



# ¿QUÉ ES LA ESCALA DE MAGNITUD RICHTER?

JOSÉ ANTONIO  
VIDAL VILLEGAS

## DEDICATORIA

A la memoria de mi mamá:  
Agustina Villegas Franco  
(1921 – 2012)

Cuando ocurre un temblor (o sismo), nos enteramos por los medios de comunicación de algo así: “El sismo de magnitud 7.2 grados, en la escala Richter, que sacudió ayer la ciudad de Mexicali, fue sentido por todos los pobladores y provocó daños en casas y edificios...” Al conocer de qué orden fue la magnitud, tenemos idea de la dimensión del temblor y de sus posibles secuelas, con lo cual entendemos que, mientras más *fuerte* es el temblor, mayor es su magnitud y, consecuentemente, la posibilidad de daños producidos en alguna(s) región(es). No obstante, poco o nada sabemos acerca de qué es la magnitud, cómo se calcula y qué es lo que mide; por otro lado, quizá lleguemos a preguntarnos, incluso, quién fue Richter.

Ejemplo de rocas graníticas de la Sierra de Juárez. Baja California  
(Foto: O. Gálvez, CICESE)



## ¿QUÉ ES LA ESCALA DE MAGNITUD RICHTER?

**D**ado que México se localiza en una zona sísmica (lo es, en general, la costa del Pacífico y el Golfo de California), es conveniente adquirir un poco de conocimiento sobre el tema, y así comprender que los sismos son procesos naturales de la Tierra y evidencia de que nuestro planeta tiene *vida*. El conocimiento nos permitirá actuar de manera más asertiva ante la ocurrencia de temblores, dominar el miedo y tomar la mejor decisión para aminorar o evitar sus posibles efectos destructivos. El propósito de este trabajo es explicar el concepto de *magnitud de un sismo*.

### MAGNITUD LOCAL

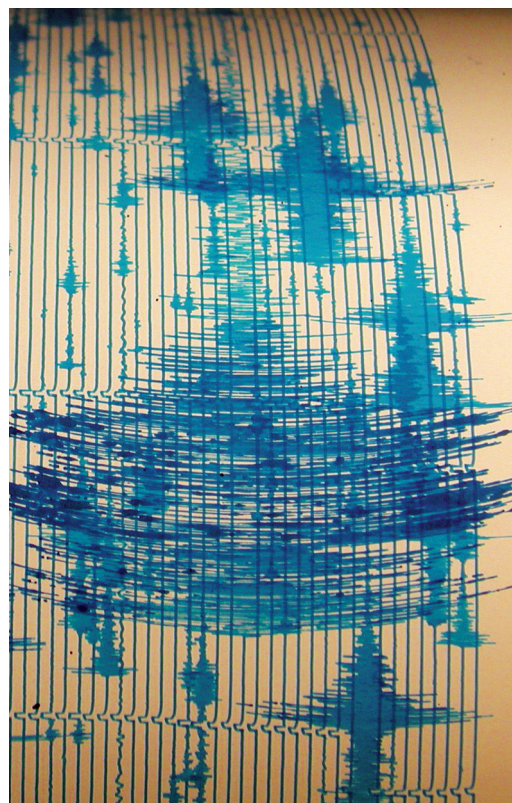
En la actualidad, los medios de comunicación han popularizado el uso de la expresión "escala Richter", pero, ¿en qué consiste esta escala? Veamos:

En 1958, Charles F. Richter (1900–1985, investigador del Instituto de Tecnología de California), mediante el estudio de sismos acaecidos en el sur de California, EUA, definió el concepto de *magnitud local* de la siguiente manera:<sup>1</sup>

$$ML = \log [A(\Delta)/A_0(\Delta)] = \log A(\Delta) - \log A_0(\Delta).$$

Esto es: la magnitud local (*ML*) es el logaritmo (*log*) del cociente de dos cantidades, o bien, la diferencia de sus logaritmos. En la ecuación,  $\log A(\Delta)$  representa el logaritmo de la amplitud máxima (en mm), medida en un sismograma hecho por un sismógrafo de torsión Wood–Anderson (llamado así, en honor a sus diseñadores H. O. Wood y J. A. Anderson), y  $\log A_0(\Delta)$  representa el logaritmo de la amplitud de un *sismo patrón*, que fue definido por Richter como un sismo registrado a 100 km del epicentro (con amplitud de 1 mm), al cual corresponde un valor de 3, esto es:  $-\log A_0(100) = 3$ .

