleoseismology, and related fields

Paleoseismology (British spelling, <i>paleoseismology</i>)	The study of prehistoric earthquakes, especially their location, timing, and size (this book)
	The study of the timing, location, and size of prehistoric earthquakes. Paleoseismology differs from other aspects of earthquake geology in its focuses on the almost instantaneous deformation of landforms and sediments during individual earthquakes ^a
	The subdiscipline of geology that employs features of the geological record to deduce the fault displacement and age of individual, prehistoric earthquakes (NRC, 2003)
	The geological investigation of individual earthquakes decades, centuries, or millennia after their occurrence (Yeats and Prentice, 1994; also Aki, 2003)
	The study of ground effects from past earthquakes as preserved in the geologic and geomorphic record ^b
Historical paleoseismology	The establishment of lengths and displacements of ruptures on specific active faults due to historical earthquakes (Yeats, 1994)
Paleoseismicity	Prehistoric earthquakes resulting in slip on faults (Engelder, 1974) ^c
Earthquake geology	In the broad sense, is the study of the history, effects, and mechanics of earthquakes within and on the Earth's crust. Most often, earthquake geology is synonymous with active tectonics, a term used to describe the study of tectonic movements that are expected to occur within a future time span of concern to society. Important aspects of earthquake geology include the study of tectonic landforms on the Earth's surface and folds and faults within its crust produced by many earthquakes over thousands to millions of years ^d
	... commonly regarded as synonymous with neotectonics (Yeats <i>et al.</i> , 1996, p.4)
Neotectonics	The study of the post-Miocene structures and structural history of the Earth's crust ^e
Active tectonics	Tectonic movements that are expected to occur within a future time span of concern to society (Wallace, 1986). See book of the same title by Keller and Pinter (2002)
Morphotectonics	See tectonic geomorphology ^f
Seismotectonics	Study of the role of seismic activity in tectonics; includes examinations of the processes precursory to and accompanying earthquakes, the regionally significant geologic structures generated by earthquakes, and the temporal or spatial variations in processes or structures ^g

(Continued)

Table 1.1: Comparison of definitions for paleoseismology, and related fields (Cont'd)

Tectonic geomorphology	The tectonic interpretation of the morphological or topographic features of the Earth's surface; it deals with their tectonic or structural relations and origins, rather than their origins by surficial processes of erosion and sedimentation. Cf. orogeny. Obsolete and less preferred synonym; <i>morphotectonics</i> ^h
	The unrelenting competition between tectonic processes that tend to build topography and surface processes that tend to tear them down ⁱ

^a USGS web site <http://earthquake.usgs.gov/research/topics.php?areaid=10>.

^b Michetti *et al.* (2005).

^c Glossary of Geology, on-line version, <http://glossary.xgweb.org>.

^d Burbank and Anderson (2001).



Concepto de Michetti et al., (2005) de un “paisaje sísmico”, un conjunto de formas del terreno que reflejan el sentido y tasa del deslizamiento de fallas locales.

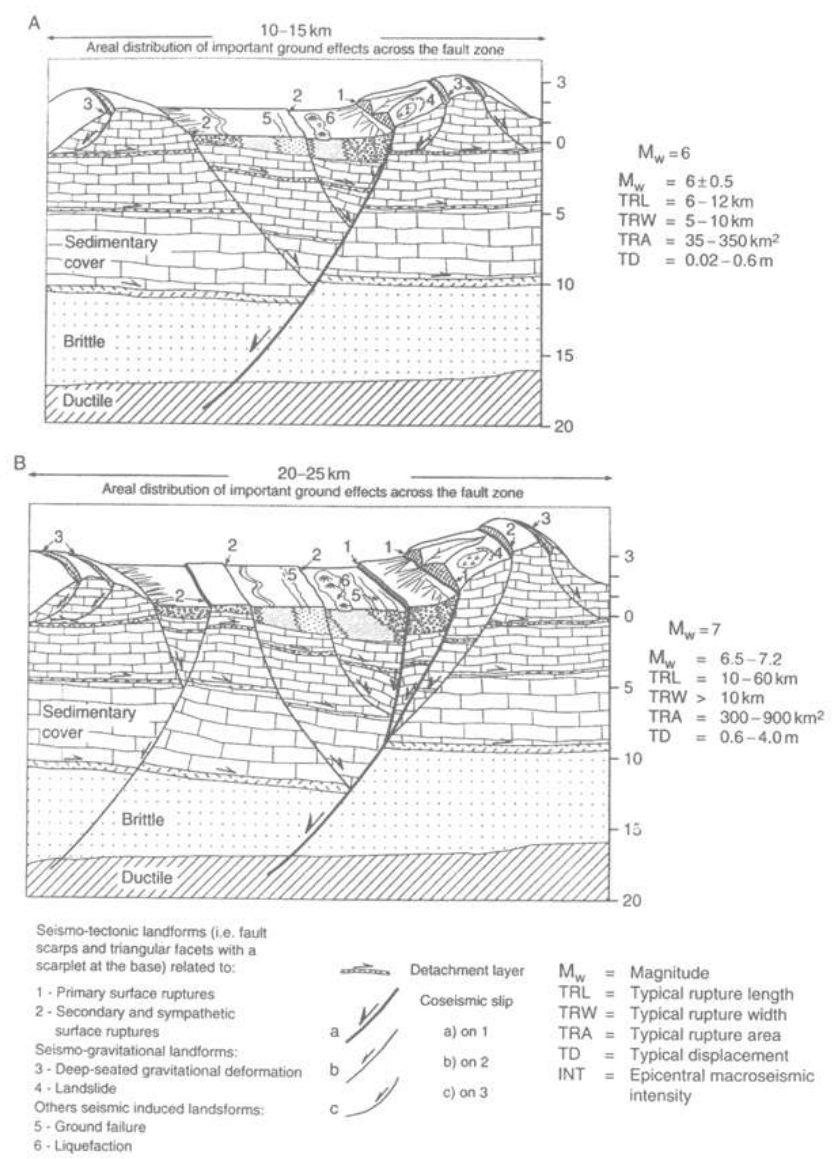


Figure 1.3: Schematic block diagrams of two Quaternary intermontane basins associated with characteristic earthquakes of $M_w = 6$ (A, upper) and $M_w = 7$ (B, lower). Diagrams illustrate the typical seismo-tectonic and seismo-gravitational landforms and underlying structures created by repetitive surface-rupturing earthquakes. On the right side are surface faulting parameters. This ensemble of primary and secondary paleoseismic evidence contributes to a unique “seismic landscape” (from Dramis and Blumetti, 2005).

Modelos teóricos que describen el comportamiento sismogénico de las fallas:

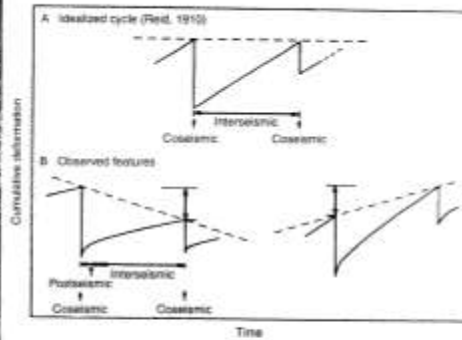


Figure 1.1: (A) The Teton Range, Wyoming (background) has been uplifted 2000 m above the floor of Jackson Hole (foreground) by hundreds of Neogene surface-rupturing earthquakes on the Teton normal fault; (B) Simplified forms of the earthquake deformation cycle. Cumulative deformation (e.g., strain, tilt, displacement) is plotted as a function of time. Step offsets correspond to the occurrence times of major earthquakes. Dashed lines show level at which failure occurs; the level varies with the effects of long-term inelastic deformation. [Part B from Thatcher (1986b), Reprinted with permission from Active Tectonics. Copyright 1986 by the National Academy of Sciences. Courtesy of the National Academy Press, Washington, D.C.]

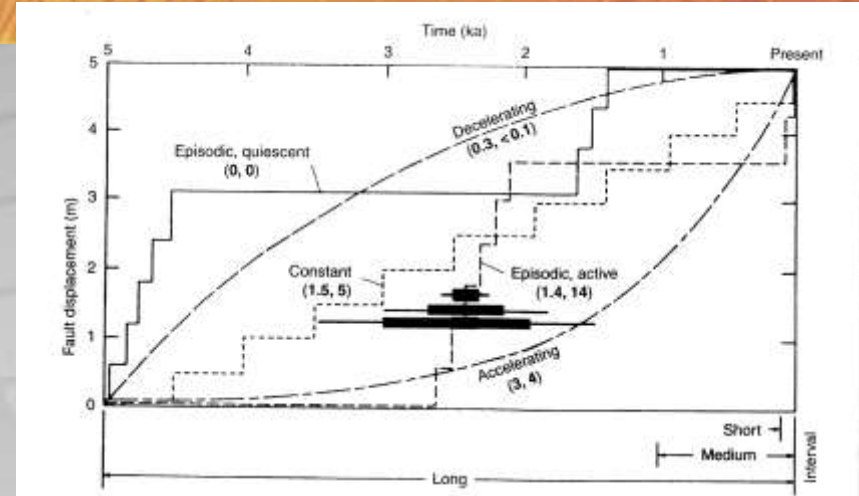


Figure 1.4: Five patterns of fault displacement versus time. Slip rates for all five patterns are the same over the long time interval (bottom), but vary when viewed over medium or short time intervals. Numbers in parentheses under each pattern label are medium-term and short-term rates for that pattern. In the three patterns with a "staircase" shape (episodic and quiescent patterns), vertical steps represent coseismic displacements like those shown in Figure 1.1. Filled squares with age error bars demonstrate the increasing difficulty of distinguishing among the different patterns of fault slip with increasingly larger errors on ages for fault displacements. Modified from Pierce (1986).

a) segmentación de fallas

b) ciclo de deformación

Clasificación jerárquica de evidencia paleosísmica con ejemplos

Table 1.2: Hierarchical classification of paleoseismic evidence, with examples of features^a

Level 1: Genesis	Primary (Chapters 3–6) (created by tectonic deformation)			
Level 2: Location	On-fault		Off-fault	
Level 3: Timing	Instantaneous (coseismic)	Delayed response (postseismic)	Instantaneous (coseismic)	Delayed response (postseismic) ^b
<i>Geomorphic expression</i>	1. <ul style="list-style-type: none"> • Fault scarps • Fissures • Folds • Moletracks • Pressure ridges 	2. <ul style="list-style-type: none"> • Afterslip contributions to features at left • Colluvial aprons 	3. <ul style="list-style-type: none"> • Tilted surfaces • Uplifted shorelines • Subsided shorelines 	4. <ul style="list-style-type: none"> • Tectonic alluvial terraces • Afterslip contributions to features at left
<i>Stratigraphic expression</i>	5. <ul style="list-style-type: none"> • Faulted strata • Folded strata • Unconformities or disconformities 	6. <ul style="list-style-type: none"> • Scarp-derived colluvial wedges • Fissure fills 	7. <ul style="list-style-type: none"> • Tsunami deposits and erosional unconformities caused by tsunamis 	8. <ul style="list-style-type: none"> • Erosional unconformities and deposits induced by uplift, subsidence, and tilting
<i>Abundance of similar nonseismic features</i>	Few	Few	Some	Common
Level 1: Genesis	Secondary (Chapters 7–8) (Created by seismic shaking)			
Level 2: Location	On-fault		Off-fault	
Level 3: Timing	Instantaneous (coseismic)	Delayed response (postseismic)	Instantaneous (coseismic)	Delayed response (postseismic)
<i>Geomorphic expression</i>	9. <ul style="list-style-type: none"> • Sand blows • Landslides and lateral spreads in the fault zone • Disturbed trees and tree-throw craters 	10. <ul style="list-style-type: none"> • Retrogressive landslides originating in the fault zone 	11. <ul style="list-style-type: none"> • Sand blows • Landslides and lateral spreads beyond the fault zone • Disturbed trees and tree-throw craters • Fissures and Sackungen • Subsidence from sediment compaction 	12. <ul style="list-style-type: none"> • Retrogressive landslides beyond the fault zone

(Continued)



Clasificación jerárquica de evidencia paleosísmica con ejemplos (continuación)

Table 1.2: Hierarchical classification of paleoseismic evidence, with examples of features^a (Cont'd)

<i>Stratigraphic expression</i>	13. • Sand dikes and sills Soft-sediment deformation Landslide toe thrusts	14. • Sediments deposited from retrogressive landslides	15. • Sand dikes • Filled craters • Soft-sediment deformation structures • Turbidites	16. • Erosion or deposition (change in sedimentation rates) in response to retrogressive landslides or surface features such as fissures, lateral spreads, or sand blows, or other forms of landscape disturbance
<i>Abundance of similar nonseismic features</i>	Some	Very common	Some	Very common

^a This classification scheme yields 16 types of paleoseismic features, as numbered consecutively in the categories "Geomorphic expression" and "Stratigraphic expression."

^b Does not include delayed response movement on other faults due to stress changes induced by initial faulting.

Muchos tipos de evidencias paleosísmicas secundarias tienen potencialmente umbrales de creación más bajos que las evidencias primarias.

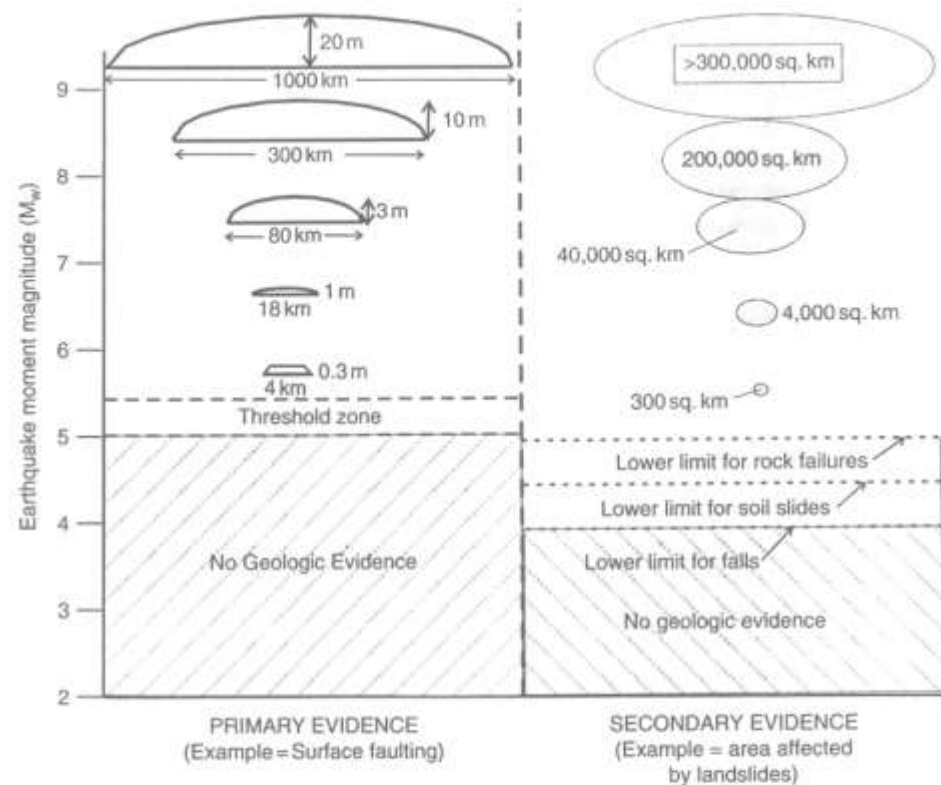


Figure 1.6: Schematic diagram showing the increase in size and distribution of primary and secondary paleoseismic evidence with increasing earthquake moment magnitude (M_w), based on measurements following historical earthquakes. The left side of the diagram shows the dimensions of surface faulting (primary evidence) observed in historical earthquakes of various magnitudes. Shaded areas schematically represent the dimensions of surface deformation but are not to scale. Values for surface rupture lengths (beneath shaded areas) and maximum displacement (to right of shaded areas) are from Wells and Coppersmith (1994). The lower magnitude limit of surface faulting earthquakes follows Bonilla (1988). The right side of the diagram shows areas affected by coseismic landsliding (an example of secondary evidence) from Keefer (1984); areas are not to scale. The largest area (>300,000 km²) is for the M_w 9.2 1964 Alaska earthquake.



