

CARACTERIZACIÓN DE FUENTES SISMOGÉNICAS DE EVENTOS VOLCANO-TECTONICOS (VT) EN EL COMPLEJO VOLCÁNICO GALERAS

Ortega E. Adriana M. - Roberto C. Roberto A - Gómez M. Diego M.
INGEOMINAS – Centro Operativo Regional Pasto (CORP)
e-mails: aortega@ingeomin.gov.co / rtorres@ingeomin.gov.co / dgomez@ingeomin.gov.co

Resumen

La región de influencia del Complejo Volcánico Galeras ha mostrado sismicidad en la confluencia del volcán activo y el sistema activo de fallas Romeral, asociada al fracturamiento de material sólido y catalogada como VT. Para su caracterización se analizó el parámetro b , la relación V_p/V_s , parámetros cinemáticos de fuente, evoluciones espacio-temporales y frecuenciales. Las fuentes: Norte (la más recurrente y energética), Sur y Sureste del cráter, mostraron valores relativamente bajos de b , caracterizando una región moderadamente heterogénea con campos de esfuerzos uniformes y ocurrencia de sismos de mayor magnitud; la fuente Suroccidente mostró mayores valores, característico de regiones estructuralmente heterogéneas con magnitudes esperadas menores. La relación V_p/V_s varió entre 1.66 y 1.86. Valores relativamente bajos pueden explicarse por la presencia de agua caliente a temperaturas y presión de poros cercanos a valores de transición de agua a vapor en ambientes fracturados. Tal mecanismo anelástico afectaría la compresibilidad más que la rigidez, disminuyendo V_p/V_s . La posibilidad de existencia de zonas parcialmente fundidas es menor y se tendría un decrecimiento de V_s incrementando esta relación.

Las propiedades de deformación de cuerpos sólidos (elasticidad, viscosidad, etc.) varían con cambios de temperatura, presión, magnitud, duración de tensiones y velocidad de deformación. En una región volcánica las condiciones de estructura interna son complejas, reflejándose en los registros sísmicos. Los valores obtenidos presentan un rango similar a datos típicos de rocas conocidas.

El análisis cinemático de sismos VT registrados en julio de 2000 en el sistema de banda ancha, permitió estimar valores de momento sísmico entre 1.8×10^{21} y 2.66×10^{23} dinasxcm; caída de esfuerzos entre 2.17×10^2 y 2.55×10^4 bares y dislocaciones entre 14,31 y 1004,35 cm

Palabras claves: Sismos Volcano-tectónicos, Parámetro b , Ondas de Cuerpo, Parámetros Cinemáticos, Constantes Elásticas.

Abstract

The Galeras Volcanic Complex influence region has shown seismicity in the fork of the active volcano and the Romeral's active fault system associated to fracturing of solid material and classified as VT. b -Parameter, V_p/V_s relationship, kinematics source parameters, time and frequency evolutions, among others were analyzed for VT characterization. The sources: North (the most recurrent and energetic), South and Southeast to the crater, showed relatively low b values, characterizing a moderately heterogeneous region with uniform stress fields and occurrence of earthquakes of bigger magnitude. For Southwest source, b values are higher which are typical for heterogeneous structurally regions with smaller expected magnitudes. The V_p/V_s relationship varied between 1.66 and 1.86. Relatively low value can be explained by the presence of hot water to temperatures and pore pressure near to values of transition of steam water in fractured environments. Such an anelastic mechanism would affect the compressibility more than the rigidity, diminishing V_p/V_s . The possibility of existence of partially melt areas is smaller and it would have a decrease of V_s , increasing the relationship.

Deformation properties of solid bodies (elasticity, viscosity, etc.), vary with changes of temperature, pressure, magnitude, tension duration and deformation speed. In a volcanic region the internal

structure conditions are complex, being reflected in the seismic records. The obtained values present a similar range to typical data of well-known rocks.

With the kinematics analysis of VT earthquakes registered in July 2000, in the broadband system, seismic moment was obtained between 1.8×10^{21} and 2.66×10^{23} dinasxcm; stress drop was between 2.17×10^2 and 2.55×10^4 bars and dislocations between 14,31 and 1004,35 cm.

Key words: Volcano-tectonic earthquakes, b-Parameter, Body Waves, Kinematics Parameters, Elastic Constants. Los eventos VT, se asocian a procesos de fracturamiento de material sólido al interior del edificio volcánico. Reciben ese nombre por presentarse en la región de confluencia del volcán activo Galeras y del Sistema de Fallas de Romeral, también activo. Para su caracterización, se usaron diferentes tipos de análisis como: Parámetro *b*, relaciones de velocidades de las ondas P y S y parámetros cinemáticos de fuente.

