

FISICA Y QUIMICA DE LAS COLUMNAS DE BASALTO FUNDIDO (PLUMES) QUE ASCIENDEN DESDE EL MANTO TERRESTRE.

D.J. De Paolo,¹ E.M. Stolper² y D.M. Thomas³

¹ University of California - Berkeley ² California Institute of Technology ³ University of Hawaii

Las cadenas de volcanismo extinto (tracks) dejadas por los hotspots sobre la superficie de la Tierra, son rasgos topograficos muy importantes de la corteza terrestre. Sin embargo, sus orígenes permanecen pobremente entendidos [Okal and Batiza, 1987]. La cadena volcánica de Hawai, denominada Emperador, que domina la topografía del fondo oceánico del pacífico central, es quizá la mas desarrollada y mas intensamente estudiada de estas cadenas de volcanismo extinto o "tracks" dejado por un hotspot, y continúa siendo uno de los mas importantes laboratorios de campo en el mundo para diversos estudios, como son: los procesos igneos, el movimiento de placas, la convección en el manto terrestre, la determinación de la estructura, evolución geoquímica y propiedades generales de la Litósfera, etc.

A pesar del continuado esfuerzo en la investigación, aún estan sin respuesta cuestiones fundamentales referentes a la composición, estructura y evolución de los volcánes Hawaianos y sus fuentes de magma. Parte de ello se debe principalmente a que solamente pueden tomarse muestras de las lavas de las últimas etapas en la evolución de los volcánes, pues son las que estan en la superficie. Por lo tanto, la mayor parte de la estructura interna de los volcánes y la evidencia histórica de su crecimiento y evolución geoquímica, se encuentran escondidas en las profundidades. Los volcanes mas profundamente erosionados son expuestos únicamente a profundidades del orden de un kilómetro, mientras que hay volcanes que se llegan a elevar de 5 a 10 kilómetros sobre el antiguo fondo del océano [Moore, 1987].

A finales de 1986, en reconocimiento al valor científico de las observaciones de las profundidades interiores de los volcanes Hawaianos, un grupo de Científicos dedicados al estudio de la Tierra sometieron una propuesta a la Fundación Nacional para la Ciencia de los Estados Unidos (NSF). La propuesta se sometio al comite denominado DOSECC (Deep Observation and Sampling of the Earth's Continental Crust). Esta propuesta consistia en un proyecto para perforar, recuperando los nucleos, en las inmediaciones de un volcán, con objeto de establecer y estudiar una secuencia estratigráfica

lo mas completa de sus lavas. Siguiendo la reorganización de los programas de perforación, esta propuesta fue enviada al Programa Continental de la Litosfera, de la Fundación Nacional de Ciencias de los EUA, en 1988 y de nuevo en 1989.

La propuesta del proyecto científico Hawaiano de perforación (HSDP), tiene como principal propósito el mejorar nuestro entendimiento de la estructura y la dinámica del manto, principalmente en lo que se refiere al origen de las columnas de basalto fundido que ascienden desde el manto o "plumes", mismas que se generan en el manto y que interaccionan con la litósfera y la astenósfera en su ascenso a la superficie.

Los estudios propuestos podrían proveer también de datos únicos sobre la física y la química de la generación de los magmas basálticos, sobre la estructura interna de los volcanes oceánicos y otra serie problemas geofísicos y geoquímicos.

La perforación con recuperacion de nucleos es un medio efectivo para atacar este tipo de problemas debido a que los objetivos (las acumulaciones de lava de grandes volcanes tipo escudo de Hawai) son configuraciones sub-superficiales casi horizontales. La información que se hace accesible através de las perforaciones, es casi imposible de obtener por otros medios, por lo tanto parece ser necesario emplear la perforación para atacar de manera eficiente este tipo de problemas.

En este escrito describiremos las bases científicas fundamentales del proyecto propuesto: Elucidación de la Física y la Química de los "plumes" del manto bajo Hawai, sobre la escala de tiempo de un solo volcán (cerca de un millón de años).

ORIGEN Y QUIMICA DEL LOS "PLUMES" DEL MANTO

La revolución creada por la Tectónica de Placas y la exploración de otros cuerpos del Sistema Solar causaron un profundo cambio en nuestro entender acerca de la evolución de la Tierra y su estructura. En muchas formas las investigaciones hicieron ver que el fenomeno referente a la convección en el interior de la Tierra es quizá el proceso

único mas importante que determina su evolución. El estudio de la Tectónica de Placas está ligado a la forma en como se realizan los movimientos a gran escala que estan teniendo lugar en el manto terrestre. Ello pone de manifiesto la necesidad de entender las propiedades de los materiales del manto, la conveccion en si misma y la relación de la dinámica entre el manto y los procesos sísmicos, los campos geopotenciales, la figura de la Tierra y la evolución de los continentes.

