

LA MAYOR ERUPCIÓN PLINIANA DEL VOLCÁN ARENAL, COSTA RICA

Sergio Chiesa

Departamento de Geología, Instituto Costarricense de Electricidad,
San José, Costa Rica.

Dirección actual:

C.N.R. Centro di Studio per la Stratigrafia e la Petrografia delle
Alpi Centrali, Via Mangiagalli 34, Milano, Italia.

ABSTRACT

Among the pyroclastic products extruded by the Arenal volcano, one of the units is clearly distinctive in terms of particle size, thickness, areal extension and distance from the vent. This unit is the result of an explosive eruption of plinian type.

From tephra analysis, the volume of the dacitic pyroclastics was determined as 0.4 km^3 , equivalent to 0.21 km^3 of dense rock. The area covered was $1000 \pm 100 \text{ km}^2$ with a thickness ranging from 2 - 3 m to 5 cm. Archaeological studies indicate that the eruption had place by $1000 \pm 200 \text{ A.D.}$.

A comparison of this eruption with one of the pelean type dating from 1968, shows that the volume of the described plinian eruption was 6 times greater. The area covered has larger extension by a factor of 25.

Another comparative analysis can be related to the plinian explosion of Mount St. Helens (U.S.A.) on May 18, 1980 where the area delimited by the 20 cm isopach contour was 27 times smaller than the of "Unit 20" produced by the Arenal plinian eruption.

RESUMEN

Entre las unidades piroclásticas producidas por el volcán Arenal, una se diferencia claramente por el tamaño de sus constituyentes, distancia alcanzada, área cubierta y espesor. Fue producida durante una fase explosiva tipo pliniana. Del estudio tefracológico se desprende que el volumen eruptado fue de $0,4 \text{ km}^3$ de piroclastos dacíticos equivalente a $0,21 \text{ km}^3$ de roca densa, cubriendo un área de $1000 \pm 100 \text{ km}^2$ con un espesor variable desde 2 - 3 m hasta 5 cm. Con base en los estudios arqueológicos esta explosión ocurrió alrededor del año $1000 \pm 200 \text{ D.C.}$

Comparada con la actividad de 1968 (tipo peleano) resulta ser que la erupción pliniana estudiada tuvo un volumen seis veces más

grande y cubrió un área 25 veces mayor. El área incluida en la isopaca de 20 cm resulta ser 27 veces más grande que la cubierta por un espesor igual al de la explosión pliniana ocurrida en el curso de la erupción del día 18 de mayo de 1980 en el Mount St. Helens (E.U.A.).

INTRODUCCION

El volcán Arenal de Costa Rica es conocido sobre todo por la erupción del 29-31 de julio de 1968, con la cual inició una actividad prácticamente continua hasta la fecha.

Se trata de un cono con una elevación de unos mil metros con respecto a los territorios circundantes. Está constituido principalmente por coladas lávicas y productos piroclásticos de diferente naturaleza como tefras, lahares y depósitos de nubes ardientes. Según Melson (1982, 1984) el cono del Arenal se ha edificado en los últimos 3600 años.

El evento de 1968 fue caracterizado por una violenta explosión que produjo una o probablemente varias nubes ardientes (Melson & Saénz 1973; Saénz, 1977) y por una fuerte dispersión de ceniza en dirección Oeste (Cháves, 1968).

La presencia de espesas sucesiones de tefras pumíticas y escoriáceas en todo el sector occidental, hasta Tilarán, sugiere que algunas de las pasadas erupciones fueron sustancialmente distintas de la de 1968. En esta nota se exponen los resultados del estudio de una capa piroclástica de caída que, por su espesor, área cubierta y distancia alcanzada, se puede relacionar con la más importante de las erupciones plinianas del volcán Arenal.

TRABAJOS ANTERIORES

Prácticamente faltan trabajos y referencias sobre el volcán Arenal anteriores a 1968. Solamente en algunos informes internos del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), efectuados en los años sesenta, para la construcción de la represa de Arenal se

encuentran referencias sobre fumarolas y manantiales calientes (Alvarado, en prensa). Un abundante número de contribuciones empezaron a salir después del inicio del actual período eruptivo. Muchos autores describieron las modalidades eruptivas y las características de los productos de los últimos veinte años. Los estudios estructurales de detalle y los modelos de evolución vulcanológica son todavía escasos (Alvarado & Barquero, (en prensa).

