

## EVIDENCIAS SISMOESTRATIGRÁFICAS DE UN VOLCÁN DE FANGO (LAUTARO) EN EL ANTEARCO SUBMARINO DE CHILE CENTRAL.

Contardo, X.<sup>1</sup>

(1) Escuela de Ciencias del Mar, Facultad de Recursos Naturales, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Av. Altamirano 1480, Valparaíso, Chile. e-Mail: ximena.contardo@ucv.cl

### INTRODUCCIÓN

Los volcanes de fango son estructuras cónicas, formadas por el ascenso de material fluidizado a través de la columna de roca. Normalmente se desarrollan en zonas de compresión tectónica, concentrados principalmente en sistemas de prismas acrecionarios (Fig.1), sin embargo, a lo largo del borde Pacífico de Sudamérica han sido escasamente descritos o identificados (Dimitrov, 2003; Contardo *et al.*, 2008a). Estas estructuras pueden formarse tanto en la superficie terrestre como en el fondo del mar, son el resultado de la emisión de gas, agua y material arcilloso desde zonas profundas de la secuencia sedimentaria. Constituyen un fenómeno natural e interesante, frecuentemente asociado con áreas de acumulación de hidrocarburos en estratos profundos (Dimitrov, 2003). Además de su potencial energético, representan importantes implicancias tanto climáticas y atmosféricas (ej., Henriot y Mienert, 1998; Sotkstad, 2003), asociado a la expulsión de gases invernadero a la atmósfera, así como biológicas y microbiológicas (ej., Roberts y Whelan, 1975; Hinrichs *et al.*, 1999; Boetius *et al.*, 2000), asociado al desarrollo de ecosistemas exclusivos de este tipo de ambientes.

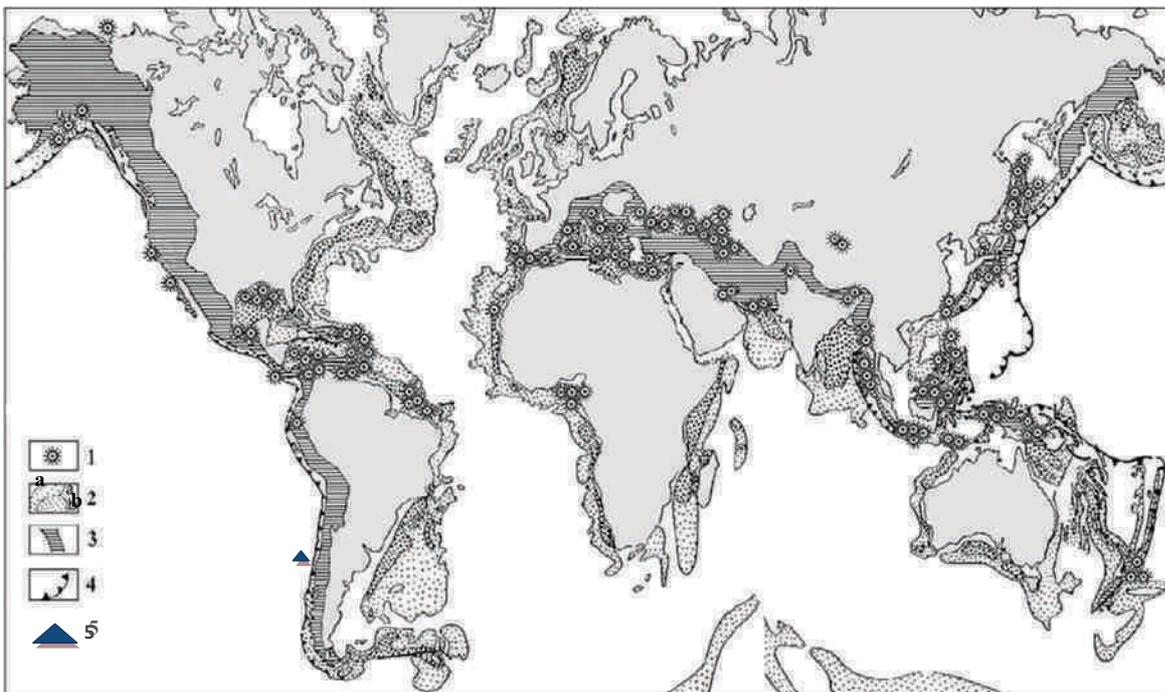


Fig.1 Distribución global de vfs (modif. de Dimitrov, 2003). 1. Volcán de fango individual; 2. Espesor de sedimentos fuera de áreas de plataformas continentales. a: 1 a 4 km, b: más de 4 km. 3. Áreas de compresión activa 4 Zonas de subducción 5 Ubicación aproximada del vf "Lautaro"