En muchos casos, la preservación de evidencia primaria o secundaria es determinada por las tasas relativas de erosión y depositación versus deformación.

Donde las tasas de deformación exceden las tasas de procesos geomorfológicos, se generan formas del terreno paleosísmicas. En caso contrario, si la evidencia paleosísmica es preservada, es más plausible que sea estratigráfica.

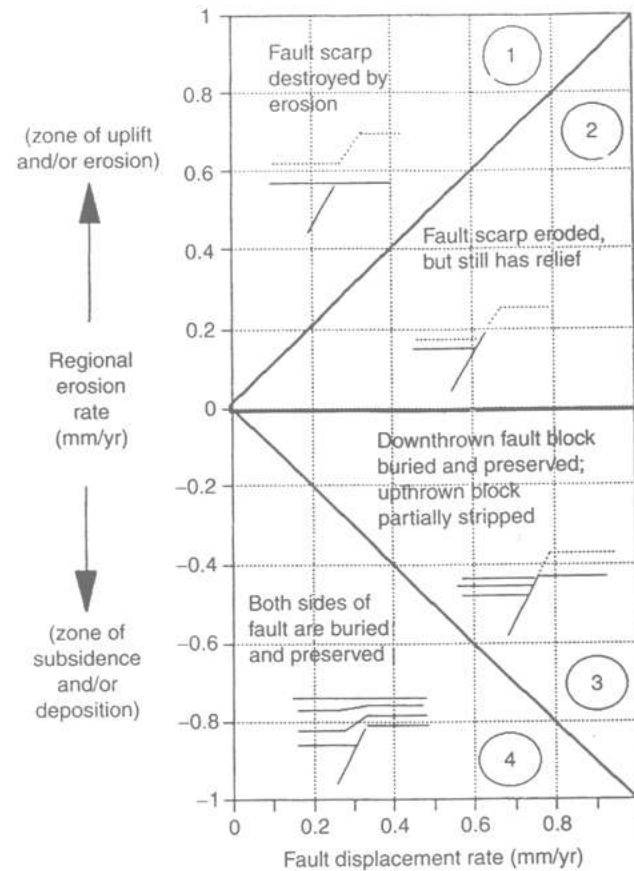
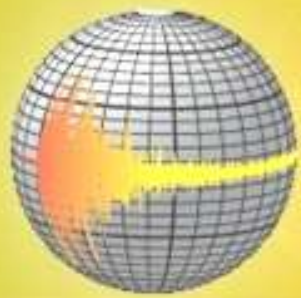


Figure 1.7: Schematic diagram showing the effects of relative rates of deformation versus geomorphic process on the preservation of a fault scarp (an example of primary, on-fault evidence). Many other types of paleoseismic features are subject to the same effects. In quadrant 1 (circled number), the regional erosion rate exceeds the fault displacement rate and the scarp is rapidly destroyed. In quadrant 2, the fault displacement rate is greater than the regional erosion rate, so the scarp is partially eroded yet retains some relief. In quadrant 3, the fault outcrops on a landscape undergoing slow subsidence and deposition, but the scarp is still partially preserved because the fault displacement rate is greater than the regional deposition rate. In quadrant 4, both sides of the fault are buried by sediments deposited at a more rapid rate than the rate of fault displacement. No surface scarp is formed under these conditions, but evidence of past earthquakes is preserved as onlapping strata in the subsurface. In depositional settings, the closer the fault can be traced upward toward the ground surface, the more recent its displacement has been; in erosional settings this is not true, and even old, inactive faults can be traced near or to the ground surface.



Métodos de datación en Paleosismología

Table 1.3: Classification of Quaternary Dating Methods Applicable to Paleoseismology^a

Type of result					
Numerical age		Calibrated age		Relative age	Correlated age
Type of method					
Calendar-year	Isotopic	Radiogenic	Chemical and biological	Geomorphic	Correlation
<i>Historical records</i>	¹⁴ C	<i>Luminescence</i>	Amino acid racemization	Soil profile development	<i>Lithostratigraphy</i>
<i>Dendrochronology</i>	K-Ar and ³⁹ Ar- ⁴⁰ Ar	Electron spin resonance	Obsidian and tephra hydration	Rock and mineral weathering	<i>Tephrochronology</i>
Varve chronology	<i>Uranium series</i>		<i>Lichenometry</i>	<i>Progressive landform modification</i>	Paleomagnetism
	Cosmogenic isotopes other than ¹⁴ C (²¹⁰ Pb, ³⁶ Cl)		Soil chemistry	Rate of deposition	<i>Fossils</i>
			Rock varnish chemistry	<i>Relative geomorphic position</i>	<i>Artifacts</i>
					Stable isotopes

^a Modified from Colman *et al.* (1987). Methods in italics are particularly applicable to dating paleoearthquakes in the Holocene. Thick line indicates the type of result most commonly produced by the methods below it; thin line indicates the type of result less commonly produced by the methods below it.

Fuentes de incertidumbre relativos a la edad de las muestras geológicas datadas con respecto a la edad del paleosismo



Table 1.4: Sources of uncertainty in relating the age of a dated geologic sample, to the age of a paleoearthquake (from Noller *et al.*, 2000)

Type of uncertainty	Description
Analytical error	For numerical and radiogenic ages, the standard deviation of the computed sample age, based on the counting statistics of the method
Natural variability in sample quality or suitability	Variability that arises when the dated stratum contains a heterogeneous mixture of materials, each of which may yield a different age because: (1) they violate the assumption of the dating method to different degrees or (2) they are different-age materials within the same stratum
Geologic context error	The uncertainty of relating the age of the dated sample, to the age of the surrounding stratigraphy
Calibration error	The error induced when converting a relative-age result to a numerical-age result, via use of a calibration curve
Violation of assumption	Error induced when the physical properties or history of the sample (burial history, exhumation history) violate the assumptions of a dating method, as to initial conditions, or later conditions



Estudio de trincheras paleosísmicas:

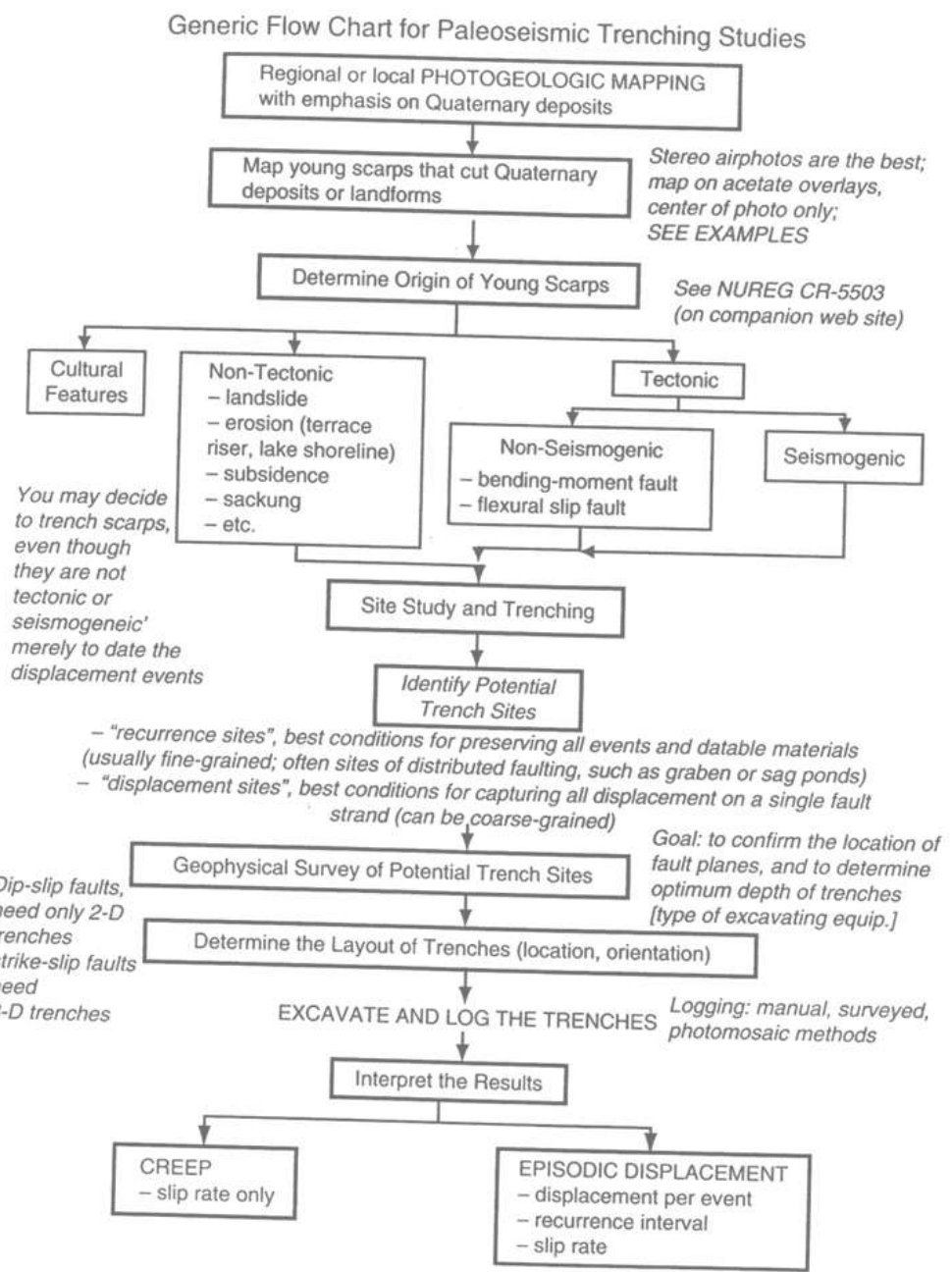
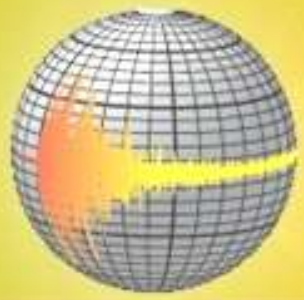


Figure 2A.1: A generic sequence of paleoseismic investigations that ends in trenching a young fault scarp. NUREG CR-5503 refers to Hanson et al. (1999).



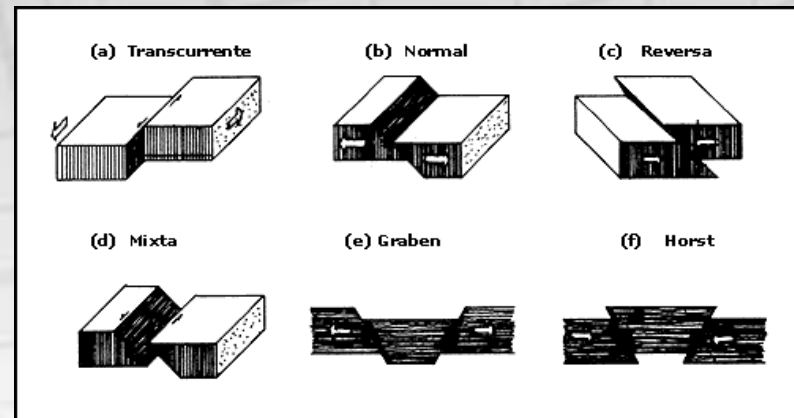
Neotectónica

Facilitado por: Guillermo Alvarado

Definición de falla

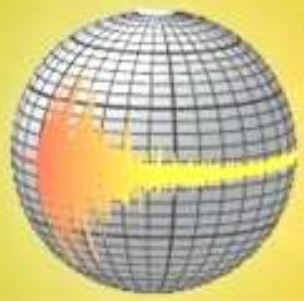
- Una falla se define como una discontinuidad entre bloques de roca que se han desplazado uno con respecto al otro en una dirección paralela a la discontinuidad.

Su escala puede ser microscópica hasta kilométrica.



¿Cómo se establece la existencia de una falla?