1. PARAMETRO *b*

1.1 MARCO TEÓRICO Y METODOLOGICO

La actividad sísmica de una región está condicionada a la morfotectónica de la zona, lo cual se refleja en el tipo de sismicidad y las características que ésta presenta. Entre los aspectos que influyen esa actividad pueden mencionarse los siguientes:

- A mayor recurrencia sísmica, la energía confinada tendrá un proceso gradual de liberación y por tanto será menor la acumulación de esfuerzos en la zona y viceversa.
- Las condiciones mecánicas de la roca determinan el estado de resistencia o grado de fracturamiento del material ante la presencia de un determinado esfuerzo.

Estudiando el comportamiento que presentaban los sismos y sus magnitudes durante la ocurrencia de un enjambre o una secuencia de réplicas, Gutenberg y Richter desarrollaron en 1942 una relación empírica para estimar características de una región, con correspondencia lineal entre la magnitud de los sismos y la frecuencia con que estos se presentan, de la forma: $\text{Log}_{10} N = a - b \cdot M_c$ (Gutenberg and Richter, 1942; Figura 1).

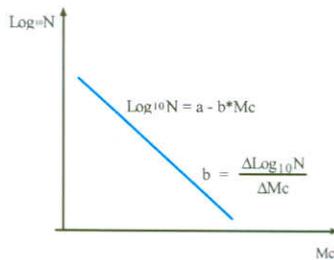


Figura 1. Número de eventos en función de sus magnitudes, durante una secuencia de réplicas o un enjambre sísmico.

N Número de eventos con magnitudes mayores o iguales a M_c (en un determinado período de tiempo).

M_c Magnitud Richter de cada uno de los sismos. En nuestro caso, M_c representa la magnitud de cada uno de los sismos.

a Intercepto de la recta con el eje de las ordenadas.

b Pendiente de la recta, para el caso del método de mínimos cuadrados, representa la recurrencia de los sismos según su magnitud.

La relación entre la magnitud de los sismos y su frecuencia de ocurrencia, ha generado el concepto del Parámetro *b*, que tiene significado físico en el análisis, dependiendo de parámetros como región de estudio, profundidad focal, niveles de esfuerzos acumulados y, tipo y competitividad de la roca (Gutenberg and Richter, 1942). El Parámetro *b* puede obtenerse por dos métodos: el de mínimos cuadrados y el de máxima probabilidad o de Utsu (Utsu, 1961):

$$b = \frac{\Delta \text{Log}(N)}{\Delta M} \quad (\text{mínimos cuadrados})$$

$$b = \frac{\text{Log}(e)}{M_p - M_0} \quad (\text{Utsu})$$

Para Utsu, *e* es el número Neperiano, M_p magnitud promedio y M_0 magnitud mínima. Usualmente, los valores de *b* obtenidos por este método, son menores que por mínimos cuadrados lo cual repercute en el cálculo de las máximas magnitudes esperadas.

En experimentos de laboratorio, el Parámetro b oscila entre 0.6 b 1.5 (Udias y Mezcuá, 1986) y su variación temporal (o espacial) da idea de las condiciones del medio y de la sismicidad. Incrementos en el valor de b (1 b 1.3), se relacionan con actividad sísmica de menor tamaño y se explican como resultado de alta heterogeneidad en la estructura, donde la roca tiende a ser más débil y heterogénea, ocasionando que tensiones y esfuerzos se concentren en regiones débiles facilitando fracturamiento y liberación de esfuerzos. Valores bajos de b , (0.5 b 0.7) pueden relacionarse con actividad sísmica de mayor tamaño e implican que el estado de esfuerzos originados sobre el material resistente en la región es alto, el medio presenta heterogeneidad moderada y distribución de esfuerzos uniforme, que permite mayor resistencia a las tensiones, haciendo difícil la relajación de esfuerzos, dando lugar a mayor concentración de esfuerzos y disminución en la actividad sísmica de menor tamaño, posibilitando un sismo de mayor magnitud. Esta es una condición crítica ya que al aumentar la magnitud de los sismos, los daños que se pueden ocasionar son mayores ya que se incrementa la severidad sísmica (Mogi, 1962a,b, 1963).

1.2. MANEJO Y ANÁLISIS DE DATOS

El Parámetro b se estimó usando el programa Earthquake Catalogue Analysis (ECA95). La región de estudio se localiza en la zona de influencia del Volcán Galeras. Con la información de sismos VT recolectada en el CORP entre marzo de 1989 y agosto de 2002, se conformó un catálogo que se subdividió por fuentes sismogénicas (Figura 2).