El estudio directo del manto es practicamente imposible, por ello deben ser usados metodos indirectos de estudio. Estos estudios incluyen el analisis de la información del flujo de calor, la figura de la tierra y sus deformaciones debido a los procesos convectivos, estudios sísmicos, ademas de estudios de laboratorio que incluyen las propiedades de minerales y materiales a alta presión. Este tipo de estudios se llevan a cabo comunmente con objeto de modelar la composicion del manto. Estudios geoquímicos, derivados de los materiales del manto, tienen un rol especial en tanto que nos proveen de informacion respecto a la estructura y composición existente en el manto. Además, nos permiten estimar los tiempos de residencia en el manto de los materiales y su dispersion a escala planetaria. Los tiempos de residencia son posibles de conocer a través del estudio de variaciones isotopicas. Para ello se hace uso, sobre todo, de las lavas basálticas pues estas traen la informacion geoquímica, a la superficie de la Tierra, desde fuentes magmaticas localizadas en el manto.

En las pasadas dos decadas los estudios isotopicos llevados a cabo en los basaltos oceanicos han mostrado que el manto contiene diversos materiales y zonas heterogeneas. La conveccion deberia hacer que las heterogeneidades en el manto desaparecieran; sin embargo, los estudios de las lavas basálticas en diversos lugares de la Tierra muestran lo contrario. La existencia de heterogeneidades en el manto parece ser un hecho; este aspecto pudiera tomarse como una medida del balance entre la creación de heterogeneidades y la eficiencia de la convección en la homogenización del manto a diferentes escalas (Richter et. al. 1982; Hoffmann y Mackenzie, 1985).

Una explicación para la persistencia de heterogeneidades es que estas estan en continua formación por lo que siempre hay una concentracion de las mismas en el manto. Mecanismos identificados para la introducción de heterogeneidades incluyen la subduccion de la corteza oceanica incluyendo sedimentos derivados de los continentes, la subducción de la litosfera continental y la creacion de zonas magmaticas que emergen a la superficie dejando, por ello, zonas empobrecidas en ciertos elementos en el manto, sobre todo en regiones en las que el magma ha sido recientemente extraído. Un punto de vista alternativo es pensar que grandes partes del manto estan permanentemente separadas unas de otras, tal como establece el modelo que prevalece del manto actualmente. Este modelo nos lo presenta

como un medio químicamente estratificado. En un tiempo esos modelos fueron considerados en oposicion uno del otro (Zindler et al 1982), pero ahora se ha reconocido que pueden ser complementarios (Zindler et al 1984).

Dentro de este marco de trabajo general, la pregunta acerca de la naturaleza de las zonas calientes o hot spots parece ser de fundamental importancia. Una serie de observaciones nos muestran que los hot spots parecen estar fijos en el manto, o por lo menos moviendose muy lentamente en relacion con las placas, sugiriendo con ello un origen profundo (Morgan, 1971). Además, algunas de las propiedades geoquímicas asociadas a las lavas de los hotspots o zonas calientes sugieren que los materiales del manto, de los cuales se derivan, es diferente y mas primitivo (esto es, mas similar a la composición general original de la Tierra) de lo que es tipico en el manto superior, como lo han hecho ver diversos estudios.

Los basaltos de las crestas medio oceanicas (conocidas como MORB), difieren geoquímicamente de los basaltos de los hotspots o zonas calientes [e.g. Schilling, 1973; Chen y Frey, 1985]. Si el contenido de elementos traza en los basaltos de zona caliente es similar al del manto primitivo de la Tierra, entonces su origen no puede ser explicado en terminos de una corteza oceanica o continental reciclada (Kurz et al 1982; Hoffman and White, 1982).

En general, se ha seguido la hipotesis de que los hot spots o zonas calientes representan "plumes" o columnas de material basáltico fundido procedente de las profundidades del manto, dicho material presenta particularidades especiales en terminos quimicos e isotopicos. Si las lavas que provienen de las profundidades del manto, asociadas a los "plumes", son quimica e isotopicamente diferentes del material normal de manto superior, la explicación mas facil es la de suponer la existencia de una estratificación a gran escala en el manto, con un intercambio inhibido de material por conveccion entre los estratos (ver fig. 1).