Por lo que se refiere a las erupciones explosivas y al peligro conexo con este tipo de actividad cabe mencionar lo siguiente:

-Melson & Sáenz (1968, 1973) por primera vez exponen datos sobre las erupciones antiguas del volcán y proponen como típico un modelo eruptivo caracterizado por una corta fase explosiva inicial seguida por una fase más larga efusiva, con base en una datación C^{14} y en correlaciones estratigráficas datan del año 1525 \pm 20 la erupción precedente a la de 1968.

-Malavassi (1979, 1981) presenta mapas de riesgo volcánico para el Arenal en los cuales considera afectables las áreas incluidas en una semicircunferencia de cuatro km de radio ubicada al oeste del cráter activo. Describe además, por primera vez, secuencias de tefras aflorantes en la base del cono.

-Melson (1982) describe en detalle la secuencia de 9 capas piroclásticas separadas por paleosuelos aflorantes en El Tajo, localidad hoy día bajo la laguna de Arenal, ubicada a siete km del cráter. Algunas unidades están constituidas por un único nivel; otras por varios niveles intercalados entre depósitos de ceniza y lapilli acricionales. Observa además una cierta alternancia de productos ácidos (andesitas silíceas y dacitas) con productos básicos (basaltos y andesitas basálticas). Los paleosuelos en la base de los piroclastos ácidos son más espesos y más arcillosos que los que se encuentran bajo los niveles básicos. Un modelo de cristalización fraccionada es propuesto como explicación de las alternancias.

-Melson (1984) integra los datos de 1982 con las observaciones realizadas en los numerosos estudios arqueológicos del Proyecto Prehistórico Arenal. Para las áreas más lejanas propone una secuencia denominada Tilarán constituida por una alternancia de niveles claros y oscuros denominados a partir de la base blanco 1, negro 1, blanco 2, negro 2, etc.

-Sheets (1984) en calidad de coordinador del Proyecto Prehistórico Arenal redactó un artículo introductorio al número monográfico de la revista "Vínculos" con las contribuciones de todos los especialistas. En la Fig. 3, pág. 26, expone un primer esquema cronológico de las relaciones estratigráficas y de los Períodos y Fases arqueológicas basado en 7 nuevas dataciones C^{14} .

-Villari (1984) expresa dudas sobre la ciclicidad de las erupciones del Arenal y también sobre un único modelo eruptivo similar al de 1968.

-Borgia et al., (en prensa) presentan un estudio geológico-petroológico del volcán que incluye un mapa de detalle, análisis petrográficos de las varias unidades distinguidas, un esquema de correlación entre coladas lávicas y depósitos piroclásticos y por último un modelo de evolución magmática para los períodos eruptivos principales.

ESQUEMA GEOLOGICO

El conjunto volcánico Arenal-Chato ocupa una posición intermedia entre dos cordilleras volcánicas: la de Guanacaste al noroeste y la Central al sureste. Estas cordilleras son caracterizadas por un alineamiento casi continuo de focos eruptivos sobre grandes y complejos edificios volcánicos en estado de madurez. Contrariamente el Arenal y el Chato pueden representar la etapa juvenil de un complejo volcánico que se ubica al margen entre el altiplano Tilarán-Monteverde y la llanura del río San Carlos, continuidad hacia el sureste del graben de Nicaragua.

La base estratigráfica de estos volcanes está constituida por espesas sucesiones de rocas eruptivas y sedimentarias de ambiente continental, profundamente erosionadas. El estudio fotogeológico sugiere que la edificación del cono Arenal produjo el desplazamiento hacia el noreste del valle del río Arenal.

Son varios los alineamientos tectónicos que afectan las áreas circundantes; algunos forman parte de estructuras regionales mientras que otros son pequeñas fallas locales (Fig. 1). Estudios sismológicos evidenciaron un cambio muy marcado en la distribución de los hipocentros. En la región al norte de Arenal alcanzan profundidades de más de 200 km; al sur son más someros materializando un llano con una pendiente menor de 45 grados (Matumoto et al., 1976).

CARACTERISTICAS DE LA UNIDAD 20

El término "Unidad 20" fue introducido por los arqueólogos del proyecto Prehistórico Arenal y es sinónimo a la unidad ET2 de Melson (1982).

