

2147

Original

(23)

INGEOMINAS

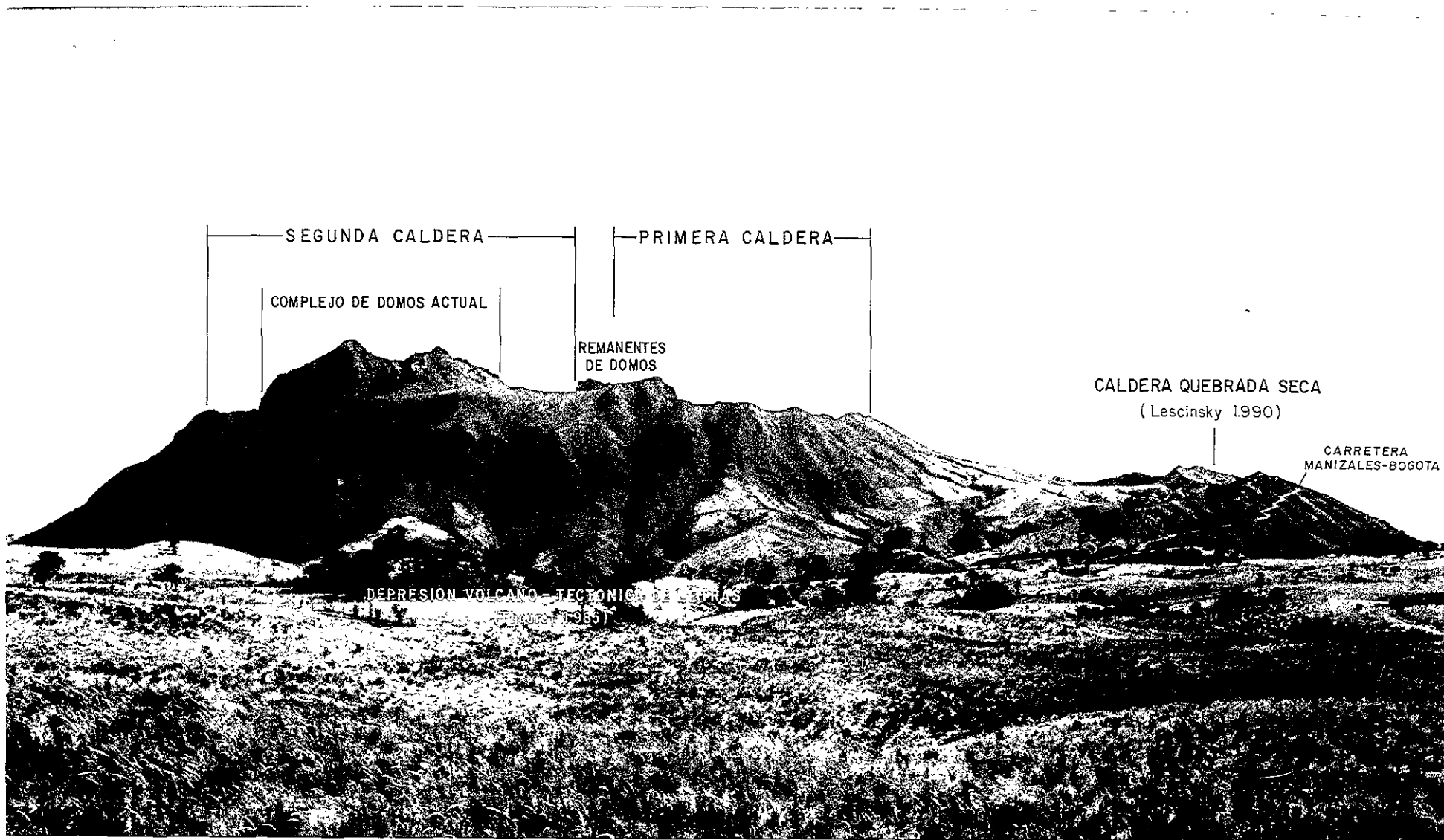
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS MINERIA Y QUIMICA
REGIONAL ALTO MAGDALENA-IBAGUE

MAPA PRELIMINAR DE AMENAZA VOLCANICA DEL VOLCAN
CERRO BRAVO



Ibagué, junio de 1991

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA



PANORAMA DEL VOLCAN CERRO BRAVO DESDE
LA POBLACION DE LETRAS (ToHma)
Foto: M.L. Monsalve (INGEOMINAS)



REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS MINERIA Y QUIMICA
I N G E O M I N A S
REGIONAL ALTO MAGDALENA

MAPA PRELIMINAR DE AMENAZA VOLCANICA DEL VOLCAN
CERRO BRAVO

Revisó:

JAIME ALBERTO FUQUEN M.

