

DIRECCION DE INGENIERIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

BOLETIN DEL



AÑO 4, N° 8, DICIEMBRE DE 1991 - SAN JOSE, COSTA RICA

ISSN 1015-4396

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD

DIRECCION DE INGENIERIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**BOLETIN DEL OBSERVATORIO
VULCANOLOGICO DEL ARENAL**

**Editores: Gerardo J. Soto
Rafael Barquero
Guillermo E. Alvarado**

AÑO 4, N° 8, Diciembre de 1991

San José, Costa Rica

OBSERVATORIO VULCANOLOGICO DEL ARENAL (O.V.A.) *

Oficina de Sismología y Vulcanología
Departamento de Geología
Instituto Costarricense de Electricidad
Apdo. 10032-1000, San José, Costa Rica

Teléfonos: (00506) 20-7741
(00506) 20-7686

Telex: (376) 2140
Fax: (00506) 31-4744

El Observatorio Vulcanológico del Arenal (OVA) es parte de la Oficina de Sismología y Vulcanología del Departamento de Geología del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), la cual conjuntamente con la Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica de la Escuela Centroamericana de Geología (Universidad de Costa Rica), constituyen la RED SISMOLOGICA NACIONAL (RSN: ICE-UCR).

Personal profesional del OVA:

Geól. Guillermo Alvarado, Vulcanología
Ing. José Miguel Barrantes, Electrónica
Geól. Rafael Barquero, Sismología
Geól. Ileana Boschini, Sismología
Ing. Carlos Cordero, Topografía
Quím. José F. Fernández, Química
Geól. Carlos Leandro, Geofísica
Geól. Gerardo Soto, Vulcanología

Personal técnico y de apoyo:

Francisco Arias
Guido Calvo
Manuel Gutiérrez
Rigoberto Torres
María Ester Torres

*** Miembro de la *World Organization of Volcano Observatories* (WOVO)**

OBSERVATORIO VULCANOLOGICO DEL ARENAL (O.V.A.) *

Oficina de Sismología y Vulcanología
Departamento de Geología
Instituto Costarricense de Electricidad
Apado. 10032-1000, San José, Costa Rica.

Telephones: (00506) 20-7741

(00506) 20-7686

Telex: (376) 2140

Fax: (00506) 31-4744

The *Observatorio Vulcanológico del Arenal* (OVA) is part of the Seismology and Volcanology Office of the Department of Geology of the Costa Rican Institute of Electricity (ICE), which together with the Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica of the Central American School of Geology of the University of Costa Rica (UCR) constitute the NATIONAL SEISMOLOGICAL NETWORK (RSN: ICE-UCR).

OVA's Professional staff:

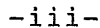
Geol. Guillermo Alvarado, Volcanology
Eng. José Miguel Barrantes, Electronics
Geol. Rafael Barquero, Seismology
Geol. Ileana Boschini, Seismology
Eng. Carlos Cordero, Topography
Chem. José F. Fernández, Chemistry
Geoph. Carlos Leandro, Geophysics
Geol. Gerardo Soto, Volcanology

Technical and auxiliary staff:

Francisco Arias
Guido Calvo
Manuel Gutiérrez
Rigoberto Torres
María Ester Torres

* Member of the *World Organization of Volcano Observatories* (WOVO)

SISTEMA DE MONITOREO
MONITORING SYSTEM



INDICE

**GERARDO J. SOTO Y
RAFAEL BARQUERO**

Volcán Arenal: Resumen de la actividad durante
el período julio - diciembre de 1991

Arenal Volcano: Summary of the activity during
the period July - December, 1991 2

GUILLERMO E. ALVARADO

Nuevas evidencias de neotectonismo
en los alrededores del Graben de Arenal 7

**MARCELO GHIGLIOTTI,
ANTONIO FRULLANI,
GUILLERMO E. ALVARADO Y
GERARDO J. SOTO**

Distribución areal y características
de los depósitos de tefra más recientes
(1080 - 1968 dC) del Volcán Arenal 11

**VOLCAN ARENAL: RESUMEN DE LA ACTIVIDAD DURANTE EL
PERIODO JULIO - DICIEMBRE DE 1991**

**ARENAL VOLCANO: SUMMARY OF THE ACTIVITY DURING THE
PERIOD JULY - DECEMBER, 1991**

Gerardo J. Soto y Rafael Barquero
Oficina de Sismología y Vulcanología,
Departamento de Geología, ICE.

JULIO: La actividad sísmica relacionada con el volcán Arenal mostró cierto incremento con respecto al mes anterior (ver OVA N°7). Se registraron varios episodios de trémor vigoroso, principalmente a principios de julio y luego episodios intermitentes de varias horas de duración (6 hrs promedio) durante el mes. El número de sismos volcánicos también se incrementó un poco, registrándose como máximo 59 eventos al día. La actividad volcánica de carácter explosivo (estromboliana) así como la efusión de lava en bloques se correlaciona bien con lo observado en los registros sísmicos.

JULY: Seismic activity related with Arenal showed a slight increase with respect to June. Several episodes of vigorous tremor were recorded, mainly in early July, and then intermittent episodes of several hours duration (average 6 hrs) during the month. Volcanic quakes recorded also increased, with a maximum of 59 a day. Explosive strombolian activity and efusion of blocky lavas are well correlated with observation of seismic records.

AGOSTO: Durante el mes de agosto, el volcán mantuvo un nivel de actividad baja, con pocas explosiones por día (un promedio de 3 diarias) y un descenso en la actividad sismovolcánica a un promedio de 20 eventos por día. Continuó la actividad exhalativa cuspidal y la efusión de lava en bloques por los flancos W y SW.

AUGUST: Arenal maintained a low level activity with few explosions a day (an average of 3) and a decrease in seismovolcanic activity (an average of 20 events a day). Fumarolic activity continued on the summit, and blocky lavas flowed on W and SW flanks.

SETIEMBRE: La actividad exhalativa fue vigorosa en la cúspide 1 (vapor de agua, gases sulfurados y clorados). Se observaron dos coladas en bloques en la parte alta y media, bajando hacia el WNW

y al SSW. Esta última se detuvo aproximadamente a la cota de 800 m, en su lengua occidental (azimuth 10 con respecto al cráter C). Se comprobó que no alcanzó a quemar el bosque, sino solamente algunos bloques desprendidos de su frente, afectaron esa área. Aún permanece caliente en su interior y despidе vapor en su superficie.

La actividad explosiva aminoró a finales de mes, con pocas explosiones estrombolianas por día.

La erosión en los cauces al este del volcán (Río Calle de Arena y Quebrada Chato), en los abanicos entre 350 y 400 m s.n.m., muestran una activa erosión debido a las crecientes. En el abanico al sur de Laguna Cedeño (flanco norte del volcán, 610 m s.n.m.) ha habido una sedimentación arenosa y flujos de detritos finos que han acumulado un espesor de 14 cm en los últimos 9 meses.

La sismicidad volcánica mostró un descenso importante con respecto al mes anterior, con un máximo de 18 sismos volcánicos por día y un promedio diario de 10 eventos. La actividad de trémores mostró un importante incremento entre el 18 y 20 de setiembre.

SEPTEMBER: Fumarolic activity was vigorous in the summit (steam, sulfurous and chloride gases). Two blocky lava flows were observed in the high and middle part of volcano, flowing down western-northwestward. SSW lava flow stopped approx. at 800 m, in its western lobe (azimuth 10 respect to cone C). This lobe did not burn the forest, but some blocks fell down from the lava front and burned isolated parts of forest. They were still hot, expeling steam from their surface.

Explosive activity decreased in late September, with few daily strombolian explosions.

Erosion along eastern valleys (Río Calle de Arena and Quebrada Chato), in the debris fans between 400 and 500 m a.s.l., was very active, due to floods. In the southern fan of Laguna Cedeño (northern flank of volcano, at 610 m a.s.l.) a sandy sedimentation and fine debris flows with 14 cm thickness were observed during last 9 months.

Volcanic seismicity showed an important decrease, with a maximum of 18 volcanic quakes a day and a daily average of 10. Tremor activity showed an important increase between September 18th and 20th.

OCTUBRE: Continuó la actividad efusiva, exhalativa y estromboliana. Las fumarolas en la cima siguen exhalando gases sulfurados, clorados y vapor de agua, los cuales son arrastrados principalmente hacia el oeste.

La efusión de lavas continuó activa hacia el oeste-suroeste,

con activo despegue de bloques desde sus frentes.

Entre los días 23 y 25 se observaron explosiones estrombolianas separadas por lapsos de entre 25 y 100 minutos.

La actividad sísmica relacionada con el volcán mostró cierto incremento con respecto al mes anterior. Se registraron un promedio de 20 sismos diarios y un máximo de 35 eventos el día 13. La actividad de trémores fue importante los días 6, 12 y entre el 26 y 29 de octubre.

OCTOBER: Effusive, exhalative and strombolian activity continued. Fumaroles in the summit continued, and gases were swept to the West.

Effusion of blocky lava flows continued active to the West and Southwest, with active rolling blocks from the lava fronts.

Between October 23th and 25th, strombolian explosions were observed, separated by periods between 25 and 100 minutes.

Seismic activity related to volcanism showed an increase, with a daily average of 20 events and a maximum of 35 quakes on the 13th. Tremor activity was important on October 6th, 12th, and between the 26th and 29th.

NOVIEMBRE: Continuó la actividad efusiva, estromboliana y exhalativa en la cima. Una colada de lava que descendía por el flanco suroeste se dividió en 3 lenguas. Su superficie está fría, pero continúa emitiendo vapor. Llegó a quemar una pequeña parte de la vegetación del área, sin originar incendios. Las otras 2 lenguas permanecían activas, aproximadamente a 850 m s.n.m. Durante los días 25 al 28 se escucharon explosiones moderadas separadas por intervalos desde minutos a horas. Algunas fueron percibidas con ondas de choque.

La actividad sísmica se mantuvo a un nivel normal con un promedio de 20 eventos sísmicos diarios y un máximo de 30 el día 7 de noviembre. La actividad de trémores se incrementó durante los períodos: 01-04, 18, 21, 24 y 28 de noviembre.

NOVEMBER: A lava flow which descended on the southwest flank was divided in 3 lobes. Its surface was cold, but it still was expelling steam. Its front reached the grassy area and burned it, but without fire. Other 2 lobes were active at 850 m a.s.l.. During November 25th and 28th, moderate explosions were heard separated by periods ranging from minutes to several hours. Some of them were perceived with shock-waves.

Seismic activity was maintained at a normal level with an average of 20 events a day and a maximum of 30 on November 7th.

Tremor activity increased during the periods: 1-4, 18, 21, 24 and 28 of November.

