

LA LAVINA DEL VALLE CENTRAL (COSTA RICA): ¿LAHAR O DEBRIS AVALANCHE?

Paulo J. Hidalgo, Guillermo E. Alvarado* & Lepolt Linkimer

Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica,
Apdo. 214-2060, Costa Rica

* Autor para contacto: galvaradoi@ice.go.cr

(Recibido 01/06/03; aceptado 17/09/03)

ABSTRACT: The denominated *lavina* of the Central Valley, constituted by lava blocks floating in a volcanic mud matrix, had been interpreted genetically as a lahar or debris flow deposit. This work tries to discuss some characteristics that suggest that the deposit originated in a debris avalanche event, that transformed into a debris flow. Avalanche amphitheaters were identified in extinct stratovolcanoes in the western sector of the Irazú volcano, where the most probable source of origin is the sector of collapse in the west flank of the Cabeza de Vaca volcano. This event could have occurred around 150 ka -250 ka, possibly during or at the end of glacial periods in the northern hemisphere. Wells in most of the Metropolitan area allowed the morphometric definition of the stratigraphic surfaces, and determined a volume = 2.0 km³ in an approximated area of 130 km².

Keywords: *Lavina*, Central Valley, lahar, debris avalanche, amphitheater, morphometry, stratigraphy.

RESUMEN: La denominada *lavina* del Valle Central, constituida por bloques de lava mal seleccionados y flotantes en una matriz de lodos volcánicos, había sido interpretada genéticamente como un *debris flow* (lahar). Este trabajo trata de discutir algunas características que sugieren que el depósito se originó en un *debris avalanche* que se transformó en un *debris flow* (lahar). Se identificaron anfiteatros de avalancha en los estratovolcanes extintos del sector occidental del macizo del Irazú, en donde la fuente de origen más probable es el sector de colapso en el flanco oeste del volcán Cabeza de Vaca. Esto pudo acontecer alrededor de 150 ka -250 ka, tal vez durante o al final de periodos glaciares en el hemisferio norte. La utilización de perforaciones en la mayor parte del Área Metropolitana, permitió la definición morfométrica de las superficies estratigráficas y la determinación de un volumen = 2,0 km³ distribuido en un área aproximada de 130 km².

Palabras clave: *Lavina*, Valle Central, lahar, *debris avalanche*, anfiteatros, morfometría, estratigrafía.

INTRODUCCIÓN

Se ha aceptado generalmente, que los depósitos epiclásticos que rellenan el sector este del Valle Central occidental, originalmente denominados como *lavina* (Dóndoli & Torres, 1954), han sido originados por una mezcla densa de detritos volcánicos y agua en movimiento (*debris flows*), más

conocidos como lahares (Williams, 1952; Madrigal, 1966; Castillo, 1969; Ehandi, 1981). No obstante, existen algunas evidencias que pueden indicar un origen tipo *debris avalanche*, el cual durante el transporte pudo transformarse en *debris flow* por incorporación de agua (Alvarado *et al.*, 2000).

Normalmente, el causante de un *debris avalanche* es el colapso a gran escala de parte o

inclusive varios edificios volcánicos, donde el material transportado suele moverse en condiciones no saturadas. No fue sino hasta hace pocos años que se identificaron ampliamente los eventos de *debris avalanche* como comunes dentro de la historia del desarrollo de volcanes compuestos. Muchos de los depósitos de *debris avalanche*, hasta hace algunos pocos años, habían sido erróneamente interpretados como depósitos piroclásticos, coladas de lava, morrenas glaciares o depósitos laháricos. Esto, principalmente debido a ciertas similitudes de textura, estructura interna y expresión topográfica. La documentación de eventos tipo *debris avalanche* en los volcanes St. Helens en Estados Unidos, Bandai en Japón y Bezymianny en Kamchatka, permitió identificar los mecanismos precursores y estilo depositacional que caracteriza a estos eventos, logrando con ello, aplicar este conocimiento a otros depósitos encontrados alrededor del mundo (Ui *et al.*, 2000).

Este estudio pretende discutir acerca del origen y edad de la denominada lavina del Valle Central.