La pregunta respecto a la existencia de la estratificación, o dicho de otro modo, la existencia de los reservorios aislados en el manto, resulta de fundamental importancia acerca del origen y evolución de la Tierra. Este aspecto presenta muchas implicaciones: por ejemplo, si el manto esta estratificado químicamente entonces tiene que retener el calor en la Tierra en forma diferente a si solo existe un proceso de conveccion que abarque a todo el manto [Spohn and Schubert, 1982]. Por lo tanto, un entendimiento de la historia termica de la Tierra debe tomar en cuenta estos aspectos. Ademas, estas ideas tambien inciden en nuestra habilidad para extrapolar nuestro conocimiento del estilo actual de la tectonica de la Tierra en su historia temprana.

La estratificación del manto es solo posible si la diferencia quimica de los estratos es tal que puedan hacerse los estratos inferiores mas densos [e.g. Richter y McKenzie,

1981]. Estos conocimientos son criticos para el desarrollo de los modelos de la Tierra y por lo tanto lo son también para nuestro entendimiento de la composición de la Tierra así como el de su origen o el de la interpretación de las velocidades sísmicas a profundidad, etc. Si las partes bajas del manto no están bien desgasificadas, esto cambia las teorías acerca del origen de la atmósfera y de los océanos [e.g., Hart et al., 1979]. Si solo el manto superior ha sido involucrado en la formación de los continentes, esto afecta la forma en la que vemos la composición de los continentes y océanos y la forma en que su composición ha cambiado con el tiempo [DePaolo, 1980].

El interior de los volcanes Hawaianos puede proporcionarnos información particularmente importante para resolver algunas de estas preguntas, lo cual nos puede permitir mejorar nuestro entendimiento respecto al origen y la naturaleza de los "plumes" del manto. Esta declaración se basa en estudios recientes que muestran que las lavas superficiales, que representan solo la etapa final del tiempo de vida de un volcán, difieren en composición a las lavas del interior de los volcanes.

Aún en los volcanes más profundamente erosionados solo del 10 al 15% de la historia del volcán puede ser observada. Los estados finales de la mayoría de los volcanes involucran una transición de lavas toleíticas a lavas alcalinas. El modelo más antiguo nos dice que las lavas de la iniciación de un volcán hasta la etapa de transición son toleíticas (MacDonald y Katsura, 1964), pero hay pocas indicaciones directas para apoyar esto. Observaciones recientes en Loihi (Moore et al. 1982) y en la parte submarina de la cordillera de la zona este de Kilauea, de hecho sugiere que el basalto alcalino puede ser común a través de la historia de la vida de un volcán.

Recientes estudios de Chen y Frey [1985] sugieren que los interiores de algunos de los volcanes contienen flujos cuya composición geoquímica tiene características diferentes a la de los flujos expuestos. La Figura 2A muestra las composiciones isotópicas del Nd y Sr de basaltos de Haleakala. Entre estos basaltos hay un grupo de lavas alcalinas cuya la composición isotópica se parece poco a la de un MORB (mid ocean ridge basalt) y más a los materiales del manto primitivo de la Tierra ($\epsilon_{Nd}=0$). Esto ha sido interpretado como evidencia para suponer la existencia de dos fuentes de magma en el manto, aisladas en forma de estratos. Una de las fuentes parece ser el origen de las lavas de las cordilleras centrooceanicas que origina los basaltos tipo MORB, cuya firma geoquímica es característica, y que parece ser la fuente del material que compone la litosfera oceánica. La otra fuente es presumiblemente más profunda, y la representamos por medio de un "plume" que asciende del manto, cuyas lavas dan origen a basaltos con diferente firma geoquímica denominados basaltos de isla oceánica (OIB).

Hay estudios que sugieren que en un solo volcán,

buscando hacia abajo en la secuencia estratigráfica de lavas, en la mitad de la fase teolítica las lavas podrían tener una composición isotópica diferente de los basaltos tipo MORB. Estas importantes sugerencias han sido el resultado de estudios de perforación en secuencias de lavas [Chen y Frey, 1985], los cuales han consistido en un importante adelanto de un trabajo, previo a este proyecto.