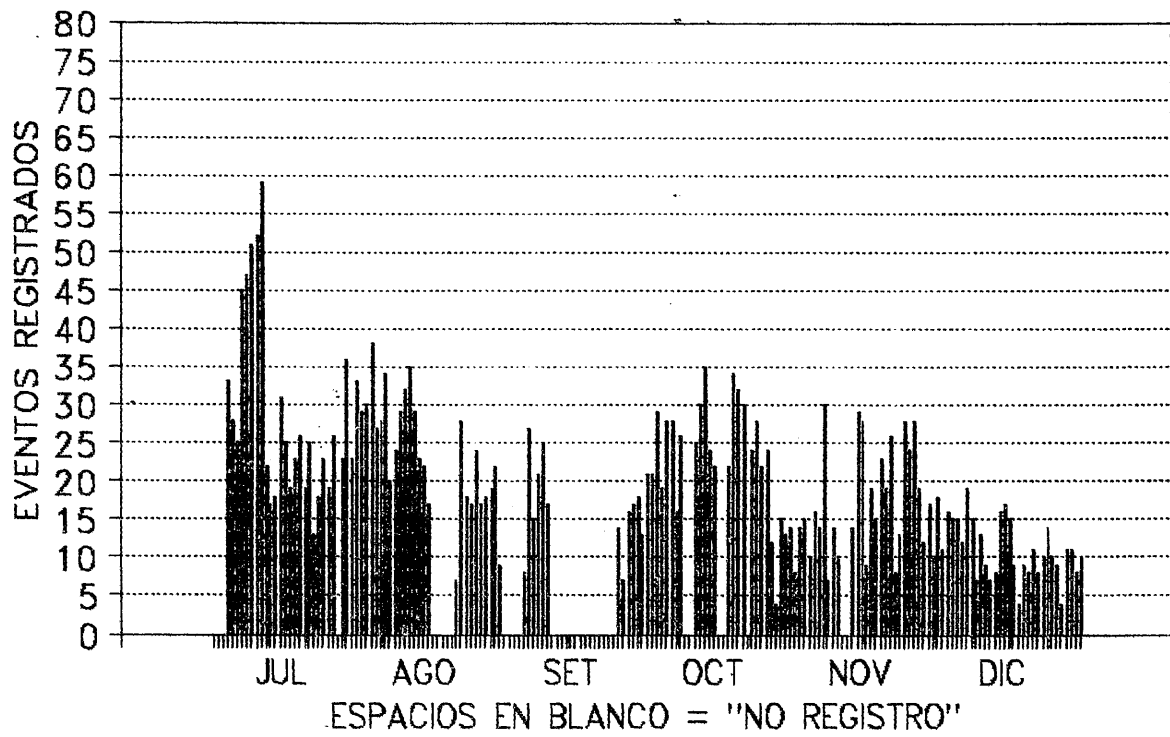
DICIEMBRE: Continuó la actividad fumarólica, efusiva y explosiva. Las fumarolas eran vigorosas en la cúspide de los conos C y D. Se observó una colada bajando hacia el NNW (Tabacón) y otra sobre la lava que bajó por el flanco SSW en mayo-julio. La colada que bajaba hacia el WSW en noviembre (cuya lengua spetentrional alcanzó la parte de menor pendiente en ese mes), continuó en avance en su lengua meridional, rodeando una colina y juntándose con el otro frente.

La actividad explosiva estromboliana mostró eventos separados por horas (bajo nivel).

DECEMBER: Fumaroles were vigorous in the summit and C and D cones. A new lava flow was observed descending to the NNW (Tabacón) and another flowed down over previous May-July lava flow on the SSW. The lava flow which descended to WSW and reached the flat area in November, continued its advance in the other lobe, joined the former one and surrounded a small hill.

Strombolian activity showed events separated by hour periods (low level).

NUMERO DE SISMOS POR DIA
VOLCAN ARENAL, JULIO - DICIEMBRE 1991



**NUEVAS EVIDENCIAS DE NEOTECTONISMO EN
LOS ALREDEDORES DEL GRABEN DE ARENAL**

Guillermo E. Alvarado, Department of Volcanology and Petrology,
GEOMAR, Wischhofstrasse 1-3, 2300 Kiel, Alemania.

RESUMEN

Se presentan nuevas evidencias sobre la existencia de fallas activas de importancia en el extremo oriental del Graben de Arenal. Este estudio es complementario al de Alvarado (1989), y constituye la base fundamental para estudios ulteriores de detalle. Se confirma con ello el elevado grado de fallamiento reciente y su alto potencial de amenaza sísmica en el área.

ABSTRACT

This paper shows new evidences about the existence of important active faults in the eastern edge of Graben de Arenal. This study complements a previous one by Alvarado (1989), and constitutes the fundamental basis for further detailed studies. This is a confirmation of the high grade of active faulting and its high seismic hazard on the region.

INTRODUCCION

En el estudio previo de Alvarado (1989), se exponía por primera vez con criterios neotectónicos, la existencia de una tectónica que perturba en mayor o menor grado las secuencias de tefras del Volcán Arenal, indicando la existencia de un gran número de fallas activas en las últimas centenas a miles de años. La presente nota agrega nuevas evidencias de neotectonismo, que han salido a la luz de los trabajos tefrostratigráficos emprendidos por el personal del OVA-ICE. Con ello se complementa el trabajo anterior de Alvarado (1989), dejándose para estudios ulteriores, un trabajo de detalle, necesario para el real evalúo de la amenaza sísmica y volcánica de la región de Arenal. Se espera con ellos crear conciencia sobre una de las varias amenazas geológicas con las que hay que convivir, en particular dado el creciente desarrollo habitacional y turístico que posee el área de Arenal.

DESCRIPCION GENERAL DE SITIOS NEOTECTONICOS

Se describirán a continuación, en forma breve, los diferentes sitios en donde se encontraron claros indicios de perturbación tectónica reciente (Fig. 1). Para los datos de detalle tefroestratigráficos y tefrocronológicos, se remite al lector a los números anteriores del Boletín del OVA (Año 1, Nos. 1 y 2, 1988).

1. Camino a Laguna Cedeño (coordenadas 274,0N-459,6E; altura 640 m, Hoja Fortuna)

Hay una pequeña falla localizada cerca del inclinómetro F del OVA-ICE, unos 150 m antes de llegar a la Laguna Cedeño. Posee un rumbo N10E y buza 70° al E. Desplaza al nivel de tefras de ET-3/4 en 30 cm, lo cual indica un movimiento con una edad máxima de unos 800 años.

2. Microfalla detrás de la presa de Sangregado (coordenadas 273,1N-453,0E; altura 520 m, Hoja Tilarán)

Se trata de una pequeña falla (aprox. N55E;50°NW), que desplaza 17 cm al nivel ET-9 y al paleosuelo subyacente, con una edad máxima de 3200 años, indicio de su relativa reciente actividad.

3. Antiguo camino a la presa Sangregado (coordenadas 272,0N-453,3E; altura 600 m, Hoja Tilarán)

En el antiguo camino que conducía a la represa, 800 m antes de llegar a ella, se observó una falla de gran importancia, de rumbo aproximado N10E; 60 °W, y un desplazamiento normal aparente de al menos 4 m. Dado que parece no perturbar al nivel de tefras de ET-2 (1350 A.D.), pero sí a un nivel de paleosuelo datado en otro sitio aledaño en 700 ± 115 A.C., podemos inferir que se ha movido unos 4 m en unos 2000 años (0,2 cm/año), lo cual la clasificaría como una falla de considerable actividad sísmica (para nomenclatura, véase Alvarado, 1989).

4. Río Agua Caliente (coordenadas 268,75N-456,25E; altura 530 m, Hoja Fortuna)

Cerca del río Agua Caliente, camino a El Castillo, se observa que aparentemente el nivel ET-3 está desplazado unos 5 m al comparar su posición topográfica a ambos lados del corte de la carretera. De confirmarse lo anterior, se tendría una velocidad de desplazamiento sumamente elevada de aproximadamente 0,5 cm/año. Este sitio estaría documentando la evidencia geológica de la actividad tectónica reciente de la Falla de El Castillo, mencionada

por Alvarado (1989).

5. Camino Mata de Caña-Venado (coordenadas 275,3N-447,8E; altura 840 m, Hoja Tilarán)

Se observó una perturbación tectónica en el nivel de tefras de ET-2, indicando una edad máxima del evento sísmico en unos 650 años. No se puede detallar más, puesto que las condiciones del afloramiento no lo permiten, pero podría tratarse de una falla paralela a la de Cote-Arenal.