Como puede apreciarse, tanto  $\log A$  como  $\log A_0$  están en función de la distancia epicentral ( $\Delta$  = distancia del epicentro al sitio de registro). La escala propuesta por Richter (logaritmo de un cociente) es simplemente la comparación de un sismo registrado con referencia a un sismo patrón. Con respecto a las unidades de



Sismograma que muestra algunas réplicas del sismo El Mayor Cucapah. (Foto: G. Rendón, CICESE)

### CUADRO 1.

#### EL CASO DEL NORTE DE BAJA CALIFORNIA

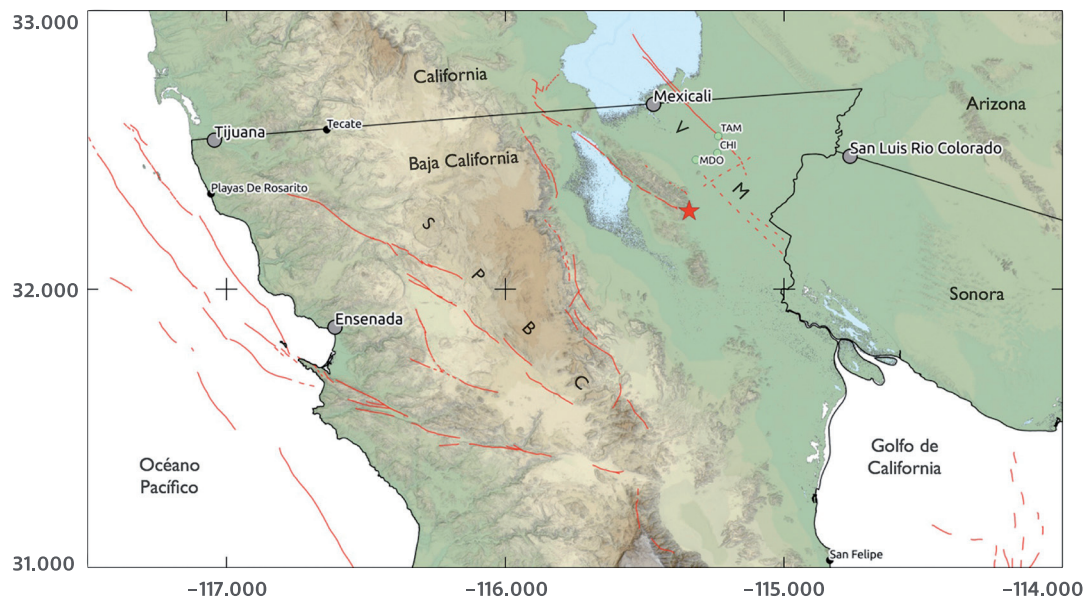


La función de atenuación debe ser determinada para cada región en particular. Para la región norte de Baja California, México (adyacente a la del sur de California) fue necesario determinar dos funciones de atenuación;<sup>3</sup> una para un ambiente caracterizado por rocas de tipo granítico –como las Sierras Peninsulares de Baja California (SPBC)–, y la otra para un ambiente sedimentario –como el Valle de Mexicali (VM)– (figura 1). Ahora bien, si comparamos las cuatro funciones de atenuación mencionadas (dos del sur de California y dos del norte de Baja California), en la figura 2, vemos que:

- A distancias de 10 a 40 km, las funciones para las SPBC y el VM corresponden a una mayor atenuación de las amplitudes de la señal sísmica que la atenuación sugerida por la función propuesta por Richter. Esto implica que si se usa la función de Richter, producirá valores de magnitud subestimados (sobre el caso del sur de California, Hutton y Boore<sup>2</sup> llegaron a la misma conclusión).
- Para distancias de ~45 a 200 km, las funciones de atenuación de las SPBC y el VM son muy similares a las del sur de California; en consecuencia, la magnitud de un sismo registrado en el norte de Baja California se puede determinar con cualquiera de las cuatro funciones.
- Finalmente, a distancias entre 200 y 450 km son comparables, por un lado, las funciones de atenuación del VM y la de Richter y, por otro, las funciones de las SPBC y de Hutton y Boore. En este intervalo de distancias, la atenuación en el VM es mayor que en las SPBC, y por tanto la magnitud de los sismos debe calcularse con la función de atenuación apropiada para cada región.



## ¿QUÉ ES LA ESCALA DE MAGNITUD RICHTER?



» **FIGURA 1.** Regiones norte de Baja California, México y sur de California, Estados Unidos. Se muestran las dos provincias de la región norte de Baja California: las Sierras Peninsulares de Baja California (SPBC) y el Valle de Mexicali (VM). Con líneas rojas se indican las fallas principales del norte de Baja California, la estrella roja indica el epicentro del sismo El Mayor-Cuapah del 4 de abril de 2010 y los círculos verdes representan algunas de las estaciones que lo registraron. Los registros de estas estaciones fueron usados para el cálculo de la magnitud local.



Falla geológica activada por la ocurrencia del sismo El Mayor-Cuapah. (Foto: F. Suárez, R. Mendoza y O. Torres, CICESE).

# ¿QUÉ ES LA ESCALA DE MAGNITUD RICHTER?

medida del cociente  $\log(A[\text{mm}]/A_0[\text{mm}])$  se ve que el relato es adimensional; por ello, cuando se reporta el tamaño del sismo, simplemente se debería decir el valor de su magnitud, sin usar la palabra *grados*.

La escala de magnitud es logarítmica, debido al vasto intervalo de amplitudes con que trabajó Richter (de 0.01 mm hasta 100 mm), ya que el uso de logaritmos brinda la oportunidad de tener un intervalo de valores más sencillo de manejar (de -2 a 2). En la escala de magnitud, el término  $\log A_0 (\Delta)$  representa los valores de amplitud del sismo patrón para diferentes distancias de registro y tiene un significado físico, el cual explicamos a continuación.

## LA FUNCIÓN $\log A_0 (\Delta)$

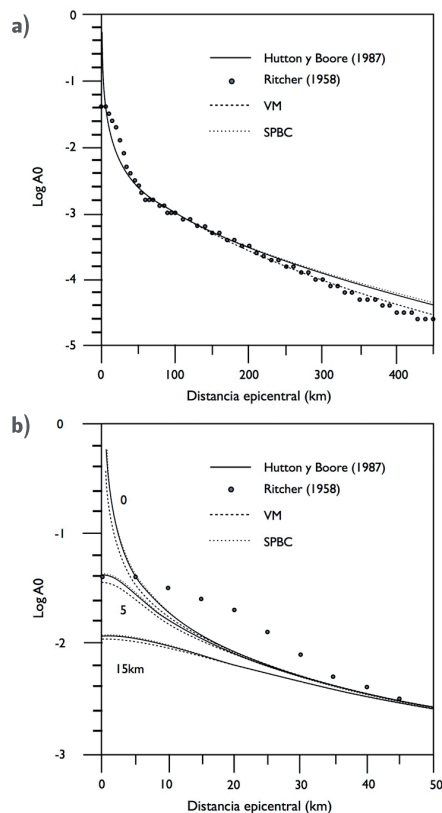
Esta función es llamada de *atenuación*, porque describe el comportamiento de la atenuación de las ondas sísmicas conforme se incrementa la distancia de registro. Esto es, a mayor distancia de registro, la amplitud de la señal sísmica será menor. Para el cálculo de la magnitud esta función es importante, puesto que toma en cuenta el decaimiento de la amplitud (medida en el sismograma) por el efecto de atenuación. De esta forma, la magnitud será igual cuando se calcule a partir de sismogramas obtenidos tanto a distancias cercanas al epicentro como a las lejanas a él.