Se pueden distinguir casi siempre tres subunidades texturales; del techo hacia la base:

a) Un paleosuelo por lo general bien desarrollado situado bajo una capa piroclástica, "unidad 10" no siempre evidente. Su espesor y su color varían bastante de un lugar a otro.

b) Un nivel de ceniza y lapilli finos de color gris claro con frecuentes estructuras esferulíticas de los lapilli acrecionales. El contacto entre la ceniza y el paleosuelo es muy gradual.

c) Estrato de lapilli pumíticos gris, poco soldado. Es la subunidad que presenta las variaciones más fuertes tanto en la dimensión y naturaleza de los constituyentes, como en el espesor y estructuras internas.

Entre los constituyentes prevalecen los fragmentos de pómez sobre los líticos. Las "pómez" son bastante densas, sanas, de color gris claro, de superficie áspera, rica en cristales de plagioclasa y

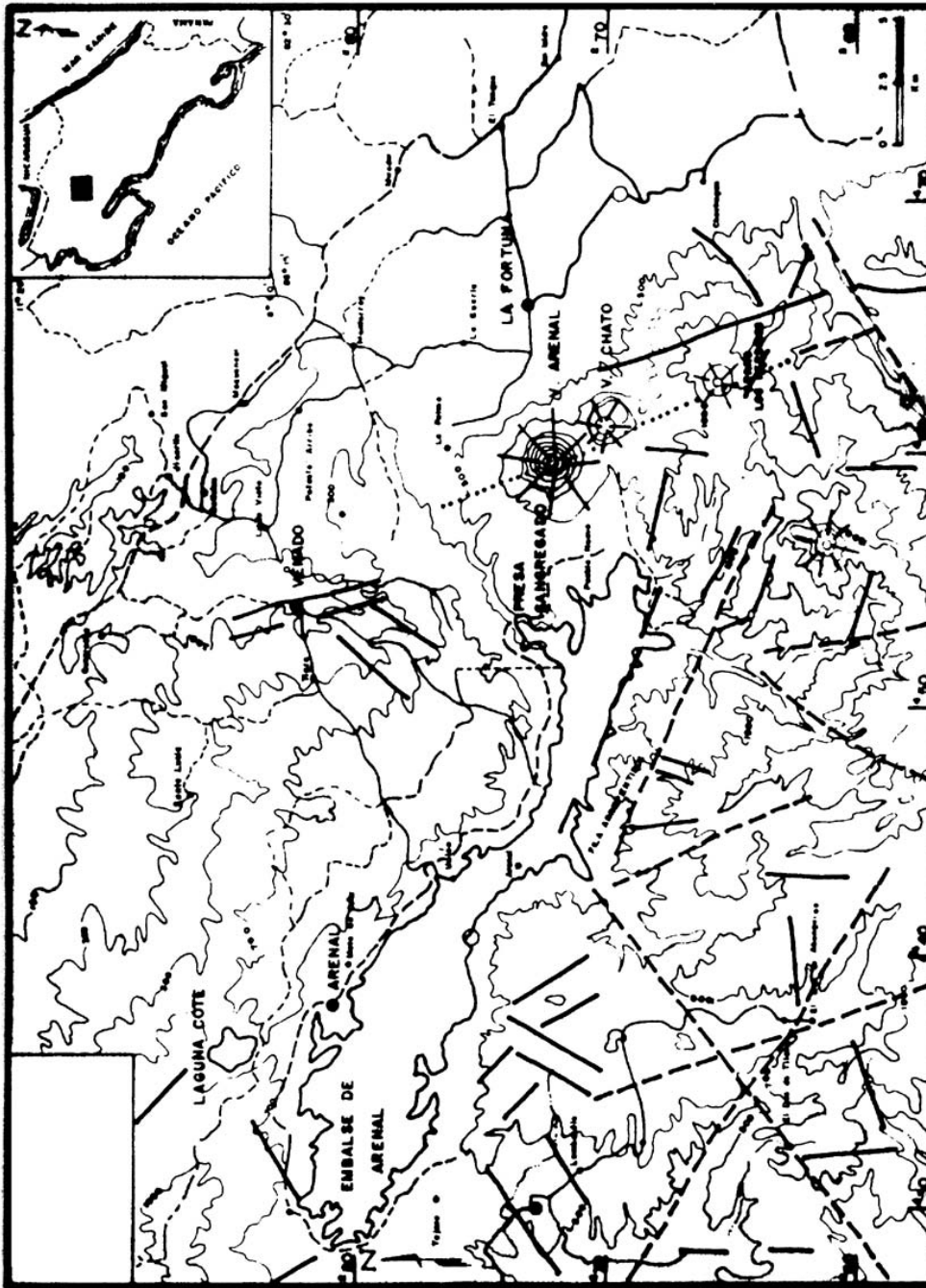


FIGURA 1

Ubicación del área de estudio, con sus respectivas fallas
Simbología:

- fallas locales
- - - - - fallas regionales
- alineamiento de focos volcánicos

hornblenda. Los líticos son fragmentos de lavas andesíticas más o menos porfíricas inclusive se encuentran algunos clastos de rocas intrusivas dioríticas deleznable; ambos tipos de líticos poseen frecuentes pátinas superficiales de hidróxidos de hierro.

Las variaciones de las dimensiones de los constituyentes y del espesor del estrato de lapilli c) están graficadas en las Fig. 2, 3 y 4. Los datos, con la ubicación de las 70 estaciones de medida son reportados en Chiesa (1986). En los afloramientos ubicados entre 6 y 15 km del volcán se observan fuertes variaciones laterales y verticales en la estructura de la subunidad c). Algunas de estas estructuras pueden ser debidas a parcial remoción de los depósitos por viento o lluvia, pero otras parecen estar en relación con pulsaciones de la erupción. En particular son numerosos los sitios en los cuales después de un nivel de base con gradación inversa y con ceniza muy escasa (c3), sigue un nivel rico en partículas finas un poco soldadas (c2) que grada paulatinamente a otro nivel con poca ceniza (c1). Con base en las observaciones de campo es en este nivel superior (c1) donde se encuentra la mayor concentración de líticos y los fragmentos de mayores dimensiones.

En los afloramientos más distantes el estrato de lapilli se presenta más homogéneo, pero no siempre continuo, caracterizándose por una débil coherencia debida a la escasez de matriz limo-arcillosa.

Cuando las dimensiones de los lapilli disminuyen hasta 2 o 3 mm, ya no es posible distinguir las varias subunidades de la unidad 20, resulta inclusive difícil dividir a éste de las demás unidades. De similar manera se presentan problemas de correlación entre las varias capas de tefras en los afloramientos situados en los flancos y al pie del volcán. En estas áreas los productos de caída están interstratificados con flujos lávicos y piroclásticos, además capas producidas por pequeñas explosiones. En las secuencias levantadas en las quebradas Naranjo, Tabacón y Palmas no ha sido posible reconocer con seguridad la unidad 20 acorde con las características texturales y composicionales expresadas.