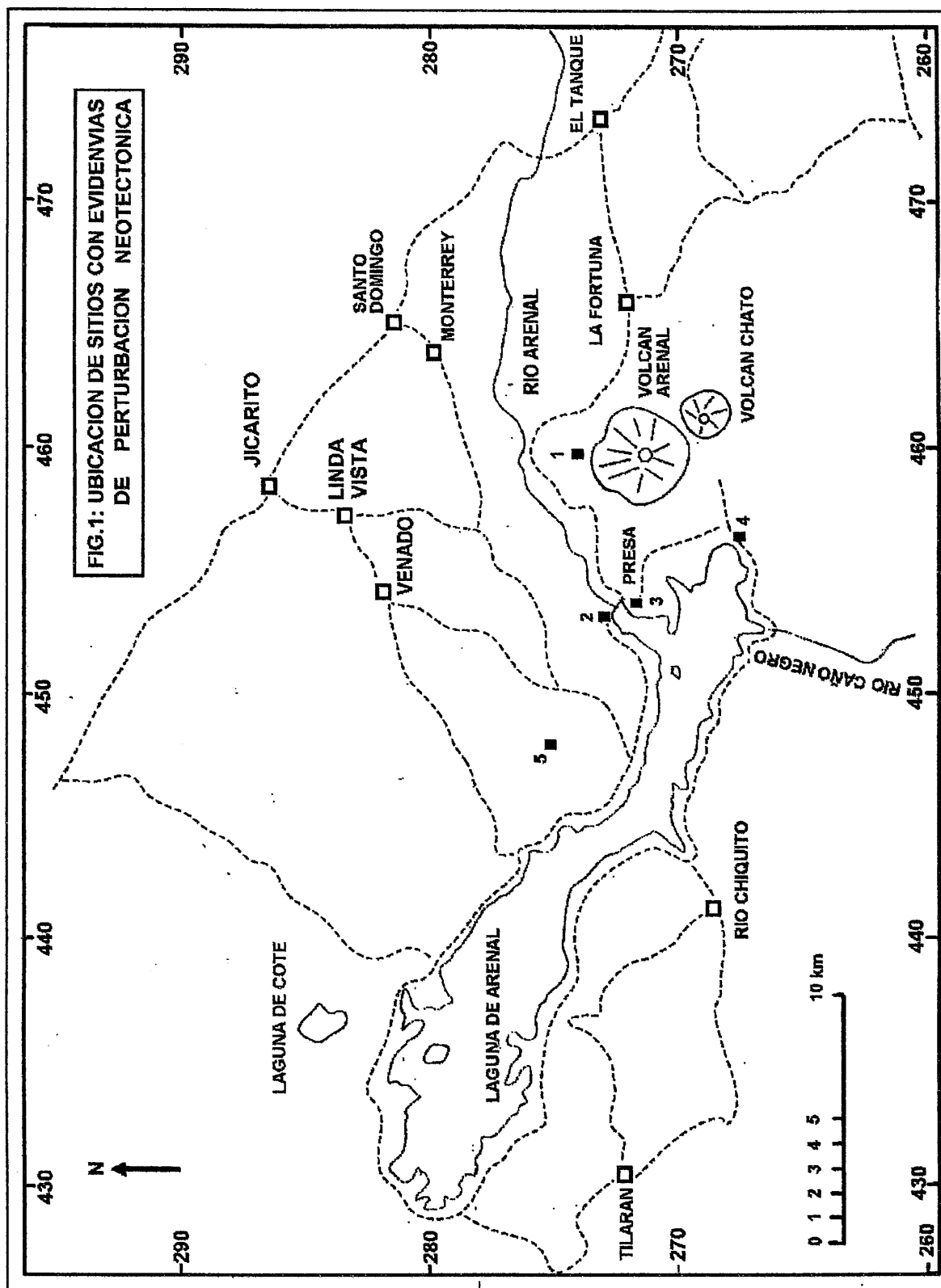
DISCUSION Y RECOMENDACIONES

La presente información complementa los estudios previos realizados por el autor (Alvarado, 1989) y reafirma la existencia de un alto grado de fallamiento activo en los alrededores del graben de Arenal. Las fallas son de tipo normal o de rumbo, de alto ángulo hasta verticales, con una orientación variable entre NW-SE hasta NE-SW. Su velocidad de desplazamiento está en el ámbito de 0,012 a 0,5 cm/año. Sin embargo, gran parte de estas determinaciones son preliminares, dado que muchas veces están referidas a extrapolaciones e inferencias estratigráficas (v.gr.: Falla El Castillo), o bien se estima una velocidad promedio, dado que con seguridad muchas de estas estructuras deben de ser fallas de crecimiento. Por ello se requiere de un profundo estudio en cada afloramiento con el propósito de reconstruir la historia de la falla, sus últimos movimientos, y con ello la velocidad más reciente. Igualmente sería deseable, estudiar una misma falla en diferentes sitios, para comprender mejor su movimiento -dado que las condiciones mecánicas de las tefras impiden la formación de estrías- y tener una mejor idea de su velocidad de desplazamiento.

La existencia de fallas de importancia, de varios kilómetros de longitud, con una velocidad de movimiento superior a 0,18 cm/año, y muchas de ellas concentradas en el extremo oriental del graben, hacen de la región una zona de alto potencial de amenaza sísmica y volcánica. Ambos factores deben de considerarse a la hora de una planificación del desarrollo turístico y urbano actual y a largo plazo.

REFERENCIAS

Alvarado, G.E., 1989: Consideraciones neotectónicas recientes en los alrededores de la Laguna de Arenal, Costa Rica. Bol. Obs. Vulc. Arenal, 2(3):6-21.



**DISTRIBUCION AREAL Y CARACTERISTICAS DE LOS
DEPOSITOS DE TEFRA MAS RECIENTES (1080-1968 dC)
DEL VOLCAN ARENAL**

Marcello Ghigliotti ¹, Antonio Frullani ¹,
Guillermo E. Alvarado ² y Gerardo J. Soto ³

- 1: Geotermica Italiana srl, Lungarno Mediceo, 16 Pisa, ITALIA.
- 2: GEOMAR, Dpt. of Volcanology and Petrology,
Wichhofstrasse 1-3, 2300 Kiel, ALEMANIA.
- 3: Oficina de Sismología y Vulcanología, ICE, COSTA RICA.

RESUMEN

Con base en los estudios anteriores de la tefroestratigrafía del Arenal, se hizo una revisión de la distribución areal de las tefras de las erupciones más importantes del volcán. Se presenta en este trabajo, los datos correspondientes a las isopletas, isopacas y características de los depósitos de caída de las erupciones más recientes del volcán (ET-1: 1968 dC; UN-10: 1520? dC; ET-2: ca. 1350dC; ET-3: ca. 1080 dC). Con base en las isopletas de los líticos se calculó una columna eruptiva de la erupción ET-2 de aproximadamente 23 km de altura (subpliniana). Asociado a cada una de estas fases explosivas, ocurrieron restringidos flujos y oleadas piroclásticas.

ABSTRACT

Based on previous tephrostratigraphic studies on Arenal, a review of areal distribution of tephtras of most important eruptions of Arenal was carried out. In this work, we present the data corresponding to isopleths, isopachs and characteristics of fall deposits of the most recent eruption deposits (ET-1: 1968 AD; UN-10: 1520? AD; ET-2: ca. 1350 AD; ET-3: ca. 1080 AD). Based on lithic-isopleth map, the height of eruptive column of ET-2 eruption was estimated in ca. 23 km. Pyroclastic flows and surges occurred in association with these explosive phases.

INTRODUCCION

Durante los años de 1990-92, se llevó a cabo un proyecto conjunto entre el Departamento de Geología del ICE y Geotermica Italiana srl, con el propósito de realizar una evaluación del peligro volcánico del Arenal. Como primer paso para llegar a las conclusiones finales de la evaluación, se procedió a una exhaustiva revisión de los trabajos geológicos, petrológicos, vulcanológicos y geofísicos referentes al Arenal, así como un prolijo levantamiento en el campo, de las secuencias tefroestratigráficas aflorantes en los alrededores del volcán. Como corolario de esta investigación, se han llegado a nuevas conclusiones respecto a la dinámica e historia eruptiva del Arenal. Los resultados serán presentados en tres diferentes partes: (1) Los depósitos de tefras más recientes (las unidades ET-1, UN-10, ET-2 y 3); (2) los depósitos de tefras y secuencias eruptivas más viejas que ET-3, con una nueva aproximación de la historia volcánica del Arenal, y (3) un análisis del peligro volcánico con base en las anteriores investigaciones. Debido a que los depósitos de ET-2 y 3 son las tefras más ampliamente distribuidas y reconocibles en gran cantidad de afloramientos, por su considerable volumen, amplia distribución y reciente emplazamiento, ha sido posible realizar un prolijo seguimiento de tales depósitos, reconstruir mejor las curvas isopacas e isopletas, y aproximar su dinámica eruptiva. Por esto, el presente trabajo está enfocado mayoritariamente a estas dos secuencias en conjunto.

METODOLOGIA

El área del Volcán Arenal y gran parte de las zonas adyacentes a la laguna homónima se encuentran recubiertas por estratos de tefras gruesas intercaladas con bancos de ceniza que presentan diversos grados de meteorización y arcillificación, y a veces contienen materia orgánica (paleosuelos).

Las tefras emitidas por el Arenal cubren las subyacentes rocas volcánicas antiguas del grupo Aguacate, que representan la base estratigráfica regional, caracterizada por un paleosuelo bien desarrollado con típica coloración roja a anaranjada, y por una alteración muy marcada.

Los trabajos de base para reiniciar la labor tefroestratigráfica en el Arenal, han sido los de Melson (1982, 1984), los de Chiesa (1987a y b) y el de Borgia et al. (1988).

Melson (1982, 1984) basa su esquema estratigráfico del Arenal en el estudio del corte denominado "El Tajo". Desafortunadamente, al construirse la presa de Sangregado, el embalse de Arenal cubrió el corte susodicho, y hoy no es accesible para la correlación estratigráfica. Borgia et al. (1988) siguen el patrón melsoniano

de la estratigrafía del Arenal, con leves reformas a la tefrostratigrafía, algunas nuevas dataciones radiométricas, y considerables contribuciones al mapeo y secuencia geológica de las lavas (facies proximales). Chiesa (1987 a y b) es el primero que realiza un levantamiento controlado de cortes de tefras en los alrededores del Arenal, para correlacionar los depósitos con los previamente descritos por Melson, y presentar una aproximación de la distribución areal del depósito de la última erupción dacítica (subpliniana a pliniana), llamada ET-2, y plantea algunos problemas entre la estratigrafía propuesta por Melson y la correlación con sus depósitos y su extensión.

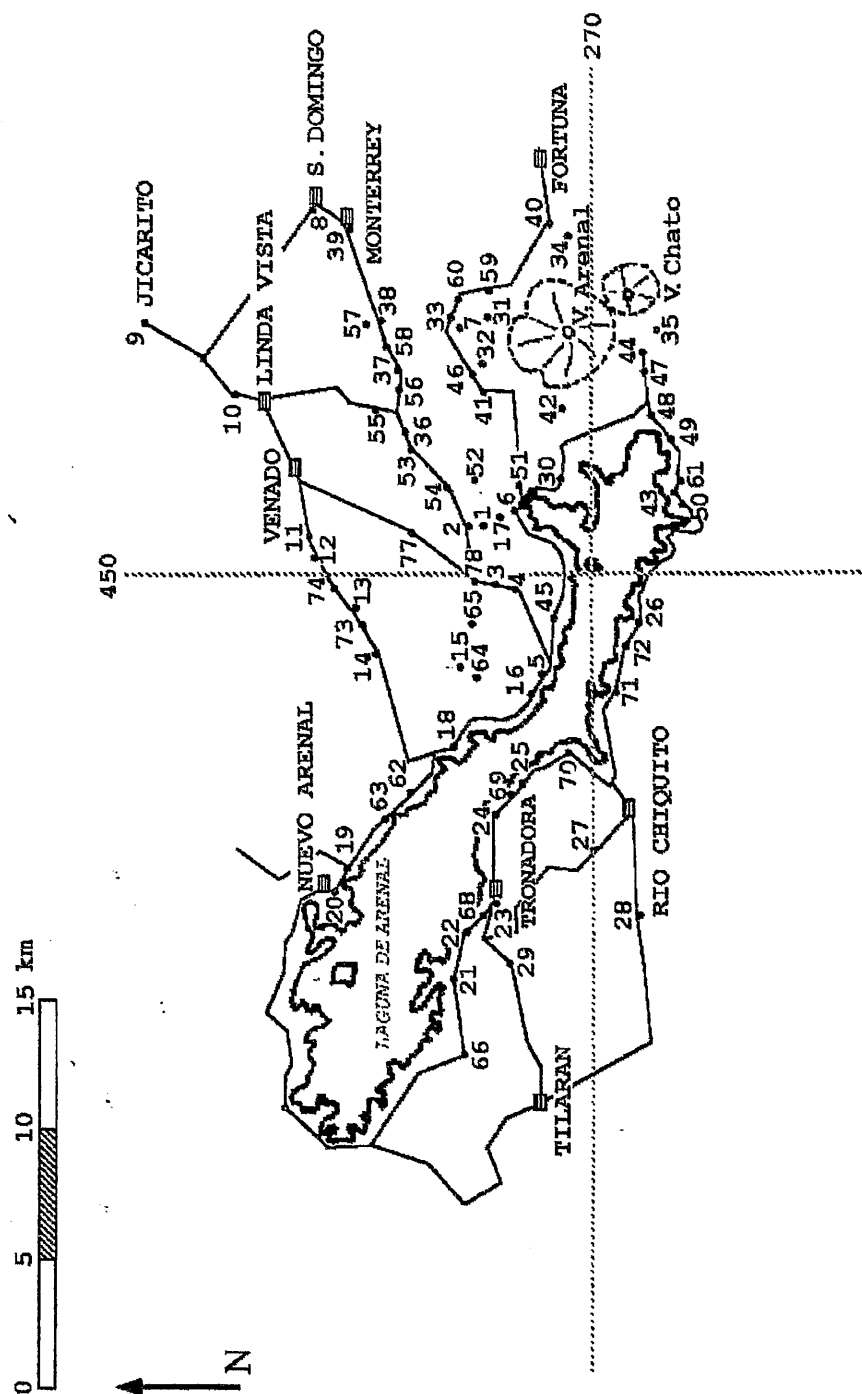
Para el presente trabajo se revisitaron la mayoría de las estaciones citadas por Chiesa (1987a y b), y se levantaron 78 nuevos cortes (Fig. 1). Las correlaciones entre los diversos puntos de observación se efectuaron mediante las técnicas adoptadas en la bibliografía volcanológica en los últimos decenios (Cass y Wright, 1987), que fueron introducidas por Thorarinsson (1967).