Dos observaciones más son importantes, las lavas Hawaianas, incluidas las del monte Loihi, tienen muy altos valores de la relación $3He / 4He$ [Lupton y Craig, 1975; Kurz et al., 1982; Staudigel et al., 1984], lo cual indica que los magmas vienen de reservorios del manto con composición primitiva que el de los reservorios que proporcionan los basaltos tipo MORB (Fig.2). Por la diferencia en concentraciones en diferentes reservorios, el He primitivo podría estar relativamente menos diluido por los materiales del manto superior que elementos como el Nd y Sr. Además, en el caso de un volcán Hawaiano erosionado tipo escudo, el Koolau de Oahu, hay una fuerte indicación de la presencia de materiales del manto de composiciones sustancialmente diferentes (Fig 2A). Los basaltos de Koolau tienen también composiciones isotópicas de Hf y Pb que pueden ser considerados primitivos [Stille et al., 1983]. Los basaltos de Oahu muestran una relación similar a la de las lavas de Haleakala en que las lavas posterosionales (de la serie Honolulu) tienen composiciones isotópicas aproximadas a las de basaltos tipo MORB, mientras que las teolitas más antiguas del volcán Koolau tienen composición isotópica diferente a la de basaltos tipo MORB.

De las conocidas zonas calientes y de las cadenas de vulcanismo extinto dejadas por su actividad, Hawaii es el lugar obvio para tratar por lo menos el cuidar la naturaleza de las zonas calientes. Las localidades continentales son más complicadas debido al potencial de contaminación de las lavas por materiales de la litosfera continental. Las localidades de las cordilleras centrooceanicas o ridges pueden también ser eliminadas debido a que la surgencia de lavas en ellos tiende a diluir las señales geoquímicas de los plumes. Además, Hawaii es de las cadenas más antiguas, se conoce mucho acerca de ella y aun permanecen activas

GENESIS DEL MAGMA E INTERACCION DE LOS PLUMES CON LA LITOSFERA

Desde que se observó la importancia de la relativa inmovilidad del vulcanismo de zona caliente, varios mecanismos han sido propuestos para explicarla. La más ampliamente reconocida de ellas es la hipótesis de que corresponde a una columna de basalto fundido procedente del manto. [e.g. Morgan, 1971]. Pero hay otros modelos, incluido uno que propone la propagación de fracturas en la litósfera [Jackson and Wright, 1970]. Otros proponen fusión por esfuerzos cortantes (disipación viscosa), con retroalimentación térmica [Shaw, 1973], y otros más proponen la surgencia diapírica a

lo largo de una debilidad estructural [MacDougall, 1971]. Algunos de esos modelos se aplican a manchas calientes intraplaca, pero podrían no ser adecuados para explicar las manchas calientes o hotspots que surgen en las crestas medio oceánicas. Algunas de estas hipótesis también ha sido consideradas como un posible mecanismo para generar la deriva continental.

De acuerdo a las hipótesis desarrolladas para explicar la existencia de los "plumes", el material del manto surge diapíricamente de una localización aproximadamente fija en las profundidades del manto. Conforme se acerca a la superficie el material que surge comienza a fundirse en respuesta a una presión que disminuye, y la porción líquida escapa hacia arriba y sale sobre el volcán que esta creciendo. Sin embargo la fuente de diapiros es fija mientras que la litósfera oceánica se mueve continuamente. Como resultado, se desarrolla una serie lineal de volcanes, el vulcanismo activo está limitado a la región que regularmente sobreyace sobre el plume fijo y que suministra el material del manto. Pero una secuencia de edificios inactivos, progresivamente viejos, que crecieron previamente cuando la litosfera tenia otra posición sobre el plume va quedando, extendiéndose a lejos del lugar del vulcanismo activo en la dirección del movimientos de las placas. En el caso de la cadena volcanica Emperador situada sobre la placa del Pacífico que se mueve en dirección noroeste, el vulcanismo activo esta restringido al extremo sureste de la cadena, donde ha existido una fuente de magma durante aproximadamente 70 m.y.

Trabajos recientes han refinado el modelo de generacion de los "plumes". Modelos de laboratorio y teoricos sugieren que los plumes se originan en la frontera (termica y quimica) que hay en el manto o en la frontera entre el nucleo y el manto. Los experimentos hacen ver que los plumes parecen consistir de una columna cuya cabeza tiene gran diametro y una cola de diametro mucho mas pequeño [Whitehead and Lutheer, 1975; Richards et al., 1989]. Cuando la cabeza alcanza la zona de fusion a profundidad superficial en el manto, produce una gran emision de lava. Las provincias de flujo basaltico continental son candidatas a un vulcanismo relacionado con un plume de cabeza grande [Richards et al., 1989].