Ibagué. junio de 1991



REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS MINERIA Y QUIMICA
I N G E O M I N A S
REGIONAL ALTO MAGDALENA

MAPA PRELIMINAR DE AMENAZA VOLCANICA DEL VOLCAN
CERRO BRAVO

Por:

María Luisa Monsalve B.

Colaboración de: Alberto Núñez T.
Héctor Cepeda
Luis A. Murcia L.

Revisión: Jaime Alberto Fuquen M.

Ibagué, junio de 1991



REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GECCIENCIAS MINERIA Y QUIMICA
I N G E O M I N A S
REGIONAL ALTO MAGDALENA

MAPA PRELIMINAR DE AMENAZA VOLCANICA DEL VOLCAN
CERRO BRAVO

Informe No. _____

Por:

MARIA LUISA MONSALVE B: _____

Ibagué, junio de 1991



CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	
1. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivo	2
1.2. Localización geográfica	2
1.3. Marco geológico y estructural	3
1.4. Metodología	6
1.5. Trabajos anteriores	8
2. VULCANOLOGIA	9
2.1. Generalidades	9
2.2. Lavas	12
2.3. Domos	14
2.4. Flujos piroclásticos	15
2.4.1. Flujos de ceniza y bloques	15
2.4.1.1. Flujos de ceniza y bloques asociados a colapso de edificios volcánicos (Flujos de escombros)	17
2.4.1.2. Flujos de ceniza y bloques, producto de colapso de lavas	18
2.4.1.3. Flujos de ceniza y bloques producto de colapso y explosión de domos	19
- Flujo de La Plata	19
- Flujo de El Plan (sector del río Aguacatal)	20
- Flujo de ceniza y bloques de Brasil	25
2.4.2. Flujos de ceniza y pómez	31
2.4.2.1. Flujos de ceniza y pómez asociados a la primera caldera	32
- Flujo de ceniza y pómez del camino Puerto Brasil-Brasil	32



- Flujos de ceniza y pómez del sector del Plan	32
- Flujos de ceniza y pómez de la cañada del Doce	36
- Flujos de ceniza y pómez sector de San Fernando	39
2.4.2.2. Flujos de ceniza y pómez asociados a la segunda caldera	42
- Flujo de ceniza y pómez de la quebrada El Descanso	43
- Flujo de pómez de río Perrillo	45
- Flujo de ceniza y pómez del sector de Fredonia	46
2.4.3. Oleadas piroclásticas	48
2.5. Caída de piroclastos	51
2.5.1. proyectiles balísticos	51
2.5.2. Cenizas de caída	53
2.5.3. Depósitos plinianos de caída	53
2.5.3.1. Nivel 5	56
2.5.3.2. Nivel 10	58
2.5.3.3. Nivel 30 - Guía	63
2.5.3.4. Nivel 40	64
2.5.3.5. Nivel 60	71
2.5.3.6. Nivel 80	72
2.5.3.7. Nivel 100	76
2.5.3.8. Nivel 130	77
2.5.3.9. Nivel 150	77
2.5.3.10. Nivel 170	81
2.5.3.11. Nivel 190	82
2.6. Flujos de lodo	87
2.7. Actividad termal	88
2.8. Esquema de la evolución geológica del volcán Cerro Bravo	89
3. AMENAZA VOLCANICA DE CERRO BRAVO	97
3.1. Amenaza por piroclastos de caída	98
3.2. Amenaza por flujos piroclásticos	103
3.2.1. Amenaza por flujos de ceniza y bloques	104
3.2.2. Amenaza por flujos de ceniza y pómez	106
3.2.3. Amenaza por surges	107



3.3.	Amenaza por formación de domos	108
3.4.	Amenaza por flujos de lavas	109
3.5.	Amenaza por flujos de lodo	112
3.6.	Amenaza por sismos volcánicos	115
3.7.	Amenaza por gases volcánicos	116
4.	ZONIFICACION PROBABILISTICA RELATIVA	117
5.	VIGILANCIA	122
6.	CONCLUSIONES	125
7.	RECOMENDACIONES	126
8.	BIBLIOGRAFIA	128