Etimología del término *lavina*

Los depósitos laháricos del Valle Central fueron denominados con el nombre de *lavina* por Dóndoli & Torres (1954). El término latino proviene de la palabra *labina*, cuya raíz *labi* significa resbalar. En algunas regiones italianas se denomina a una avalancha de nieve *slavina* y se usa *lavina* para indicar un deslizamiento de tierra, muy rápido y desastroso. Aunque el término *lavina* ha entrado en desuso en la lengua italiana, en el idioma alemán se mantiene su equivalente *Lavine* (avalancha de nieve). El vocablo en sí, parece provenir del nombre de una antigua ciudad etrusca, llamada “Lavinium” (hoy Practica di Mare) situada 30 km al sur de Roma, 100 m s.n.m. y 4 km al NE de la costa del mar Tirreno, en el Lazio. Su fundación está atribuida al héroe mítico Eneas, quien bautizó el lugar con el nombre de su esposa Lavinia. La ciudad se dice que fue abandonada y olvidada no mucho tiempo después del emperador romano Teodosio (379-395

d.C.) (The 1911 Edition Encyclopedia.org.). Geológicamente, esta ciudad se encuentra en lo que hoy se ha llamado “Provincia Petrográfica Romano-Campana”, que comprende el sistema volcánico entre las regiones de Toscana y el golfo de Nápoles, en Italia. En esta provincia se encuentran los volcanes de los montes Vulsini, Cimini, Sabatini, Colli Albani y Colli Ernici, los cuales alternaron largos periodos de inactividad con fases eruptivas muy violentas, incluyendo flujos piroclásticos destructivos entre el Plioceno Superior y 30 000 años atrás.

Antecedentes en el Valle Central

Hill (1898) describe los depósitos en el trayecto de San José a Cartago y cerca del Alto de Ochomogo, como arcilla roja en la cual se encuentran incluidos irregularmente fragmentos de materiales ígneos básicos. Romanes (1912) identifica acumulaciones de bloques petrográficamente similares entre sí, especialmente en San José. Williams (1952) menciona depósitos de flujos de lodo al este del Valle Central y les llama bloques y arcillas (*Boulders and Clays*). Dóndoli & Torres (1954) agrupan depósitos laháricos de Cartago bajo el nombre de *lavina*; y posteriormente el término fue trasladado a los depósitos epiclásticos del Valle Central por Madrigal (1966), quien, petrográficamente identifica bloques de andesita, andesita piroxénica y diorita hornbléndica, en una matriz de arcilla ferruginosa. Malavassi (1965) realiza perfiles descriptivos de estos depósitos en diferentes localidades de San José. Bohnenberger (1968) identifica acumulaciones en elevaciones elongadas con dirección de flujo suroeste. Castillo (1969) ubica su origen en los volcanes Poás e Irazú y en menor grado los cerros de Escazú, y Echandi (1981) menciona ocasionales colinas aisladas formadas por material detrítico de origen volcánico, en las localidades de Loma Ocloro en Barrio La Cruz y El Cerrito en Barrio Luján. Además, realiza secciones estratigráficas en diferentes localidades del Valle Central.

METODOLOGÍA

El modelado tridimensional es una de las claves para lograr la identificación y características del tipo de evento que originó el depósito. La interpretación litológica y filtrado de todas las perforaciones realizadas en el Área Metropolitana de San José, registradas en el SENARA (Servicio Nacional de Aguas Riego y Avenamiento) para la extracción de agua subterránea, permitió la delimitación del área de cobertura y el cálculo de espesores de esta unidad litológica. En total se analizaron más de 2000 perforaciones,

discriminándose cada una litológicamente y por la calidad y cantidad de información. Se seleccionaron finalmente, 213 sondeos (Fig. 1a). La determinación del espesor permite obtener curvas de isopacas (Fig. 1b) y establecer los límites estratigráficos con isohipsas del techo (Fig. 2a) y de la base del depósito (Fig. 2b). Una vez diseñadas las superficies estratigráficas, se delimitó el área cubierta por la *lavina* del Valle Central. La información derivada permitió calcular el volumen y área, mediante los métodos matemáticos de Simpson, 3/8 de Simpson y Trapezoidal.