Debido a su gran tamaño, la cabeza del plume puede arrastrar grandes cantidades de material externo al plume que procede del manto superior. Esto hace de las lavas una fuente geoquímica compleja de magma. La columna representada por la cola del plume, se espera que sea una estructura de larga vida, un conducto a través del cual el material del estrato de frontera profundo drena hacia la region cercana a la superficie del manto. Este modelo representa un marco relativamente simple para entender la naturaleza de las fuentes del magma en un plume activo, que es el caso aplicable a Hawaii. La estructura propuesta se asemeja a la sugerida por Schilling [1973] para explicar el plume que dió origen a Islandia.

Sin embargo, este modelo genera muchas preguntas. Por ejemplo, Como puede el material del plume llegar a la base de la litósfera mezclado con material litosferico y sublitosferico del manto circundante? Como puede esta mezcla relacionarse a las velocidades de generación del magma y del tipo de magma? Es el flujo en el conducto del plume estacionario o hay variaciones con el tiempo? Respecto a esta última pregunta, puede también sugerirse que el flujo del plume puede ser en forma de tren de diapiros en vez de una simple conducto continuo. [Schilling and Noe-Nygaard, 1974; Olson and Singer, 1985].

Modelos de comportamiento de segregacion de regiones fundidas del manto, parcialmente fluidas, no estan suficientemente desarrollados para predecir los detalles de los procesos de segregacion de una mezcla fundida en la conjuncion material del plume con la litosfera [cf. Ribe and Smooke, 1987; Richter, 1986; Mckenzie and Bickel, 1981].

Sin embargo, las secuencias geoquímicas y petrologicas en el tiempo que pueden ser generadas a través de un muestreo continuo de los productos de un volcán durante la mayoría de su tiempo de vida, puede ser una de las mejores aproximaciones disponibles para obtener bases fenomenologicas para entender muchos aspectos de la fisica de los hotspots o manchas calientes. Metodos modernos de analisis. sobre todo de elementos traza acoplados a modelos existentes de segregación de fases fundidas, nos pueden permitir la generacion de modelos para conocer la composición de elementos traza y para determinar otros parametros asociados con el proceso de fusión, en la fracción fundida a profundidad [Feigenson and Spera, 1981]. Esos parametros solo pueden obtenerse si uno sabe que la composicion de la fuente de magma no cambia con el tiempo o la posición. Para entender mejor esto, uno debe traer estudiar las relaciones isotopicas, las cuales nos pueden ayudar a identificar la funcion de las diferentes fuentes de magma. En Hawaii tenemos una situación especial donde conocemos que hay dos fuentes de magma involucradas (la relacionada con la columna basaltica o plume y la de la litosfera-astenosfera) las cuales tienen distintas concentraciones isotopicas. La mancha caliente Hawaiana representa, por tanto, un rico laboratorio natural para el estudio de procesos planetarios fundamentales.

Resumen:

El objeto del proyecto científico de perforación en Hawaii, es obtener una secuencia continua de lavas de un volcan Hawaiano desde lavas alcalinas posteriores a la formacion del volcán escudo, hasta las lavas viejas correspondientes a las etapas tempranas del crecimiento del volcán, y producir a partir de esas muestras un record esencialmente continuo isotópico y químico de la secreción de lava. Estas secuencias en el tiempo proveeran una oportunidad unica para determinar (1) la fuente de magma del manto (por ejemplo, manto superior contra inferior, plume contra litosfera-astenosfera) y como cambian con el tiempo; (2) la naturaleza y evolucion temporal del proceso de segregacion de magma fundido en

el manto; y (3) el papel del proceso magmático superficial contra el profundo en la generación de las lavas que emergen a la superficie. Con buen control de la edad, de la velocidad de salida del magma, los cambios en las características de la fuente de magma y el papel de los procesos magmáticos superficiales, podremos obtener datos suficientes para una caracterización única del magmatismo de las zonas calientes o hotspots.

Artículo aparecido en EOS, mayo de 1991.

Fig. 1.- Modelo de la Tierra mostrando una posible asociación de las fuentes de magma con las fronteras físicas y químicas del interior terrestre. El manto superior parece ser un medio deficiente en volátiles y heterogéneo. El manto inferior parece ser más parecido al material original que formó el manto terrestre.