La investigación tefroestratigráfica se desarrolló utilizando depósitos de una elevada distribución areal constituidos por estratos de pómez o escorias de caída, correspondientes con erupciones plinianas y/o subplinianas, cuyas características litológicas y estratigráficas varían regularmente. Con el fin de efectuar reconstrucciones areales de los parámetros espesor y dimensiones máximas de los clastos, se seleccionaron los depósitos primarios acumulados en áreas subhorizontales. Acercándose al edificio volcánico, se estudiaron exclusivamente áreas planas y elevadas con el propósito de reducir al mínimo las eventuales intercalaciones de productos de flujo, retrabajo o erosión de las tefras, y de encontrar el mayor número de niveles de caída.

Las determinaciones de campo referentes a las dimensiones máximas de los líticos y las pómez en cada uno de los niveles, se efectuaron midiendo la longitud máxima de los 3 a 5 clastos de mayor tamaño recolectados en una sección del afloramiento. El promedio de los valores así obtenidos en el campo, constituye el dato de partida para elaborar los mapas de isopleas.

Las numerosas carreteras y caminos vecinales de la zona ofrecen la posibilidad de efectuar cortes de fundamental importancia para reconstruir la historia eruptiva del volcán. En el lado meridional del Arenal, hacia el Chato, las observaciones de campo estuvieron limitadas por la falta de accesos y la densa cobertura forestal.

Hacia el sector occidental del volcán, a lo largo de la laguna, los depósitos de explosión del Arenal presentan los máximos espesores, que decrecen progresivamente hacia el oeste. En Tronadora (25 km al oeste-noroeste del volcán), la secuencia eruptiva tiene un espesor de 1,2 m y está constituida por 7 u 8 niveles de cenizas de diferentes colores, de espesores normalmente



**FIG. 1: MAPA CON UBICACION DE LOS 78 CORTES
TEFROESTRATIGRAFICOS ESTUDIADOS**

decimétricos, que sobreyacen al paleosuelo rojo. En las zonas septentrionales distales, a lo largo del camino de El Tanque - Santo Domingo - Jicarito, solamente una capa de caída sobreyace al Grupo Aguacate. La zona oriental muestra varias capas de material retrabajado, mezcladas con depósitos de flujo y lahares procedentes de los volcanes Arenal y Chato. En este sector, los depósitos de caída del Arenal presentan poco espesor o no se encuentran del todo. En las faldas del Chato, al sur del Arenal, se notan algunos niveles procedentes de este último, pero ya con espesores bastante reducidos.

NIVELES GUIA DE CAIDA

Unidades menores, tipo ET-1 y UN-10

Las erupciones ET-1 y UN-10 (Fig. 2) pertenecen a la actividad menor del Arenal. A pesar de su reducida importancia explosiva y siendo estos dos eventos los más recientes de la vida del Arenal (1968 dC y 1525? dC, respectivamente), han sido descritos con el grupo de eventos eruptivos más importantes producidos por el volcán.

El único nivel centimétrico de lapilli, escorias y ceniza que se observa con bastante continuidad, arriba del nivel guía ET-2, debe considerarse como UN-10 y no como ET-1, por sus características y por la presencia de un espeso suelo que lo sobreyace, que con seguridad es más viejo que 24 años (lapso 1968-92). La edad de UN-10 podría ser la misma de un flujo piroclástico de la Quebrada Tabacón, datado por Melson & Sáenz (1973) en 1525 ± 20 dC.

Los depósitos de caída de la erupción ET-1 (julio de 1968) no han sido observados en el campo. Solamente en algunos cortes se nota una traza de lapilli y escorias básicas, discontinua, mezclada con el suelo actual. La publicación de Sáenz (1977), cuyo trabajo de campo fue efectuado inmediatamente después de la erupción de julio de 1968, reporta que los espesores del depósito son muy reducidos (entre 5 cm y trazas milimétricas) y por lo tanto hoy han sido completamente erosionados.

Algunas trazas de piroclastos básicos de caída, asociadas con los eventos menores del Arenal, se reconocen, en modo discontinuo, en el interior de la secuencia estratigráfica inferior, intercaladas entre los niveles guía más energéticos. Estas trazas indican que el volcán Arenal ha producido frecuentes eventos explosivos análogos o mayores que UN-10 y ET-1, que sin embargo no se conservan en el registro estratigráfico general.

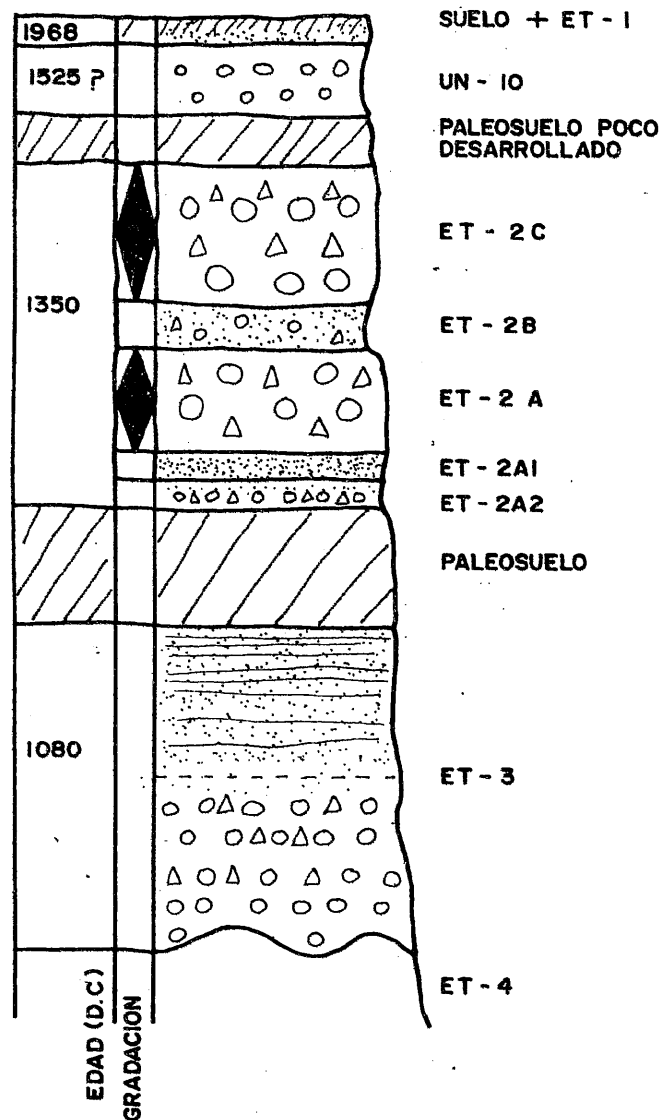


FIG. 2.
SECUENCIA TEFROESTRATIGRAFICA
SUPERIOR DEL VOLCAN ARENAL .
(SIN ESCALA).

ET-2 o Unidad 20

El nivel ET-2 (Fig. 2), estudiado en la localidad de El Tajo por Melson (1982, 1984) y denominado UN-20 por los arqueólogos en el sitio El Silencio (Mueller, 1984), es uno de los horizontes guías más importantes en las reconstrucciones estratigráficas del Arenal.

En el campo, el nivel ET-2 se presenta, en su facies típica, como un doble nivel de caída decimétrico de pómez dacítica (Melson, 1984; Chiesa, 1987 a yb) y líticos (nominados subniveles ET-2A y ET-2C), separados por una capa centimétrica de arena y ceniza gris (subnivel ET-2B). En la Tabla 1 se presentan los espesores totales, el MP (diámetro medio de pómez) y el ML (diámetro medio de líticos) de caída del nivel. En la Tabla 2 se diferencian los espesores de cada subnivel.

El subnivel de caída superior ET-2C es seguramente el más importante entre los que componen las tefras de caída de ET-2. Su espesor varía sensiblemente: en la estación 30 (camino viejo a la presa, ver Fig. 1) mide al menos 95 cm y, alejándose del volcán, constituye el único subnivel de ET-2 que se conserva. El ET-2C presenta una escasa matriz, un tamaño grande de los fragmentos, una gradación inversa-normal, un mayor porcentaje de los líticos hidroxilados (indicio de un elevado hidrotermalismo en ellos), las pómez son densas con anfíbol, y a veces presentan evidencias de mezcla de magmas.

El subnivel intermedio ET-2B está constituido por una capa de arena y ceniza vesiculada de color gris. Esta matriz confiere al subnivel una cierta cohesión que le da un aspecto sobresaliente por erosión diferencial (cf. Chiesa 1986, 1987). A veces, metidos en el depósito, se observan raras pómez y líticos de tamaño centimétrico, y trazas de hojas. El espesor de ET-2B es normalmente inferior al decímetro, destacándose sólo las estaciones 5 (espesor E=16 cm), 16 (E=18 cm) y 30 (E=14 cm).