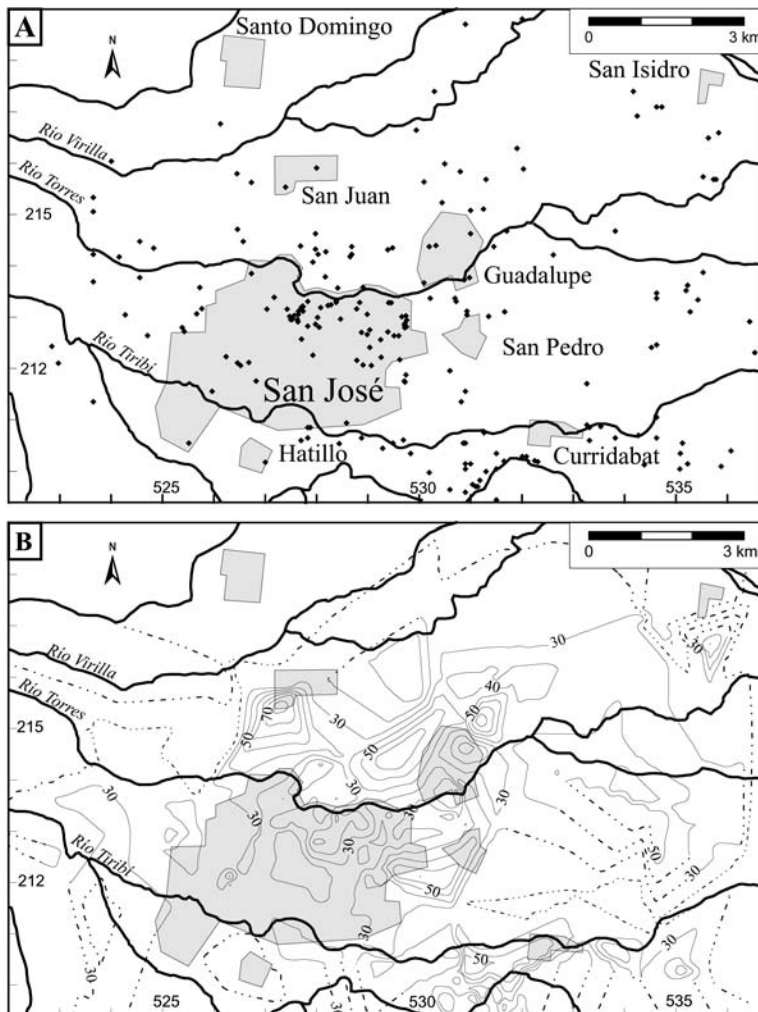


Fig. 1: A) Mapa de ubicación mostrando la distribución de los 213 pozos donde se obtuvo información litológica. B) Mapa mostrando las curvas de isopacas de la *lavina* cada 10 m (líneas discontinuas, pertenecen a zonas con poca información).