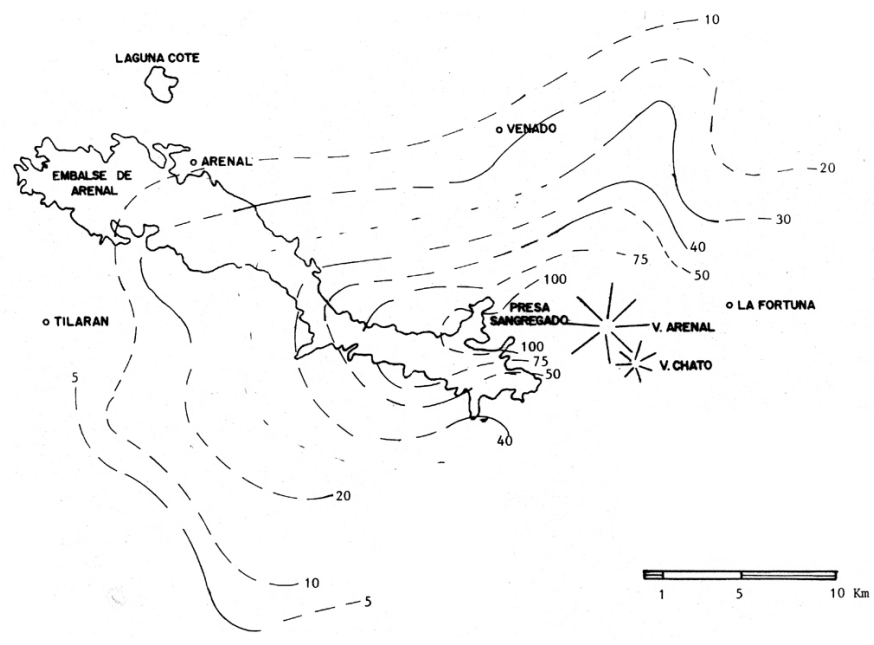
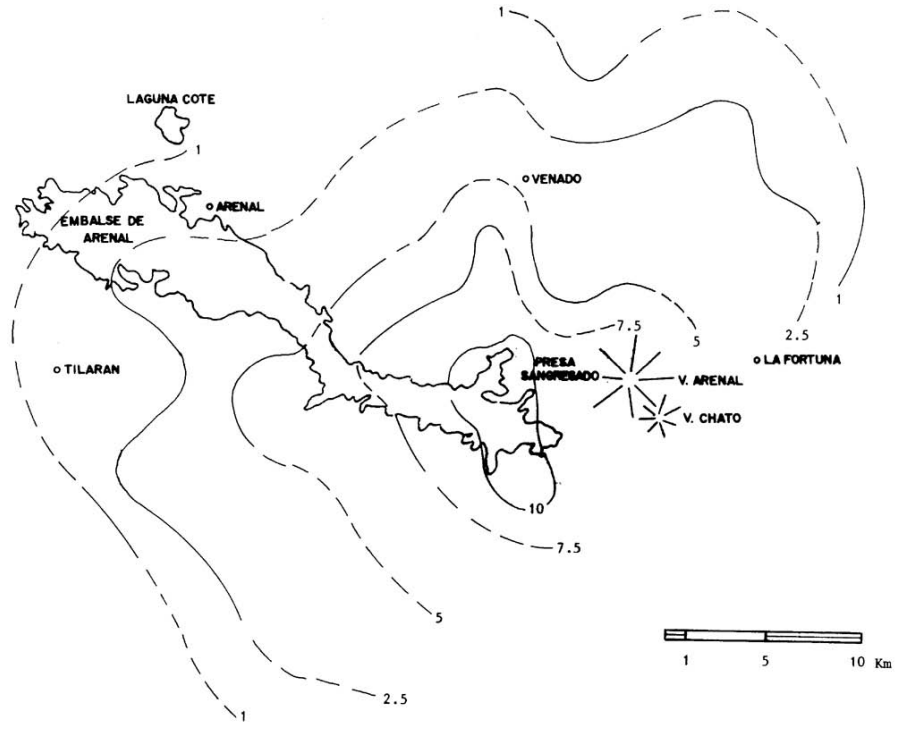


FIGURA 2
Isohietas de la subunidad c) en cm



Isoplethas de las pómez de mayor tamaño de la unidad 20, en cm

FIGURA 3

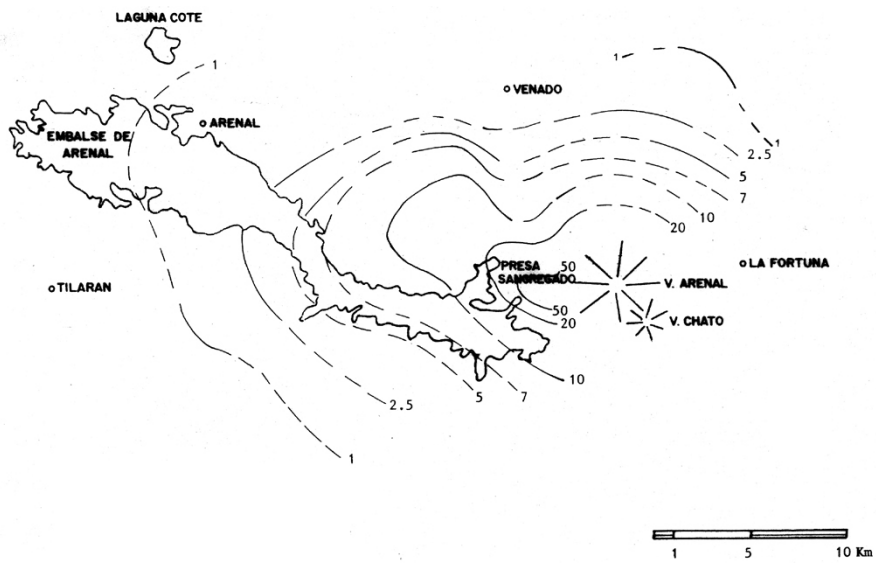


FIGURA 4
Isopletas de los Ifticos de mayor
tamaño de la unidad 20, en cm

VOLUMEN

Varios son los factores que afectan la estimación de este importante parámetro para las antiguas erupciones. Algunos debidos a modificaciones intervenidas después de la depositación son: -erosión, acumulación o ambos por los diferentes agentes atmosféricos; -compactación por el peso de los niveles sucesivos y de los suelos; -bioturbaciones. Otros debidos a las limitaciones propias de todas las investigaciones: estación de medida puntiformes, subjetividad, escasez y discontinuidad de los afloramientos.

