
ERUPCION DEL VOLCAN ARENAL EN EL AÑO 1968

*Rodrigo Sáenz Ruiz
Escuela de Ciencias Geográficas
Universidad Nacional.*

Resumen:

En un informe personal sobre la actividad del volcán Arenal en 1968, el autor señala que es posible distinguir dos grandes ciclos de actividad: uno que corresponde a la constitución de la base sobre la cual se levanta este volcán y su vecino inmediato, el Cerro Chato, y que alcanza a unos 900m. s.n.m.; y otro de actividad intensa, con emisión de lavas y piroclastos que restituyeron la altura perdida por una activa erosión. La actividad, en todo caso, fue más intensa en el Arenal que en el Chato y, por tanto, aquél es más alto.

Por observación de las fotos aéreas, el autor considera que ambos volcanes presentan restos de un soma; pero, mientras en el Chato toda actividad parece haber terminado, a juzgar por la ausencia de fumarolas, el Arenal

ha seguido con períodos paroxismales, manifestados por la emisión de lavas, Nuées Ardentes, Cenizas y otros piroclastos. La erupción que comenzó en julio de 1968 se produjo después de un período de reposo estimado en 700 a 400 años, causando ingentes daños materiales y la muerte de varias personas. Se han medido bloques lanzados por el volcán de 10 x 6 x 4m. y cráteres de impacto de hasta 25 m de diámetro X 4.0 de profundidad. Bombas y piroclastos finos son de andesita hipersteno-hornbléndica y andesita hipersténica. La erupción fue acompañada de cientos de temblores y microsismos.

Como conclusiones, pueden señalarse: la erupción ha sido del tipo peleano; la lava extruida no ha cambiado respecto a la emitida 700 a

1000 años atrás, la actividad paroxismal ha estado acompañada de numerosos sismos; el total de materiales piroclásticos se calcula en 26.5 millones de metros cúbicos; puede suponerse que el magma era muy viscoso si se toma en cuenta el tamaño de los "Piroclastic Flows" y las "nuées Ardentes" no dieron lugar, en ningún caso, a ignimbritas (tobas soldadas).

Summary:

In a personal report about the Arenal volcanic activity in 1968, the author explains that it is possible to distinguish two important activity cycles: one that corresponds to the formation of the base over which rose the Arenal volcano and the neighboring volcano of Cerro Chato that rise 900 meters; and the other intense activity of lava and pyroclastic ejection that restored the material lost to active erosion. The activity, in any case, was more intense at Arenal than at Chato, and for this reason, Arenal is higher.

By studying aerial photographs, the author considers that both volcanoes show remains of a "soma"; but while at Chato, judging by the absence of fumaroles, activity has terminated, the Arenal volcano has continued with paroxysmal periods, manifested by the eruption of lava, ashes, nuées ardentes, and other pyroclastics. The eruption that started in July 1968 was produced after a dormant period of 400 to 700 years, and caused

extensive material damage and the death of several people. Erupted volcanic blocks have been measured as large as 10 x 6 x 4 meters and caused impact craters up to 25 meters in diameter and four meters in depth. Volcanic bombs and fine pyroclastics are composed of hipersten-hornblendic andesite and hiperstenic andesite. The eruption was accompanied by hundreds of earth tremors and micro-tremors.

The following can be considered as conclusions: the eruption was of the Peléan type; the erupted lava has not changed in respect to the lava erupted 700 to 1000 years before; the paroxysmal activity has been accompanied with numerous earth tremors; the total of the pyroclastic material is calculated in 26.5 million cubic meters; if one takes into account the size of the "pyroclastic flows" then it can be assumed, that the magma was very viscous, also, in any case, did the "nuées ardentes" give rise to ignimbrites (welded-tuffs).

Résumé:

Dans son étude sur l'activité du Volcan Arenal en 1968, l'auteur propose pour la constitution des cônes volcanique de l'Arenal et du Cerro Chato, deux grandes périodes d'activité intense.

A la première correspond l'édification d'un cône tronqué à l'altitude de 900 m. Après une période

d'active érosion durant une autre phase éruptive plus intense se formeront les cônes actuels sur la base antérieure.

Selon l'auteur, l'activité fut plus intense pour l'Arenal ce qui fait qu'il est maintenant plus élevé.

A l'aide de photos aériennes, l'auteur considère que les deux volcans présentent les restes d'une "soma", mais, tandis que le Chato paraît être totalement éteint (absence de fumaroles) l'Arenal est resté actif. Ses paroxysmes sont accompagnés d'émissions de laves, de nuées ardentes, pyroclastes, etc.

L'éruption qui a commencé en juillet 1968, mit fin à une période de repos estimée de 400 à 700 ans. Elle a causé des dommages importants et coûté la vie de plusieurs personnes.

On a mesuré des roches lancés par le volcan, de 10 x 6 x 4 m; ainsi que des cratères dus aux impacts, de 25m. de diamètre pour 4 de profondeur. Les bombes et pyroclastes sont andésitique. Pendant l'éruption se sont produits des centaines de séismes et de microséismes.

Les conclusions de l'étude sont les suivantes: l'éruption a été de type peléen; la lave expulsée reste la même que celle émise de 700 à 1000 ans auparavant; l'activité paroxysmale a été accompagnée de nombreux séismes; le total de matériel pyroclastique est évalué de 26.5 millions de

m³. On peut supposer que ce magma était très visqueuse si on considère la taille des pyroclastes; enfin les nuées ardentes n'ont en aucun cas donné des ignimbrites.

Introducción:

Es posible que el volcán Arenal haya tenido muchos períodos o fases de actividad como la que experimentó en el año 1968. Pero pareciera, al observar su morfología, que ha tenido dos grandes ciclos de intensa actividad:

a) El primero de ellos probablemente concomitante con el período en que se constituyó la parte baja del volcán denominado Cerro Chato, formó la base actual del volcán Arenal (más o menos hasta los 900 m.s.n.m.). Después de esta primera fase hubo períodos de reposo o de actividad menos intensa, durante los cuales actuó enérgicamente la erosión. Es lógico pensar que durante las fases activas del primer ciclo, las explosiones del tipo peleano o vesubiano contribuyeron, junto con la erosión, a disminuir la altura de ambos volcanes.

Es así como después de un período en que los volcanes Arenal y Cerro Chato perdieron altura, se inició un nuevo ciclo de actividad.

b) Durante el segundo ciclo de actividad intensa los piroclastos y lavas producidos restituyeron cierta altura a estos conos volcánicos. Esta actividad fue seguramente más intensa o es más

reciente, además de mayor duración en el Arenal, lo que dio como resultado un cono más alto para éste.

Como se observa en las fotografías aéreas, ambos volcanes presentan restos de lo que el autor considera un soma (residuo de una antigua pared cratérica). El Arenal lo presenta en su lado oeste (lugar donde se abrió el cráter, que en adelante se denominará cráter Melson) y el Cerro Chato por el sur y por el este. Todo parece indicar que el Arenal tuvo frecuentes períodos cortos de actividad con emisiones de piroclastos, lavas y producción de Nuées Ardentes, mientras que en el Cerro Chato la actividad fue menor.

En una de sus últimas fases (700 o 400 años D.C.) el Arenal culminó su actividad con una colada de lava que puede observarse en el camino de La Fortuna a Pueblo Nuevo. Mientras que en el Cerro Chato, al detenerse toda su actividad, permitió la formación de una laguna cratérica. Otra prueba de que la actividad de este último terminó mucho antes que la del volcán Arenal es la ausencia de fumarolas en el primero, y la existencia de ellas en el segundo, según lo atestiguan muchas personas que estuvieron en su cima antes de la presente erupción.

El último período de actividad intensa del Arenal, la actual erupción, consistió en la apertura de nuevos cráteres, producción de Nuées Arden-

tes, emisión de cenizas y la extrusión de una colada de lava.