El subnivel inferior ET-2A es un depósito de caída de pómez de gradación inversa-normal con poca matriz. Los líticos presentes son menos frecuentes que en ET-2C. Análogamente, el tamaño promedio de las pómez y de los líticos resulta inferior a los observados en ET-2C. Las pómez densas con anfíbol, presentan a veces las mismas evidencias de mezcla de magmas ya apuntadas en ET-2C. El espesor de ET-2A resulta menor de 10-12 cm, destacando la estación 30, donde alcanza 21 cm.

En los cortes proximales al Arenal (estaciones 3, 4, 5, 6, 16, 26 y 30), subyaciendo a ET-2A, se han observado dos subniveles de espesor muy reducido, denominados ET-2A1 y ET-2A2. El primero está constituido por ceniza gris vesiculada, bastante similar al subnivel intermedio ET-2B, con espesores que varían entre 1-4 cm,

TABLA 1: PARAMETROS DEL NIVEL DE CAIDA ET-2 DEL ARENAL

N° CORTE	COORDENADAS N - E	ESPESOR (cm)	MP/ML cm/cm	NOTAS
1	274,9 - 452,2	70	7/9	
2	275,2 - 452,0	39	12/8	
3	274,3 - 450,0	38	8/3	P. quebradas
4	273,3 - 449,7	47	5/5	P. quebradas
5	272,2 - 447,1	62	4/5	P. quebradas
6	273,9 - 452,4	40	6/9	P. quebradas
14	278,2 - 447,5	20	2/1	
15	275,4 - 446,6	36	4/2	
16	272,4 - 446,3	55	4/2	
18	273,9 - 444,8	43	4/1,5	
19	278,7 - 440,9	>20	$\geq 1/\leq 1$	
20	279,8 - 439,0	15	$\leq 1/\leq 1$	
21	275,9 - 434,2	18	<1/-	
22	275,8 - 437,2	20	<2/<1	
23	275,1 - 437,9	14	1,5/<1	
24	274,9 - 440,9	20	2/1	
25	273,8 - 442,8	27	2,5/1	
26	269,2 - 448,6	47-69	4/2	
27	270,3 - 440,1	22	2,5/1	
28	268,7 - 438,1	24	2/0,5	
29	273,4 - 435,6	20	2/<1	
30	272,0 - 453,4	150	15	P. quebradas
36	276,8 - 454,7	17	8/6	
37	277,9 - 456,5	14	3/3	
38	278,5 - 459,2	tr	<2/<1	
39	279,7 - 462,9	tr	<1/-	
43	267,7 - 453,8	20	10/8	Dep. eros.
44	268,6 - 458,6	12	8/7	Dep. eros.
45	271,8 - 445,9	>50		
47	268,6 - 458,2	22	3/-	P. quebradas
48	268,7 - 456,2	36	4/4,5	P. quebradas
50	267,7 - 453,5	40	5/7	
51	273,0 - 450,0	55	4/-	P. quebradas
52	274,4 - 453,9	14	3,5/2,5	
53	276,3 - 454,5	20	9/10	
54	275,9 - 453,2	22	5/3,5	
57	278,7 - 459,1	tr		
61	267,1 - 453,9	28	4,5/6,5	P. quebradas
62	275,8 - 443,7	20	3,8/1,8	
63	277,4 - 441,7	14	2,5/1,5	
64	274,8 - 446,3	37	3,6/5,5	P. quebradas
65	275,4 - 447,8	29	4/4	
66	275,5 - 432,4	7	1/0,2	
68	275,3 - 437,5	6	1,8/-	P. quebradas

CONTINUACION TABLA 1				
N° CORTE	COORDENADAS N - E	ESPESOR (cm)	MP/ML cm/cm	NOTAS
69	274,3 - 442,3	>20	2,5/-	
70	271,8 - 443,6	50	4/1,5	
71	270,4 - 446,1	51	6,2/3	
72	269,5 - 448,1	>42	5,5/6	
73	279,4 - 448,0	14	3/-	
74	280,5 - 449,9	<20	2,5/2,3	
77	277,2 - 451,6	~20	4/3,5	
78	275,1 - 450,1	24	4/4	
MP: diámetro máximo promedio de las pómez ML: ídem de los líticos; P.: pómez				

con un máximo de 10 centímetros en el corte 30. El subnivel basal ET-2A2 está constituido por un delgado depósito de caída arenoso, con pómez y líticos de tamaño milimétrico y con espesores de 2-3 cm, y un máximo de 10 cm en el corte 30.

La edad de ET-2 sería de 600 años (año 1350 dC), en concordancia con las últimas y más recientes dataciones producidas por M. Mueller (comunicación verbal a G.J. Soto, 1991), y acorde con la edad de 1362 ± 20 dC sugerida por Chiesa (1987) con base en datos arqueológicos y de ^{14}C . Esta edad concuerda además con la de fragmentos arqueológicos recogidos durante esta investigación, en el suelo subyacente a ET-2, e identificados por los arqueólogos del Museo Nacional de Costa Rica con edad de 1000 dC o más joven (comunicación escrita de J.V. Guerrero, 1992).

En el mapa de isopacas de la Fig. 3 se reportan los espesores de ET-2 medidos en 52 cortes estratigráficos. En las facies proximales, sus espesores son considerados en conjunto para todo el nivel, mientras que en las facies distales, el valor reportado corresponde al subnivel ET-2C.

La forma elíptica de las curvas suavizadas de 10, 20, 30, 50 y 100 cm de espesor, indican que el área de dispersión máxima se localiza hacia el occidente del Arenal.

Los mapas de isopleas (Figs. 4 y 5) han sido preparados utilizando los diámetros máximos de las pómez y los líticos medidos en el subnivel ET-2C. Las curvas isopleas de las pómez más pequeñas (de 2 y 4 cm de diámetro), dibujan dos elipses con eje máximo de dispersión según la dirección este-oeste, mientras que las de mayor diámetro (8 y 10 cm de diámetro), son más regulares, lo que indica una menor influencia por el viento (Fig. 4). Por el

TABLA 2: ESPESORES EN cm DE CADA SUBNIVEL DE ET-2

ESTACION	A2	A1	A	B	C
1	-	-	15	5	50
2	-	-	10	4	25
3	2	1	6	4	25
4	2	3	12	10	20
5	3	3	12	16	28
6	2	1	6	7	24
14		20 espesor total			
15	-	-	8	3	25
16	3	3	8	18	22
18	-	4	10	9	20
19		>20 espesor total			
20		15 espesor total			
21		18 espesor total			
22		20 espesor total			
23	-	-	2		10
24	-	-	2	2	16
25	-	-	4	8	15
26	3	4	9	6	27
27	-	2	4	4	12
28	-	1	5	6	12
29		20 espesor total			
30	10	10	21	14	≥95
36		17 espesor total			
37		14 espesor total			
38		tr espesor total			
39		tr espesor total			
43		20 espesor total			
44		12 espesor total			
45		>50 espesor total			
47		22 espesor total			
48		36 espesor total			
50		40 espesor total			
51		55 espesor total			
52		14 espesor total			
53		20 espesor total			
54		22 espesor total			
57		tr espesor total			
61		28 espesor total			
62		20 espesor total			
63		14 espesor total			
64		37 espesor total			
65		29 espesor total			
66		7 espesor total			
68		6 espesor total			
69		>20 espesor total			

CONTINUACION TABLA 2					
ESTACION	A2	A1	A	B	C
70		50	espesor total		
71		51	espesor total		
72		>42	espesor total		
73		14	espesor total		
74		<20	espesor total		
77		~20	espesor total		
78		24	espesor total		
tr: trazas					

hecho de que muchas pómez de gran tamaño se encuentran quebradas, las curvas isopletas de 8 y 10 cm podrían estar subestimadas.

El mapa de isopletas de los líticos de ET-2C (Fig. 5) contiene las curvas de 1; 1,6; 3,2; 6,4 y 8 cm. El máximo diámetro de los líticos (asociado con una fase de caída de tefras), alcanza unos 15 cm, y ha sido observado en el corte 30. La mayor densidad de los líticos condiciona la geometría de tales curvas, que presentan una dispersión menos marcada a lo largo del eje de dirección este-oeste, comparada con la de las pómez.

ET-3

El depósito de caída ET-3 está caracterizado por numerosas alternancias centimétricas de escorias y lapilli de grano grueso y fino de naturaleza basáltica con niveles de cenizas intercalados (Tabla 3).

Melson (1984) describe el nivel ET-3 como alternancias de lapilli de composición basáltica concentrados en la parte medio-inferior del nivel, y una parte superior de color amarillo-pardo constituida por ceniza volcánica. En la sección 30, ET-3 presenta los máximos espesores medidos (2,60 m) y está efectivamente constituido por dos partes: una inferior (1,20 m) presenta por lo menos 40 estratos centimétricos de escorias en alternancia con cenizas finas hasta lapilli; la parte superior (1,40 m), está formada por capas delgadas de cenizas con pisolitos y subordinadas capas escoriáceas.