En su estudio, Richter propuso una función de atenuación, válida para el sur de California, EUA, región para la que Hutton y Boore<sup>2</sup> propusieron otra, la cual presenta ciertas diferencias con respecto a la de Richter, como se muestra en el cuadro 1.

Para ilustrar al lector sobre la necesidad de usar la función de atenuación apropiada para una región, presentamos en la figura 3a, una gráfica de magnitudes calculadas con la función de atenuación propuesta por Richter, y en la figura 3b, las magnitudes calculadas con las funciones de atenuación determinadas para el norte de Baja California. En la figura 3a se puede apreciar una sobrestimación de los valores de magnitud (en valores mayores que 2.6), además de que están dispersos. Esta situación se corrigió al usar las funciones de atenuación apropiadas (figura 3b).

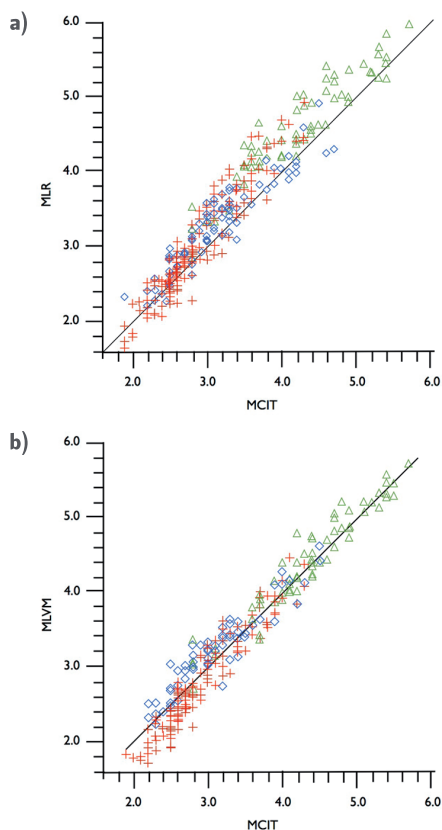
## SATURACIÓN DE LA MAGNITUD LOCAL

La escala de magnitud local, aunque es una escala abierta, tiende a alcanzar un valor máximo alrededor de 6.5, esto implica que, si tenemos registrado un sismo *más fuerte* o *más energético*, su magnitud local no será mayor al valor mencionado. Este hecho es conocido como *saturación de la magnitud local* (figura 4). Un ejemplo de ello lo constituye el caso del sismo El Mayor-Cucapah, ocurrido el 4 de abril de 2010, 45 km al SE de la ciudad de Mexicali, B. C. (epicentro mostrado en la figura 1). El cálculo de la magni-



>> FIGURA 2.

Comparación de las funciones de atenuación determinadas para las subregiones del VM y de las SPBC con las del sur de California. En (a) se muestra la comparación para todo el intervalo de distancias considerado (0 a 450 km). En (b) se presenta con detalle la comparación anterior en el intervalo de distancias de 0 a 50 km y para profundidades focales de 0, 5 y 15 km.



>> FIGURA 3.

a) Comparación entre las magnitudes locales ( $MLR$ ) calculadas con la función  $\log A_0$  propuesta por Richter y la magnitud reportada en los catálogos de la red del sur de California ( $MCIT$ ) para 365 sismos analizados. La línea recta representa la igualdad entre ambas magnitudes. Los símbolos representan la región de ocurrencia de los sismos: las cruces rojas las SPBC, los rombos azules el Valle de Mexicali y el Golfo de California y los triángulos verdes el sur de California. b) Comparación similar a la mostrada en a), pero ahora las magnitudes fueron calculadas con las funciones  $\log A_0$  propuestas para el norte de Baja California ( $MLVM$ ). Figuras modificadas de Vidal y Munguía.<sup>3</sup>