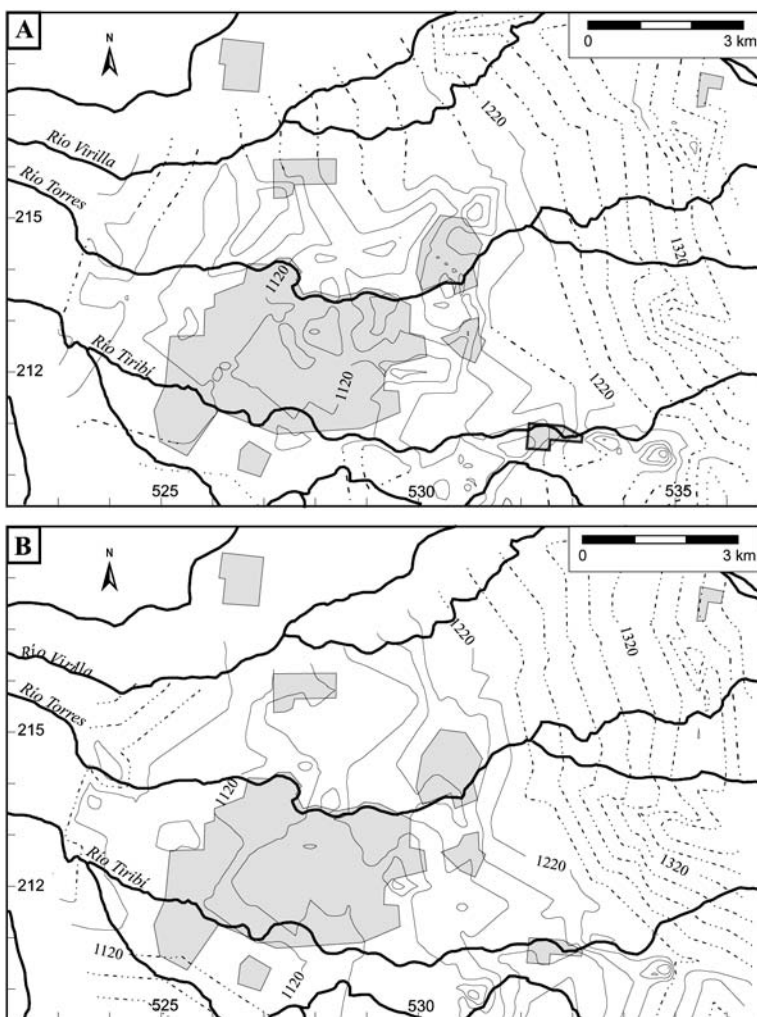


Fig. 2 A) Isohipsas del techo del depósito de *lavina*, cada 10 m. B) isohipsas del piso del depósito, cada 10 m.

Con la observación de fotografías áreas se logró identificar morfológicamente las zonas viejas y erosionadas de los volcanes, así como la morfología relacionada con focos eruptivos más recientes, delimitándose cicatrices de avalanchas donde han ocurrido desprendimientos de grandes volúmenes de material volcánico. Visitas de campo fueron primordiales para lograr la descripción de textura, y contactos geológicos de las unidades.

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

Los depósitos afloran al este del Valle Central Occidental, en los ríos Torres, María Aguilar (desde el cruce de la carretera Curríabat-San Pedro hasta su confluencia con el río Tiribí), Jorco (cerca del Balneario los Juncales) y en algunas porciones del Damas (Madrigal, 1966) (Fig. 1).

Son depósitos sumamente heterogéneos con fragmentos volcánicos subangulares a subredondeados, predominando lavas con diámetro máximo de 2 m, aunque generalmente no superan 1 m. Los fragmentos se encuentran, por lo general, flotando en una matriz areno-limosa a limo-arcillosa compactada. En ciertos sectores muy localizados, pueden presentar concentraciones monolíticas de bloques de lava en contacto puntual o casi puntual, semejando las facies de bloques (*blocky facies*) de los *debris avalanches*. También son comunes, sectores deformados e hidrotermalizados rodeados por depósitos sanos y morfologías de lomas a modo de *hummocks*. Estas características se pueden observar en la intersección de la autopista a Escazú-San José con la bifurcación hacia los Hatillos, también en la autopista entre el tramo La Favorita-La Uruca y hasta hace algunos años, en la rotonda de Zapote. Las lomas descritas por Echandi (1981) en los barrios La Cruz y Luján bien caben en este tipo de morfología.

Están cubiertos por una potente capa de ceniza de hasta 20 m de espesor y, localmente, por depósitos coluviales y aluviales de procedencias y litologías diferentes (Castillo, 1969). Sobreyacen a las ignimbritas de la Formación Tiribí (edad 0,33 Ma) y otras lavas “post-avalancha”, que hacia el sector de Belén fueron datadas en 0,27 Ma (P. Gans, 1999, en Pérez, 2000), aunque su edad puede ser diferente hacia el este, donde aparece la *lavina*.

MORFOMETRÍA

El depósito tiene una forma elongada con eje en dirección NE-SW y cubre un área mínima de 130 km² en el Área Metropolitana (Fig. 1b, 2a y 2b). Espesores de hasta 80 m se encuentran en San Juan de Tibás, San José, Curridabat, Zapote y San Isidro de Coronado (Fig. 1b); aunque varían lateralmente hasta en 60 m de diferencia en solo 2 km de distancia.

Las superficies estratigráficas superior e inferior, representadas en las figuras 2a y 2b, muestran una morfología suave y uniforme desde San Isidro de Coronado hasta Guadalupe. Hacia el

oeste de esta localidad, la morfología del techo incluye gran cantidad de colinas elongadas (con dirección NE-SW), situadas sobre las depresiones indicadas en las isohipsas de la base del depósito, lo que ha provocado que la expresión superficial del depósito no sea tan relevante como lo sería al depositarse en una superficie más uniforme. Las colinas elongadas asemejan *hummocks* característicos de eventos tipo *debris avalanche*. La superficie de depositación inferior muestra además, que la topografía anterior al depósito fue menos compleja que la actual (Fig. 2b), beneficiando quizás una menor complicación en las rutas de los cauces, que las observadas actualmente.