- Observación directa (afloramiento)
- Criterios geomorfológicos.
- Criterios geofísicos (incluyendo sismológicos).
- Criterios geológicos indirectos (discontinuidades de unidades).
- Criterios hidrogeotérmicos (alteración hidrotermal, fuentes termales, etc.).
- Otros



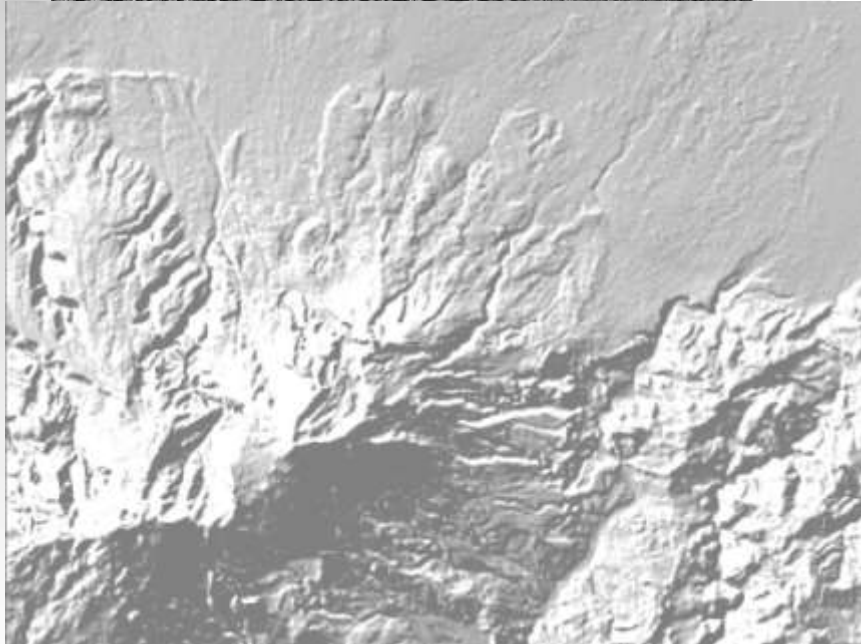
Criterios geológicos de fallas

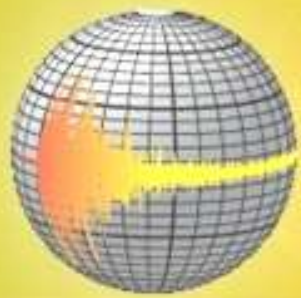




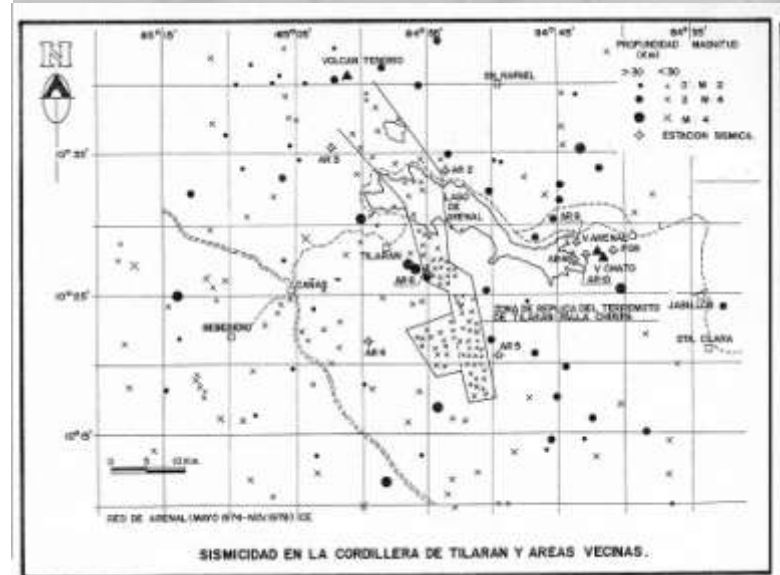
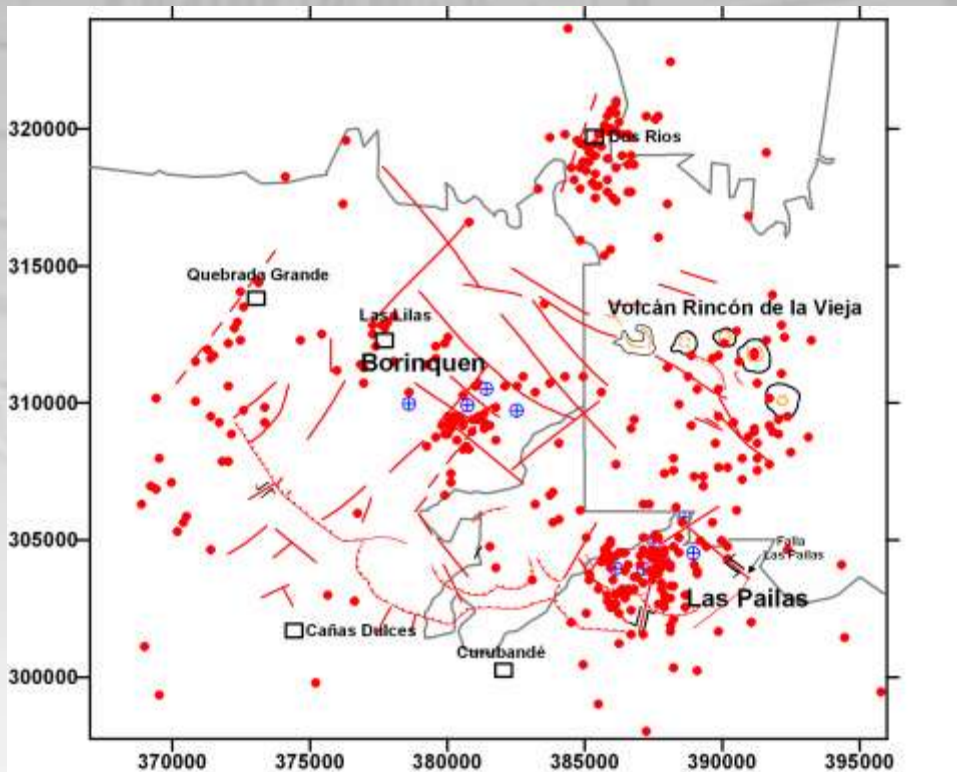
Criterios geomorfológicos macros

Red Temática en
Amenaza y Riesgo
Sísmico





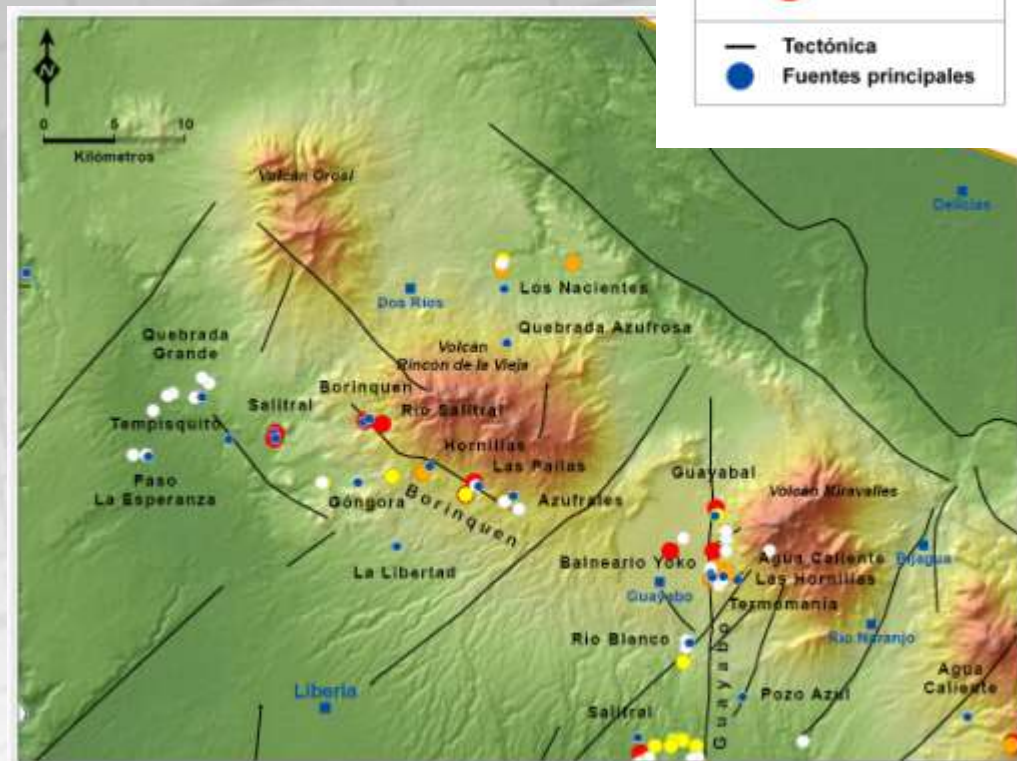
Crterios sismológicos

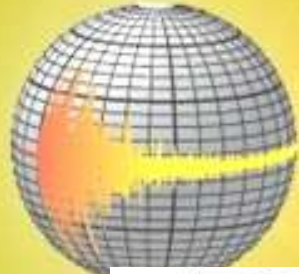




Criterios hidrogeotérmicos

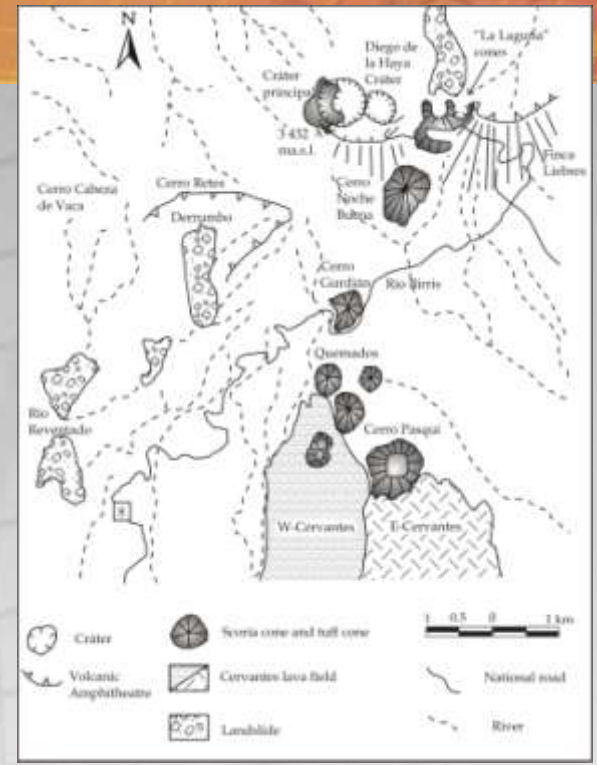
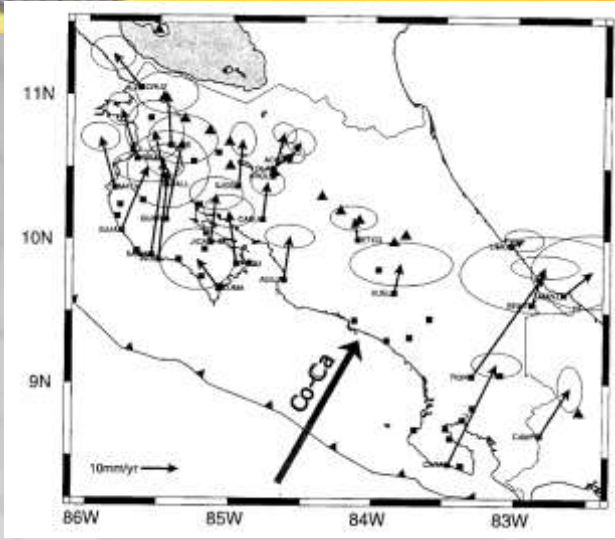
- Fuentes termales activas o fósiles
- Zonas de alteración hidrotermal





Criterios indirectos

Geodesia



Estructuras volcánicas

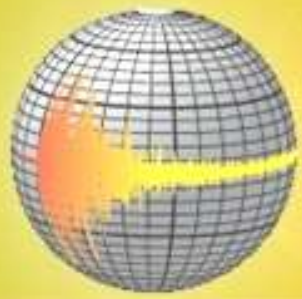


Deslizamientos



Cráteres posibles pero pueden tener otras interpretaciones...? Sísmico





Neotectónica

- **Neotectónica:** Término aparentemente introducido por V. Oburchev, con un significado cronológico, redefinido para el estudio de la evolución tectónica reciente del globo terrestre.
- Una comisión internacional dedicada a los estudios holocénicos (últimos 11 000 años) dio la siguiente definición en 1978 para Neotectónica: *"cualquier movimiento o deformación del nivel de referencia geodético, su mecanismo, su origen geológico, sus implicación para varios propósitos prácticos y su extrapolación futura"* (Vita-Finzi, 1986).
- La Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos extiende esta definición a *"la tectónica de los últimos millones de años, o del el Neógeno tardío y Cuaternario"* (National Academy of Sciences, 1986). Con ello, se estaría incluyendo a aquellos eventos tectónicos -y aún volcánicos- ocurridos desde hace unos 5 Ma.



Isosismicidad o densidad sísmica puede ser un criterio para una falla activa?

- Hay que tener cuidado...algunos geólogos hablan o utilizan la densidad de sismos como la evidencia de la existencia de una falla activa...
- Se requiere de mecanismos focales
- Se requiere conocer si corta la superficie o no?



Fallas Cuaternarias (cortan rocas de menos de 1,8 Ma, pero no se saben si son activas en los últimos 11 500 años?). Hoy el Cuaternario se establece en 2,59 Ma...



- **Falla activa (*capable fault*):** Según las diferentes definiciones, se define como aquella que ha tenido movimientos dentro de los últimos 11 000, 35 000, 100 000, 500 000 años o inclusive 1,8 Ma, y que se espera que se mueva en el futuro (ver Sherard et al., 1974; Matsuda, 1977; Slemmons, 1977).
- Algunas clasificaciones o subdivisiones son (Bozovic y Markovic, 1997):
 - -Falla Neotectónica: Falla activa durante el Neógeno-Cuaternario (últimos 23,8 Ma)...
 - Falla Cuaternaria: Falla activa durante los últimos 1,8 Ma (tal y como lo usaron Denyer et al., 2003).
 - -Falla activa reciente: Falla activa durante el Holoceno (< 11 500 años).
 - -Falla contemporánea: Falla históricamente activa y particularmente con evidencias de ruptura superficial.

La edad más utilizada es el Holoceno (últimos 11 500 años)

- **Paleosismología:** Consiste en el estudio de terremotos prehistóricos y en la búsqueda de evidencias que los sustenten. Las técnicas de esta especialidad son principalmente de índole geológico: microestratigrafía, geomorfología, correlación geológica regional, sedimentología, geoarqueología y geocronología (Wallace, 1981, Michetti y Hancock, 1997).
- Dado que determinar una edad de 100 000 ó 500 000 años mediante los diversos métodos cronológicos no siempre es tarea fácil o factible, más aún si las rocas son más antiguas que este ámbito, se suele preferir utilizar una edad arbitraria de 11 000, la cual está bien contemplada dentro del método de radiocarbono, y por ello ha sido adoptada como un criterio para asumir que es potencial de generar un movimiento durante el período de vida útil de la obra (p. ej., Slemmons, 1977; Bozovic y Markovic, 1997).
- Sin embargo, para Centrales Nucleares, se utilizan criterios de un millón de años.



El paisaje paleosismológico...nos indica la existencia de una falla Neotectónica, potencialmente activa...pero no necesariamente activa...





Microrelieve paleosismológico

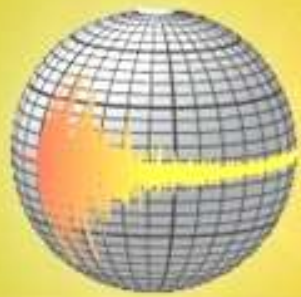




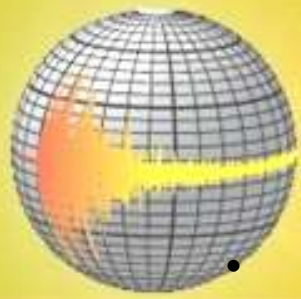
Fallamiento activo demostrado...con radiocarbono/trincheras y/o con sismicidad. Sin embargo, la traza de la falla no siempre es fácil de determinar. De igual modo, se puede evidenciar lo contrario...una falla no corta el suelo puede ser Cuaternaria o inclusive activa...