## ¿QUÉ ES LA ESCALA DE MAGNITUD RICHTER?

**TABLA I.**

INFORMACIÓN UTILIZADA PARA EL CÁLCULO DE LA MAGNITUD LOCAL DEL SISMO OCURRIDO EN EL MAYOR, CUCAPAH, BAJA CALIFORNIA

|||||

ESTACIÓN	DISTANCIA HIPOCENTRAL (KM)	COMPONENTE	AMPLITUD (NM)	ML
MDO	21.9	N-S	25.8 x 10 <sup>6</sup>	6.9
		E-O	18.8 x 10 <sup>6</sup>	6.7
CHI	25.8	N-S	14.8 x 10 <sup>6</sup>	6.7
		E-O	11.0 x 10 <sup>6</sup>	6.6
TAM	32.1	N-S	10.3 x 10 <sup>6</sup>	6.7
		E-O	12.3 x 10 <sup>6</sup>	6.7
Promedio				6.7

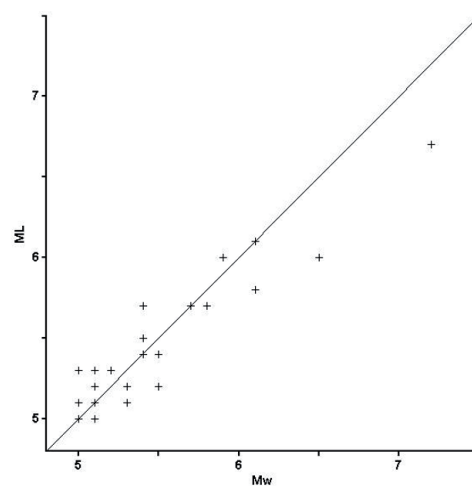
tud local se realizó partiendo de la obtención, primero, de un sismograma Wood-Anderson equivalente (figura 5), con el apoyo de los registros de aceleración recabados, y a continuación se calculó la magnitud local de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$ML = \log A + (1.013 \log r + 0.0025 r - 1.934).$$

La cual está basada en la definición de magnitud local de Richter, pero ahora la amplitud  $A$  esta medida en nanómetros (nm) y  $r$  es la distancia hipocentral (distancia del foco a la estación de registro, en km). Los términos entre paréntesis corresponden a la función  $\log A0$  determinada por Vidal y Munguía<sup>3</sup> para la región del Valle de Mexicali. El valor promedio de magnitud local obtenido para el sismo mencionado, considerando los datos mostrados en la tabla 1, fue de 6.7, mientras que el valor reportado por las agencias de sismología fue de 7.2 (magnitud de momento, la cual explicamos en el siguiente párrafo). Esto es, la magnitud local obtenida es 5 décimas de magnitud menor que la magnitud asignada para este sismo (lo que representa una subestimación de 3.2 veces el “tamaño” del sismo). Para evitar el problema de saturación de la magnitud local, se ha propuesto el uso de la magnitud de momento:<sup>4</sup>

$$Mw = (0.67 \log M0) - 10.73.$$

Donde  $Mw$  es la magnitud de momento y  $M0$  es el momento sísmico (unidades en dinas-cm). Así, para el caso del sismo El Mayor-Cucapah se calculó primero su momento sísmico y, posteriormente, su magnitud, resultando un valor  $Mw$  de 7.2. El momento sísmico (cuya descripción de cálculo está fuera del alcance del presente documento), está basado en el modelo de un par de fuerzas dirigidas en sentido opuesto y actuando a lo largo de una dirección sobre un material deformable. Cuando se rebasa el límite elástico de ese material se produce una ruptura y hay un movimiento relativo entre las dos partes formadas. Este movimiento es a lo largo de un plano, al cual denominamos plano de falla (sí, de una falla geológica). Así, el momento sísmico ( $M0$ ) es el producto de la rigidez del material ( $\mu$ ) por el desplazamiento promedio ( $D$ ) en la falla y por el área de ruptura ( $A$ ), esto es:  $M0 = \mu DA$ . El momento sísmico no presenta el problema de saturación y es usado por los sismólogos para cuantificar el “tamaño” de un temblor.