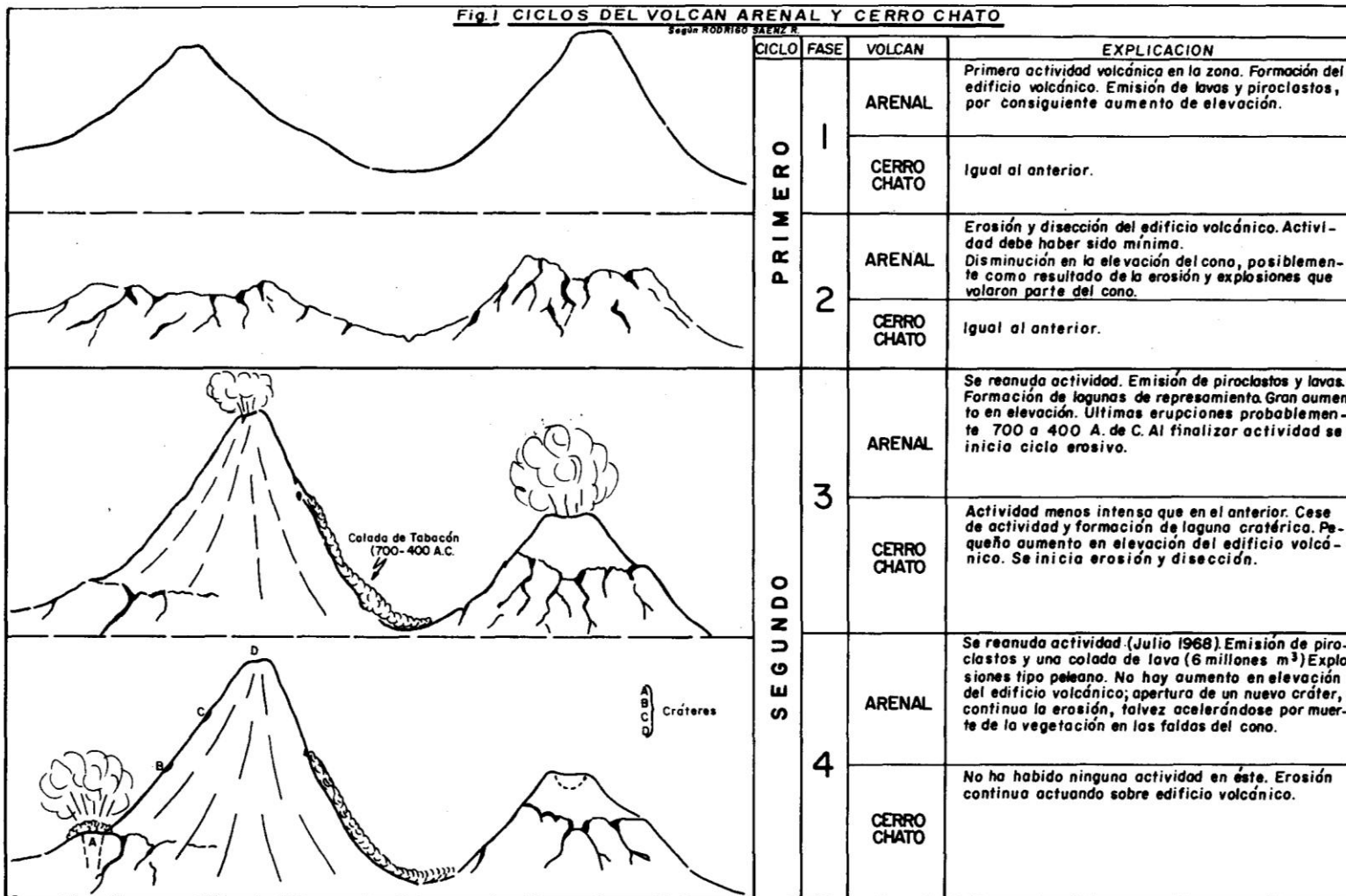
No hubo en esta fase eruptiva aumento en la altura del edificio volcánico y, por el contrario, pareciera que se ha iniciado un nuevo período de erosión que restará altura al cono.

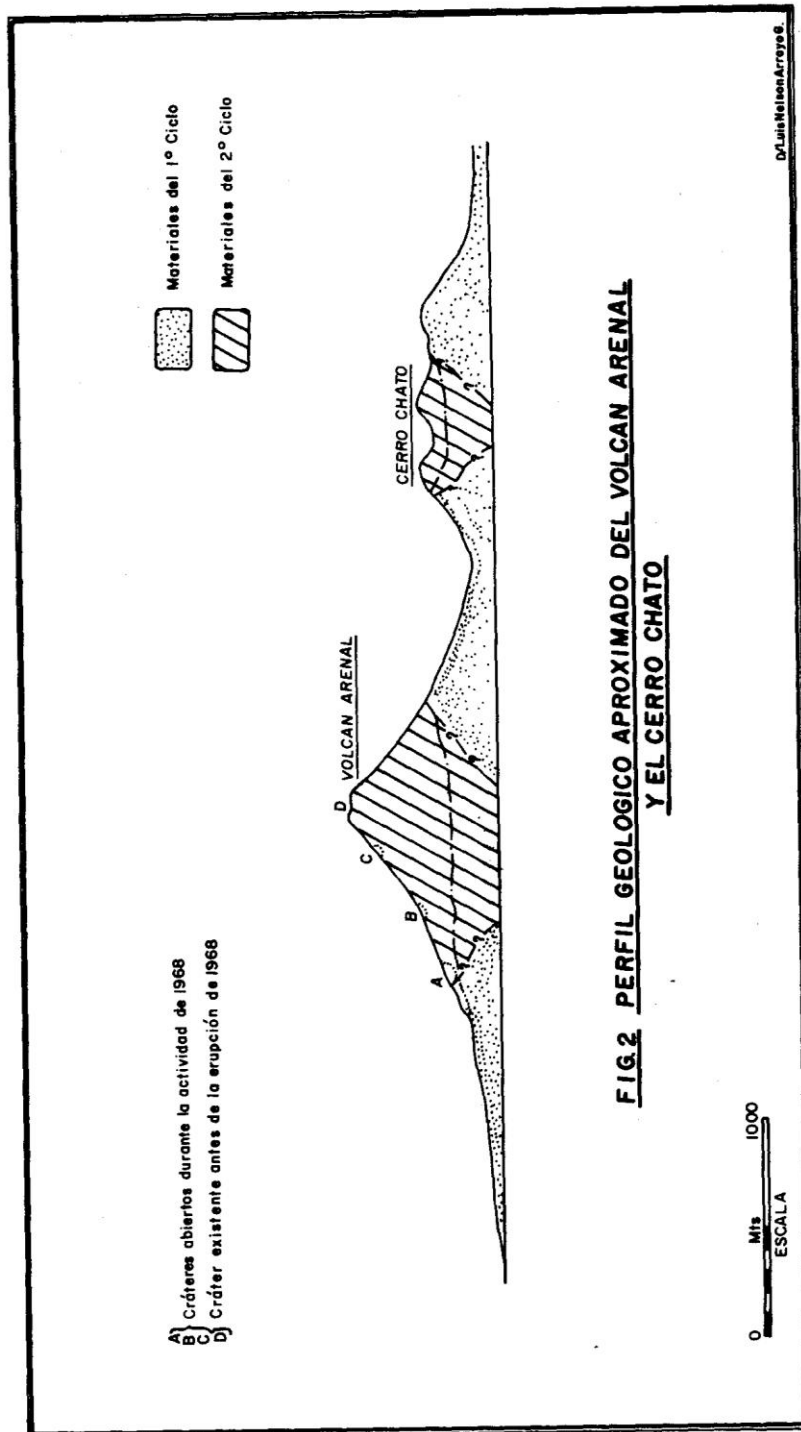
La apertura del cráter Melson (uno de los nuevos cráteres) tuvo lugar en lo que podría considerarse el límite entre los restos del soma y la parte más nueva del edificio volcánico. Este soma es parte del borde de un antiguo cráter más ancho y más bajo, que en el segundo ciclo de actividad se relleno en parte con los materiales piroclásticos formando la porción más alta del cono actual (Ver figura No. 2) al final del texto).

La Erupción:

El 29 de julio de 1968, después de un largo período de reposo (700 a 400 años) y de una serie de temblores ocurridos el día 28 entre las 23:00 y las 06:00 hora local (05:00 y 12:00 GMT), el volcán Arenal de Costa Rica entró en un período de actividad.

La actividad inicial consistió en una erupción explosiva con la producción de una o probablemente varias Nuées Ardentes o Piroclastic Flows (Aramaki S. y Yamasaki M.). El área afectada por la primera Nuée Ardente abarca aproximadamente 10.5 km². El día 31 del mismo mes, después de un día de calma relativa, pues la acti-





**FIG.2 PERFIL GEOLOGICO APROXIMADO DEL VOLCAN ARENAL
 Y EL CERRO CHATO**

vidad principal se redujo a emisiones explosivas y pulsantes de materiales piroclásticos finos (cenizas que los vientos predominantes del este distribuyeron en una gran extensión, 1042 km², de la provincia de Guana- caste), otra Nuée Ardente bajó las faldas del Arenal, ocasionando la muerte de 8 personas que, en misión de rescate, viajaban en vehículos de tipo jeep cubriendo un área aproximada de 4.5 km². La dirección tomada por estas Nuées fue diferente: la primera se desplazó en una dirección general hacia el oeste y la segunda se movió hacia el noroeste.