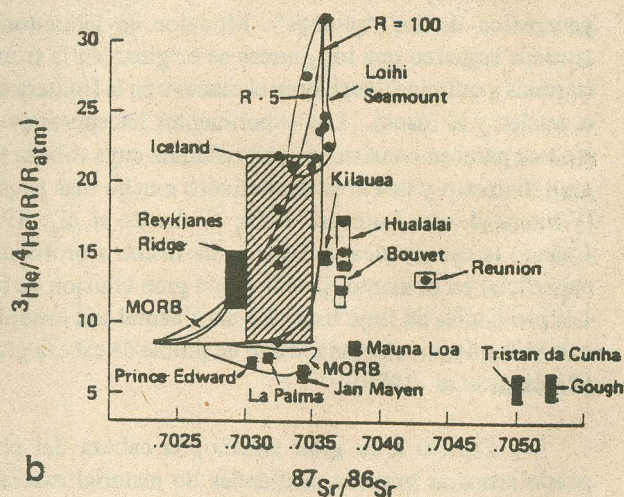
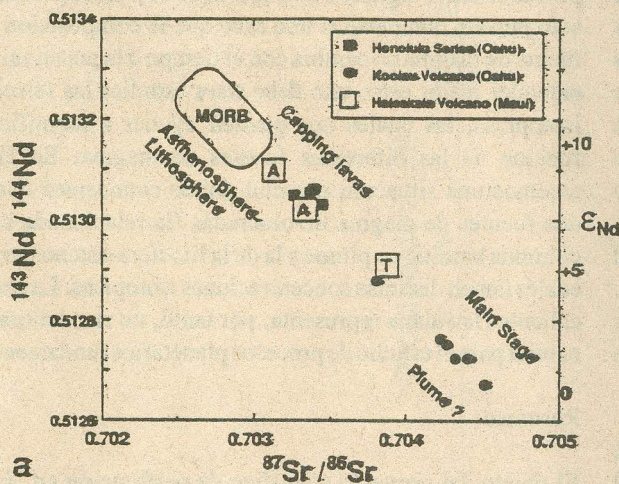
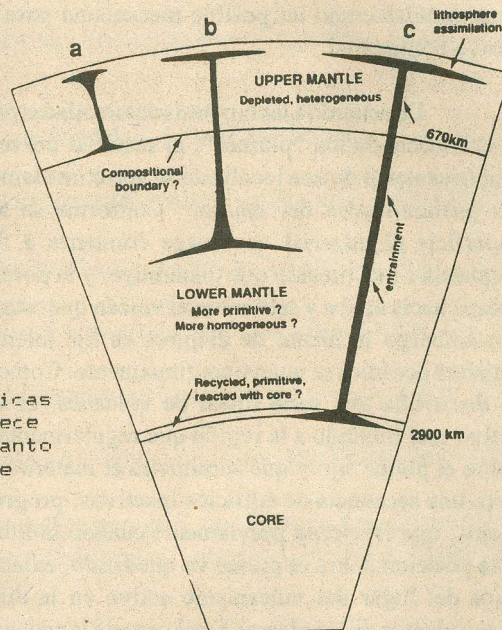


Fig. 2.- Relación de isótopos de Nd y Sr en lavas de Dahu y Haleakala. Las toleitas primitivas (T y círculos negros), tienen relaciones isotópicas más parecidas a los valores promedio de la Tierra que la de los basaltos alcalinos (A). Estos últimos aparecen hacia el final de la formación del volcán tipo escudo al igual que las nefelinitas (cuadrados). Estos datos han sido interpretados en términos de un incremento de material litosférico o astenosférico. Las relaciones isotópicas de He y Sr, de algunos basaltos oceánicos, muestran que los volcanes activos de Hawai contienen He rico en ^3He , lo cual distingue estos basaltos de los que emergen en las crestas mediooceánicas.

características en la fuente de magma y el papel de los procesos magmáticos superficiales pueden ser determinados probeyendo una caracterización única del magmatismo de la mancha caliente.

AGRADECIMIENTOS

Las contribuciones escritas a la propuesta de donde fué sustraído este resumen, fueron proporcionados por: D. Clauge (U.S. Geological Survey), G.B. Dairymple (USGS), M. García (University of Hawaii), T. Henvey (University of Southern California), D. P. Hill (USGS), P. Johnson (University of Washington), M. Kurz (Woods Hole Oceanographic Institution), J. Lockwood (USGS), J. G. Moore (USGS), F.M. Richter (University of Hawaii), and H.G. Wilshire (USGS). Se ha recibido apoyo para un taller de DOSECC y el Continental Dynamic Program of NSF.