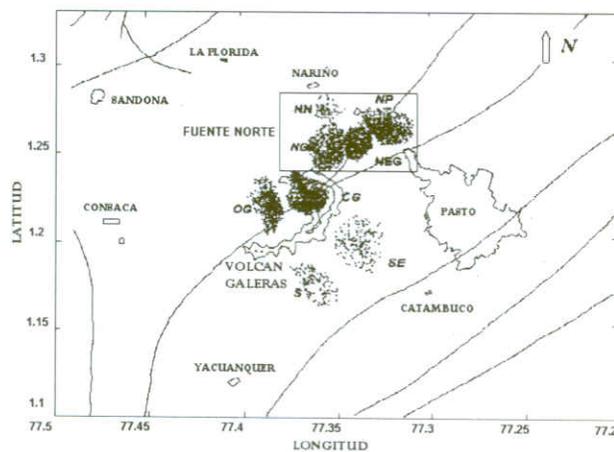


Figura 2. Ubicación de las principales fuentes sismogénicas de eventos tipo VT alrededor del Complejo Volcánico Galeras (modificado de Erazo y Guerra, 2002).

La mayor recurrencia de sismos VT se presentó desde 1989 hasta comienzos de 1991. Posteriormente, se observaron periodos con sismicidad baja, sobresaliendo episodios sísmicos localizados hacia el N y NE de Galeras, con sus manifestaciones más representativas el 26 de abril de 1993, con un evento principal de magnitud de coda de 4.2 y alrededor de 350 réplicas; el 24 de noviembre de 1993, con un sismo principal de magnitud de coda 4.0 y aproximadamente 107 réplicas; el 4 de marzo de 1995, cuyo evento principal tuvo una magnitud de coda de 4.7 y alrededor de 3009 réplicas (hasta el 30 de octubre de 1995) y el 30 de Julio de 2000, con un sismo principal de magnitud de coda de 4.4 y cerca de **XX réplicas** (Figura 3).

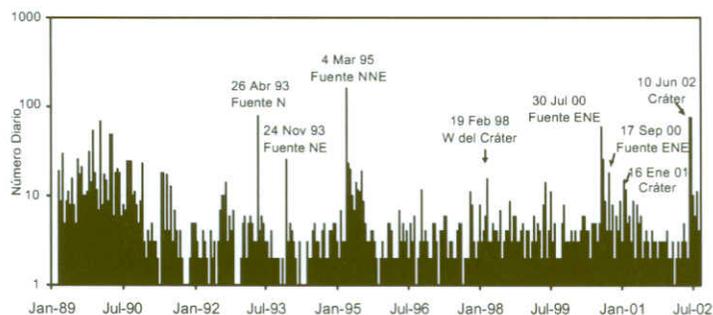


Figura 3. Histograma de ocurrencia diaria de sismos VT registrados en la zona de influencia de Galeras, entre 1989 y 2002, resaltando algunos de los principales episodios.

Trabajando la sismicidad de 1989 a 2002 por períodos anuales, se estimaron valores del Parámetro b , tanto para la sismicidad VT total, como para la ubicada al N y NE de Galeras (Tabla 1, Tabla 2 y Figura 4). El análisis de las fuentes sismogénicas mostradas en la figura 2, presenta un rango de valores del parámetro b entre 0.6 y 1.0; la mayoría de valores son menores de 0.70 y considerados como bajos. Las fuentes sismogénicas que muestran los mayores valores de b , son la CG y OG y la fuente donde se posibilitarían los sismos más energéticos, es la fuente NN (Tabla 3). Aplicando el Método de Máxima Probabilidad o de Utsu se obtuvieron para las diferentes fuentes, las magnitudes máximas esperadas, encontrando valores entre 2,9 (fuente OG) y 5,5 (fuente NG) (Tabla 3).

Tabla 1. Valores de b , para la sismicidad VT total y la localizada al N y NE de Galeras entre 1989 y 2002.

Año	Sismicidad Total		Sismicidad Norte	
	Parámetro b	Magnitud Máxima	Parámetro b	Magnitud Máxima
1989	0.69	4.2	0.71	3.2
1990	0.87	3.7	0.59	3.1
1991	1.07	2.7	0.96	1.7
1992	0.65	3.9	0.93	1.9
1993	0.58	4.5	0.54	4.5
1994	0.51	4.7	0.79	2.3
1995	0.62	4.7	0.63	4.7
1996	0.73	3.5	0.84	2.7
1997	1.05	2.4	0.92	2.9
1998	0.80	2.9	0.83	3.2
1999	0.87	3.5	0.83	2.7

2000	0.68	4.4	0.59	4.4
2001	0.75	3.0	0.64	3.0
2002	0.73	3.0	0.69	3.0

Tabla 2. Evolución mensual de b , para la sismicidad N y NE de 1995.

FECHA	Sismicidad Norte	
	Parámetro b	Magnitud Máxima
01/01/1995	0.51	2.3
01/02/1995	1.05	1.5
01/03/1995	0.58	4.7
04/03/1995	0.20	4.7
01/04/1995	0.71	3.8
01/05/1995	0.50	4.2
01/06/1995	0.61	3.5
01/07/1995	0.72	2.8
01/08/1995	0.53	1.6
01/09/1995	0.42	2.7
01/10/1995	0.49	3.0
01/11/1995	0.41	1.4
01/12/1995	0.49	2.6