La actividad que tanto afectó la pequeña población de Pueblo Nuevo y sus alrededores, fue acompañada por la apertura de un cráter de explosión ubicado hacia el noroeste del existente, como a 900 m. sobre el nivel del mar.

No se ha constatado si durante el primer día de actividad hubo una o más Nuées Ardentes. La primera erupción ocurrida a las 07:30 pudo haber sido una Nuée, lo mismo que la reportada a las 11:30 y hasta pudo haber ocurrido una tercera a las 14:00.

Durante el segundo día la actividad se manifestó mediante explosiones con emisión de gases, cenizas y bombas.

El tercer día a las 13:10 aproximadamente, tuvo lugar otra Nuée Ardente causante de la muerte de varias personas.

La actividad del cráter Melson, abierto con la primera explosión, duró pocos días. Su duración, sin embargo, no ha podido comprobarse debido a las condiciones climáticas existentes.

Ya el día 3 de agosto las emisiones piroclásticas finas salían de un nuevo cráter (3 en foto 17); pero en ningún momento se ha observado actividad en el cráter que existe en la cima. Se ha asumido que la primera fue una gran explosión (10²² ergios) seguida de una o probablemente varias Nuées Ardentes. Durante ella hubo gran cantidad de bombas volcánicas y tefra, así como emisión de gases a gran temperatura. La segunda Nuée comprobada fue de menor magnitud y con menos piroclastos gruesos.

La mayoría de los piroclastos gruesos en las Nuées venían en estado pastoso y algunos eran de dimensiones colosales (10x6x4m.); un mes después de lanzados aún estaban calientes, pudiendo comprobarse en algunos de ellos hasta 407,15 K (134°C) a 10.2 cm. de profundidad.

Entre los cráteres de impacto producidos por las bombas se midieron algunos cuyas dimensiones oscilaban entre 61 x 120 x 120 cm. y 7.6 x 6.1 x 1.8m. de profundidad.

En la zona comprendida entre Pueblo Nuevo y Tabacón y al norte del camino que une estos pueblos está la región más afectada por la lluvia de bombas volcánicas. Eran tantos los cráteres que la vegetación desapareció

por completo y se superponían unos a otros hasta dificultar el paso por este paraje. Aquí se encontró uno de tamaño descomunal pues sus dimensiones eran 25 m de diámetro por 3.5 a 4.0 m de profundidad (Fotos No. 5; No.7 zona de cráteres; No.8 árboles derribados).

Este tipo de actividad del Arenal duró pocos días y el 19 de setiembre se inició una colada de lava en bloques (bloky lava) originada en el cráter Melson.

Petrografía:

Las muestras de bombas y piroclastos finos analizados por el Smithsonian Institution y la Dirección de Geología Minas y Petróleo de Costa Rica señalan a estos materiales como andesitas hipersteno-hornbléndicas y andesitas hipersténicas (Melson, W. y Chávez, R. comunicaciones personales) con gran abundancia de grandes fenocristales de hipersteno en los piroclastos gruesos (algunos de estos cristales miden 3 x 1.5cm.).

Las muestras de lava recogidas en la colada más joven de este volcán y anterior a la presente actividad son, andesitas hipersténicas. Las lavas de la actual erupción iniciada el 19 de setiembre de 1968, podemos asignarlas al mismo grupo a pesar de que macroscópicamente estas últimas tienen diferentes aspectos. Esto nos indica que el magma que ha ascendido en las últimas actividades del Arenal no ha cambiado (Foto No.9).

Sismicidad:

Según informe del Dr. T. Matumoto del Lamont Geological Observatory y el Dr. T. Minakami y asociados de la Universidad de Tokyo, la actividad sísmica del Arenal puede resumirse como sigue:

Durante la noche anterior y a tempranas horas del día en que tuvo lugar la erupción explosiva del volcán Arenal (23:00 - 06:00 hora local; 05:00 - 12:00 GMT) hubo una serie de sismos que alarmaron a los vecinos de La Fortuna y de los alrededores del Arenal (algunas personas aseguran haber contado 109 sismos). Según el Dr. Matumoto (1968) esta serie de sismos liberó una cantidad de energía equivalente a 10^{18} ergios, al producirse temblores que posiblemente no alcanzaron una magnitud mayor de 4.5.

De haber existido una estación sismográfica en las cercanías habría datos más precisos sobre la localización del foco. Sin embargo, la misión japonesa que trabajó del 27 de agosto al 16 de setiembre, sitúa el foco volcánico a 5.0 km. de profundidad bajo el Cerro Chato, edificio volcánico que se encuentra al SE del volcán Arenal (Minakami et. al, 1968).

La actividad sísmica posterior a la explosión, durante el período comprendido entre el 14 y 16 de agosto, dio como resultado un total de 220 microsismos con un promedio de 1.4

eventos por hora (Matumoto, 1968). Ninguno de ellos fue sentido por los vecinos del Arenal pues su magnitud osciló entre 2.0 a 3.0 no pasando ninguno de 3.5 (Matumoto. T., 1968).

Durante la permanencia de la misión japonesa, en un período de 18 días, se registraron (estación A) 83 sismos que dan un promedio de 0.1 eventos por hora. Esto muestra una gran disminución en la actividad sísmica (Minakami et al., 1968).

A pesar de que la frecuencia diaria disminuyó en estos días, el 19 de setiembre se inició una emisión de lava que continúa hasta la presentación de este informe. Esta emisión de lava tuvo como preámbulo dos erupciones explosivas de poca intensidad los días 16 y 18 de setiembre (fotos 6-8). A pesar de no tener información concreta de la actividad sísmica ocurrida entre el período comprendido entre el 14 y 8 de setiembre, la sismicidad debe haber aumentado por lo menos en lo que se denomina "Harmonic Tremor", que se asocia al ascenso de lava en el conducto volcánico, (Koyanagi, 1962).

En un registro obtenido por la misión japonesa correspondiente al día 29 de agosto se hizo evidente un sismo de tipo profundo que el autor asocia con un ascenso de magma, como se lo comunicó al Dr. W. G. Melson, con quien trabajó del 4 de agosto al 22 de setiembre.

Distribución de los materiales piroclásticos

Por falta de tiempo y de personal este aspecto de la erupción no fue posible investigarlo. Unos pocos datos referentes al espesor de las cenizas fueron recogidos por miembros de la Dirección de Geología, Minas y Petróleo, (Ministerio de Economía, Industria y Comercio), pero una investigación sobre la distribución de partículas de acuerdo a su tamaño, trabajo que hubiera sido de gran valor, no se realizó.

Se ha calculado que el área cubierta por los productos de explosión alcanzó apenas a 15.1 km², la que a pesar de haber sufrido más intensamente, es una porción mínima de la afectada por los productos de la erupción (1042.5 km²).

Observaciones superficiales sobre la distribución de los piroclásticos muestran que:

1. El área afectada se encuentra al oeste del volcán;
2. El área destruida por las explosiones es la de menos superficie y puede dividirse en tres subáreas;
3. Los productos piroclásticos finos se distribuyeron hacia el oeste del Arenal, siguiendo la dirección de los vientos predominantes (Este a Oeste).
4. El área cubierta por los piroclastos finos (cenizas) puede a su vez dividirse en sub-áreas de acuerdo

al espesor de los depósitos y/o al tamaño de las partículas.

Tentativamente se han trazado sobre un mapa de Costa Rica (escala 1:50.000) estas sub-áreas de acuerdo al espesor de los depósitos piroclásticos depositados. (Figura 3)

La relación que existe entre el diámetro de las partículas y el espesor de los depósitos no se investigó por las razones antes expuestas. Sin embargo, es evidente que a medida que se alejan del punto de origen, los piroclastos van siendo más finos y los depósitos de menor espesor. Debe hacerse notar el hecho de que también existe una variación en espesor en una dirección

que es perpendicular al eje mayor de deposición, es decir, una variación lateral. Si consideramos constante la velocidad de los vientos en la región y citando a H.H. Waldron (1967) sería de esperar que el diámetro de las partículas encontradas en lugares como Tronadora y Tilarán fuera igual al de las encontradas a distancias similares durante las erupciones del volcán Irazú. Esto no parece ser así, los materiales acumulados a estas distancias en el caso del Arenal son más gruesos. Tal vez debido a que la columna de magma llegó más cerca de la superficie y la gasificación de su parte superior produjo partículas gruesas que fueron acarreadas a mayor distancia.