REFERENCIAS:

- Chen, C. Y., y F. A. Frey, Trazo elemental y geoquímica isotópica de lavas del volcán Haleakala, al este de Maui, Hawaii: Implicaciones del origen de basaltos Hawallanos, *J. Geophys. Res.* 90, 8743, 1985.
- DePaolo, D.J. Crecimiento del crustal y evolución del manto: Inferencias de modelos de elemento de transporte y Nd y Sr isotopos, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44, 1185, 1980.
- Feigenson, M.D. and F.J. Spera, Modelo dinámico para variación temporal en tipo de magma e intervalo de erupción del volcán Kohala, Hawaii, *Geology*, 9, 531, 1981.
- Hart, R.J. Dymond, and L. Hogan, Formación Preferencial del sialic de la atmósfera y la capa del sistema del manto superior, *Nature*, 278, 156, 1979.
- Hoffmann, N.R.A. y D.P. McKenzie, La destrucción de heterogenitas geoquímicas por fluido y movimiento diferencial durante la convección del manto, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 82, 163, 1985.
- Hoffmann, A. W. y W.M. White, Plumes del manto de la capa oceánica, *Planeta Tierra, Sci. Lett.*, 57, 421, 1982.
- Lupton, J.E. y H. Craig, Exceso de ^3He en los basaltos oceánicos: Evidencia primordial de Helium terrestre, *Planeta Tierra. Sci. Lett.*, 26, 133, 1975.
- Macdonald, G.A. y T. Katsura, Composición química de lavas Hawallanas, *J. Petrol.*, 5, 82, 1964.
- McDougall, I., Cadena de islas volcánicas y el ancho piso marino, *Nature Phys. Sci.*, 231, 141, 1971.
- Mckenzie, D.P. y M. H. Bicke, Volúmen y composición del ablandamiento generado por extensión de la litósfera, *J. Petrol.*, 29, 625, 1988.
- Moore, J.G., Subsistencia de los picos Hawallanos, *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 1350, 85, 1987.
- Moore, J.D., D.A., Clague, y W. R. Normark, Diversos tipos de basaltos de la montaña marina Lohi, Hawaii, *Geología*, 10, 88, 1982.
- Morgan, W.J. Convección de los plumes en el manto inferior, *Nature*, 230, 42, 1971.
- Okal, E.A. y R. Batiza, Hotspots: Los primeros 25 años en montañas marinas, islas y Atols, *Geophys. Monogr. Ser.*, vol. 43, editada por Keating et al., pp. 1-11, AGU, Washington, D.C., 1987.
- Olson, P., y H. Singer, Creeping plumes, *J. Fluid Mech.*, 158, 511, 1985.
- Ribe, N.M., y M.D. Smoke, Un punto de estancamiento del modelo del fluido por extracción de ablandamiento de un manto plume. *J. Geophys. Res.*, 92, 6437, 1987.
- Richards, M.A., R.A., Duncan, y V.E. Courtillot, Inundación de basaltos y rastros de manchas calientes: cabezas y colas de los plumes, *Science*, 246, 103, 1989.
- Richter, F.M., Modelos simples para elementos de trazo, fraccionación durante segregación de ablandamiento, *Planeta Tierra. Sci. Lett.*, 77, 333, 1986.
- Richter, F.M. y D.P. Mackenzie, Sobre algunas consecuencias y posibles causas de la convección de las capas del manto. *J. Geophys. Res.*, 86, 6133, 1981.
- Richter, F.M., S.F. Daly, y H. C. Nataf, Un modelo parametrizado para la evolución de heterogenitas isotópicas en un sistema conveccional, *Planeta Tierra. Sci. Lett.*, 60, 178, 1982.
- Roden, M.F. F.A. Frey, y D.A. Clague, Geoquímica de lavas tholeíticas y alcalinas de las montañas de koolau, Hawaii, Implicaciones para el vulcanismo Hawaiano, *Planeta Tierra, Sci. Lett.*, 69, 141, 1984.
- Schilling, J.G., y A. Noe-Nygaard, Faero-Iceland plume: Rara evidencia de la Tierra, *Planeta Tierra. sci. Lett.*, 24, 1, 1974.
- Shaw, H.R., Convección y periodicidad volcánica del manto en el pacífico: Evidencia de Hawaii, *Geol. Soc. Am. bull.*, 84, 1505, 1973.
- Spohn, T., y G. Schubert, Modos de convección del manto y alejamiento interno de la Tierra, *J. Geophys. Res.*, 87, 4682, 1982.
- Staudigel, H.A. Zindler, S. R. hart, T. Leslie, C. Y. Chen, y D. Clauge, El isotopo sistemático del interplato de un volcán juvenil: Pb, Nd, y Sr radioisotopos de basaltos de la montaña marina Loihi Hawaii, *Planeta Tierra, Sci. Lett.*, 69, 13, 1984.
- Stille, P., D. M. Unruh, y M. Tatsumoto, Pb, Sr, Nd, y Hf evidencia isotópica de las fuerzas múltiples por Oahu, basaltos Hawaianos, *Nature*, 304, 25, 1983.
- Whitehead, J.A., y D.S. Luther, Dinámica de laboratorio diapir y modelos del plume, *J. Geophys. Res.*, 80, 705, 1975.
- Zindler, A., y S.R. Hart, Geodinámica química Annu. Rev. *Planeta Tierra, Sci.*, 14, 493, 1986.
- Zindler, A., E. Jagoutz, y S. Goldstein, Nd, Sr y Pb isotopicos sistemáticos en un componente del manto, *Nature*, 298, 519, 1982.
- Zindler, A. H. Staudigel, y R. Batiza, Isotopos y elementos de trazo geoquímicos de las montañas marinas: Implicaciones para la escala de heterogenitas del manto superior, *Planeta Tierra, Sci. Lett.*, 70, 175, 1984.