**» FIGURA 4.** Magnitud de momento ( $Mw$ ) contra magnitud local ( $ML$ ) de sismos ocurridos en las regiones sur de California y norte de Baja California (de 1987 a 2010 y entre las latitudes 30.0 a 34.0 Norte y longitudes 114.0 a 117.0 Oeste). Observe el lector como los valores de  $ML$  tienden a ser menores a valores de alrededor de 6.5. (Fuente: catálogos del Centro Nacional de Información de Temblores, Estados Unidos; de la Red Sísmica del Noroeste de México y del Centro Internacional de Sismología, Reino Unido).



## ¿QUÉ ES LA ESCALA DE MAGNITUD RICHTER?

**TABLA II.**  
COMPARACIÓN ENTRE LA VARIACIÓN DE LA MAGNITUD (M) Y LA CORRESPONDIENTE VARIACIÓN DE LA ENERGÍA SÍSMICA ( $E_s$ ).

M	log $E_s$	Diferencia logarítmica (dl)	Antilogaritmo ( $10^{dl}$ )
6	20.8		
7	22.3		
		$\log E_s(M7) - \log E_s(M6) = 1.5$	$10^{1.5} = 32$
8	23.8		
		$\log E_s(M8) - \log E_s(M6) = 3.0$	$10^{3.0} = 1,000$

### ENERGÍA SÍSMICA Y MAGNITUD

Cuando ocurre el movimiento descrito en la sección anterior, se genera una liberación de energía a la que denominamos energía sísmica, la cual es propagada por las ondas sísmicas y es proporcional al cuadrado de sus amplitudes y, por tanto, la magnitud es proporcional al logaritmo de la energía.<sup>5</sup> En 1956 Gutenberg y Richter establecieron la siguiente relación empírica entre la magnitud y la energía:<sup>6</sup>

$$\log E_s = 1.5M + 11.8.$$

Donde  $E_s$  es la energía sísmica (en Ergs), M es la magnitud que puede ser  $M_L$  o  $M_s$  (magnitud de ondas superficiales, para el caso de registros de sismos distantes [telesísmicos]). Con base en la ecuación anterior, vemos que una variación de una unidad de magnitud producirá una variación de la energía por un factor de  $10^{1.5}$  (tabla 2). Esto es, la energía sísmica de un sismo de magnitud 7, será aproximadamente 32 veces mayor que la correspondiente a uno de magnitud 6. Si la variación es de dos unidades de magnitud, ahora la variación de la energía será de  $10^{3.0}$ . Por ejemplo, la energía sísmica de un sismo de magnitud 8.0 será 1,000 veces mayor que la de un sismo de magnitud 6.

Utilizaremos el caso del sismo de magnitud 8.1, ocurrido frente a las costas de Michoacán, el 19 de septiembre de 1985: podemos decir que, con el uso de la relación entre  $E_s$  y  $M$ , la energía sísmica de este temblor fue de  $8.9 \times 10^{23}$  Ergs; sin embargo, este valor es sólo una estimación, pues, para una mayor precisión, es necesario tomar en cuenta factores como:

- i) la variación de las amplitudes debido a la forma como se radian las ondas sísmicas desde el hipocentro (patrón de radiación),
- ii) la atenuación producida por el medio por el cual éstas se propagan y
- iii) los cambios que experimentan al llegar a la superficie (efecto de sitio)