Los límites en el Área Metropolitana, definidos mediante las curvas de isopacas (Fig. 1b), se encuentran hacia el oeste, cerca de Pavas en la carretera Escazú – San José; al este entre Curridabat y Tres Ríos; al norte cerca de San Isidro de Coronado y al sur, cerca de Desamparados (Fig. 3). Se presume, por falta de información, que el depósito se extiende hasta cerca de Rancho Redondo, indicado por las direcciones de flujo señaladas en los mapas de isohipsas y en fotografías aéreas (Fig. 3).

Un rasgo topográficamente resaltante en el Valle Central, es la intensa erosión provocada por la acción fluvial, que alcanza depresiones de hasta 60 m de profundidad, en donde cortan hasta 50 m de *lavina*, atravesando en sentido E-W la zona de estudio (ríos Virilla, Torres, Tiribí y María Aguilar; Fig. 1b).

El volumen calculado mediante las curvas de isopacas (Fig. 1b), es de 2,0 km³, concentrado en la parte central de la zona de estudio (Fig. 1a), donde se ha acumulado en forma de colinas aisladas y elongadas (2 km), con rumbo preferencial al SW. Presumiblemente, el volumen y el área son mayores, ya que la información al noreste del valle es escasa (Fig. 1b).

MORFOESTRATIGRAFÍA DEL OCCIDENTE DEL MACIZO IRAZÚ

A partir de un análisis de imágenes de sensores remotos (fotografías aéreas en diversas

escalas y una imagen de anaglifo), se delimitaron tres cicatrices de avalancha y las edades relativas de los edificios estratovolcánicos extintos del Paleo-Irazú, denominados Cabeza de Vaca y Pico de Piedra y algunos de sus depósitos (Fig. 3). Hacia la parte occidental del macizo Irazú, resaltan de la topografía volcánica circundante, los estratovolcanes extintos Pico de Piedra y Cabeza de Vaca. Existen pocas referencias en la literatura que detallen la geomorfología de estos macizos volcánicos. Únicamente Bergoeing (1979) ha descrito algunas unidades geomorfológicas para esta zona. A continuación se detallan las unidades morfoestratigráficas reconocidas (Fig. 3):

Pre-Cabeza de Vaca

Se caracteriza por un relieve poco uniforme, pendientes variables de 0 a 30° y valles poco profundos. Corresponde, probablemente con los depósitos más antiguos de los estratovolcanes Cabeza de Vaca y Pico de Piedra.

Estratovolcán Pico de Piedra

Es también llamado Las Nubes, incluye el edificio estratovolcánico (2 661 m s.n.m.) extinto y algunos de sus últimos depósitos. Se caracteriza por fuertes pendientes (hasta 35-40°) y valles profundos. El cráter ha desaparecido completamente por efectos de la intensa erosión fluvial (Bergoeing, 1979). Se reconocen además, los escarpes laterales y frontales de antiguas coladas de lava. Sobresale un gran anfiteatro (de avalancha?) de 2,4 km de largo y 1,5 km de ancho, dirigido hacia el NW. La parte central del anfiteatro corresponde con la cuenca alta del río Virilla.

Resaltan coladas de lava cubiertas por espesas secuencias de cenizas recientes. Se reconocen, por lo menos cuatro depósitos orientados hacia el WSW y uno hacia el N, alcanzando una longitud de hasta 3 km.

Estratovolcán Cabeza de Vaca

Esta unidad corresponde con el edificio estratovolcánico extinto del volcán Cabeza de