Un paleosuelo decimétrico de ceniza de color café pardo, poco desarrollado, separa los niveles ET-2 y ET-3. En la parte baja, ET-3 presenta continuidad con el subyacente nivel ET-4, y solamente en algunas secciones estratigráficas es posible observar una discordancia erosional o un nivel centimétrico de ceniza que los

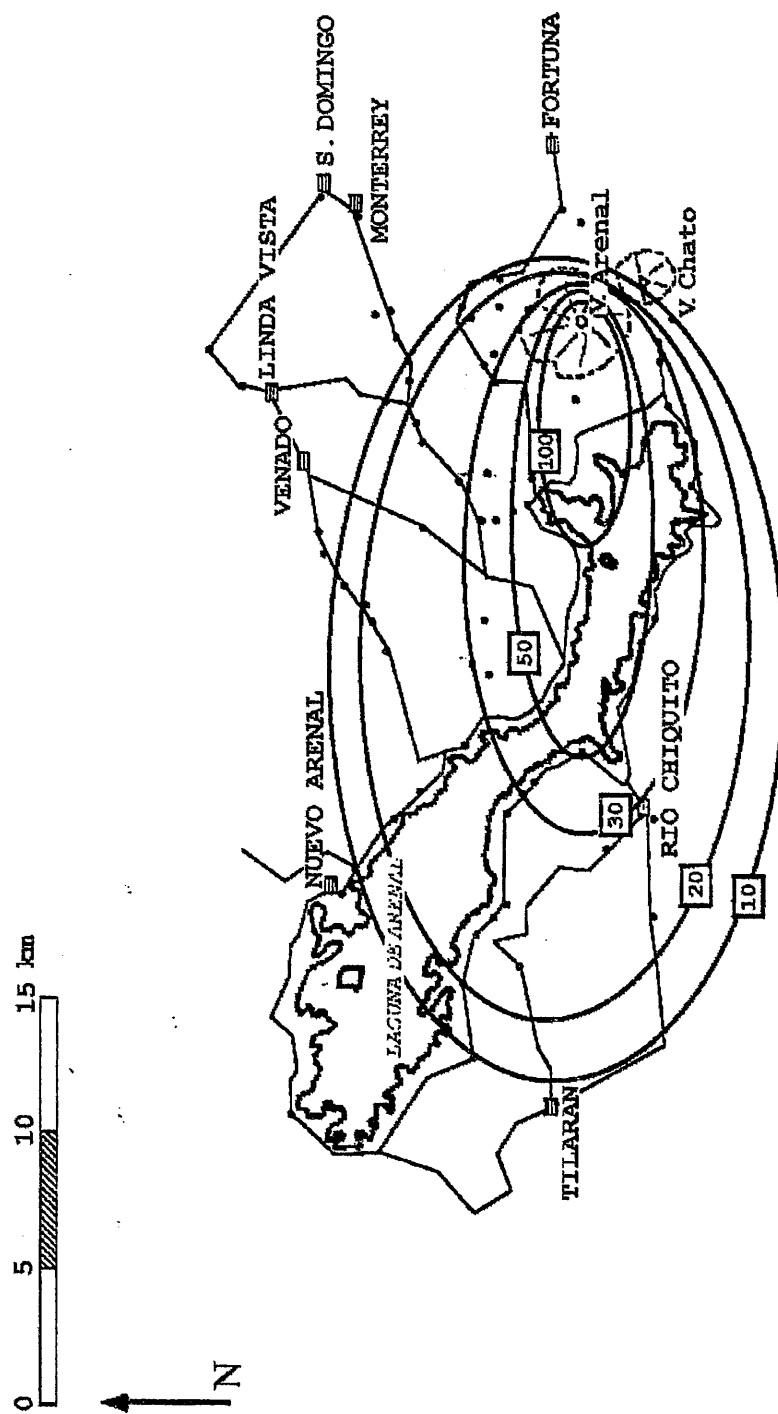
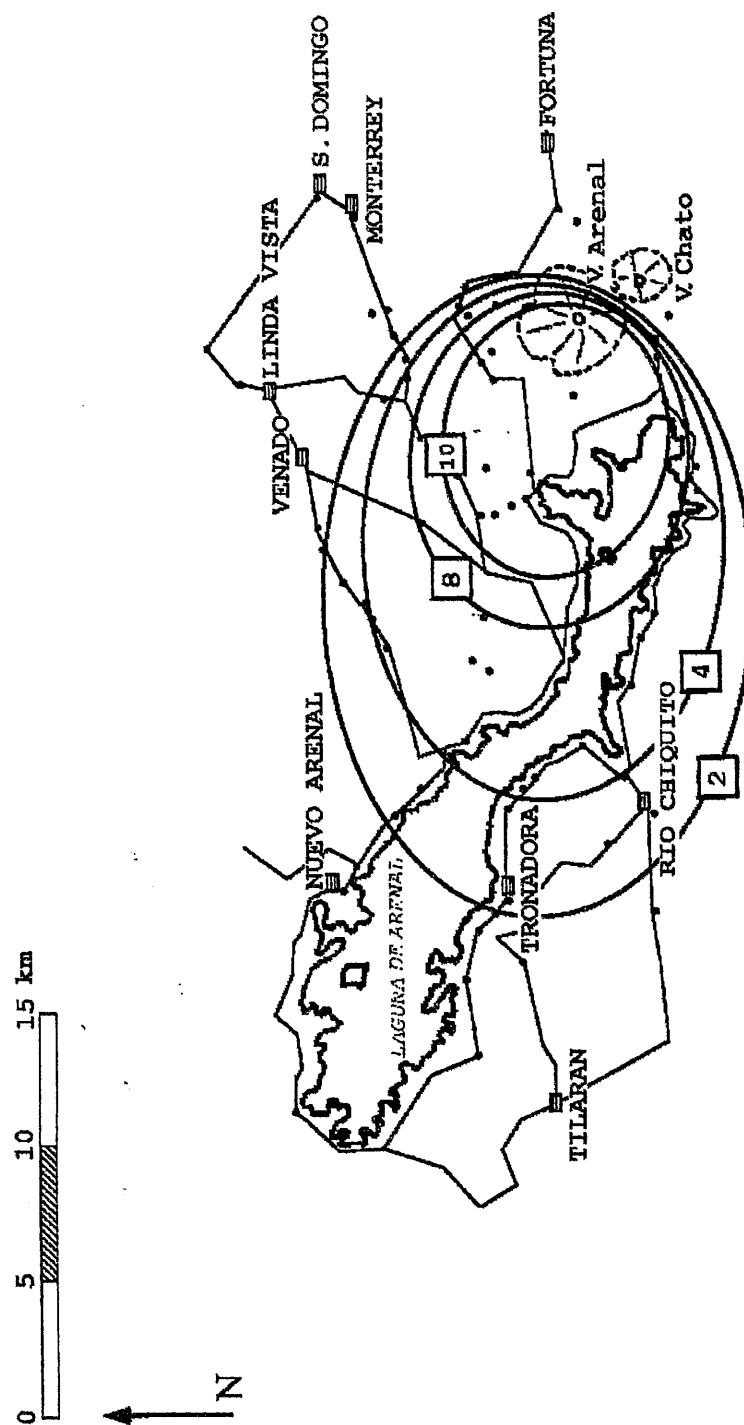
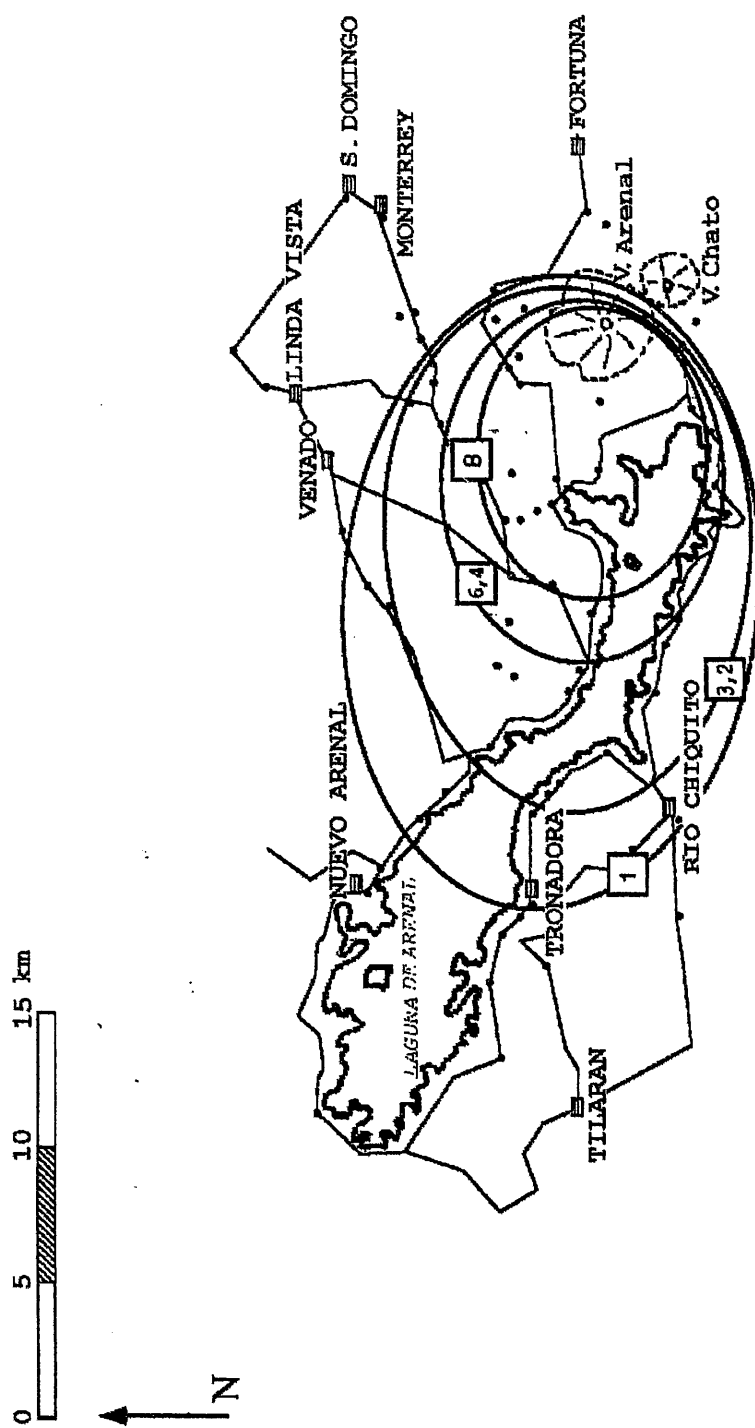


FIG. 3: CURVAS DE ISOPACAS DEL NIVEL ET-2C (en cm).



**FIG. 4: CURVAS ISOPLETAS DE LA POMEZ
DEL NIVEL ET-2C (en cm).**



**FIG. 5: CURVAS ISOPETAS DE LOS LITICOS
DEL NIVEL ET-2C (en)**

separa. Las mismas escorias densas con evidencia de mezcla de magma, presentes en el nivel ET-4, han sido observadas en el nivel ET-3.

En algunos cortes, ET-3 muestra flujos piroclásticos también de composición básica, el mejor conocido de ellos en el tajo de la Quebrada Guillermina, que ha sido datado por Borgia et al. en 1080 ± 50 dC. Dentro del depósito de ET-3, en cortes proximales al volcán, hay bloques de gran tamaño, asociados con una actividad balística contemporánea con la erupción.

En la Fig. 6, se dibujan los espesores del depósito ET-3 (20; 50; 80 y 200 cm), reconstruidos utilizando 47 cortes estratigráficos. Para espesores inferiores de 20 cm, no ha sido posible reconstruir las curvas isopacas, porque en la facies distal de ET-3, éste está formado principalmente por capas de ceniza básica de espesores muy irregulares y fácilmente confundibles con suelos oscuros.

La zona de dispersión de ET-3, así como la de ET-2, se extiende hacia el occidente del volcán.