Falla Cote-Arenal



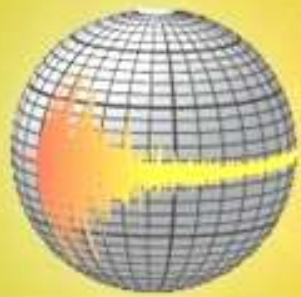
- **Sismo máximo probable (*maximum-probable earthquake*):**
Corresponde con el sismo máximo que se podría esperar ante una ruptura de uno de los segmentos de la falla durante un período de tiempo dado (dePolo y Slemmons, 1990).
- **Sismo máximo posible (*maximum credible earthquake, MCE*):**
Corresponde con el sismo máximo que se podría generar ante una ruptura de la totalidad de la falla, independiente de la frecuencia de ocurrencia (dePolo y Slemmons, 1990).



Problemas en general

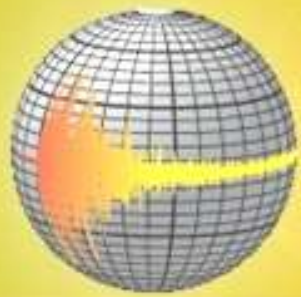
- Los procesos erosivos y de sedimentación, pueden ocultar o borrar las evidencias paleosismológicas.
- Aunque se le puede asignar un terremoto característico a una falla en particular, algunas fallas pueden romper, sin embargo, de manera distinta en eventos diferentes.
- No necesariamente una falla que halla producido un terremoto dañino, ha llegado a romper en superficie de manera suficientemente significativa, al grado que el paisaje co-sísmico pueda preservarse.
- ¿Qué grado de experiencia o conocimiento en neotectonismo (paleosismicidad) cuenta el evaluador y con qué información de respaldo?





Problemas en Costa Rica

- Desde que los primeros estudios de fallamiento activo fueron aplicados a los estudios sismológicos y de amenaza sísmica en Costa Rica, una serie de fórmulas empíricas de la literatura científica se han aplicado, para tratar de estimar la magnitud máxima probable que se le pueda asignar a una falla. Sin embargo, varios problemas se han visualizado a lo largo de los años, entre ellos:
- Pese al gran avance que se ha logrado, la mayoría de las fallas no son geológicamente bien conocidas, tanto en su traza superficial, longitud, pruebas directas de su existencia, grado de actividad, y salvo unas pocas excepciones, se conoce su velocidad de movimiento.
- Las fórmulas empíricas han sido desarrolladas para diferentes contextos sismo-tectónicos y aunque las ecuaciones utilizadas se han desarrollado con datos a nivel mundial, podría ser que no reflejen adecuadamente el contexto sismo-tectónico local y, por ende, la magnitud. Por ello, en algunas ocasiones se escoge una magnitud promedio o sismo que mejor se acondicione al estado de conocimiento en ese momento (“criterio de experto”).

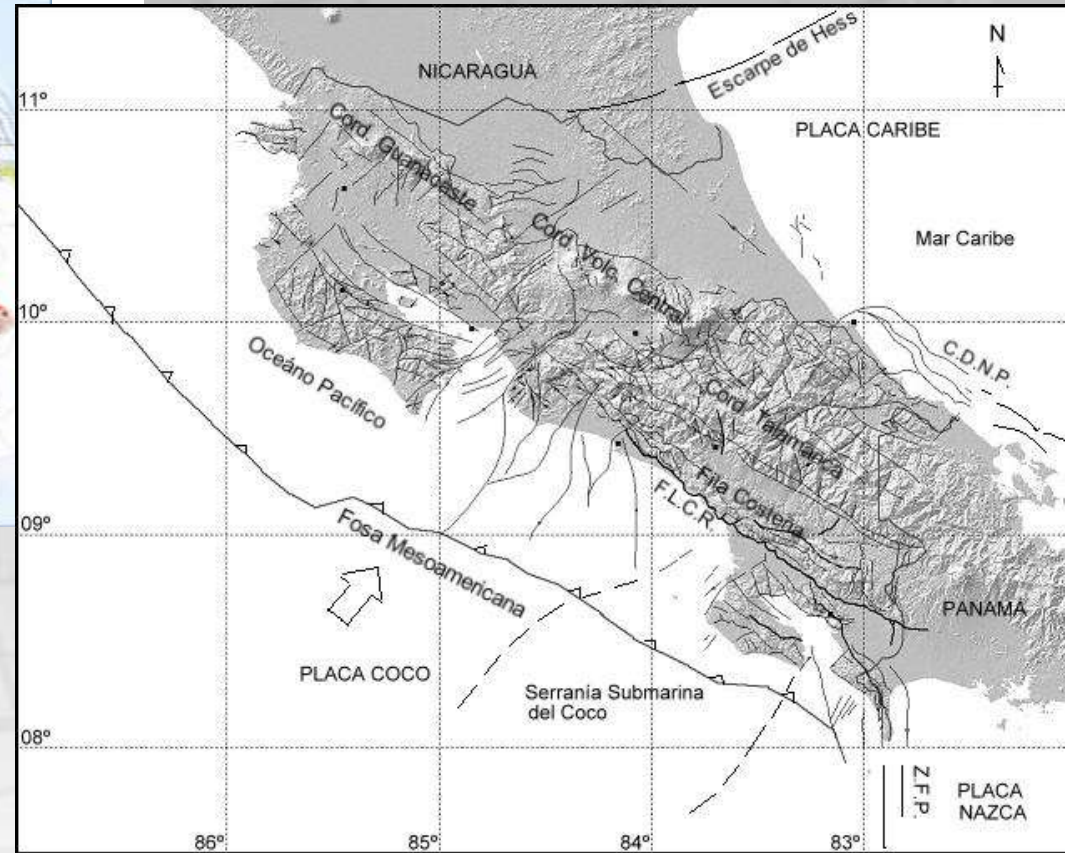
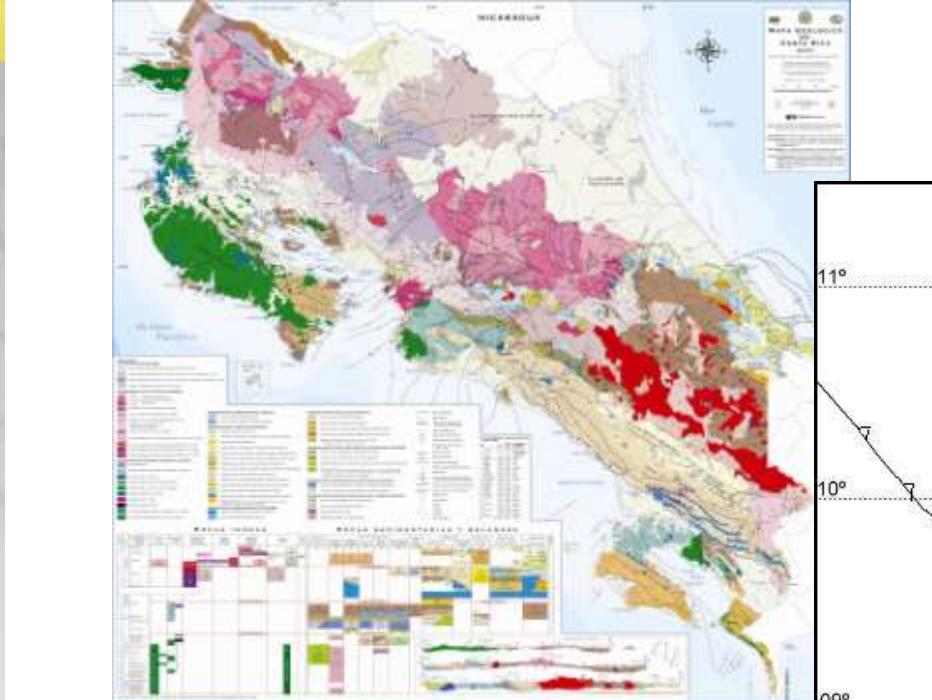


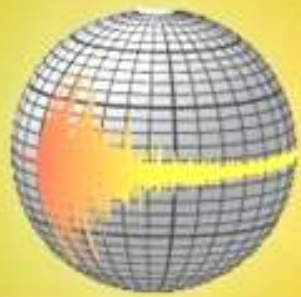
- Con base en el punto anterior, se han dado casos en donde a una misma falla se le han asignado “Terremotos Máximos” diferentes por los mismos autores, lo cual refleja por un lado, el poco conocimiento de dicha falla, y por el otro, los variables criterios del investigador o la incertidumbre del análisis.
- En la mayoría de los estudios de Amenaza Sísmica se ha manejado de manera indistinta y hasta “erróneamente” el concepto de *Sismo Característico*, *Sismo Máximo* y *Sismo Máximo Creíble*.
- Muchas de las normativas o propuestas internacionales para realizar estudios de amenaza sísmica no son claros en la definición, tipo de sismo debe de utilizarse, su metodología, modo de escalar la magnitud asignada, ni el intervalo de recurrencia que debe de ser utilizado.



Fallamiento en Costa Rica

Red Temática en
Amenaza y Riesgo
Sísmico





Fallamiento Cuaternario:

Número de fallas Cuaternarias (aprox. 150; Denyer et al., 2003):

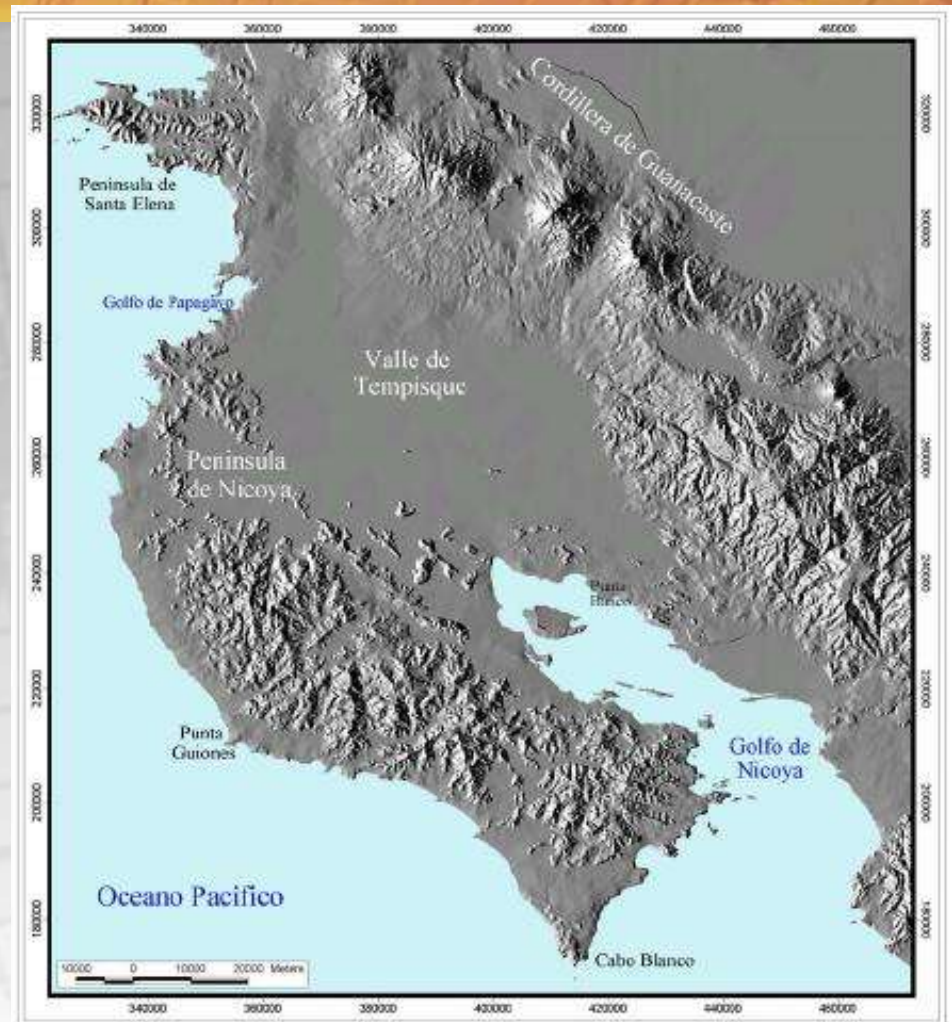
- Con tipo de movimiento conocido: 85 (56,6%),
- Sin movimiento conocido (desconocidas o poco estudiadas): 65 (43,4%)

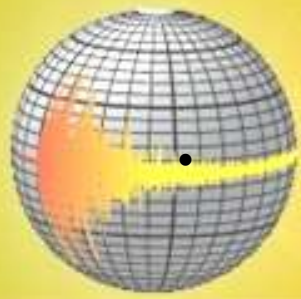
- Número de fallas Cuaternarias (aprox. 150) y su grado de estudio:
 - Poco estudiadas: 122 (81,4%)
 - Con sismicidad histórica importante: 20 (13,3%)
 - Con dataciones ^{14}C : 8 (5,3%)
 - Con tasa de velocidad conocida: menos de 5...

Por ejemplo, la falla Chiripa ha ido “creciendo” en longitud con el tiempo...