FIGURAS

	Pág.
1. Localización geográfica del Volcán Cerro Bravo	4
2. Flujo de lava de la primera caldera del Volcán Cerro Bravo. Localidad: carretera Letras - El Doce	13
3. Sección estratigráfica del anillo piroclástico "tuff ring", asociado al complejo de domos de la segunda caldera (Estación ML 4).	16
4. Flujo de ceniza y bloques de La Plata. Nótese la "litificación". Localidad: La Plata.	21
5. Panorámica del sector del Plan. Se observan el flujo de ceniza y bloques de El Plan, coladas de lava de mayor longitud, flujos de lava que originaron flujos de ceniza y bloques y el edificio volcánico del Cerro Bravo, con su Complejo de Domos. Fotografía tomada desde La Albania (carretera Manizales-Bogotá) al oriente del volcán.	22
6. Flujo de ceniza y bloques de El Plan. Nótese los diferentes niveles de flujos y los "pipes" Localidad: quebrada El Jordán, cerca a la desembocadura en el río Aguacatal.	24
7. Columna estratigráfica mostrando la relación de algunos eventos piroclásticos con el flujo de ceniza y bloques de El Plan. Sector quebrada El Jordán (Estación Ml 109).	26
8. Panorámica del sector norte del Volcán Cerro Bravo; obsérvese el abanico formado por el Flujo de ceniza y bloques de Brasil. Hacia el sector noroccidental flujo de ceniza y pómez de Fredonia Fotografía tomada desde la margen norte del río Perrillo.	28



9a.	Sección del flujo de ceniza y bloques de Brasil en el camino Brasil-Río Perrillo.	29
9b.	Sección del flujo de ceniza y bloques de Brasil y su transición a flujo de ceniza y pómez en el camino Brasil-La Plata.	
9c.	Sección del flujo de ceniza y bloques de Brasil y su relación con el flujo de ceniza y pómez de Fredonia.	
10.	Correlación estratigráfica de flujos de ceniza y pómez que afloran alrededor del Volcán Cerro Bravo	34
10a.	Sector quebrada Jordán	
10b.	Relación de flujos infra y suprayacentes al nivel guía CB3 sector El Plan	
10c.	Sector quebrada Seca	
10d.	Sector occidental	
11.	Columna estratigráfica mostrando la secuencia de flujos de ceniza y pómez, correspondientes a los eventos CB3 y CB4 en el sector occidental del Volcán Cerro Bravo. Estación ML 117.	37
12.	Flujos de ceniza y pómez del sector occidental del volcán. Localidad: quebrada San Fernando	41
13.	Flujo de ceniza y pómez de la quebrada El Descanso	44
14.	"Surges" correlacionables con el evento CB3. Localidad: El Doce	50
15.	Relación estratigráfica con el nivel guía CB3 del nivel de "surges" correlacionable con un evento de explosión dirigida "blast".	52
16.	Correlación estratigráfica de los diferentes depósitos plinianos de caída en el área del Volcán Cerro Bravo	54
16a.	Quebrada Letras viejas (columna tipo)	
16b.	Cabeceras río Guacaica	



16c.	Cabeceras río Perrillo	
16d.	Carretera a la Plazuela	
16e.	Carretera desviación de Letras	
17.	Intercalaciones de piroclastos de caída; ceniza y niveles plinianos del Volcán Cerro Bravo. Sector Letras-El Doce.	55
18.	Mapa de isopacas del nivel pliniano CB1. Volcán Cerro Bravo.	59
19.	Mapa de isopacas. Nivel 10. Volcán Cerro Bravo	60
20.	Mapa de isopletras de pómez. Nivel 10. Volcán Cerro Bravo	61
21.	Mapa de isopletras de líticos. Nivel 10. Volcán Cerro Bravo	62
22.	Mapa de isopacas. Nivel 30. Volcán Cerro Bravo	65
23.	Mapa de isopletras de pómez. Nivel 30. Volcán Cerro Bravo	66
24.	Mapa de isopletras de líticos. Nivel 30. Volcán Cerro Bravo	67
25.	Mapa de isopacas. Nivel 40. Volcán Cerro Bravo	68
26.	Mapa de isopletras de pómez. Nivel 40. Volcán Cerro Bravo	69
27.	Mapa de isopletras de líticos. Nivel 40. Volcán Cerro Bravo	70
28.	Mapa de isopacas. Nivel 80. Volcán Cerro Bravo	73
29.	Mapa de isopletras de pómez. Volcán Cerro Bravo	74
30.	Mapa de isopletras de líticos. Nivel 80. Volcán	75
31.	Mapa de isopacas. Nivel 150. Volcán Cerro Bravo	78
32.	Mapa de isopletras de pómez. Nivel 150. Volcán Cerro Bravo	79
33.	Mapa de isopletras de líticos. Nivel 150. Volcán Cerro Bravo	80