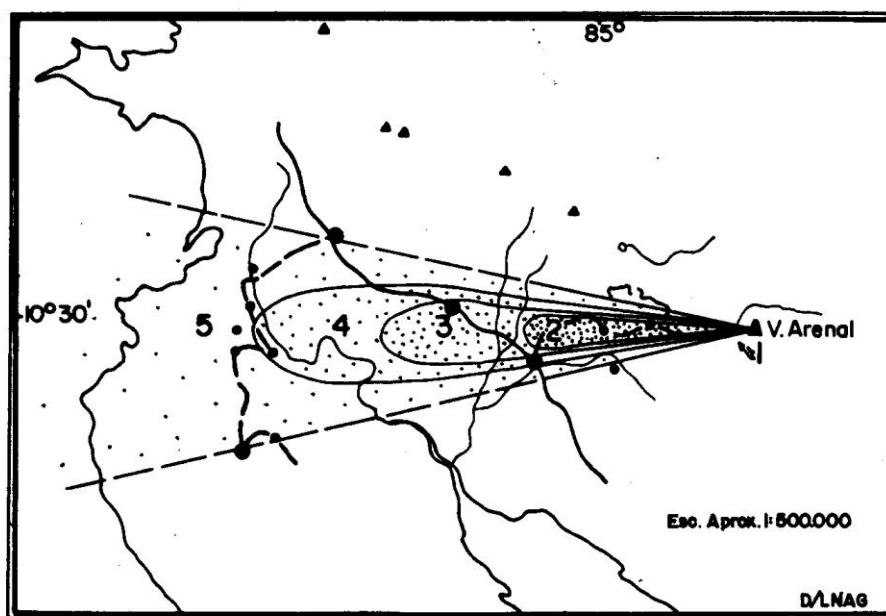


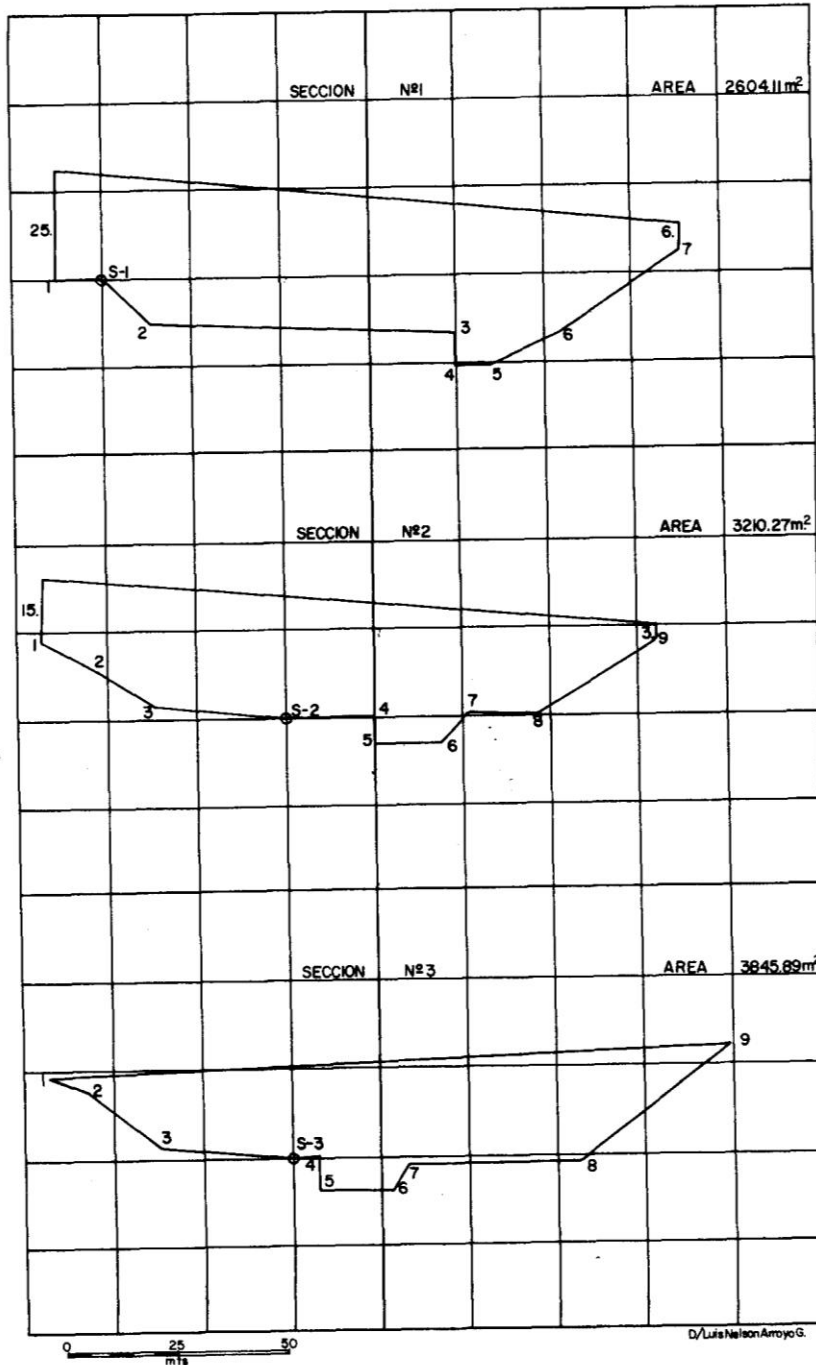
Fig.3 Área afectada por la erupción del Volcán Arenal

TABLA I

Sub-área	Tipo de materiales	Diámetro de las partículas	Espesor de los depósitos	Superficie
1	Ash-flows; mud flows Cenizas	Unas pocas micras a varios metros	+ de 4.0m.	15.1
2	Cenizas	1.0 mm. a 175 mi- cras	0.05 a 0.005 metros	44.9
3	Cenizas	170 a 100 micras	0.005 a 0.001 metros	127.5
4	Cenizas	100 a 74 micras	menos de 0.001	225.0
5	Cenizas muy finas	menos de 74 micras	Trazas	630.00

Fig. 4. SECCIONES TRANSVERSALES USADAS PARA EL CALCULO DE VOLUMENES DE LAVA EN LA ERUPCION DE 1968

Fecha de INICIO: Domingo 16 nov. TERMINO: Jueves 29 nov. de 1968. Libro T-15-68 pas. Nº4-5
 Distancia entre secciones 40 mts. Volumen Total: 257.410.80 m³



En la sub-área 1, el espesor de los depósitos es menos que el calculado por Melson y Sáenz (1968). Esta afirmación se basa en el hecho que después de varios meses de estudio en el área se han medido acúmulos de más de 4.0 m., pero ninguno alcanzó cifras próximas a las dadas en el trabajo mencionado. Creo que, aún sumando a los depósitos medidos la cantidad de materiales que han sido acarreados por los "mud flows", que se han sucedido durante todos estos meses, no alcanzarían un espesor que sobrepase a los 20 m. como se calculó en el trabajo preliminar.

Las cifras en cuanto a diámetro de partículas y espesor de los depósitos (excepto en sub-área 1) no son reales sino simples aproximaciones, calculadas por el autor sobre la base de observaciones hechas en el campo.

Colada de lava

La actual colada del Arenal que apareció por el lado noroeste del cráter Melson, el día 19 de setiembre ha continuado activa hasta la fecha de redacción de este trabajo (fotos 12 y 13).

Esta colada es del tipo de bloques y su composición es la de una andesita hipersténica similar a la de algunas bombas lanzadas por el volcán durante la actividad explosiva inicial.

La temperatura en el frente de esta colada puede calcularse en unos 1073.15 K (800°C) o más, pues un

termómetro graduado para 400°C. se fundió al introducirlo en una grieta y ponerlo en contacto con la lava incandescente pero ya sólida (Fotos 15, 16 y 17).

Esta colada se ha movido aprovechando una depresión existente al NO. del cono, en donde ha recorrido de 2 a 3 km. Además la lava ha formado una pequeña protuberancia en el lado oeste del cráter Melson y ha cubierto parte de las laderas que lo rodean (foto 15). La velocidad de avance ha sido muy variable durante los meses que han transcurrido desde su primera aparición sobre el borde del cráter.

CUADRO No. 1

Set. 24,	1968	.....1.5 a	2.0m/día	.....	0.083 m/hr.
Oct. 4,	1968	.....8.0 a	10.0m/día	.....	0.400 m/hr
Oct. 10,	1968	.....	36.0m/día	.....	1.900 m/hr.
Nov. 1.	1968	.....	17.4m/día	.....	0.725 m/hr.
Nov. 16,	1968	.....	6.0m/día	.....	0.250 m/hr.

67 DIAS VELOCIDAD PROMEDIO 14.28 m/día

0.671m/hr.

El avance aunque puede medirse, no es apreciable a simple vista. Cerca de la colada lo único que se observa es que de la pared casi vertical, que forma el frente de está, se desprenden porciones de lava solidificada de diferentes tamaños, que forman la corteza externa de la misma (fotos 18, 19 y 20). Al ocurrir estos desprendimientos (especialmente durante la noche) puede apreciarse que la pared queda incandescente y que las partes desprendidas están en igual estado en su interior.