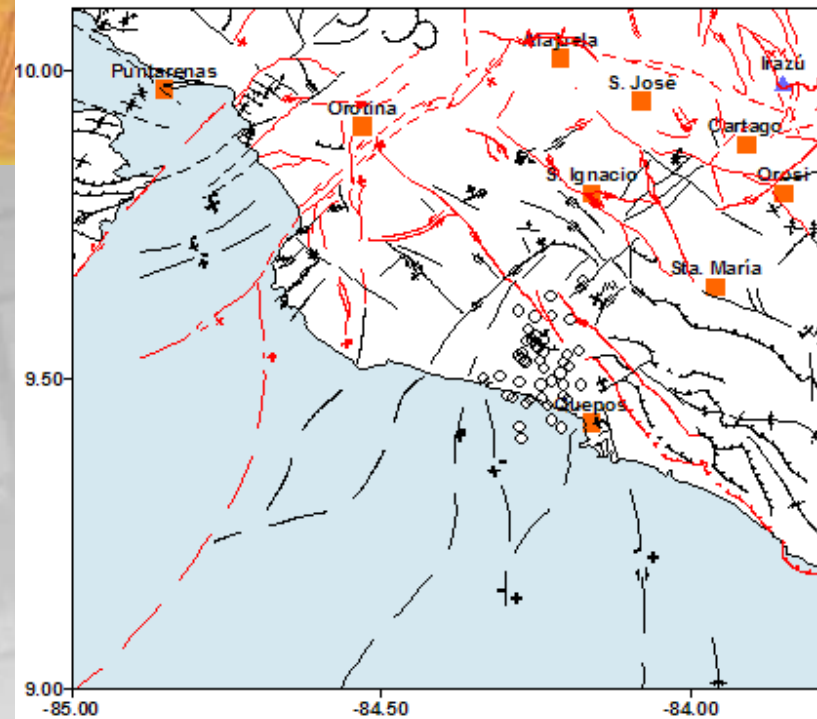
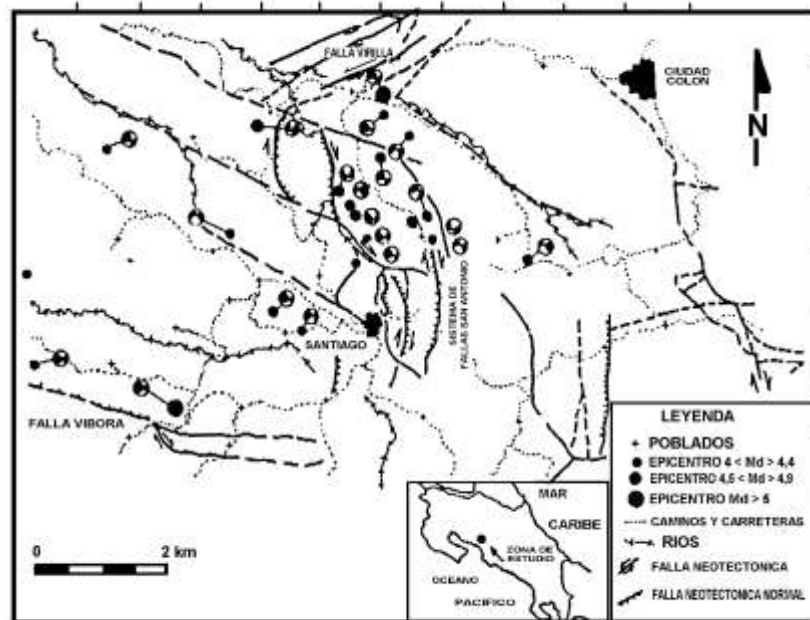
- Pasó de unos 40 km en los primeros trabajos a más de 150 km en los estudios presentes...entonces...

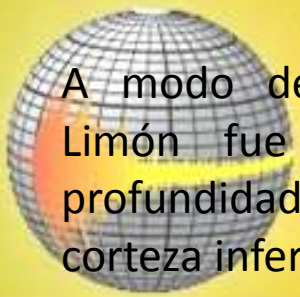
¿Cuál es el grado de confiabilidad?



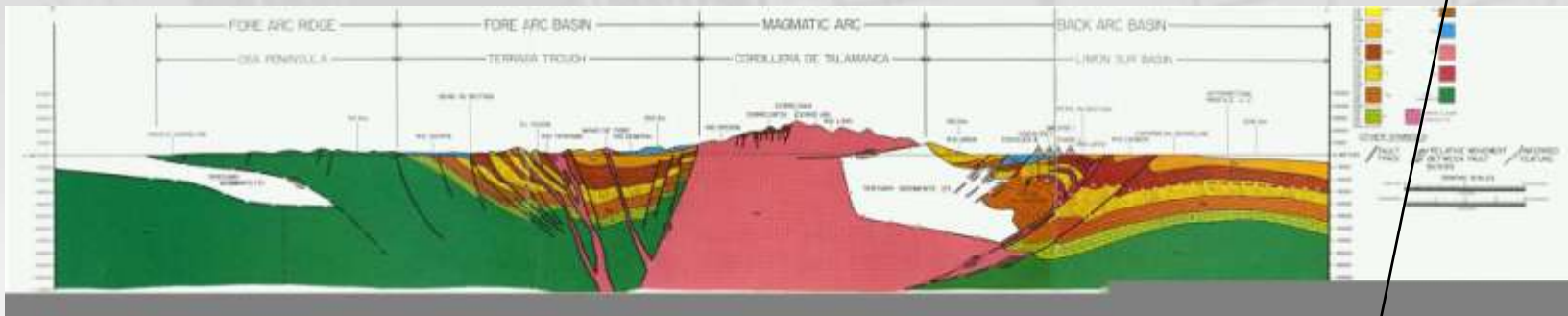
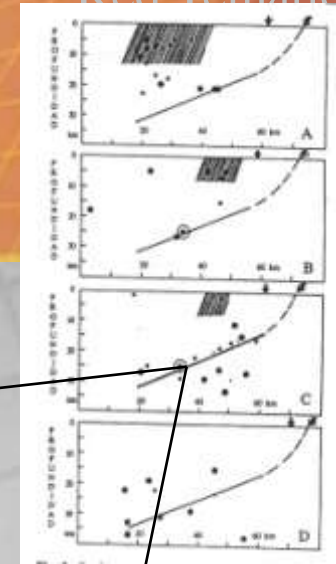
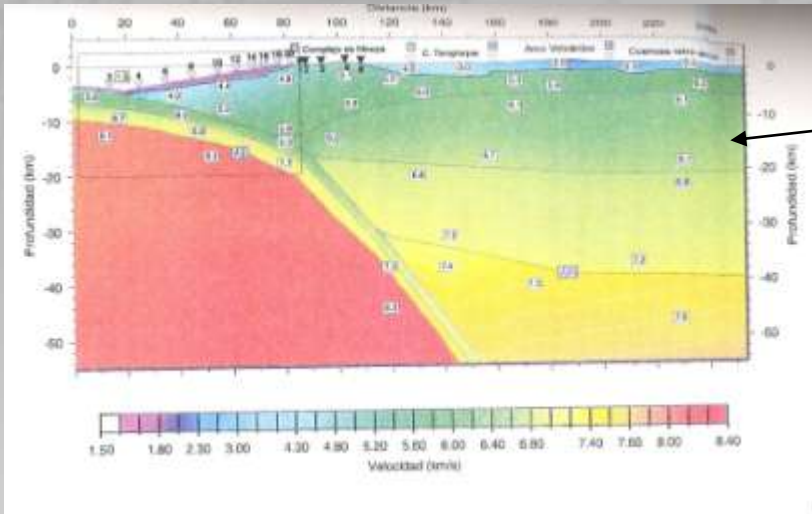


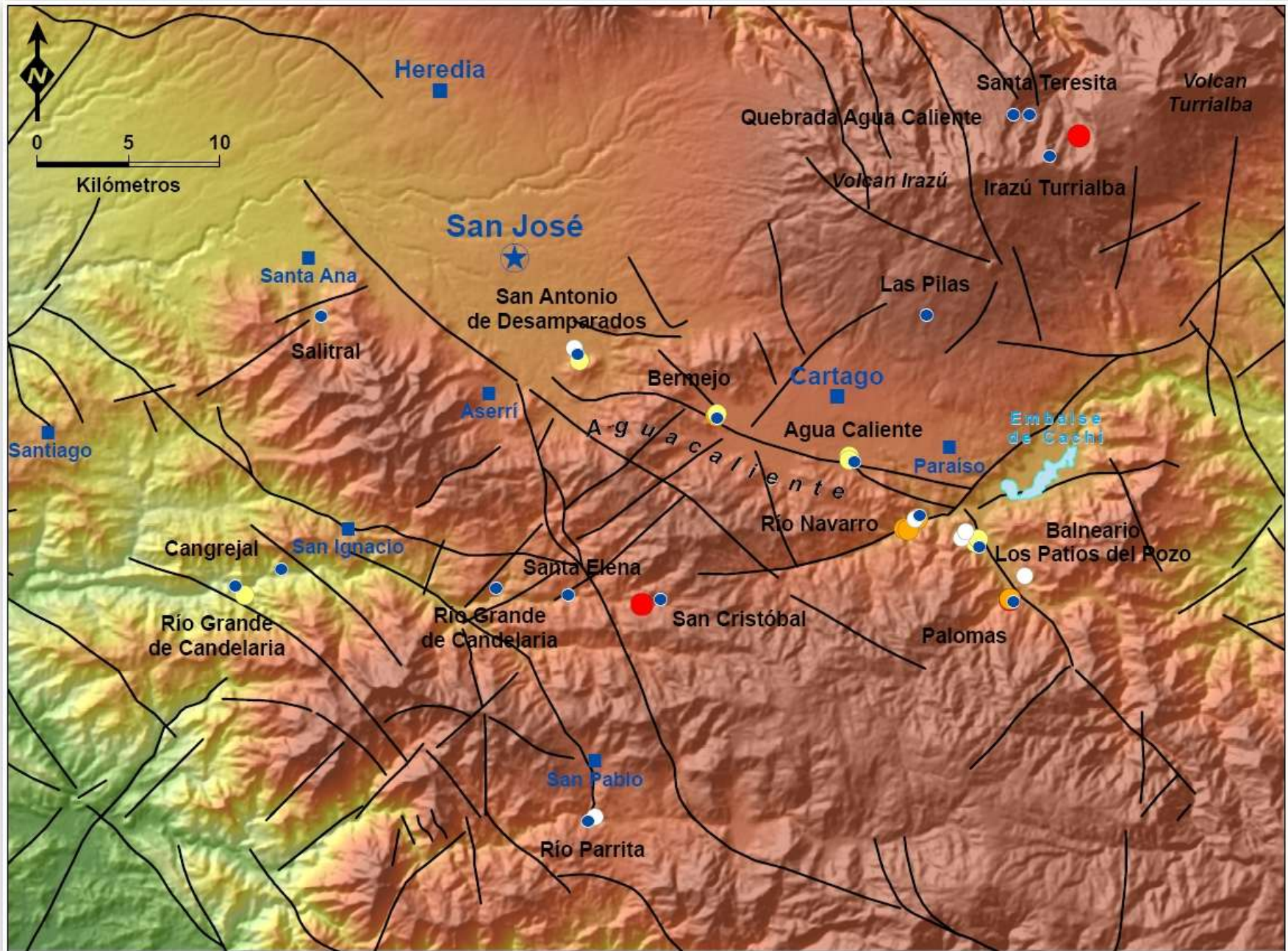
- En muchos casos no se sabe a cuál de las fallas presentes en el área epicentral se le asocia al sismo (p.ej., terremotos de Buenavista de 1983, Alajuela de 1990, El Salvador del 2001, Damas del 2004), o si el evento en realidad corresponde con fallamiento cortical o no (p.ej., terremoto de Cóbano de 1990).
- En otros casos, la traza superficial de la falla se ubica bajo el agua (terremotos de Managua en 1972 y de Limón en 1991), o muy profunda pero siempre dentro de la corteza (terremoto de Damas), lo cual dificulta su estudio.
- En muchos casos existen varias fallas muy cercanas entre sí, lo cual dificulta su asignación, aunado al hecho de que en muchos casos no se pueden obtener mecanismos focales confiables o de buena calidad.
- Se asume que las réplicas, como lo dice su definición, están asociadas con la falla principal. Sin embargo, muchos sismos pos-evento principal, corresponden con la activación de otras fallas secundarias vecinas, y por lo tanto, no son réplicas, aunque se ubiquen dentro del área mesosísmica.

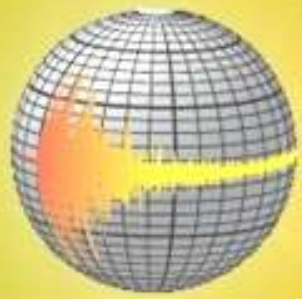




A modo de ejemplo, el terremoto de Limón fue ubicado a 20-25 km de profundidad (Ponce et al., 1994)...en la corteza inferior...¡

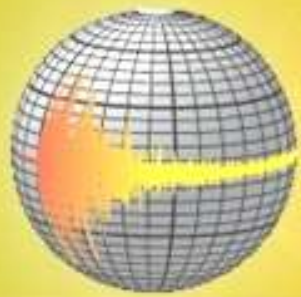






El trazo de la falla...

- Una falla es una línea a 1: 50 000, cuyo grosor es de al menos 50 m en el mapa....
- Su trazo fue dibujado con base en una serie de evidencias aisladas que se unen entre sí...
- Sin embargo, a escala 1: 5000 o 1: 100...su trazo no es preciso o el adecuado por el tipo de investigación que se realiza.
- Una falla importante, suele tener una zona de falla de al menos 100 o más metros de espesor.



EXPRESIÓN MORFOTECTÓNICA Y ESTRUCTURAS COSÍSMICAS DE LAS FALLAS DE DESPLAZAMIENTO DE RUMBO

(Facilitado por Walter Montero)

La información proviene de:

1. Capítulo 4 del libro Tectonic Geomorphology
2. Capítulo 2 del libro Active Tectonics
3. Capítulo 8 del libro Earthquake Geology
4. Información propia de Walter Montero

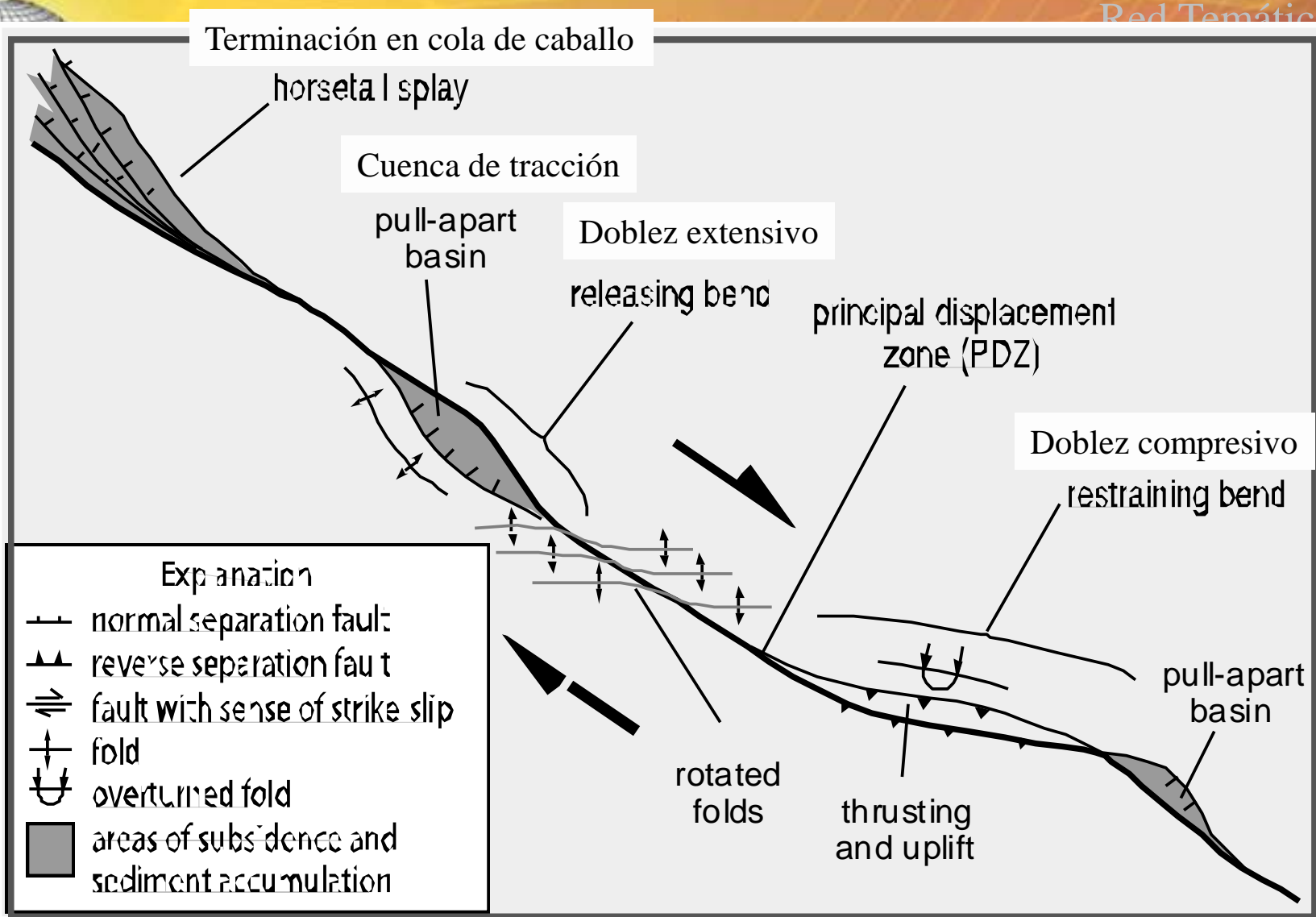


Figure 4.16: Regional-scale structures along a strike-slip fault.