Un vf se genera cuando un volumen suficiente de agua y gas -principalmente metano- se incorpora dentro del sedimento de grano fino, para dejarlo semi-fluidizado (Dimitrov, 2003; Kopf, A., 2002) y forzarlo hacia arriba a través de aperturas largas y angostas o fisuras en la corteza. La principal fuerza que impulsa la formación de un volcán de fango, es una presión de fluidos anormalmente alta, generada por la depositación rápida de una potente secuencia de sedimentos que dificulta su migración y liberación. De este modo se acumula suficiente suministro de gas generado in situ, condición a la cual se suma la compresión tectónica

(ej., Milkov, 2000; Hedberg, 1980; Dimitrov, 2003). El origen de los *vfs* puede también estar asociado a la presencia de un estrato plástico subsuperficial, alto potencial de hidrocarburo, ocurrencia de fallas y sismicidad (Milkov, 2000).

Los *vfs* constituyen una importante fuente geológica de carbón atmosférico, particularmente metano, emitiendo esporádicamente considerables volúmenes de gas durante períodos eruptivos y también, pero en menor proporción, durante fases de calma (Kopf, 2002). Se ha reconocido la importancia de los *vf* como un mecanismo eficiente de migración y expulsión de fluidos en escenarios de márgenes convergentes activos (Kopf, 2002, Kopf, 2008).

A continuación se presentan evidencias y características sismo-estratigráficas de un volcán de fango (*vf*) denominado “Lautaro”, situado en el margen acrecionario de Chile Centro-Sur (Contardo *et al.*, 2008a). La prominente estructura, descubierta a partir del análisis de líneas de reflexión sísmica de alta resolución, se encuentra actualmente inactiva, preservada en una cuenca del talud superior, al suroeste de la desembocadura del río Maule.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología de base consistió en el análisis sísmico estratigráfico de líneas de reflexión sísmica de alta resolución, adquiridas entre 2002 y 2004 en el buque AGOR Vidal Gormaz, financiadas por el proyecto Chileno: FONDEF DOOII04: para la investigación de hidratos de gas submarino en el margen continental (entre los 33° y 37°S).

## 3. RESULTADOS

La estructura del volcán de fango se identificó en la línea sísmica VG02-7, que atraviesa perpendicularmente al margen continental entre los ~35°5'S y ~35°20'S. A esta latitud, la extensión del talud alcanza ~55 km y la plataforma ~50 km, a lo largo de este perfil se identifican además tres cuencas, distribuidas a lo largo del talud superior y medio respectivamente.

En la parte central de la cuenca de mayor extensión (~14 km a lo largo del perfil), la configuración sísmica de los reflectores en forma cónica y las evidencias de intrusión en la base, revelan la prominente estructura de un volcán de fango de ~2,5 km de extensión y ~400 m de altura (Fig.2). El *vf* se encuentra actualmente inactivo pero está preservado o “enterrado” en la cuenca, por lo que sólo es detectable mediante la sísmica de reflexión.

El relleno sedimentario de la cuenca, contiene tres unidades características previamente identificadas como: basal pre-cinemática, intermedia sin-cinemática y superior post-cinemática (Contardo *et al.*, 2008b). La mayor parte de la actividad del *vf* “Lautaro”, ocurre asociada a la depositación de la unidad basal pre-cinemática (Fig. 2).

De acuerdo con las relaciones de contacto que se observan en la figura 2, la estructura atraviesa discordantemente las primeras capas basales de la secuencia, luego se desarrolla sincrónicamente con la unidad intermedia pre-cinemática y disminuye gradualmente su actividad para terminar antes de que comience a depositarse la unidad superior post-cinemática.