### COMENTARIO FINAL

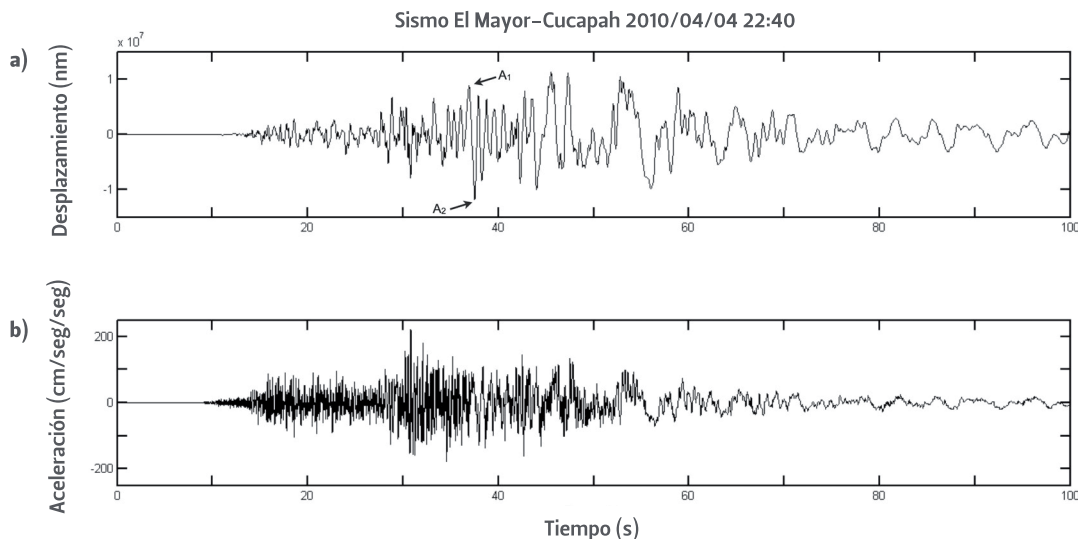
El autor del presente documento considera que la magnitud se seguirá usando para informar al público sobre el “tamaño” de un temblor. No obstante, para su cálculo, se debe usar la función de atenuación de la región donde ocurren los sismos. Si la magnitud reportada para un sismo es mayor que 6.5, ya sabemos que esta magnitud se determinó de forma diferente a la propuesta por Richter. ●



## ¿QUÉ ES LA ESCALA DE MAGNITUD RICHTER?

### » FIGURA 5.

Ejemplo de un sismograma Wood-Anderson equivalente (a) para el sismo El Mayor-Cucapah del 4 de abril de 2010. Este sismograma se obtuvo a partir de los registros de aceleración obtenidos en la componente norte-sur de la estación TAM (b). El promedio de los valores absolutos de amplitud A1 y A2 (indicados con las flechas) es el que se utilizó en el cálculo de la magnitud local (tabla I).



Material sedimentario de la Laguna Salada, al suroeste de la región del Valle de Mexicali; al fondo, la Sierra Juárez. (Foto: O. Gálvez, CICESE)

### AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a Luis Munguía el haber facilitado los registros de aceleración del sismo El Mayor-Cucapah, así como a Teresa Vidal y Sergio Arregui por su ayuda en la preparación de las figuras. Los comentarios hechos por un revisor anónimo y los vertidos en el dictamen editorial, permitieron mejorar sustancialmente el contenido del presente artículo. El funcionamiento de las redes sísmicas del norte de Baja California ha sido posible gracias al soporte económico del Conacyt y el CICESE.

**José Antonio Vidal Villegas** es doctor en Ciencias en Sismología por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), en cuyo Departamento de Sismología es, actualmente, investigador. Sus líneas de investigación se relacionan con atenuación, efecto de sitio y fuente sísmica. Ha sido colaborador en redes sísmicas: RESMAC (Red Sísmica Mexicana de Apertura Continental), RANM (Red de Acelerógrafos del Noroeste de México) y RESNOM (Red Sísmica del Noroeste de México). Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel 1.

### REFERENCIAS

1. Richter, C. F. *Elementary seismology*, W. H. Freeman, San Francisco, 1958. 768 pp.
2. Hutton, K. L. y D. M. Boore. The ML scale in southern California, *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1987. v. 77, 2074-2094.
3. Vidal, A. y L. Munguía. The ML scale in Northern Baja California, México, *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1999. v. 89, 750-763.
4. Kanamori, H. The energy release in great earthquakes. *Journal of Geophysical Research*. 1977. v. 82, 2981-2987.
5. Udías, A. *Principles of Seismology*. Cambridge University Press, Cambridge. 1999. 475 pp.
6. Kasahara, K. *Earthquake Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press. 1981, 248 pp.