Copyright © 2001 Douglas Burbank and Robert Anderson. This figure may be downloaded and used for teaching purposes only. It may not be reproduced in any publication, commercial or scientific, without permission from the publishers, Blackwell Publishing, 108 Cowley Road, Oxford OX4 1JF, UK.

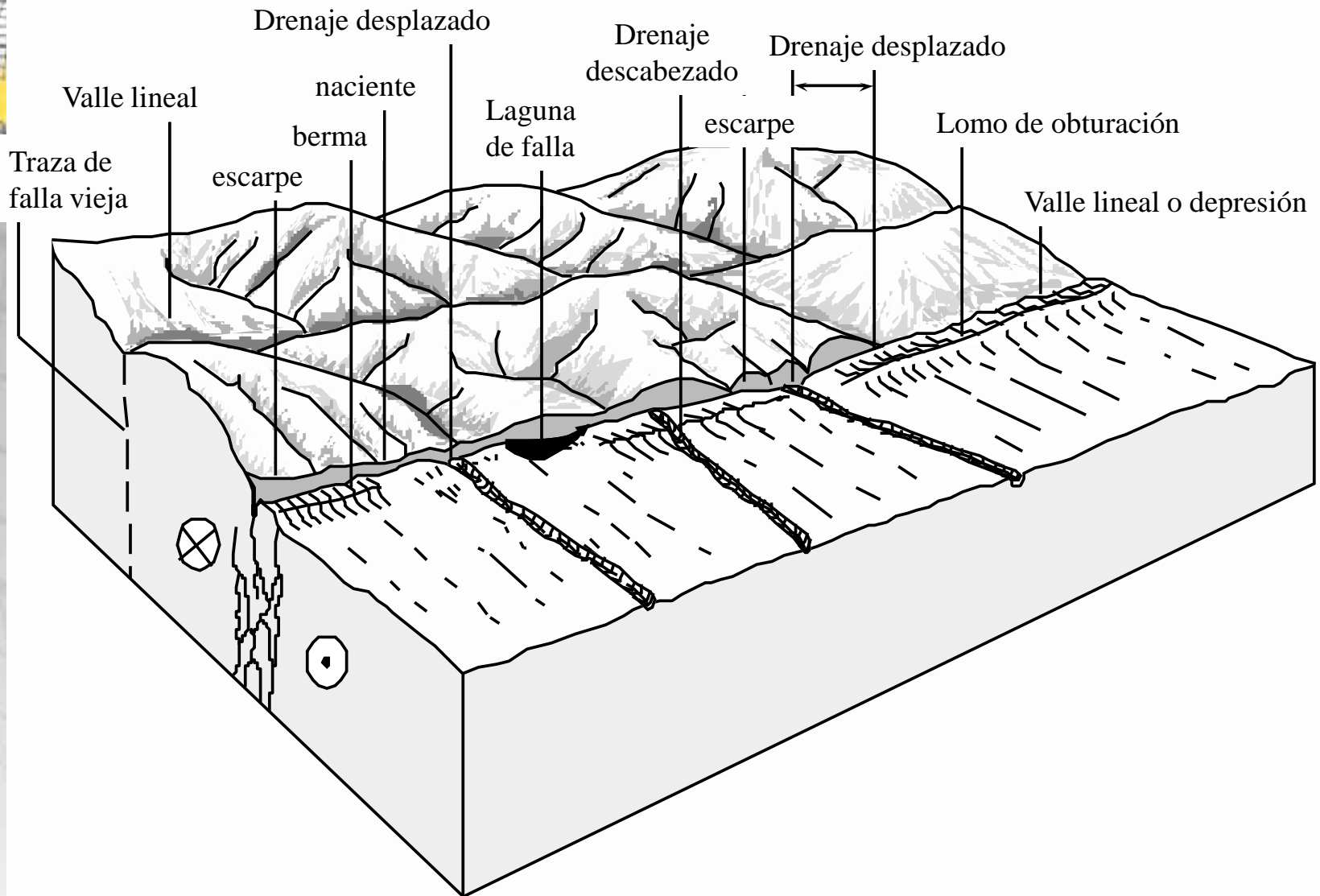


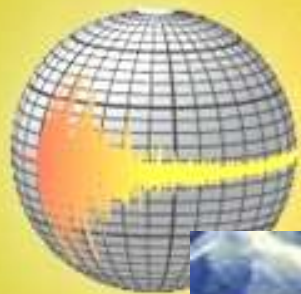
Figure 4.18: Overview of strike-slip geomorphology.

Copyright © 2001 Douglas Burbank and Robert Anderson. This figure may be downloaded and used for teaching purposes only. It may not be reproduced in any publication, commercial or scientific, without permission from the publishers, Blackwell Publishing, 108 Cowley Road, Oxford OX4 1JF, UK.



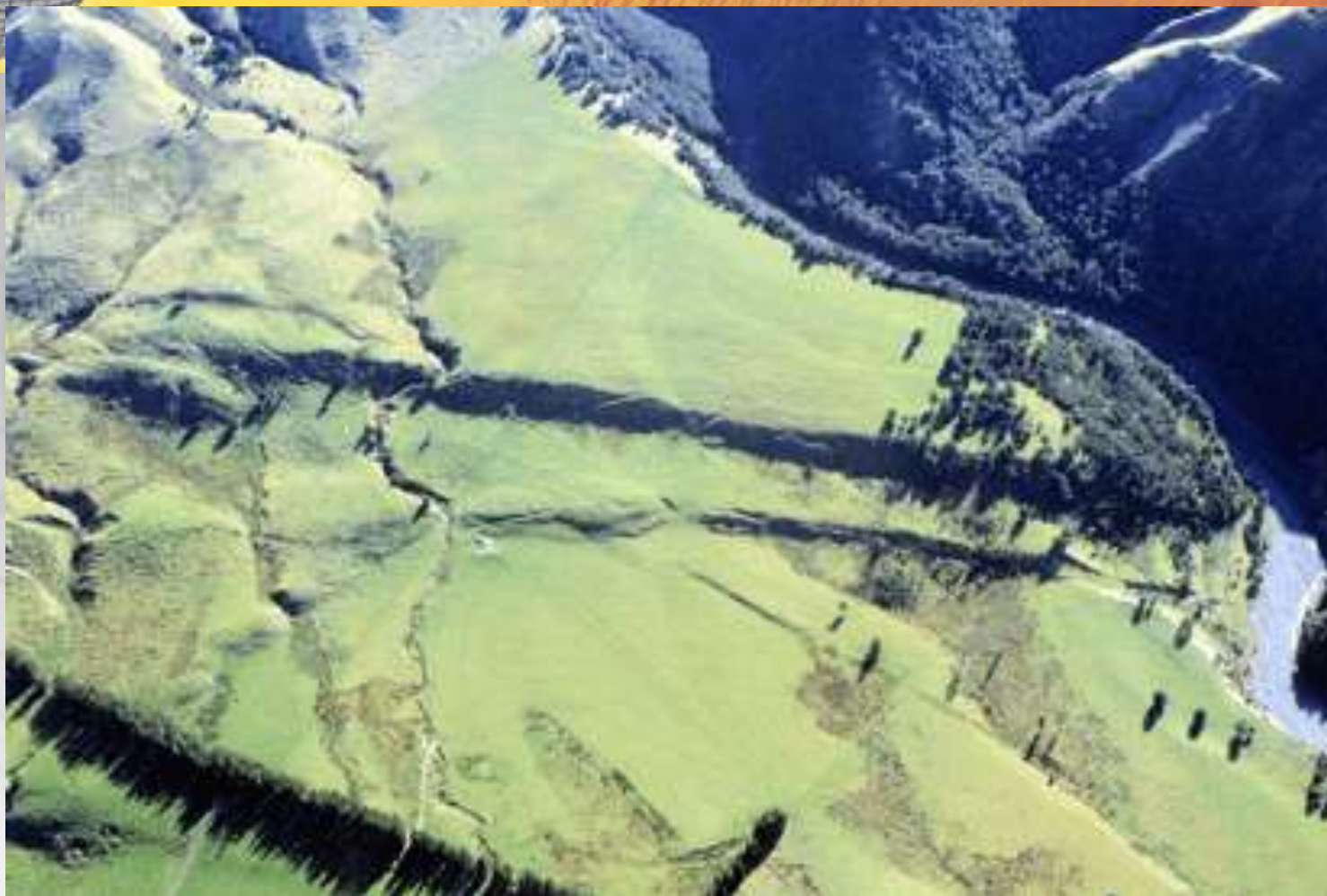
Ejemplo de la falla San Andrés, California, Estados Unidos





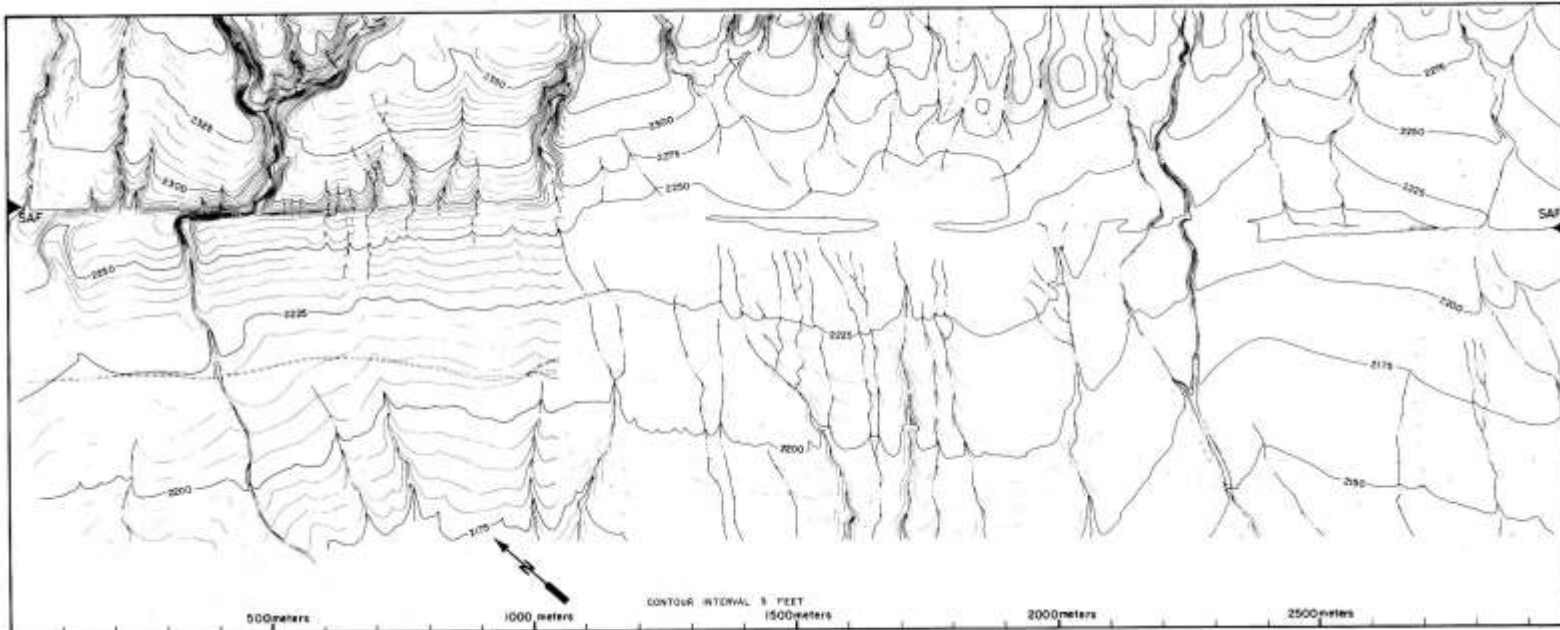
Falla dextral Hope Nueva Zelanda

Red Temática en
Amenaza y Riesgo
Sísmico

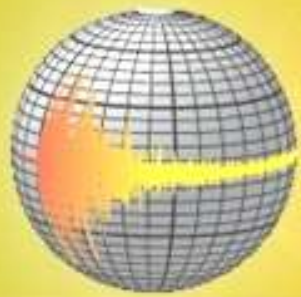


Se muestra zona de doblez a lo largo de la falla que origina fallas inversas

Mapa topográfico de 3 km de largo a lo largo de la falla San Andrés en Sismico Carrizo Plain, California Central



Se muestran geoformas típicas de fallas de desplazamiento de rumbo como son drenajes desplazados, drenajes descabezados, sag pond, lomo de obturación, aluvión represado y escarpes