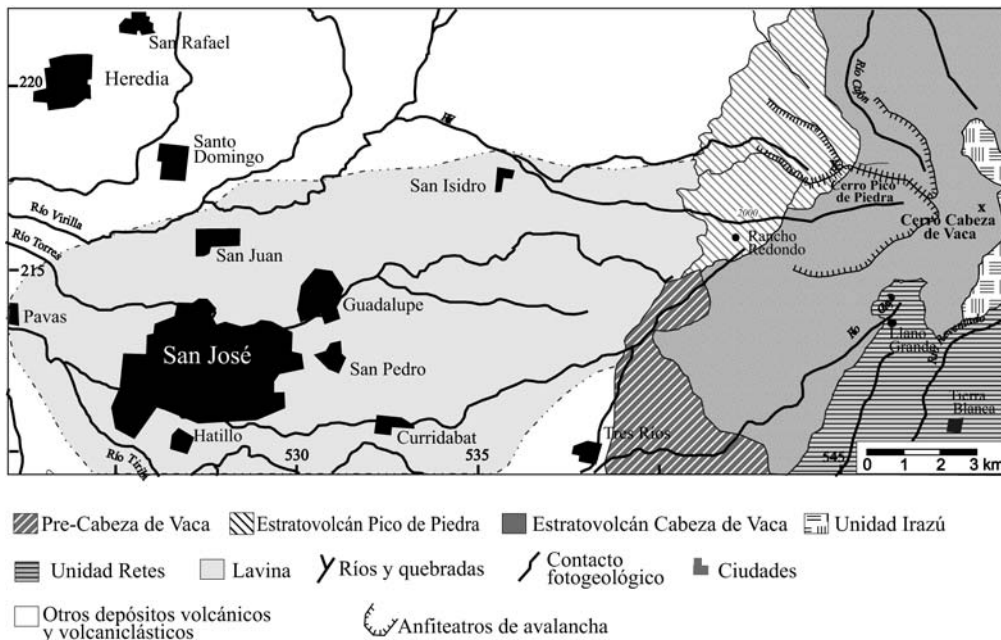


Fig. 3: Mapa morfoestratigráfico y geológico, sector occidental del macizo Irazú y parte del este del Valle Central Occidental.

Vaca (2 960 m s.nm). En la cima existe un cráter muy erosionado, con forma semicircular. Las pendientes son fuertes (35° - 40°) y los valles fluviales profundos. La densidad de drenaje es alta y de tipo dendrítico. Resaltan una serie de campos de coladas dirigidos al SW y N principalmente.

El macizo se encuentra muy erosionado, sobre todo en los flancos, con dos grandes anfiteatros (sector colapso de avalancha?). Uno de ellos ubicado en el flanco norte orientándose hacia el NW con una longitud de 3,4 km y ancho máximo de 2,0 km, y el otro se ubica en la ladera oeste y se orienta hacia el WSW, con longitud de 4 km y ancho máximo de 2,5 km. La variación topográfica entre la parte central y el extremo oriental del anfiteatro es de 0,8 km.

La mayoría de las coladas y depósitos provenientes de este estratovolcán se extienden en sentido SW-NE, alcanzando longitudes de hasta 5 km. Se caracterizan por cimas plano-onduladas y frentes y bordes abruptos, por donde fluyen los ríos principales. El patrón de drenaje es paralelo-subdendrítico, fluyendo hacia el SW. Las pendientes son muy variables, desde 5° en las partes más distales, hasta 30° en las cercanías de la fuente. Las coladas se encuentran superpuestas unas sobre otras.

Unidad Irazú

Agrupación a algunas coladas y depósitos provenientes del cerro Retes. Posee características similares a los depósitos producidos por el estratovolcán Pico de Piedra.

Unidad Retes

Incluye el relieve producido probablemente por los depósitos de avalanchas que provienen del cerro Retes y en menor grado Cabeza de Vaca. También, agrupa una serie de antiguas coladas muy erosionadas y pequeños cerros que pueden corresponder con la topografía alomada de depósitos de avalanchas.

GÉNESIS, EDAD Y ASPECTOS PALEOCLIMÁTICOS

En la literatura, algunos autores (Bohnenberger, 1968, Castillo, 1969) consideran la fuente de origen de la lavina hacia el NE del Área Metropolitana. Efectivamente, evidencias morfológicas tales como la topografía pre-lavina (post-ignimbrita de la Fm. Tiribí, Fig. 2b) con gradiente de unos 20° hacia el SW, la pendiente post-lavina inclinada 22° en el mismo sentido que las cenizas del Valle Central y colinas elongadas en dirección NE-SW (Fig. 1a), así lo indican. Estas evidencias además, permitieron la diferenciación con respecto a otros depósitos que se encuentran en la parte oeste del Valle Central, que tienen un origen distinto (Méndez & Hidalgo, en este volumen).

Hacia el NE, dirección de donde se presume que aconteció el evento, resaltan las elevaciones del extremo suroccidental del macizo del Irazú. En este sector se lograron distinguir algunos focos volcánicos antiguos y erosionados, en donde las dimensiones mostradas por los anfiteatros de colapso gravitacional (sector colapso, Cuadro 1), son apropiadas para coincidir con el volumen de material mínimo calculado ($2,0 \text{ km}^3$) para la lavina del Valle Central.