El núcleo de la colada es lógico suponerlo en un estado semi-fluido y a alta temperatura (más de 1073.15 K (800°C) que se conserva debido a la capa aislante constituida por la parte externa solidificada.

Cerca de la colada se escuchan constantemente los ruidos producidos por el desplazamiento y la quiebra de esta parte sólida debido al movimiento de la materia semifluida en el interior. Este ruido es peculiar y podría compararse al que produce el roce de ladrillos de construcción de arcilla cocida.

Podría decirse que la parte semifluida de la colada avanza por un tubo de lava endurecida que crece en todas direcciones a medida que la parte interior se mueve, de preferencia en la que sigue la lengua o flujo principal. Es difícil explicar el modo de avance de este tipo de lava, pues su parte externa se presenta en forma rugosa formada por piezas endurecidas que

dan la idea de un simple cúmulo de rocas y en ningún momento se ve el movimiento de la parte semifluida (fotos 21 y 22).

Durante el mes de noviembre se midió una sección en la depresión por la cual avanza la lava. Se comprobó una velocidad de 6.0m/día y un acúmulo de lava de 257.410,9 m³ en 13 días lo cual da un promedio para la sección de 19 800,8 m³/día. Si en la sección medida (80.0 m. de largo) se acumularon 257 410,8 m³ y se considera que la parte principal de la colada tiene 2.0 Km. de longitud, y que el volumen en toda su extensión es similar al de la sección medida, puede afirmarse que éste tiene un volumen de 6 757 033,5 m³ (cálculo hasta el momento de redactar este informe). El volumen irá en aumento pues la colada aún no se ha detenido (Junio 10, 1969).

Efectos de las nuées ardentes

El área afectada por las Nuées producidas durante la primera fase eruptiva del Arenal puede dividirse a su vez, en tres subáreas:

- a) de devastación total
 - b) de devastación parcial
 - c) de marchitamiento
- a) *Sub-área de devastación total:*

En ella es donde los efectos son más severos, la materia orgánica se encuentra carbonizada en su mayor parte; sin embargo no se ha podido

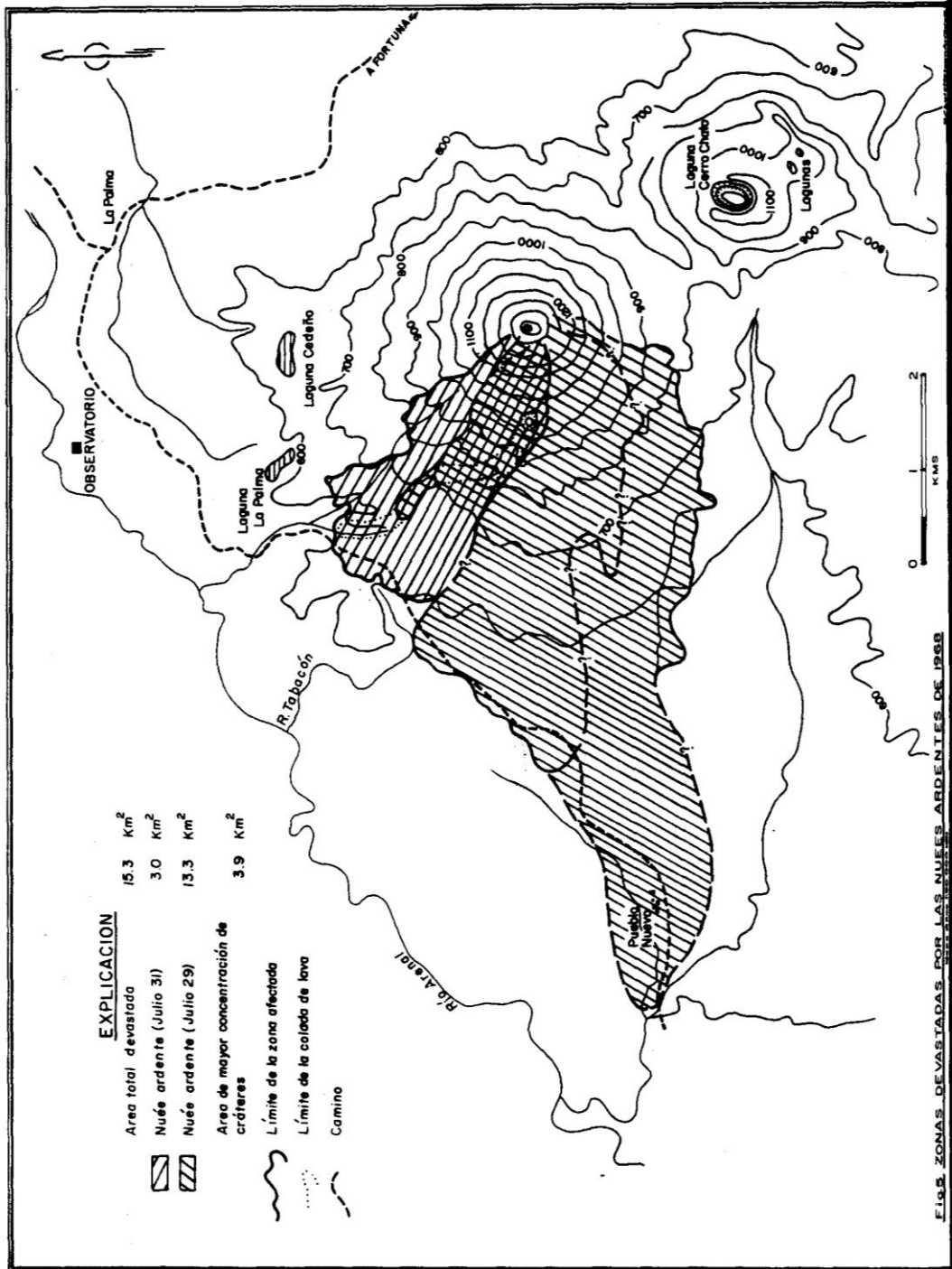


Fig. 5. ZONAS DEVIASTADAS POR LAS NUBES ARDIENTES DE 1958

comprobar si los efectos son el resultado de la temperatura existente en la Nuée o el resultado secundario del contacto de la materia con los depósitos a alta temperatura emplazados por la misma, efecto que se ha observado en otros puntos fuera de esta subárea (el autor cree que la carbonización se debe al contacto con los materiales depositados ya que en ellos se midieron temperaturas hasta de 673,15 K (400°C)).

Puede apreciarse también que el destrozo sobre la vegetación que existía es mayor, algunos árboles fueron reducidos a pedazos y no sería posible reconocerlos como tales. En ciertos puntos las raíces fueron extraídas del suelo y reducidas a fragmentos.

También pueden verse porciones de terreno en donde no ha quedado absolutamente nada, excepto los depósitos de la Nuée Ardente que todavía están calientes (foto 23).

b) *Sub-área de devastación parcial.*

Muestra una devastación menos severa: la vegetación menor desapareció por completo, pero los árboles grandes se conservan en su mayor parte aunque yacen tumbados en las laderas colocados casi todos en igual dirección; la corteza, hojas y ramas pequeñas desaparecieron por completo.

c) *Sub-área de marchitamiento.*

Los efectos más notables fueron ocasionados por el calor. La vegetación aparece completamente tostada. Se notan también los efectos de la velocidad de la Nuée, pues pastos y algunas ramas pequeñas presentan cierta orientación y en algunos casos muestran que dentro de la Nuée hay también turbulencias. (foto 29).

Los efectos sobre otros materiales y objetos son difíciles de reconocer en las sub-áreas mencionadas. En los vehículos en los cuales viajaban las personas que murieron el 31 de julio, por ejemplo, los efectos causados no son claros. Las capotas de los vehículos fueron consumidas por el fuego, pero las ropas de algunos de los pasajeros muertos no estaban quemadas. Algunos de los neumáticos no mostraban daños producidos por el calor o por la combustión pero uno de ellos estaba completamente destruido por el fuego y el de repuesto parcialmente quemado; el otro vehículo presentaba sus asientos delanteros totalmente quemados. Es probable, que estos casos de combustión se debieron a que el depósito de gasolina de uno de ellos se incendió, y en el otro, probablemente el neumático se quemó por contacto con una porción de una bomba volcánica que cayó cerca de él.

La temperatura de la Nuée debe haber sido bastante elevada pues en las afueras de Pueblo Nuevo se recogieron unas botellas fundidas; además los cobertores de plástico de las luces direccionales y de estacionamiento de los vehículos muestran haber estado

sometidas a alta temperatura; el calentamiento fue tal, que el plástico comenzó a fluir. Otro vehículo muestra en los cobertores plásticos burbujas e incrustaciones de cenizas (foto 31).