Para los cálculos se ha tomado en cuenta el espesor de la subunidad c), que es la más segura de individualizar, entonces los valores obtenidos se deben considerar como mínimos. Entre los varios métodos disponibles se han escogido dos basados sobre las isopacas. Limitando el cálculo solamente a los espesores medidos en el campo, el volumen de los depósitos resulta ser de $0,28 \text{ km}^3$; extrapolando hasta espesores de 1 micrón (Carey & Sigurdsson, 1986) se obtiene un valor de $0,40 \text{ km}^3$. Entonces, éstos no representan el volumen de magma eruptado porque hay que substraer la porosidad del depósito y la propia de la pómez. Asumiendo $2,5 \text{ g/cm}^3$ la densidad del magma y $1,3 \text{ g/cm}^3$ la de las tefras, los valores correspondientes a la roca densa equivalente (DRE) resultan ser respectivamente de $0,13 \text{ km}^3$ y de $0,21 \text{ km}^3$. Grandes diferencias del orden de 2 veces al utilizar los datos medidos y extrapolados, fue similarmente observadas en los depósitos plinianos de El Chichón en 1982 (Carey & Sigurdsson, 1986)

Mucho más difícil resulta, con los datos disponibles, la estimación de otros parámetros de la erupción tales como la altura alcanzada por la columna convectiva, el espesor del penacho, la velocidad de emisión y la de los vientos. Con base en cálculos teóricos Carey & Sparks (1986), han elaborado modelos de la dispersión de las tefras producidas por columnas de erupciones volcánicas. Basándose en lo anterior, al utilizar los diagramas dimensión máxima de las pómez versus el área de la isopleta correspondiente, se desprende que la altura de la base del penacho debió estar entre 15 y 20 km.

Lo anterior simplemente verifica el carácter pliniano, ya expuesto, de la erupción estudiada.

POSICION ESTRATIGRAFICA Y EDAD

Tanto en las columnas estratigráficas cercanas al volcán (El Tajo), o en las intermedias (El Silencio) y en las lejanas (Tilarán) la unidad 20 ocupa una posición somera. Se encuentra casi siempre recubierta por una pequeña capa piroclástica que los arqueólogos llaman "unidad 10" y que Melson (1982 y 1984) considera como producida en 1968. Las dimensiones de las partículas en los varios lugares no corresponden con los datos disponibles para la erupción de 1968, también el espesor y el desarrollo del suelo que recubre el nivel de caída no evidencian un tiempo tan corto. En algunos de los afloramientos entre 6 y 8 km los depósitos de 1968, son bien característicos en la parte superior del suelo actual, cubriendo un paleosuelo que pasa hacia abajo a una ceniza gris claro con lapilli pumítico, después empieza la unidad 20. Lo anterior indica que hubo una erupción explosiva entre la unidad 20 y el actual período eruptivo (1968).

Los datos geocronológicos absolutos son hasta ahora escasos y no todos confiables (Sheets, 1984). Son disponibles también datos basados sobre la cerámica arqueológica encontrada en varios niveles estratigráficos.

Por la gran importancia que tiene la cronología en establecer ciclicidad y períodos de descanso del volcán es bueno analizar críticamente los datos disponibles.

-Melson & Saénz (1968) recolectaron dos muestras de carbón de un lahar aflorante en quebrada Tabacón, las determinaciones C¹⁴ dan resultados acordes de 1525 ± 20 D.C.. Atribuyen el flujo piroclástico de las muestras, la colada lávica de Tabacón y un nivel de caída encontrado en La Palma 50 cm bajo la topografía actual a la última actividad antes de 1968.

-Melson (1982, 1984) correlaciona el nivel ET2 de El Tajo (= unidad 20) con esta erupción alrededor de 1500 D.C.