Los mapas de isopletas de los líticos y de las escorias (Fig. 7) presentan algunos problemas interpretativos. En efecto, los diámetros máximos de los líticos-escorias no superan los 10 cm, confirmando que ET-3 se ha formado por un ciclo de numerosos pequeños eventos explosivos separados y no en consecuencia de un único episodio eruptivo. Por lo tanto, las medidas de escorias y líticos utilizadas, son indicativas, y las curvas obtenidas resultan subestimadas. Considerando estos problemas de aproximación, se decidió unir los líticos y las escorias en un único mapa de isopletas (Fig. 7). Las curvas así obtenidas, evidencian tres elipses con valores de 2, 5 y 8 cm, con un eje máximo de dispersión en dirección este-oeste.

FLUJOS Y OLEADAS PIROCLASTICAS

La mayoría de los niveles guía del Arenal tienen asociados flujos piroclásticos.

ET-1 está caracterizado por la presencia de un depósito de "blast" lateral, generado por la violenta erupción direccional del 29-31 de julio de 1968, que causó la casi totalidad de las víctimas en esa erupción. Este depósito de "blast" de espesor decimétrico en el corte 42, llegó a una distancia de 5 km de los cráteres en dirección oeste. Sucesivamente, varias nubes ardientes se desprendieron del volcán, acumulando un depósito de cenizas y

TABLA 3: PARAMETROS DEL NIVEL DE CAIDA ET-3				
Nº CORTE	COORDENADAS N - E	ESPESOR (cm)	ME/ML cm/cm	NOTAS
1	274,9 - 452,2	>70	4/4	
2	275,2 - 452,0	90	5/4	
3	274,3 - 450,0	>80	5/4	
4	273,3 - 449,7	>100	5/4	
5	272,2 - 447,1	>80	2/1,5	
6	273,9 - 452,4	>90	5/4	
7	275,8 - 459,7	20	5/5	
14	278,2 - 447,5	40	2,5/<1	
15	275,4 - 446,6	50	3/1	
16	272,4 - 446,3	55	3/<1	
17	274,1 - 452,3	110	5/3	
25	273,8 - 442,8	10?	2,5/1	
26	269,2 - 448,6	80	4/4	
27	270,3 - 440,1	120	1,5/<1	
28	268,7 - 438,1	60	<1/<1	
29	273,4 - 435,6	22	<1/<1	
30	272,0 - 453,4	260	7/6	
31	274,1 - 459,8	>80	9/5	
32	274,6 - 458,0	39	9/5	
33	276,0 - 460,0	40	4/2,5	
34	271,8 - 462,8	30	6/1,5	
35	268,1 - 459,5	25	>5/-	
36	276,8 - 454,7	70	6/3	
37	277,9 - 456,5	25	4/2,5	
38	278,5 - 459,2	20	2/<1	
39	279,7 - 462,9	tr	<1/<<1	
40	272,5 - 463,1	20	4/1,5	
41	274,8 - 457,2	120	7/8	
42	271,3 - 456,8	>140	10/17	
43	267,7 - 453,8	70	4/3	
44	268,6 - 458,6	90	6/3	
45	271,8 - 449,5	12	-	
46	275,0 - 457,5	30	-	
47	268,7 - 458,2	16	3,5/-	
48	268,7 - 456,2	210	-	
49	268,4 - 455,6	210	-	
50	267,7 - 453,3	135		
51	273,1 - 453,2	102		
52	274,4 - 454,0	100		
53	276,4 - 454,5	26		
54	275,9 - 453,2	50		
55	278,2 - 454,9	tr		

CONTINUACION TABLA 3				
N° CORTE	COORDENADAS N - E	ESPESOR (cm)	ME/ML cm/cm	NOTAS
56	277,7 - 455,7	15		
57	278,7 - 459,1	16		
59	273,3 - 462,3	19		
60	275,8 - 460,8	30		
61	267,5 - 454,0	85		
tr:trazas				

bloques limitado a la falda occidental del volcán, así como oleadas piroclásticas asociadas.

El flujo-oleada piroclástico de la Quebrada Tabacón, descrito por Melson & Sáenz (1973), de edad 1525 ± 20 dC, puede estar más bien asociado con la erupción UN-10, y no con ET-2, como sugieren estos autores. Esta suposición está basada en la correlación de edades de los eventos explosivos.

La presencia de ceniza pisolítica, intercalada en las capas de pómez de ET-2, podría estar asociada con fases de la erupción de carácter freatomagmático, con la formación de flujos y oleadas piroclásticas proximales (depósito de ceniza de caída co-ignimbrítica). En cortes erosivos de quebradas recientes a 2,5 km al oeste del actual cráter activo, se reconocen depósitos de flujo y oleadas piroclásticas, sobreyaciendo a los niveles de caída de pómez de ET-2 y subyaciendo al depósito de "blast" de ET-1. Estas características son comunes a todas las erupciones investigadas en el Arenal (ver. próximo Boletín del OVA).

El depósito de flujo piroclástico de bloques y cenizas ("nube ardiente") de la Quebrada Guillermina (corte 41), de espesor métrico (varias decenas), estuvo asociado con la erupción de ET-3, tal como ya fue señalado por Borgia et al. (1988).

ALTURA DE LA COLUMNA ERUPTIVA DEL EVENTO ET-2C

El problema del comportamiento dinámico vertical de la columna eruptiva y la determinación de su altura a partir del estudio granulométrico de los depósitos, fue enfrentado por Sparks (1986) y por Carey y Sparks (1986). Estos dos últimos autores, apoyándose en un modelo de columna en "sectores circulares" de velocidad, han desarrollado una serie de curvas que, a partir del tipo de distribución del diámetro máximo de las partículas, permite obtener

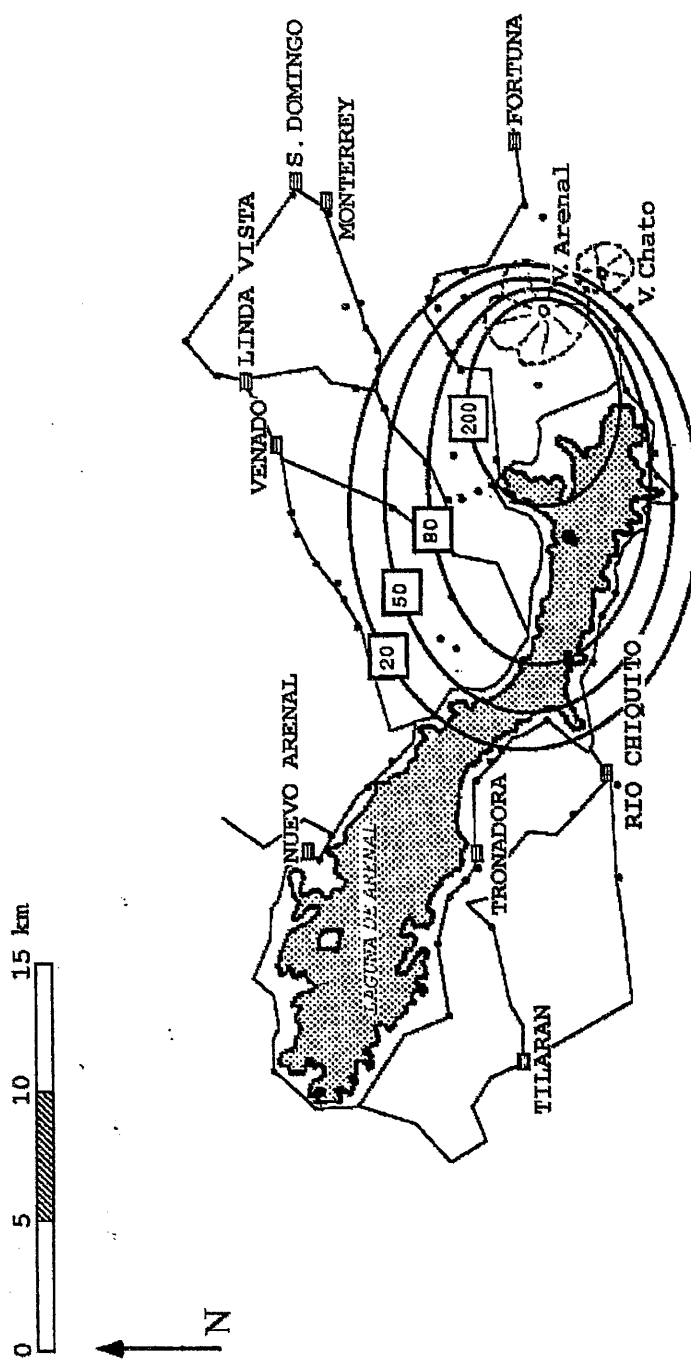


FIG.6: CURVAS ISOPACAS DEL NIVEL ET-3 (en cm).

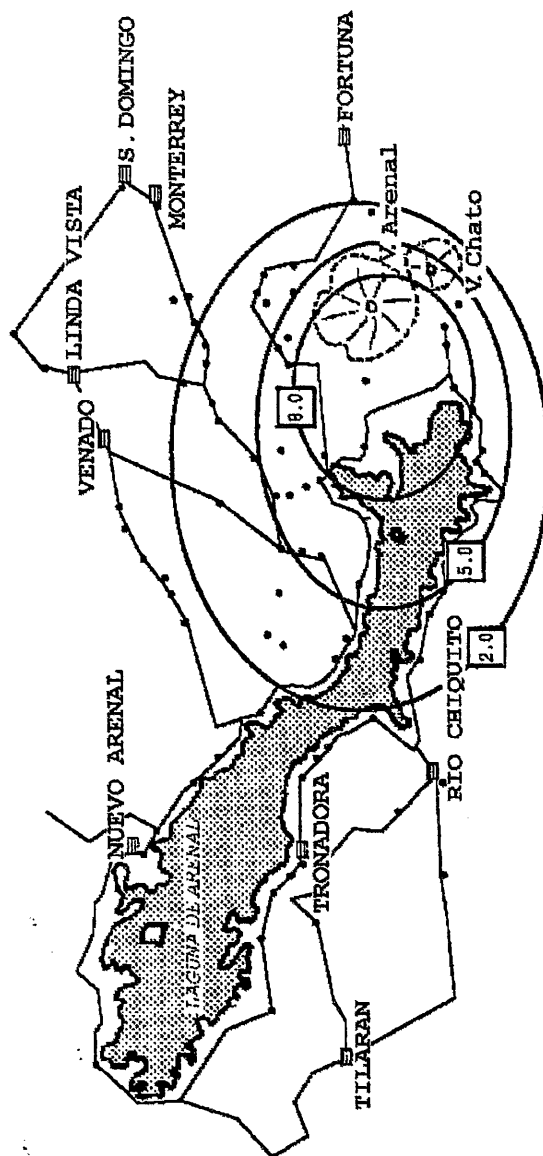


FIG. 7: CURVAS ISOPIETAS DE LITICOS DEL NIVEL ET-3 (en cm).

datos sobre la altura máxima de la columna eruptiva y la intensidad del viento en el momento de la erupción.