Por la temperatura de fusión del vidrio y el tipo de plástico usado en el vehículo Toyota, podemos deducir que la temperatura en la Nuée alcanzó entre 873.15 K y 1073.15 K (600°C y 800°C).

Es probable que estos vehículos no estuvieran dentro de la parte principal de la Nuée sino en uno de los bordes donde el calor ya se había disipado bastante y la velocidad de los gases había disminuido; de no ser así es probable que tanto las víctimas como los vehículos hubieran sido violentamente desplazados por la velocidad de los gases, cosa que no ocurrió

Conclusiones:

I. Sin lugar a dudas, podemos afirmar que las erupciones del Arenal han sido del tipo Peleano.

II. El tipo de lava extruida en este último período de actividades no ha cambiado con respecto a los materiales extruidos en otras fases que probablemente ocurrieron de 700 a 1000 años atrás.

III. El ciclo eruptivo del Arenal en su más reciente período de actividad que dio comienzo el 28 de julio de 1968 (iniciado con la actividad sísmica ocurrida en esta fecha), puede resumirse en el siguiente cuadro:

CUADRO No. 2

Fecha	Fenómeno	Volumen
Julio 28	serie de sismos	10 ¹⁸ ergios (Matumoto, 1968)
Julio 29	Explosión y Nuée Ardente	Pequeño (18 (18 160 000 m ³))
Julio 30	Explosión de ceniza	" A
Julio 31	Nuée Ardente	" 1 152 250.0 m ³
Agosto 1 a Set. 15	Erupciones de cenizas y actividad fumarólica	" B
Set. 16 a 18	Nuée Ardente	" 375 000.0 m ³
Set. 19 a...	Colada de lava tipo en bloques	? 6 757 033.0 m ³
La ceniza eruptada durante toda la fase activa incluye A y B del Cuadro No. 1 Cálculo aproximado 11 031.0 m ³		

El total de materiales piroclásticos puede estimarse en 26.5 millones de metros cúbicos de los cuales $19\ 697\ 281\ m^3$ corresponden a los depósitos de las Nuées Ardentes y piroclas-
tos finos (cenizas).

IV. La Nuée o "Pyroclastic Flows" se definen en este estudio como lo hacen Aramaki y Yamasaki (1963).

V. Puede suponerse que el magma que ascendió debió haber sido muy viscoso, si se toma en cuenta el tamaño de los "Pyroclastic Flows" (como se expone en el trabajo antes citado).

De acuerdo con ello diremos que durante la fase inicial de este período de actividad, la vesiculación tuvo lugar en la parte alta de la columna de lava, cuyo resultado es un fenómeno pequeño.

VI. Que hay pocos ejemplos claros en donde el grado de vesiculación en el magma disminuye gradualmente a medida que progresa la erupción. En estos casos, el modo eruptivo cambia de la siguiente manera:

1) Eyección de piroclastos a gran altura sobre el cráter cuyos resultados son lluvias de cenizas, pómez o escoria, dirigidas hacia el lado opuesto a la dirección predominante de los vientos;

2) Flujos de materiales piroclásticos (formación de Nuées Ardentes en el sentido estricto de la palabra o de "Pyroclastic Flows");

3) Extrusión de lava que contribuye a la formación de un domo o una colada.

VII. Todo parece indicar que la colada de lava que se inició el 19 de setiembre de 1968, es el final de este nuevo ciclo de actividad en el volcán Arenal. Ejemplos de otros volcanes así lo demuestran.

VIII. A diferencia de otros casos, las Nuées Ardentes producidas inicialmente por el Arenal no fueron un fenómeno subsiguiente a la formación de una espina o domo. Estas fueron el resultado de una acumulación de gases, situada a cierta profundidad dentro de la chimenea, los cuales rompieron un punto débil del cono en un momento dado. Según informan T. Minakami y asociados (1968), la presión que produjo este fenómeno fue de 500 atmósferas.

IX. En el trabajo presentado por el Dr. T. Minakami (1967) se calculó en 10^{22} ergios las energías liberada por la erupción inicial.

Si a esto agregamos la energía por la serie de sismos ocurrida el día antes de la erupción, 10^{18} ergios, nos daría un total de $10\ 001 \times 10^{18}$ ergios, en el momento en que se hicieron los cálculos*.

X. Como resultado de la devastación causada por las Nuées Ardentes y la emisión de piroclastos (cenizas), el río Tabacón ha soportado varias avalanchas (Mud Flows) que por suerte no

afectaron ninguna zona agrícola. Además su frecuencia y proporciones han sido pequeñas. (fotos 32 y 33) pero suficientes para haber dejado depósitos de brechas caóticas con bloques redondeados y sub-redondeados en una matriz de piroclastos finos y lapilli.

XI. Las Nuées Ardentes no produjeron en ningún caso ignimbritas (tobas soldadas) ni se vieron muestras de una soldadura incipiente de las partículas que forman los depósitos producidos por las Nuées.

* Como complemento a estos últimos cálculos se dan los datos obtenidos por R.F. Fudali y W.G. Melson, Smithsonian Institute.

Considerando el efecto de fricción producido por el aire, la velocidad inicial de

salida de los bloques debe haber sido de por lo menos 600 m/segundo. Para esta velocidad la presión de los gases en la cámara magmática debe haber alcanzado al menos 4,700 bars, y la energía cinética de la explosión inicial se estimaría en $2.4 \pm 1.2 \times 10^{21}$ ergios.

Según los últimos cálculos (1973) W.G. Melson (Smithsonian Institution) y Rodrigo Sáenz R. (Dirección de Geología, MEIC) han estimado el volumen de piroclastos en $1.8 \pm 0.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ para las explosiones de Julio 29 al 31.

La energía cinética y volumen total de los materiales eruptados en todas las explosiones se estiman en 3×10^{22} ergios y 0.03 Km^3 respectivamente.

La colada de lava en bloques que se inició en setiembre 19 de 1968 y que continúa, tiene a la fecha (1973) un volumen superior a los 0.06 Km^3 y cubre 2.7 Km^2 con un grosor que varía entre 15 y 100 m.

BIBLIOGRAFIA

- MINAKAMI T., HIGARA S. UTIBORY S. *Volcanological Investigation of the July 1968 Eruption of Volcano Arenal, Costa Rica* Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Sept. 19, 1968.
- KOYANAGI R. y Hawaii Seismic Events During 1962, U.S.G.S. Prof. Paper 475-D Pags. D 112 - D 117. 1964 Art. 144.
- WALDRON H.H. Debris Flow and Erosion Control Problems Caused by the Ash Eruptions of Irazú Volcano, Costa Rica. Geological Survey Bull. 1241 - I Washington, 1967.
- ARAMAKI S. y YAMASAKI M. *Pyroclastic Flows in Japan Bull.* Vol Tome XXVI, 1963.
- EATON J. P. and MURATA K.J. How volcanoes Grow. Science, Oct. 7. 1960, vol. 132 No. 3432. Pags. 925-938.
- MATUMOTO T. *Seismological Investigation of Mount Arenal and other volcanoes in Costa Rica.* Lamont Geological Observatory of Columbia University, 1968 (Mimographed).
- MELSON W.G. and SAENZ R. *The 1968 Eruption of Volcán Arenal, Costa Rica. Preliminary Summary of Field and Laboratory Studies.* Smithsonian Institution, Center for Short-lived Phenomena. Nov. 7, 1968.
- MERINO y CORONADO J. *La erupción del volcán "EL ARENAL" en junio de 1968.* Instituto Panamericano de Geografía e Historia e Instituto de Geofísica, U.N.A.M.



Foto 1. Volcán Arenal visto desde el Observatorio La Palma.



Foto 1a. Volcán Arenal visto desde La Fortuna



Foto 2 Volcán Arenal, la línea entintada muestra lo que el autor considera restos del borde de un antiguo cráter o Soma.



Foto 3 Vista desde el Observatorio mostrando actividad en el Cráter Melson.



Foto 4.

Bloques lanzados por la explosión.