Según la orientación de apertura con respecto al Valle Central, el colapso Cabeza de Vaca WSW es la fuente más probable de la lavina del Valle Central. Las paleo-pendientes y el volumen del sector colapsado ($3,6 \text{ km}^3$), así lo sugieren. Si se toma en cuenta que en el presente trabajo se carece de información cerca de Rancho Redondo para el cálculo volumétrico y que, además, debe considerarse la compactación que debió de haber sufrido el depósito y su erosión subsecuente (según se acotó antes), el volumen del anfiteatro coincide a grandes rasgos con el volumen mínimo calculado en el Área Metropolitana ($2,0 \text{ km}^3$).

La edad máxima de la lavina es con toda seguridad más joven que la de las ignimbritas de la Formación Tiribí (0,33 Ma), pues ésta la subyace. Hay algunas lavas interdigitadas entre la Formación Tiribí y la lavina, y aunque en Belén fueron datadas en 0,27 Ma (edades en Pérez,

Cuadro 1

Descripción de las estructuras de colapso en el sector occidental del Irazú

Nombre del anfiteatro	Largo (km)	Ancho (km)	Área (km ²)	Volumen aproximado (km ³)	Dirección de abertura
Pico de Piedra	2,4	1,5	2,5	1,8	NW
Cabeza de Vaca NW	4,2	2,0	4,5	3,2	NW
Cabeza de Vaca W	4,0	2,8	5,8	3,6	WSW

2000), en este sector del valle las coladas pueden ser de diferente edad. Puesto que las cenizas sobreyacentes son espesas y, tomando en cuenta que la profundización de los cauces a través de la *lavina* para formar los cañones actuales pudo tomar un tiempo considerable, se sugiere por tanto, que una edad situada entre 150 ka - 250 ka (Pleistoceno Medio) puede ser plausible, que es un lapso en el cual el hemisferio norte se encontraba entre o durante periodos glaciares. Ya Dóndoli (1965) y Malavassi (1965) habían sugerido la presencia de nieve en la Cordillera Volcánica Central. Tomando en cuenta que las estructuras de colapso se desarrollaron en volcanes previos al actual Irazú, es decir más antiguas que 110 000 años (basado en edades de Krushensky, 1972 y Allégre & Condomines, 1976), resulta difícil saber si los colapsos gravitacionales se desarrollaron en pleno apogeo glacial, en un período interglacial, o hacia el inicio del deshielo en los albores de un período interglacial. Hipotéticamente, si los paleo-volcanes de la cordillera Central estaban cubiertos de neviza y quizás hasta pequeños casquetes durante el evento de *debris avalanche*, la incorporación de hielo y su fusión favorecería la dilución hacia un *debris flow*, provocando una mayor distribución areal. Además, el peso extra, en el caso de pequeños casquetes, pudo ser un factor desestabilizador de los edificios volcánicos, aunados a la alteración hidrotermal y tectonismo presentes en el Paleo-Irazú.

Así, si el evento ocurrió durante el inicio del período interglacial, el cambio climático pudo haber generado un gran volumen de agua de deshielo, el cual se infiltró sobre el sector occidental del Irazú, favoreciendo el colapso gravitacional y la transformación del *debris avalanche* en *debris flow*.

Estudios de detalles ulteriores podrán precisar la edad de estos eventos por medio de dataciones radiométricas, así como los análisis químicos de los clastos comprobarían la fuente de origen.

CONCLUSIONES

Se delimitó y cuantificó la extensión de la *lavina* del Valle Central Occidental, así como su probable fuente de origen.

La morfología del depósito es elongada hacia el NE-SW y cubre 130 km² bajo el Área Metropolitana con espesores de hasta 80 m. El volumen mínimo alcanza 2,0 km³, concentrado principalmente en los cantones de Goicoechea, Tibás, Montes de Oca y Coronado.

La morfoestratigrafía logró identificar tres sectores de colapso de gran tamaño: Pico de Piedra, Cabeza de Vaca NW y Cabeza de Vaca WSW. La caldera de colapso Cabeza de Vaca WSW, pudo haber sido la fuente de origen principal de la *lavina* del Valle Central, sugerido por paleo-pendientes y volumen del sector colapsado.