El dato granulométrico de partida que se utiliza en los diagramas para obtener la altura de la columna y la intensidad del viento, es el concerniente a la dispersión máxima de los líticos de ciertas dimensiones, para los cuales puede asumirse una densidad media de $2,5 \text{ g/cm}^3$. La dispersión gráficamente representada por las isopletas, está caracterizada por el semidiámetro menor de la elipse de dispersión y por la distancia máxima de las isopletas al centro eruptivo.

En la Fig. 8 se presentan los diagramas de Carey & Sparks (1986) para las curvas isopletas de los líticos de 3,2 y 1,6 cm respectivamente, de varios puntos pertenecientes a la erupción ET-2C del Arenal, para la cual el número de datos disponibles permite una adecuada reconstrucción de la trayectoria de las curvas isopletas. Tal como se observa, la altura de la columna eruptiva correspondiente, queda muy cerca del valor de 22-23 km, tipificando un columna subpliniana. Cabe mencionar que esta es una estimación mínima, ya que el muestreo de los líticos ha sido realizado en forma rápida, analizando una cantidad reducida de material, y seguramente las dimensiones máximas están subestimadas en un orden del 20-30%. Por otra parte, en el mismo diagrama, el grado de alargamiento de las elipses, permite establecer que el evento ET-2C ocurrió bajo condiciones de un viento de alta intensidad de más de 30 m/s (=108 km/h), procedente del Caribe (este).

CONCLUSIONES

La tefroestratigrafía definida previamente para el Arenal (cf. Melson y Sáenz, 1973), consideraba sólo un evento sobreyacente al nivel ET-2, que correspondería con el llamado ET-1 de 1968 dC. Sin embargo, con base en este trabajo, se concluye que la erupción ET-1 produjo depósitos de caída, reconocibles sólo en aislados sectores, como una traza de lapilli y escorias básicas, discontinua, mezclada con el suelo actual. De esta manera, el depósito de caída originalmente asignado a ET-1, correspondería con el llamado UN-10 (Mueller, 1984), cuya posible edad sería de 1525 ± 20 dC. Ambos eventos explosivos pueden considerarse menores en la historia del Arenal, pero debido a que son reconocibles en el techo de la secuencia, y son los dos eventos explosivos más recientes del Arenal, han sido incluidos en la descripción tefroestratigráfica mayor.

Subyace a UN-10, bajo un suelo no muy desarrollado, los niveles de ET-2 (de abajo hacia arriba: A2, A1, A, B y C). ET-2A2 corresponde con un delgado depósito de caída arenoso de pómez y líticos milimétricos; ET-2A1 está constituido por ceniza gris

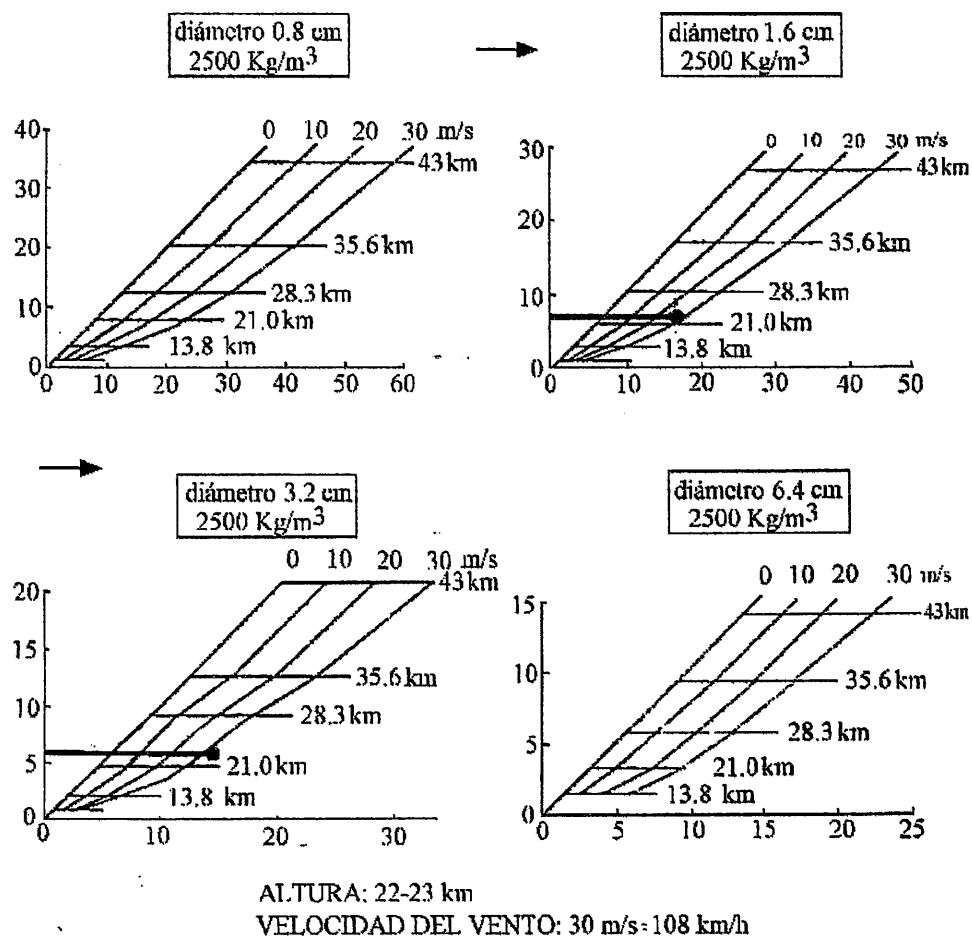


FIG. 8: ALTURA CALCULADA DE LA ERUPCION ET-2C, USANDO EL DIAGRAMA DE CAREY & SPARKS (1986), CON ISOPLETAS DE LOS LÍNICOS DE 1,6 Y 3,2 cm.

vesiculada; ET-2A es un depósito de caída de pómez de gradación inversa-normal; ET-2B está constituido por una capa de arena y ceniza vesiculada de color gris, y ET-2C es un depósito de caída de pómez con gradación inversa-normal, pómez densas con anfíbol, y con evidencia de mezcla de magmas. ET-2C es el nivel más importante de ET-2. La forma de las isopacas de ET-2 muestran un área de dispersión máxima hacia el occidente del volcán. Con base en la distribución de los líticos de esta fase, se calcula una altura de la columna eruptiva de cerca de 23 km, tipificando una erupción de características subplinianas.

Bajo ET-2 hay un suelo oscuro con trazas de las cenizas básicas de ET-3. Los numerosos niveles centimétricos de escorias y lapilli gruesos separados por lapilli finos y ceniza de ET-3 indican una actividad violenta de tipo estromboliano fuerte, más o menos continua en el tiempo de erupción. La parte superior de ET-3, formada por capas delgadas de cenizas con pisolitos y subordinadas capas escoriáceas, están asociadas con una fase freatomagmática. Todos los datos disponibles confirman que la erupción correspondiente con ET-3 ocurrió en continuación con el evento de ET-4, o inmediatamente después de un corto lapso de descanso volcánico. La forma elíptica de las curvas isopacas de ET-3 es menos acentuada que las de ET-2, lo que sugiere menor afectación de la depositación de la columna eruptiva por vientos intensos este-oeste, así como que las escorias de mayor densidad son menos influenciadas por el viento.

La mayoría de los niveles guía del Arenal tienen asociados flujos piroclásticos. ET-1 está caracterizado por un depósito de nube ardiente, originado por un blast lateral durante la fase pliniana del 29-31 de julio de 1968. Asociadas a las nubes ardientes de este período, hay varias eventos de oleadas piroclásticas. El flujo-oleada piroclástica de la Quebrada Tabacón podría estar asociado con la erupción UN-10. La presencia de ceniza pisolítica, intercalada en las capas de pómez de ET-2, podría estar asociada con fases de la erupción de carácter freatomagmático, y formación de flujos y oleadas piroclásticas. El depósito de flujo piroclástico de bloques y cenizas ("nube ardiente") de la Quebrada Guillermina, estuvo asociado con la erupción de ET-3.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido llevado a cabo a través de un proyecto conjunto entre la Oficina de Sismología y Vulcanología del ICE y Geotermica italiana srl, Evaluación del Riesgo y Monitoreo del Volcán Arenal. Durante la fase de campo, se recibió un amplio apoyo de los señores Francisco Arias y Raimundo Fernández.

REFERENCIAS

- Borgia, A., Poore, C., Carr, M.J., Melson, W.G. & Alvarado, G.E., 1988: Structural, stratigraphic and petrological aspects of the Arenal-Chato volcanic system: Evolution of a young stratovolcanic complex. *Bull. Volc.*, 50:86-105.
- Carey, S. & Sparks, R.S.J., 1986: Quantitative models of the fallout and dispersal of tephra from volcanic eruptive columns. *Bull. Volc.*, 48:109-125.
- Cas, R.A.F. & Wright, J.V., 1987: Volcanic sucesions Modern and Ancient. Allen and Unwin, Londres, 528 pp..
- Chiesa, S., 1987a: Estudio de las capas piroclásticas (tefras) del Volcán Arenal (Costa Rica), con énfasis en la Unidad 20. Informe interno, Dpto. de Geología, ICE, 73 pp..
- Chiesa, S., 1987b: La mayor erupción pliniana del Volcán Arenal, Costa Rica. *Rev. Geol. Amér. Central*, 6:25-41.
- Melson, W.G., 1982: Alternation between acidic and basic magma in major explosive eruptions of Arenal Volcano, Costa Rica. *Boletín de Vulcanología, Univ. Nacional, Costa Rica*, 14:65-74.
- Melson, W.G., 1984: Prehistoric eruptions of Arenal volcano, Costa Rica. *Vínculos*, Vol. 10(1-2):34-59.
- Melson, W.G. & Sáenz, R., 1973: Volume, Energy and Ciclicity of Eruptions of Arenal Volcano, Costa Rica. *Bull. Volc.*, 37(3):416-437.
- Mueller, M., 1984: The Silencio Stratigraphic Sequence (Appendix A del trabajo de Melson, mismo volumen). *Vínculos*, Vol. 10(1-2):51-55.
- Sáenz, R., 1977: Erupción del Volcán Arenal en el año 1968. *Rev. Geogr. Amér. Central*, 5-6:149-188.
- Sparks, R.S.J., 1986: The dimensions and dynamics of volcanic columns. *Bull. Volc.*, 48:3-15.
- Thorarinsson, S., 1967: The eruption of Hekla 1947-48, I. The eruptions of Hekla in historical times. A tephrochronological study. *Visindafelag Islendinga, Reykyavik*, 1-183.