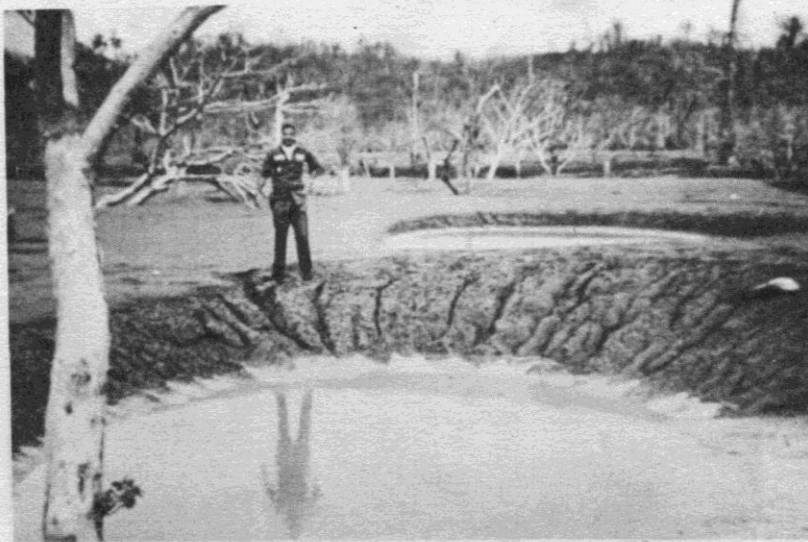


Foto 5

Cráter de impacto.



Foto 6

Fotografía tomada en Agosto de 1968,
entintado se ve el borde del Cráter Melson.



Foto 7

Explosión del 18 de Setiembre de 1968,
un día antes de aparecer la lava.



Fotos 8 y 9

Compárense en estas dos fotografías el acúmulo de lava.

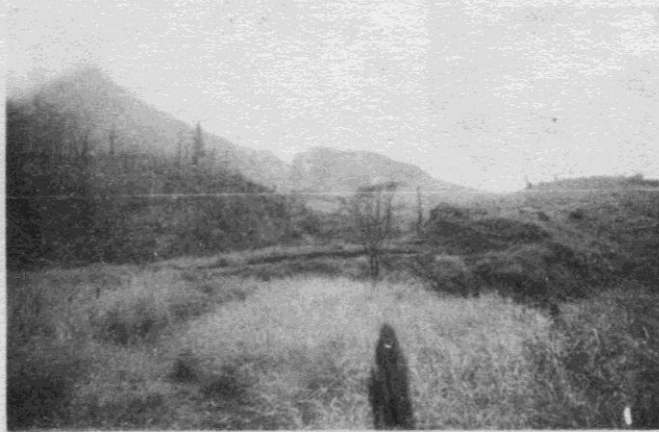


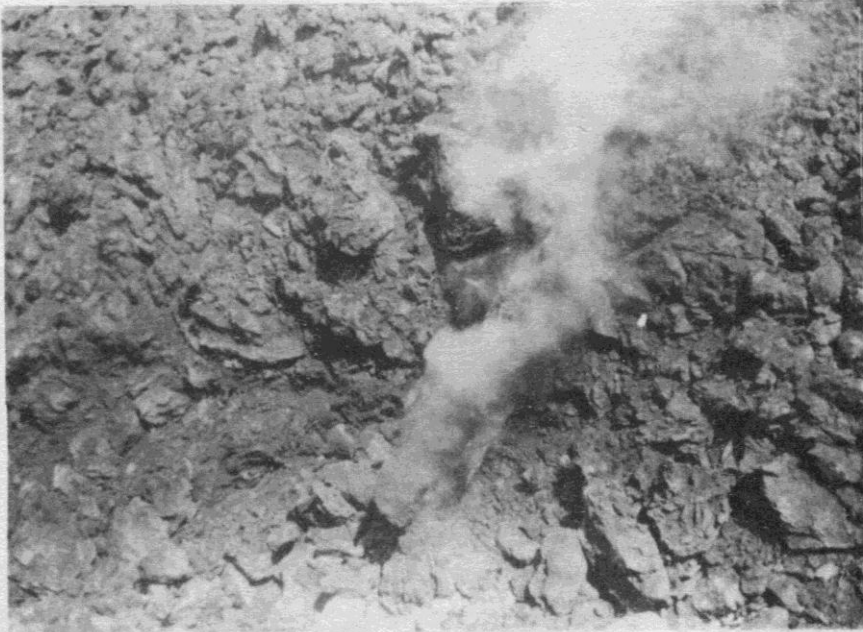
Foto 10

Vista del volcán Arenal mostrando el cráter Melson. 5 Agosto 1968. Cortesía del ICE.



Foto 11

Vista del Volcán Arenal mostrando el cráter Melson el 27-Sept. 1968, Cortesía del ICE.



Fotos 12 y 13

Varios aspectos del frente de lava.

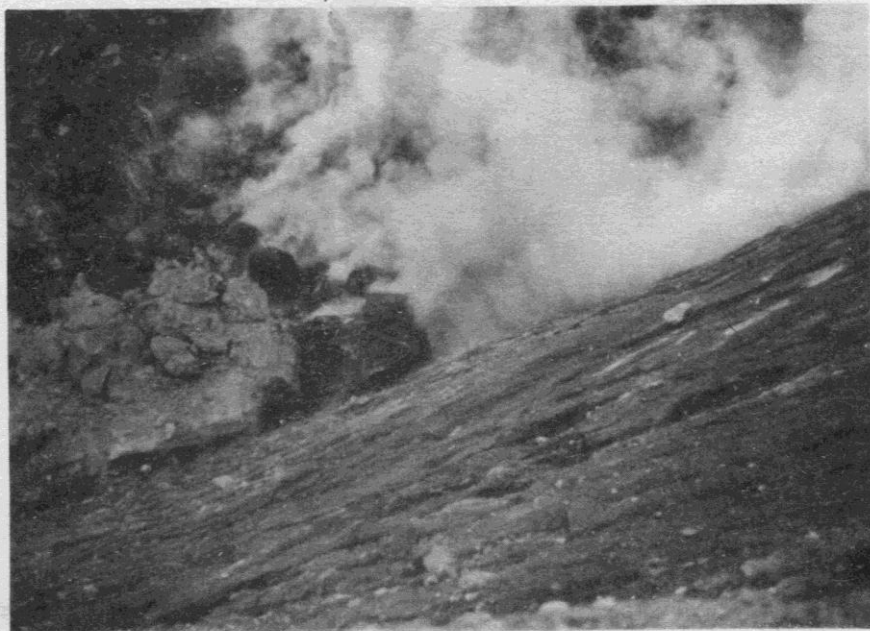




Foto 14

Aspecto del frente de lava.



Foto 15

Muestra el pequeño cono de lava en formación. (Cortesía de Mr. Best, U.S. American Embassy).



Foto 16

Vista parcial del Arenal durante la explosión del 18 de Setiembre de 1968.

Despues de la explosion del 18 de Set.

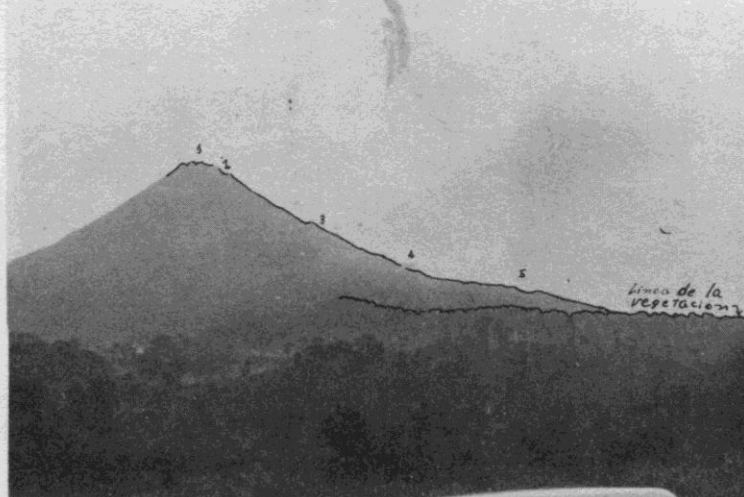


Foto 17

Vista del Arenal media hora después de la explosión. Muestra donde hubo cráteres abiertos durante esta fase eruptiva.



Foto 18

Vista parcial del frente de lava.

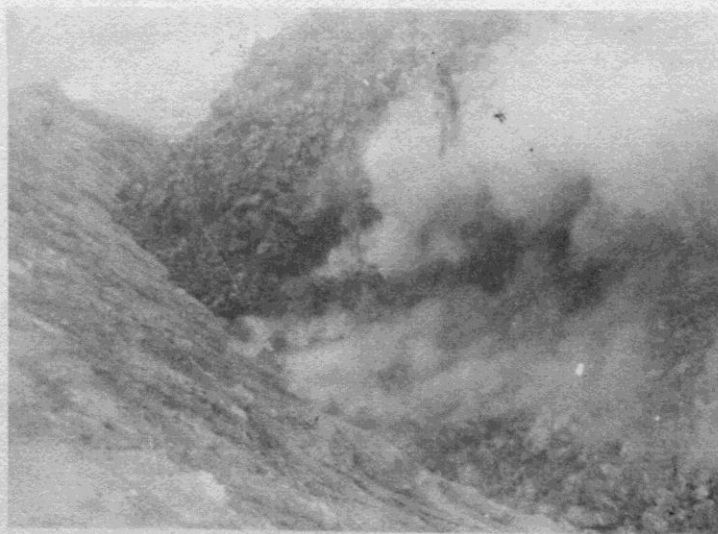


Foto 19

Frente de lava. El vapor indica que ha habido un desprendimiento.