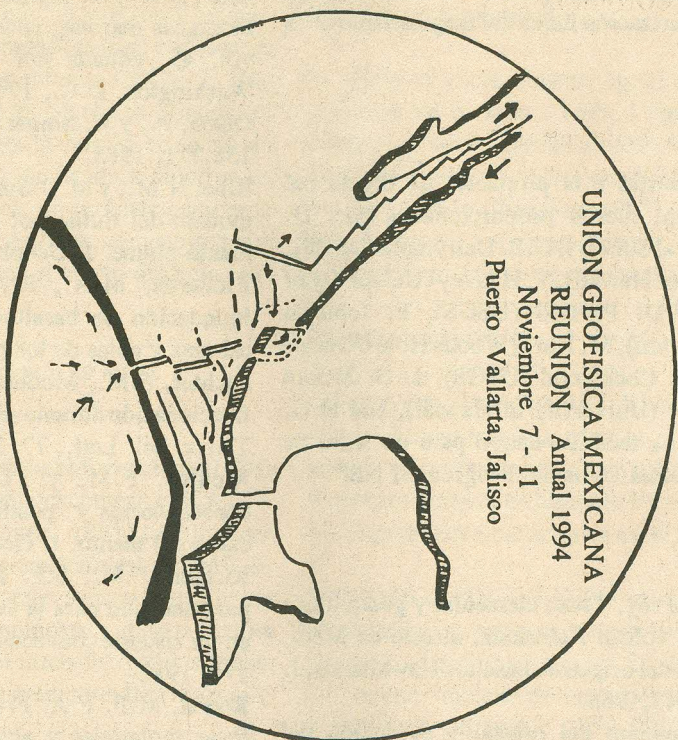
REUNION 1994
UNION GEOFISICA MEXICANA
7 - 11 NOVIEMBRE
PUERTO VALLARTA, JALISCO

TEMAS A TRATAR

SISMOLOGIA	EXPLORACIÓN GEOFISICA
GEOQUIMICA	MATEMATICAS APLICADAS
VOLCANOLOGIA	A LA GEOFISICA
TECTONICA	CONTAMINACION
GEOHIDROLOGIA	ATMOSFERICA
SISMOTECTONICA	CAMBIO GLOBAL
GEOTERMIA	

PETROLOGIA	CIENCIAS ESPACIALES
GEOLOGIA ESTRUCTURAL	AERONOMIA Y CIENCIAS
GEOMAGNETISMO	DE LA ATMOSFERA
FIS. QUIM. INTERIOR	CLIMATOLOGIA
DE LA TIERRA	OCEANOGRAFIA
GEOLOGIA	

RECEPCION DE RESUMENES HASTA SEPTIEMBRE 10 / 94



Sesiones Especiales

El comité organizador hace una atenta invitación para someter trabajos para las sesiones de:

- Riesgo Geológico
- Tectónica del Occidente de México
- Sismotectónica
- Geotermia
- Cráter Chicxulub
- Cambio Global

Informes: F. Medina, IGF-UNAM, A. Postal 2681 Ensenada 22800 B. C.
Tel: 91 (617) 4 46 02 Fax: 91 (617) 4 46 03