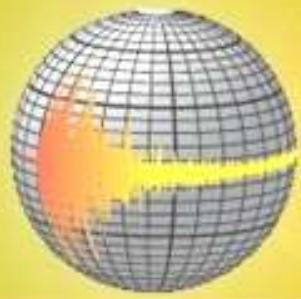


Lagunas de falla
(sag ponds)
en depresiones
cerradas

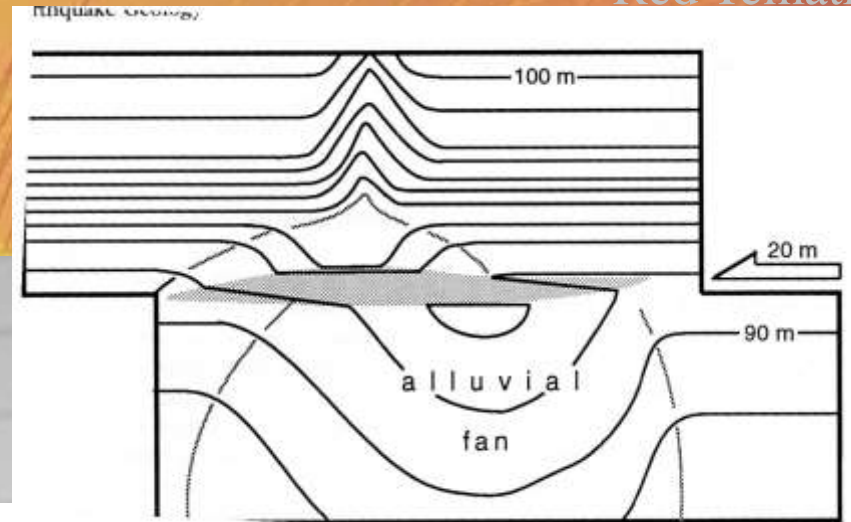


laguna de falla a lo largo de
la falla Ángel





Efecto de tijera en abanico aluvial desplazado



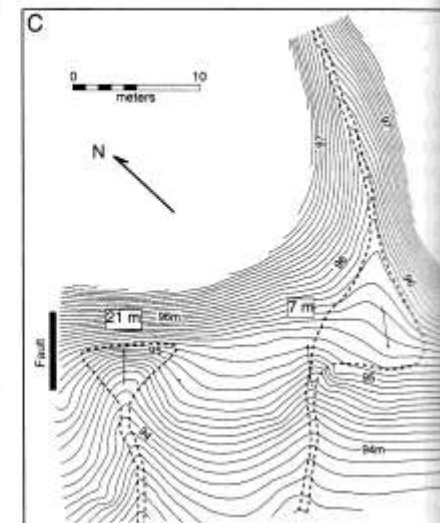
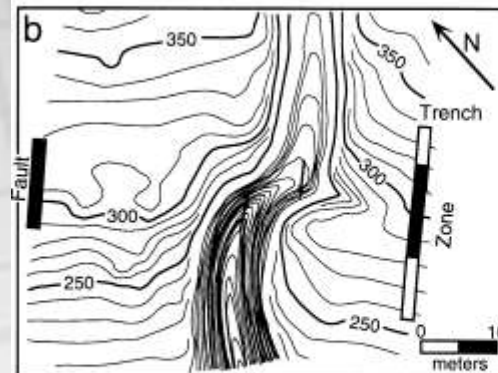
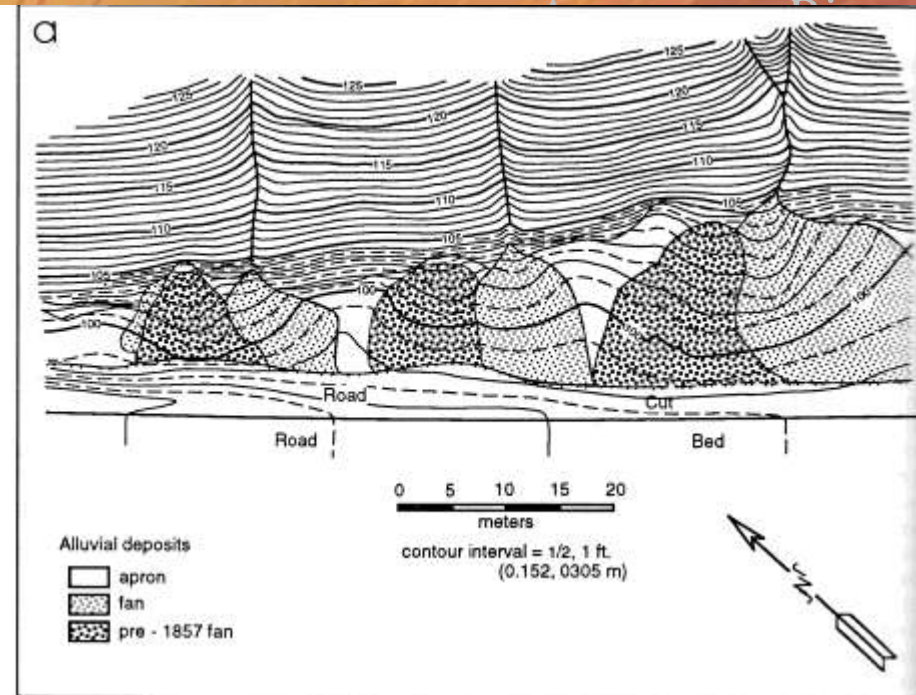
Escarpe a lo largo de la falla Xianshihe en China producto de un desplazamiento sinistral cercano a 2 m durante un terremoto en 1973. Flechas indican puntos que estaban contiguos antes del sismo



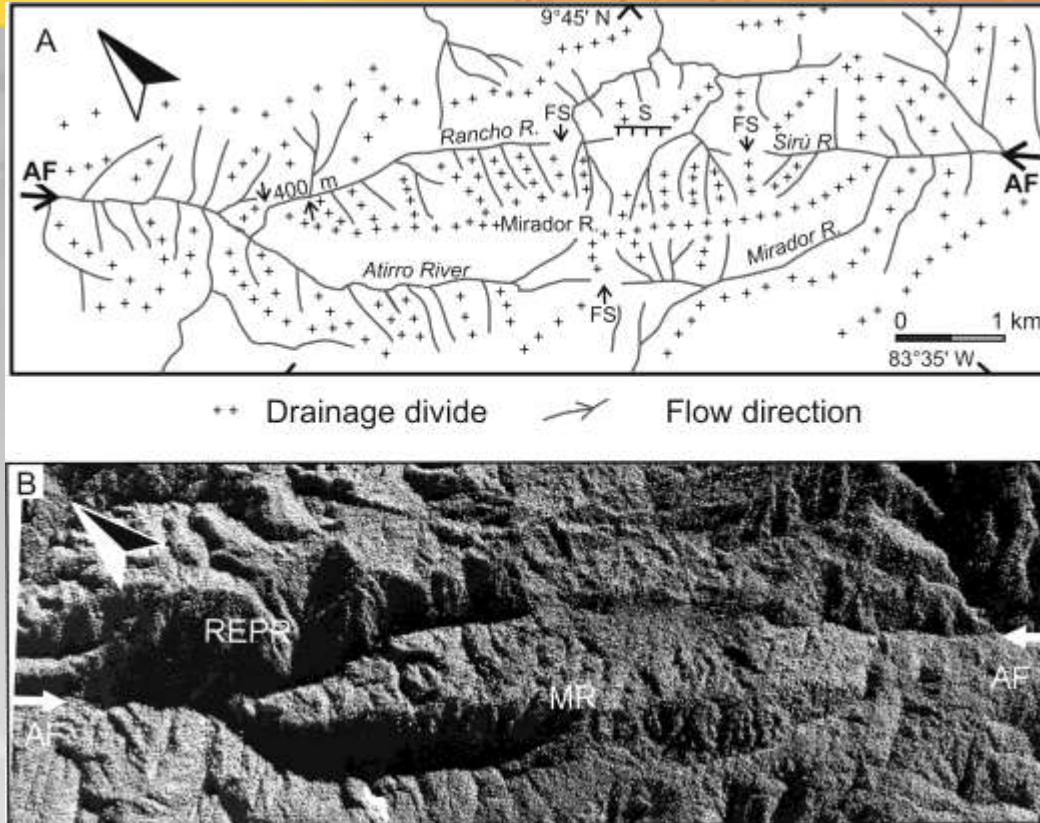
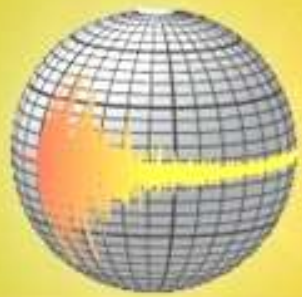
Falla San Andrés

En a) se muestran abanicos desplazados cerca de 6,5 m.
 b) Se muestra drenaje incisado en abanico y luego desplazado 7m. Además se sugiere posible flexión del canal en el sector aguas abajo.
 c) drenaje desplazado entre 7 y 21 m con respecto al sector aguas arriba

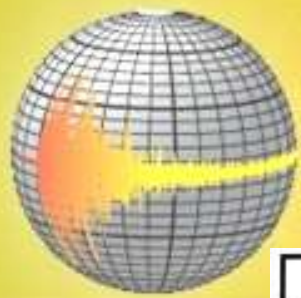
Los desplazamientos de 6,5-7 m se asocian con el terremoto de 1857



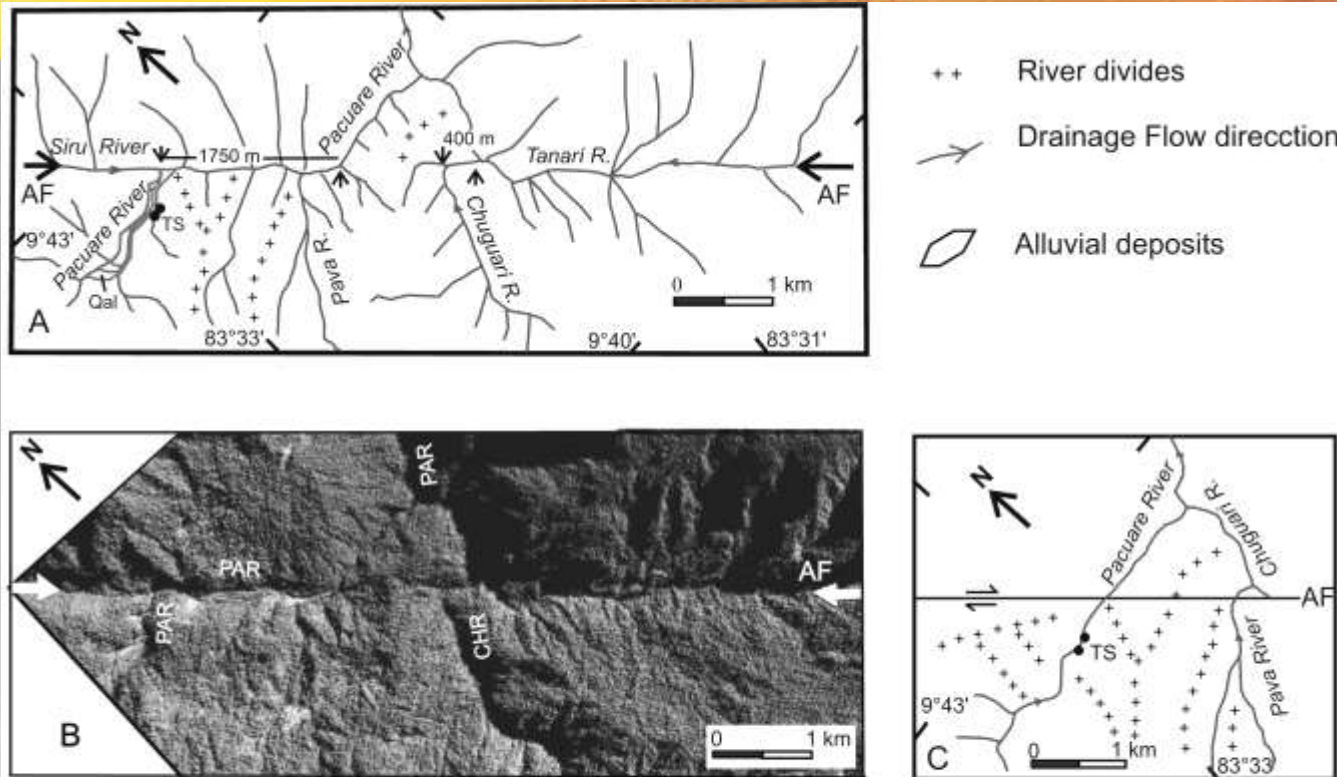
Falla dextral Atirro, Costa Rica



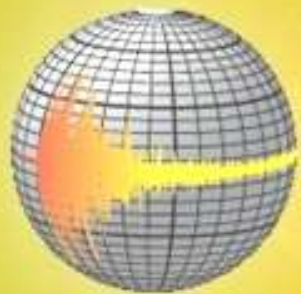
Lomo de presión del cerro Mirador por curvatura a la izquierda de la falla Atirro (Montero, 2003)



Falla dextral Atirro, Costa Rica



Desplazamientos dextrales de 1,75 y 0,4 km a lo largo de los ríos Pacuare y Chiguarí respectivamente. Observe desplazamiento de divisoria de loma al oeste del río Chiguarí (tomado de Montero, 2003; Montero et al., enviado a publicación)



ESTRUCTURAS COSÍSMICAS



Desplazamiento dextral en una calle
a raíz del terremoto de Landers (M 7,3)

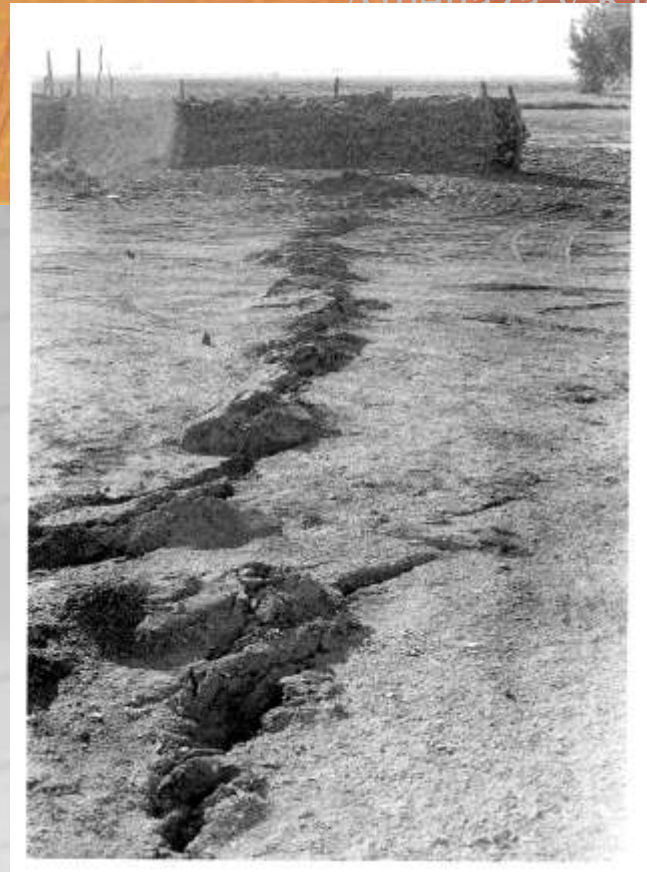


Ruptura de la falla Emerson
durante el terremoto de Landers

Filas de sembradíos de cebolla desplazados
15 cm en la falla Imperial durante el terremoto
de 1979.