La edad del depósito se encuentra probablemente entre 150 ka y 250 ka (Pleistoceno Medio). Es probable que durante los periodos glaciares haya habido una contribución de hielo y nieve como el lubricante necesario para que los depósitos de *debris avalanche* se propagaran tan extensamente transformándose en *debris flow*, e inclusive pudo favorecer el colapso de los estratovolcanes extintos en el sector occidental del volcán Irazú.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la ayuda invaluable brindada por Natalia Zamora, Linda Sjöbohm y especialmente

Douglas Camacho. También al Servicio Nacional de Aguas, Riego y Avenamiento (SENARA) y al Ing. Álvaro Climent, por la información proporcionada. Gerardo Soto revisó y aportó valiosas sugerencias a este artículo.

REFERENCIAS

- ALLÉGRE, C.J. & CONDOMINES, M., 1976: Fine chronology of volcanic processes using ^{238}U - ^{230}Th systematics. - *Earth Planet. Sci. Lett.* 28: 395-406.
- ALVARADO, G.E., SIGARÁN, C. & PÉREZ, W., 2000: Vulcanismo: sus productos y geoformas. - En: DENYER, P. & KUSSMAUL, S. (comp.): *Geología de Costa Rica*. Ed. Technol. de Costa Rica: 133-154.
- BERGOEING, J. P., 1979: Geomorfología del sector volcánico Las Nubes-Cabeza de Vaca. - *Inf. Sem. Inst. Geogr. Nac.* 1979 (enero-junio): 139-146.
- BOHNENBERGER, H., 1968: A photogeological study of the western Central Valley, Costa Rica. - 20 págs. Ministerio de Agricultura y Ganadería y Serv. Nac. de Acueductos y Alcantarillados, San José.
- CASTILLO, R., 1969: Geología de los mapas básicos Abra y partes de río Grande, Costa Rica. - 40 págs. Dir. Geol. Min. y Petróleo, Inf. Técnico y Notas Geol. San José.
- DÓNDOLI, C., 1965: Vulcanismo reciente de Costa Rica. - 16 págs. Dir. Geol. Min. y Petróleo, Inf. Técnico y Notas Geol. 4, 15-b, San José.
- DÓNDOLI, C. & TORRES, J. A., 1954: Estudio geoagronómico de la región oriental de la Meseta Central. - 181 págs. Min. Agricultura e Ind. San José.
- ECHANDI, E., 1981: Unidades volcánicas de la vertiente norte de la cuenca del río Virilla. - 123 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- HILL, R., 1898: The geological history of the isthmus of Panama and portions of Costa Rica with special determinations (of fossils) by W.H. Dall, R.M. Bagg, T.W. Vaughan, J.E. Wolff, H.W. Turner and A. Sjögren. - *Bull. Mus. Camp. Zool. Harvard Coll.* 34:1-256.
- KRUSHENSKY, R.D., 1972: Geology of the Istarú Quadrangle, Costa Rica. - *U.S. Geol. Surv. Bull.* 1358: 1- 46.
- MALAVASSI, E., 1965: Reseña geológica del Valle Central de Costa Rica. -10 págs. Dir. Geol. Min. y Petróleo, Inf. Técnico y Notas Geol. San José.
- MADRIGAL, R., 1966: La lavina. - 6 págs. Dir. Geol. Min. y Petróleo, Inf. Técnico y Notas Geol. San José.
- MÉNDEZ, J. & HIDALGO, P.J., 2004: Descripción geológica del depósito de *debris avalanche* El Coyol, Formación Barva, Costa Rica. - *Rev. Geol. Amér. Central*, este volumen.
- PÉREZ, W., 2000: Vulcanología y petroquímica del evento ignimbrítico del Pleistoceno Medio (0,33 Ma) del Valle Central de Costa Rica. - 170 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- ROMANES, J., 1912: Geology of a part of Costa Rica. - *F.G.S. Christ's College, Cambridge*, 68, 103: 103-139.
- THE 1911 EDITION ENCYCLOPEDIA., 2003: Lavinium. - *The 1911 Edition Encyclopedia*. <http://58.1911encyclopedia.org/L/LA/LAVINIUM.htm> [consulta: 02 feb. 2003].
- UI, T., TAKARADA, S. & YOSHIMOTO, M., 2000: Debris avalanches: -En: SIGURDSONN, H. (ed.): *Encyclopedia of volcanoes*, Academic Press: 617-626.
- WILLIAMS, H., 1952: Volcanic history of the Meseta Central Occidental de Costa Rica. - Univ. California