Foto 20

Otra vista del frente de lava. Al fondo la línea del horizonte marca el borde del Cráter Melson cubierto por la lava.



Foto 21

Desprendimiento en el frente de la colada. La dirección de avance es de izquierda a derecha.



Foto 22

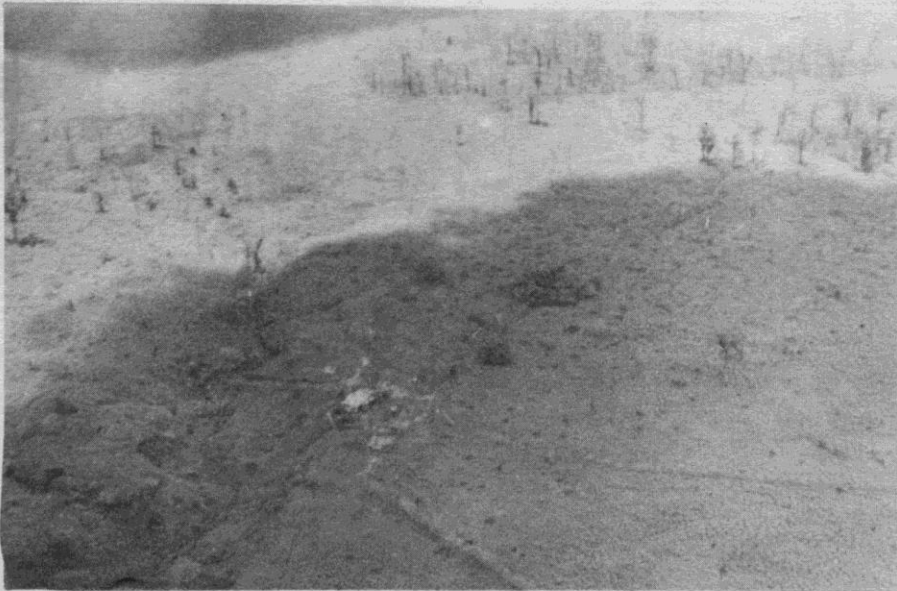
Aspecto del frente de lava.



Foto 23

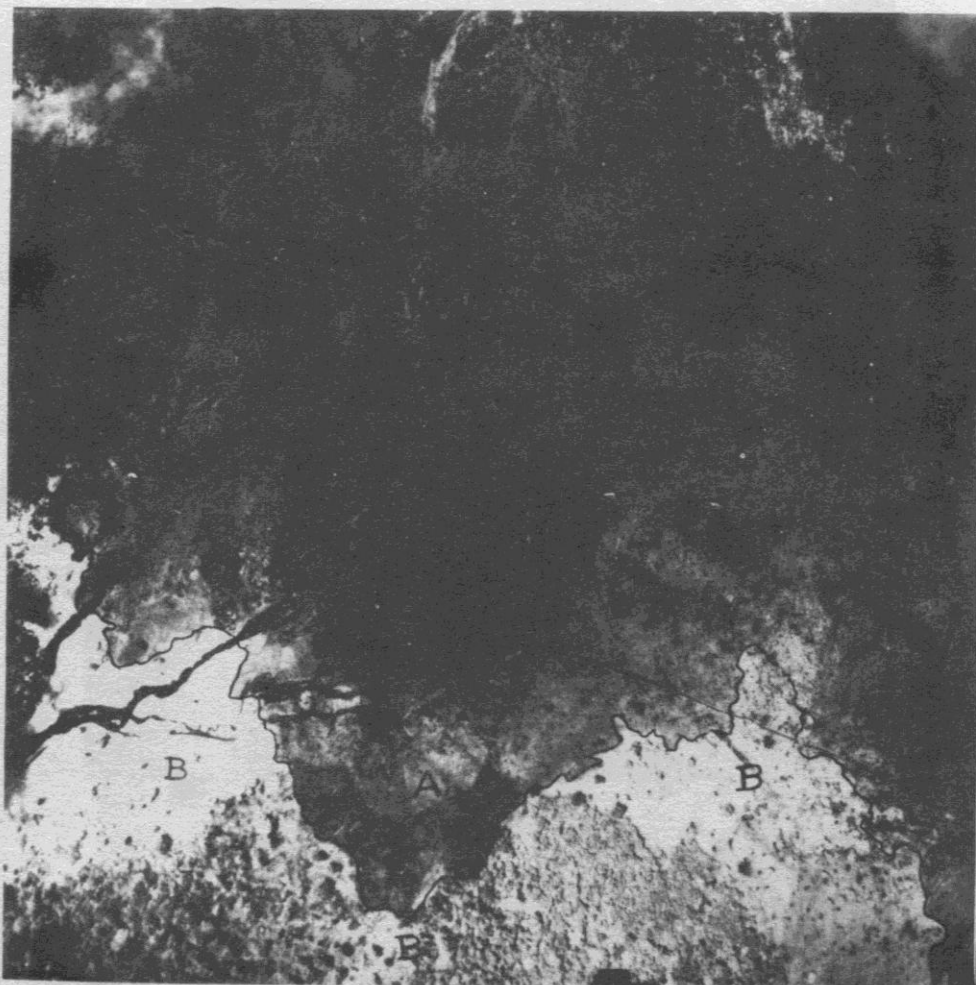
Muestra parte del área que sufrió devastación total. En primer plano áreas de marchitamiento.

Foto 24



Se muestra una casa comprendida en la subárea de devastación parcial. Las manchas oscuras en el pasto son cráteres de impacto. Todos los habitantes de esta casa murieron.

Foto 25



Fotografía que muestra el contacto entre la región afectada (A) por la Nuée Ardente del 31 de Julio de 1968 y la zona que no recibió ningún efecto (B).



Foto 26

Punto donde murieron 8 personas el día 31 de Julio de 1968. Del lado derecho de la fotografía puede apreciarse la vegetación en su estado normal y a la izquierda ha sido afectada por la Nube Ardiente.



Foto 27

Muestra el límite entre la segunda y tercera subáreas (línea de tinta).



Foto 28

Muestra las tres subzonas. En primer plano la vegetación ya recuperada en la subárea de marchitamiento, luego la subzona de destrucción y por último, la de destrucción total. También puede verse al fondo y al centro la colada de lava.



Foto 29

Subárea de marchitamiento. Obsérvense los vehículos en los cuales murieron 8 personas.

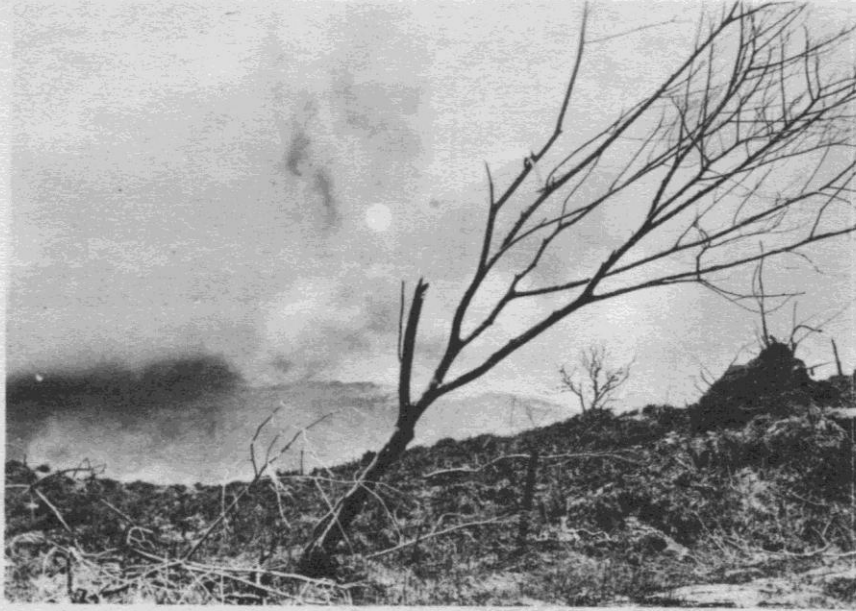


Foto 30

Subárea tres.



Foto 31

Objetos recolectados en los vehículos que aparecen en la foto No. 29. A la derecha y en primer plano, parte de una botella recolectada en Pueblo Nuevo.



Fig. 32 - 33: Muestran Mud Flows.