Calle desplazada 2,5 m en la falla Emerson
durante el terremoto de Landers de 1992



Fracturas en echelon con traslape
izquierdo y un zonas levantadas
intermedias asociadas con la
ruptura de la falla dextral Imperial en
el terremoto de 1979. Hubo un
desplazamiento derecho de 25 cm.

Terremoto de Guatemala del 4 de febrero de 1976 (Ms 7,5)



Base de fotos del U. S. Geological Survey

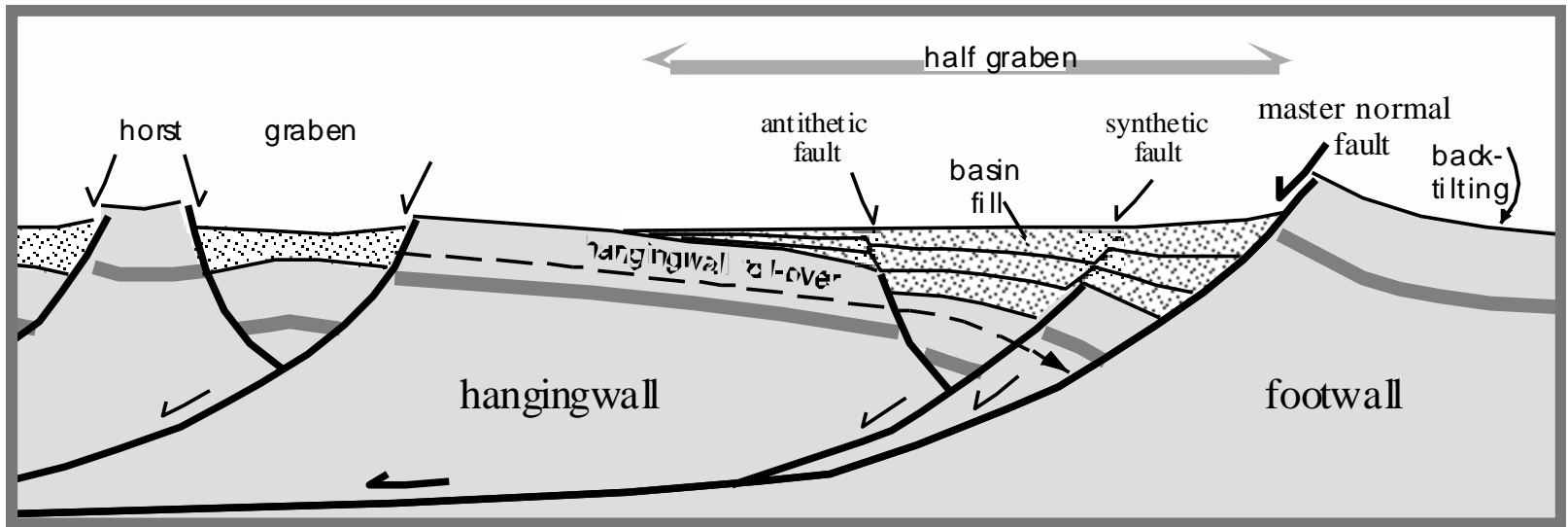


Figure 4.20: Schematic of cross section of normal faults in an extensional regime.

Copyright © 2001 Douglas Burbank and Robert Anderson. This figure may be downloaded and used for teaching purposes only. It may not be reproduced in any publication, commercial or scientific, without permission from the publishers, Blackwell Publishing, 108 Cowley Road, Oxford OX4 1JF, UK.

Fallas normales al sur de la falla Polochic



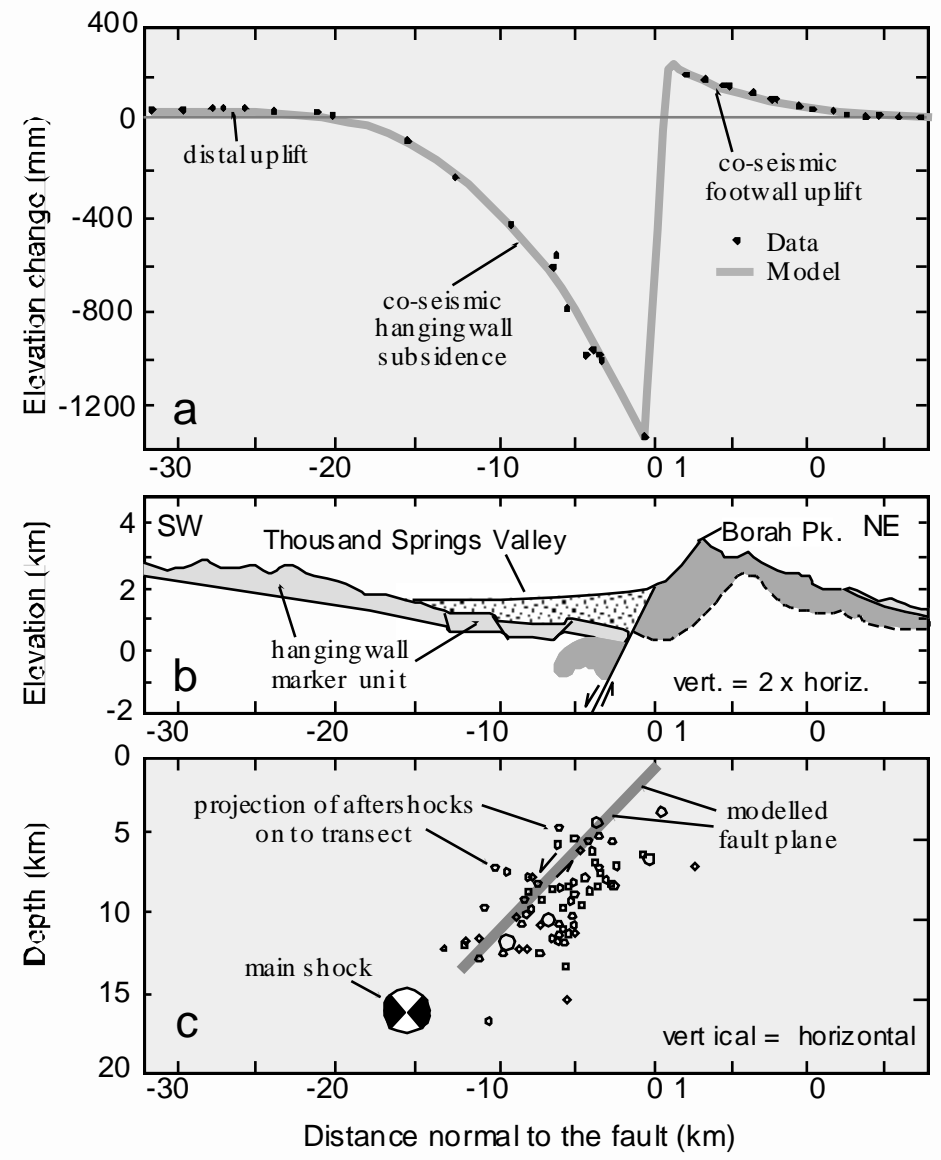
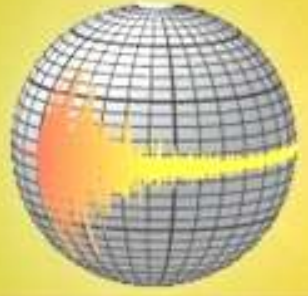
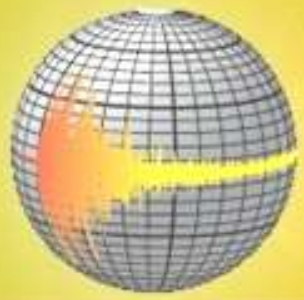


Figure 4.23: Normal faulting in the Lost River Range, Idaho.

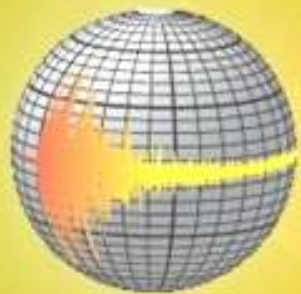
Copyright © 2001 Douglas Burbank and Robert Anderson. This figure may be downloaded and used for teaching purposes only. It may not be reproduced in any publication, commercial or scientific, without permission from the publishers, Blackwell Publishing, 108 Cowley Road, Oxford OX4 1JF, UK.



Falla Orosi, Costa Rica

Red Temática en
Amenaza y Riesgo
Sísmico





Falla Picagres, Costa Rica



Montero y Rojas, en preparación)

Morfotectónica fallas inversas

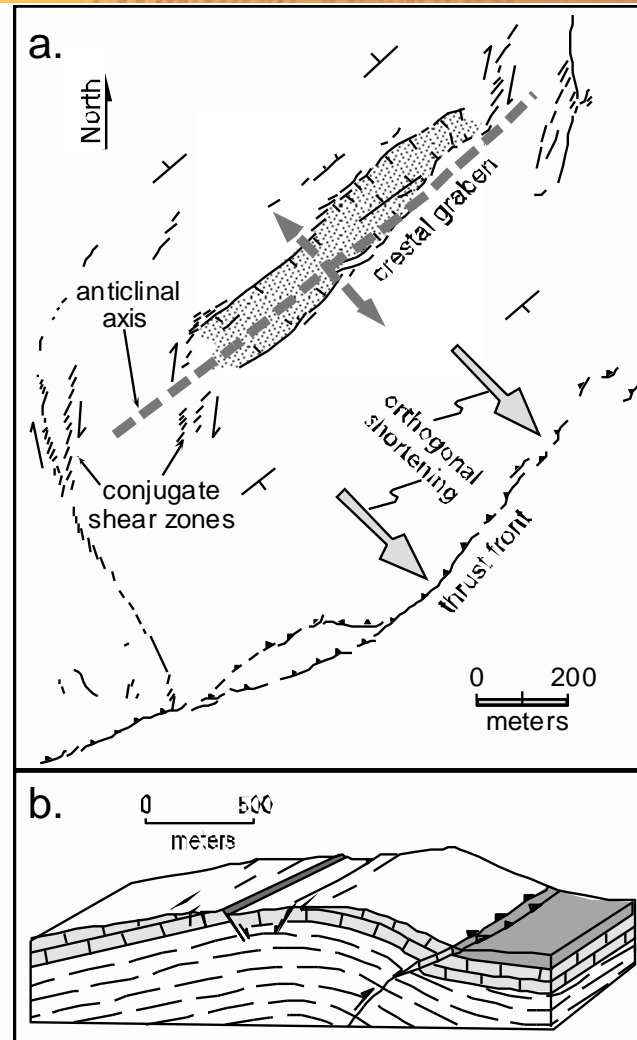
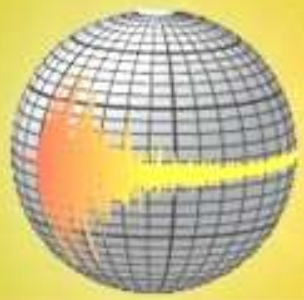


Figure 4.28: El Asnam thrust front and crestral grabens.

Copyright © 2001 Douglas Burbank and Robert Anderson. This figure may be downloaded and used for teaching purposes only. It may not be reproduced in any publication, commercial or scientific, without permission from the publishers, Blackwell Publishing, 108 Cowley Road, Oxford OX4 1JF, UK.

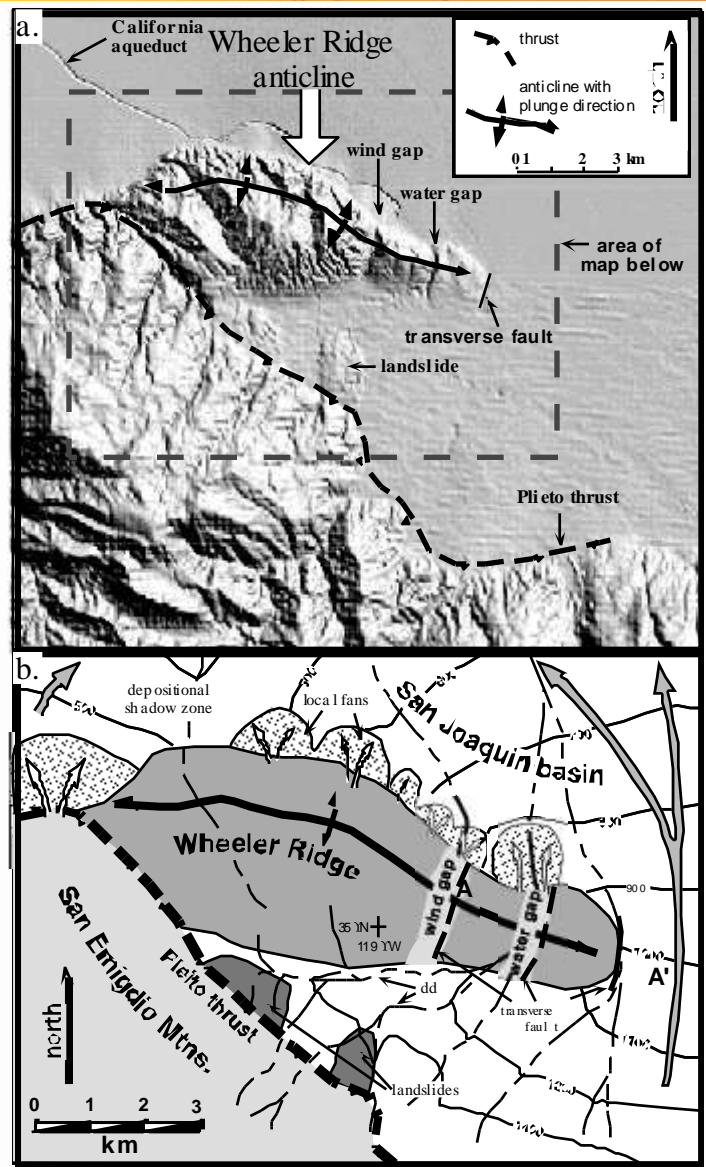


Figure 4.35: Wheeler Ridge, a plunging fold in California.

Copyright © 2001 Douglas Burbank and Robert Anderson. This figure may be downloaded and used for teaching purposes only. It may not be reproduced in any publication, commercial or scientific, without permission from the publishers, Blackwell Publishing, 108 Cowley Road, Oxford OX4 1JF, UK.



Falla Alajuela, Costa Rica

Red Temática en
Amenaza y Riesgo
Sismico