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En base a las relaciones de contacto entre el volcán de fango y las unidades estratigráficas principales (pre-, post y sin-cinemáticas), se determina que el período de actividad de éste habría transcurrido alrededor del Pleistoceno Medio a Superior.

A partir del registro sísmico se infieren además, diferentes velocidades de ascenso de fluidos, identificándose una mayor velocidad en la base de la estructura (Fig.2), donde la intrusión corta abrupta y discordantemente a las secuencias inferiores, luego tiende a disminuir durante la depositación de la unidad sin-cinemática y concluye previo a la depositación de la unidad superior post-cinemática. De este modo, considerando la edad

obtenida para el límite basal de la unidad superior (Contardo *et al.*, 2008b), se estima que la actividad del *vf* habría finalizado antes de los 64 ka.

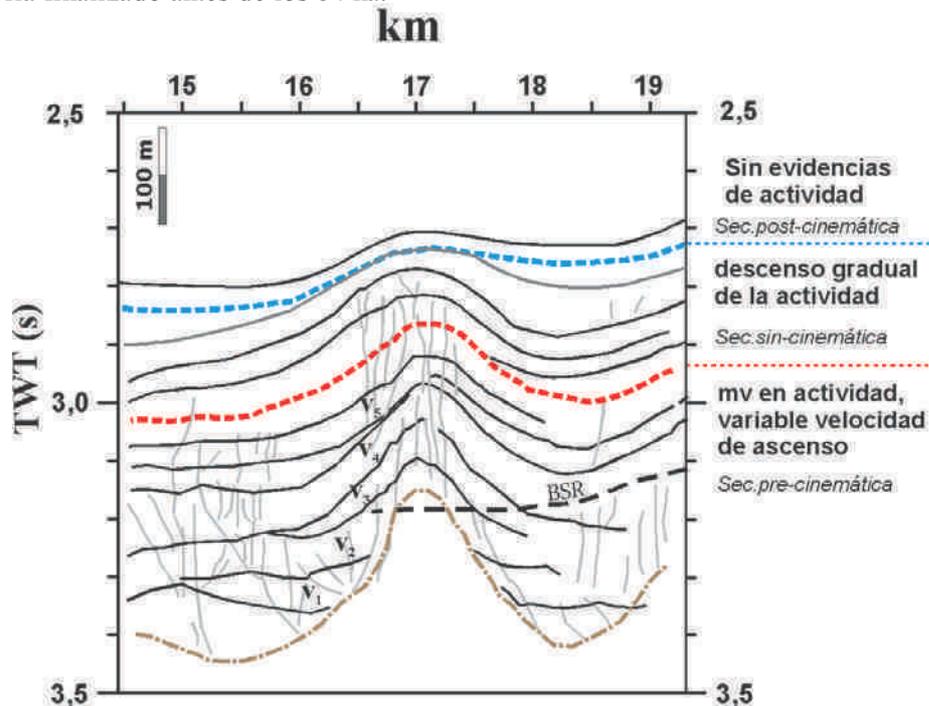


Fig.2. Geometría de los reflectores asociados al volcán de fango: variable velocidad de ascenso  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$ ,  $v_4$ .. La velocidad de la intrusión tiende a disminuir durante la depositación de la unidad sin-cinemática y termina bajo la unidad post-cinemática.

Otra evidencia directa acerca de la actual fase inactiva del volcán, se infiere de la traza inalterada del *BSR* (reflector simulador del fondo marino), que atraviesa la base del *vf* sin ninguna curvatura, indicando que la temperatura en el centro de la estructura es bastante similar a la del entorno (Fig.2).

Si bien no se descarta la existencia de *vf*s en otras áreas del margen acrecionario, es importante destacar algunas características que habrían potenciado el desarrollo y preservación del volcán en este sector, tal como la potente unidad basal pre-cinemática (~56% del relleno), que a diferencia de otras latitudes conserva en esta cuenca su mayor espesor. De tal modo, es probable que de haber existido *vf*s en otras áreas, hayan sido posteriormente expuestos y erosionados junto con gran parte de la secuencia basal pre-cinemática. Esto se puede inferir de los notables contrastes en el grado de alzamiento y extensión del prisma de acreción a distintas latitudes del margen, sumado a la dinámica observada en las cuencas del talud, controladas por fallas de borde con movimientos diferenciales, que aumentan o reducen los espacios de acomodación [ej., Contardo *et al.*, 2008a,b).