Cabe notar que la secuencia estratigráfica de Quebrada Tabacón y de la Palma son poco parecidas a las secuencias normales de los tefras del Arenal. El levantamiento de detalle de la sección de Quebrada Tabacón indica que no se pueden referir a la misma erupción ni al mismo período de actividad el flujo con los restos de árboles carbonizados y la colada de lava de Tabacón. La estratigrafía simplificada encontrada en la Quebrada Tabacón es la siguiente:

- a-un paleosuelo bien desarrollado encima del flujo lahárico.
- b-un depósito piroclástico con un pequeño estrato de pómez blanca en la base.
- c-un nivel rico en bombas escoriáceas oscuras con un paleosuelo en la parte alta.
- d-la colada de lava.

Entonces las posibilidades son 1) las edades C^{14} están afectadas 2) después de 1500 D.C. hubo otras erupciones. Ambas hipótesis tienen sus pro y contras.

Los datos arqueológicos pueden aclarar un poco la atribución cronológica de la unidad 20. Los tiestos encontrados durante las excavaciones del Proyecto Prehistórico Arenal en el suelo debajo de la unidad 20 pertenecen en su mayoría a las fases Silencio y Tilarán (la primera empieza alrededor del año 0, la segunda termina al 1500 D.C.)' (Sheets, 1984). En el sitio Dos Armadillos (UTM 355 x 716) Hoopes (1984) encontró muchos tiestos justo en el contacto entre la unidad 20 y el paleosuelo. Muestras de carbón recolectadas en esta posición han dado una edad de 1362 ± 30 D.C..

En el curso de las investigaciones realizadas por este trabajo se encontraron también restos arqueológicos cubiertos por la unidad 20. Algunos, recolectados cerca del cruce para Finca Macadamia (UTM 447.1 x 272.2), fueron observados por los arqueólogos Hurtado de Mendoza y Snarkis. Los más significativos pertenecen a las siguientes culturas: Mora polícromo-variedad tardía.

Jiménez ? polícromo.

Otros tiestos culinarios contemporáneos.

La edad que se puede inferir, acorde con lo relatado por los arqueólogos citados y con base en Sheets (1984) es 1200 ± 200 D.C.. En la actualidad se trata en Italia de determinar la edad de la cerámica de este sitio con el método de la termoluminiscencia.

CONCLUSIONES

El estudio de las secuencias piroclásticas alrededor del volcán Arenal, que en el sector oeste alcanzan los espesores máximos y afloran a distancias de 30 - 35 km, permiten reconocer eventos explosivos de tipo pliniano, subpliniano, vulcaniano y stromboliano ocurridos en períodos de actividad anteriores al actual empezado con una explosión de tipo peleano el 29 de julio de 1968.

La más fuerte erupción explosiva (cuyos productos han sido llamados ET2 por Melson (1982) y unidad 20 por Mueller (1984) se produjo alrededor del año 1200 ± 200 de nuestra era. Fueron emitidos, probablemente en dos eventos distintos, contemporáneos, 0.40 km^3 de depósitos que pueden corresponder a 0.21 km^3 de roca densa. Para confrontar este evento con las dos erupciones plinianas históricas más recientes ocurridas en los Estados Unidos y Méjico se utilizó el método propuesto por Sarna-Wojcicki et al. (1982) del cual resulta que la unidad 20 fue 27 veces más grande de la de St. Helens del 18 de mayo de 1980 y 4 veces más grande de la de El Chichón del 29 de marzo de 1982 (Cuadro 1).

Son necesarios nuevos estudios sobre cada nivel explosivo para determinar la frecuencia de los varios tipos de erupciones, las áreas potencialmente afectadas y su relación con la composición del magma. No hay duda de que el modelo eruptivo de 1968 no puede considerarse como único válido para el volcán Arenal, por lo que deben elaborarse nuevos mapas de riesgo incluyendo las áreas probablemente afectadas por caída de espesas capas de lapilli y ceniza. No

obstante, el magma andesítico-basáltico que erupta el Arenal desde 1968 es diferente al dacítico de la unidad 20 y es poco probable que el magma actual, provoque erupciones plinianas.

CUADRO 1: Superficie y volumen de la unidad 20 comparado con la erupción de 1968 y con algunas erupciones plinianas recientes

	V. Arenal 1968	Unidad 20 V. Arenal	St. Helens 18-5-1980	Chichón 29-3-82
Area comprendida en la isópaca de 20 cm, km ²	15,3	416	16,2	105
Volumen mínimo delimitado por la isópaca de 20 cm, km ³	0,003	0,082	0,003	0,021
Volumen relativo poniendo = 1 la erupción pliniana del St. Helens	1	27	1	7

AGRADECIMIENTOS

Fue de gran ayuda la colaboración y discusiones durante el trabajo de campo que me brindaron Guillermo Alvarado y Andrea Borgia. Mi gratitud al apoyo del personal del Departamento de Geología y del Proyecto Geotérmico Miravalles (ICE) por todas las facilidades ofrecidas. A Sergio Paniagua de la Escuela de Geología de la Universidad de Costa Rica por la revisión del manuscrito. El trabajo forma parte de las actividades llevadas a cabo en 1986 a través del convenio de cooperación italo-costarricense ICE-CIM-IILA.

BIBLIOGRAFIA

- ALVARADO, G.E., (en prensa). Los volcanes de Costa Rica. UNED.
- ALVARADO, G.E. & BARQUERO, R., (en prensa). Las señales sísmicas del Volcán Arenal y su relación con las fases eruptivas. Rev. Cien. y Tec.
- BORGIA, A., C., CARR, M.J., MELSON, W.G. & ALVARADO, G.E. (en prensa). Arenal-Chato Volcanic system, Costa Rica: Structural evolution of the cones. - J. Volc. Geother. Res.
- CAREY, S. & SIGURSSON, H., 1986. The 1982 eruptions of El Chichón volcano, Mexico (2): Observations and numerical modelling of tephra-fall distribution. Bull. Volcanol. 48: 127-141.
- CAREY, S. & SPARKS, R.S.J., 1986. Quantitative models of the fallout and dispersal of tephra from volcanic eruption columns. Bull. Volcanol. 48: 109-125.
- CHAVES, R., 1968. Características físicas, químicas y mineralógicas de los materiales eruptados por el Volcán Arenal (Costa Rica). Direc. Geol. Min. y Petr., Ministerio de Industrias.
- CHIESA, S., 1986. Peligro de erupciones explosivas al Volcán Arenal. Instituto Costarricense de Electricidad (Informe Inédito).
- HOOPES, J.W., 1984. A preliminary ceramic sequence for the cuenca de Arenal, Cordillera de Tilarán region, Costa Rica.- Vínculos 10 (1-2): 129-147.
- MALAVASSI, E., 1979. Geology and Petrology of Arenal Volcano, Costa Rica. - 111 págs. University of Hawaii (tesis inédita).
- _____, 1981. Avances en la evaluación del riesgo potencial en el Volcán Arenal: Costa Rica. - 8 págs. Simposio su rischio sismico e vulcanico. Istituto Italo Latino Americano Roma 1981.
- MATUMOTO, T., LATHAM, G., OTHAKE, M. & UMAÑA, J., 1976. Seismicity studies in northern Costa Rica, EOS, 57: 290.
- MELSON, W.G., 1982. Alternation between Acidic and Basic Magmas of Arenal Volcano, Costa Rica. - Bol. Volcanol., 14: 65-74, Heredia.
- _____, 1984. Prehistoric eruptions of Arenal Volcano, Costa Rica. - Vínculos, 10 (1-2): 34-59
- _____ & SAENZ, R., 1968. The 1968 eruption of Volcano Arenal preliminary summary of field and laboratory studies.-

- Smithsonian Center for Short-Lived Phenomena, Report 7-1968.
- MELSON, W.G. & SAENZ, R., 1973. Volume energy and cyclicity of eruptions of Arenal Volcano, Costa Rica. - Bull. Volc., 37-3: 416-437.
- MUELLER, M., 1984. The Silencio stratigraphic sequence. - Vínculos, 10 (1-2): 51-55.
- SAENZ, R., 1977. Erupción del Volcán Arenal en el año 1968. - Revista Geográfica de América Central, 5-6: 149-188.
- SARNA-WOJCICKI, A.M., SHIPLEY, S., WAITT, R.B. Jr., DZURISIN, D. & WOOD, S.H., 1982. Areal distribution, thickness, mass, volume and grain size air-fall ash from six major eruptions of 1980.- En: Lipman, P.W. & Mullineaux, D.R. (eds.): The eruptions of Mount St. Helens, Washington. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 1250: 577-600.
- SHEETS, P.D., 1984. The Proyecto Prehistórico Arenal: An Introduction. - Vínculos, 10 (1-2): 17-29.
- VILLARI, L., 1984. Vulcano Arenal, Costa Rica. Valutazione preliminare del rischio. Istituto Italo Latino Americano, 5 págs. (Informe inédito). Roma 1984.