Las rocas parentales generadoras de fluidos, podrían corresponder a unidades pertenecientes a la cuenca Chanco, tales como las secuencias distales del Cretácico Superior, con presencia de gas rico en metano, tanto en pozos marinos como terrestres (González, 1989), o bien a las areniscas Eocenas y Miocenas potenciales generadoras de gas biogénico.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los resultados expuestos, se enmarcan en una tesis de doctorado realizada en la Universidad Católica del Norte, en Antofagasta-Chile, guiada por el Dr. José Cembrano y Dr. Arturo Jensen. Se agradece al Dr. Juan Diaz-Naveas (PUCV) y Dr. Emilio Vera (Universidad de Chile), por proveer los datos de reflexión sísmica, generados y procesados en el marco del proyecto FONDEF D0011104. Valiosos comentarios y sugerencias

aportados por Dr. Feng Ding, de la Universidad de Bremen contribuyeron en la identificación y análisis del volcán de fango.

## REFERENCIAS

- Boetius, A; Ravenschlag, K; Schubert, C; Rickert, D; Widdel, F; Gieseke, A; Amann, R; Jorgensen, B; Witte, U; Pfannkuche, O. 2000. A marine microbial consortium apparently mediating anaerobic oxidation of methane. *Nature*, 407: 623-626.
- Contardo, X; Cembrano, J; Jensen, A; Díaz-Naveas, J; 2008a. Mud volcano discovery on a slope basin of the Central Chilean Margin. 33<sup>rd</sup> IGC. 6-14 August. Oslo-Norway.
- Contardo, X; Cembrano, J; Jensen, A; Díaz-Naveas, J. 2008b. Tectono-sedimentary evolution of marine slope basins in the Chilean forearc (33°30'- 36°50'S): Insights into their link with the subduction process, *Tectonophysics*, doi: 10.1016/j.tecto.2007.12.014.
- Dimitrov, L. 2003. Mud volcanoes a significant source of atmospheric methane. *GeoMarine Letters* 23, 155-161.
- González, E., 1989. Hydrocarbon resources in the coastal zone of Chile, in geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources. Earth Science Series, vol. 11. Circum-Pacific Council for Energy and Min. Res., Houston, Texas, 383-404.
- Hedberg, H., 1980. Methane generation and petroleum migration. In: Roberts WH III, Cordell PJ (Eds) Problems of petroleum migration. AAPG Stud Geol 10:179-206.
- Henriet, J; Mienert, J. 1998. Gas Hydrates. Relevant to World Margin Stability and Climate Change. *in: Geological Society, London, Special Publications*, 137:338.
- Hinrichs, K; Hayes, J; Sylva, S; Brewer, P; DeLong, E. 1999. Methane-consuming archaeobacteria in marine sediments. *Nature*, 398: 802-805.
- Kopf, A., 2002. Significance of mud volcanism: Rev. of Geophys. 40: 2, 2.1-2.52.
- Sotkstad, E. 2003. Ancient weapons of mass destruction: Methane gas? *Science*, 301: 1168.
- Kopf, A., 2008. On the nature and episodicity of fluid expulsion in mud volcanoes. Geoph. Res. Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-05165, EGU General Assembly 2008.
- Milkov, A., 2000. Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates: *Marine Geology* 167, 29-42.
- Roberts, H; Whelan, T. 1975. Methane-derived carbonate cements in barrier and beach sand of a subtropical delta complex. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 39: 1085-1089.
- Yusifov, M., 2004. Seismic interpretation and classification of mud volcanoes of the South Caspian basin, offshore Azerbaijan, M. S. thesis, Univ. of Tex., Austin. 94 p. (Eds) Marine geochemistry. Springer, Berlin Heidelberg New York, 418-512.