34.	Mapa de isopacas. Nivel 190 (inferior). Volcán Cerro Bravo	83
35.	Mapa de isopacas. Nivel 190 (total). Volcán Cerro Bravo	84
36.	Mapa de isopletras de pómez. Nivel 190. Volcán Cerro Bravo	85
37.	Mapa de isopletras de líticos. Nivel 190. Volcán Cerro Bravo	86
38.	Fuentes termales del Volcán Cerro Bravo	90
38a.	Quebrada el Jordán 2400 m	
38b.	Quebrada El Jordán 2150 m	
39.	Esquema de la evolución geológica del Cerro Bravo actual. Diseñado por M.L.Monsalve	92
40.	Zonas amenazadas por piroclastos de caída y proyectados balísticamente Volcán Cerro Bravo	99
41.	Zonas amenazadas por flujos piroclásticos del Volcán Cerro Bravo	105
42.	Zonas amenazadas por flujos y colapso de flujos de lava del Volcán Cerro Bravo	111
43.	Zonas amenazadas por flujos de lodo del Volcán Cerro Bravo	113
44.	Localización de red de deformación en el Volcán Cerro Bravo	123



LISTA DE TABLAS

	Pág.
1. Dinámica eruptiva del Volcán Cerro Bravo (Tomado de Lescinsky, 1990).	57
2. Volcán Cerro Bravo; severidad y severidad ponderada para los eventos de amenaza volcánica potencial.	119



1. INTRODUCCION

Una herramienta básica del planificador y de las personas que toman decisiones sobre uso del suelo, es el conocimiento de las áreas expuestas o amenazadas por eventos naturales.

Bajo este punto de vista las instituciones departamentales y nacionales, que conforman el Comité Regional de Emergencias del Tolima "CRET" diseñaron el "Sistema Integral de Prevención y Manejo de Emergencias", adoptado por el gobierno departamental mediante el Decreto 1448 de diciembre 15 de 1988. El sistema tiene como objetivo general "organizar y fortalecer en el departamento del Tolima, una estructura administrativa, logística y operativa del manejo integral de emergencias, a través de la implementación de un trabajo interinstitucional para disminuir la vulnerabilidad de la población y prevenir, mitigar y atender el efecto de las amenazas de origen natural o generadas por el hombre, evitando así la pérdida de vidas humanas, de bienes y del medio ambiente" (Gobernación Tolima - CRET, 1988).

Con este propósito el INGEOMINAS, a través de la Regional Alto Magdalena con sede en Ibagué, preparó el proyecto "Mapa de Amenaza Volcánica de Cerro Bravo y Nevado de Santa Isabel", con el fin de complementar el mapa de amenaza



volcánica del Tolima. Los costos directos del proyecto fueron financiados por la Gobernación del departamento, mediante un convenio suscrito con INGEOMINAS, en diciembre 26 de 1989.

Las labores se iniciaron en julio de 1990 y en este informe se describe la geología, historia eruptiva, amenazas volcánicas potenciales y zonificación probabilística del volcán Cerro Bravo. Los aspectos concernientes al Nevado de Santa Isabel son descritos en otro trabajo.

1.1. OBJETIVO

El proyecto tuvo como objetivo fundamental determinar, con el nivel de conocimiento que se tiene sobre el Cerro Bravo y considerando como foco volcánico las calderas actuales, las áreas potencialmente amenazadas por eventuales erupciones del volcán.

1.2. LOCALIZACION GEOGRAFICA

Cerro Bravo ($5,09^{\circ}$ N - $75,29^{\circ}$ W) es un estrato-volcán andesítico-dacítico, de 4050 m de altura; es tal vez el edificio volcánico activo más septentrional de la cadena andina y está ubicado en el páramo de Letras, desplazado 5 Km al oriente de la cima de la Cordillera Central de Colombia,



en territorio del departamento del Tolima, muy cerca al límite con Caldas (Figura 1).

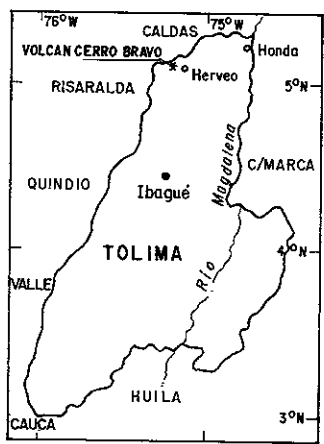
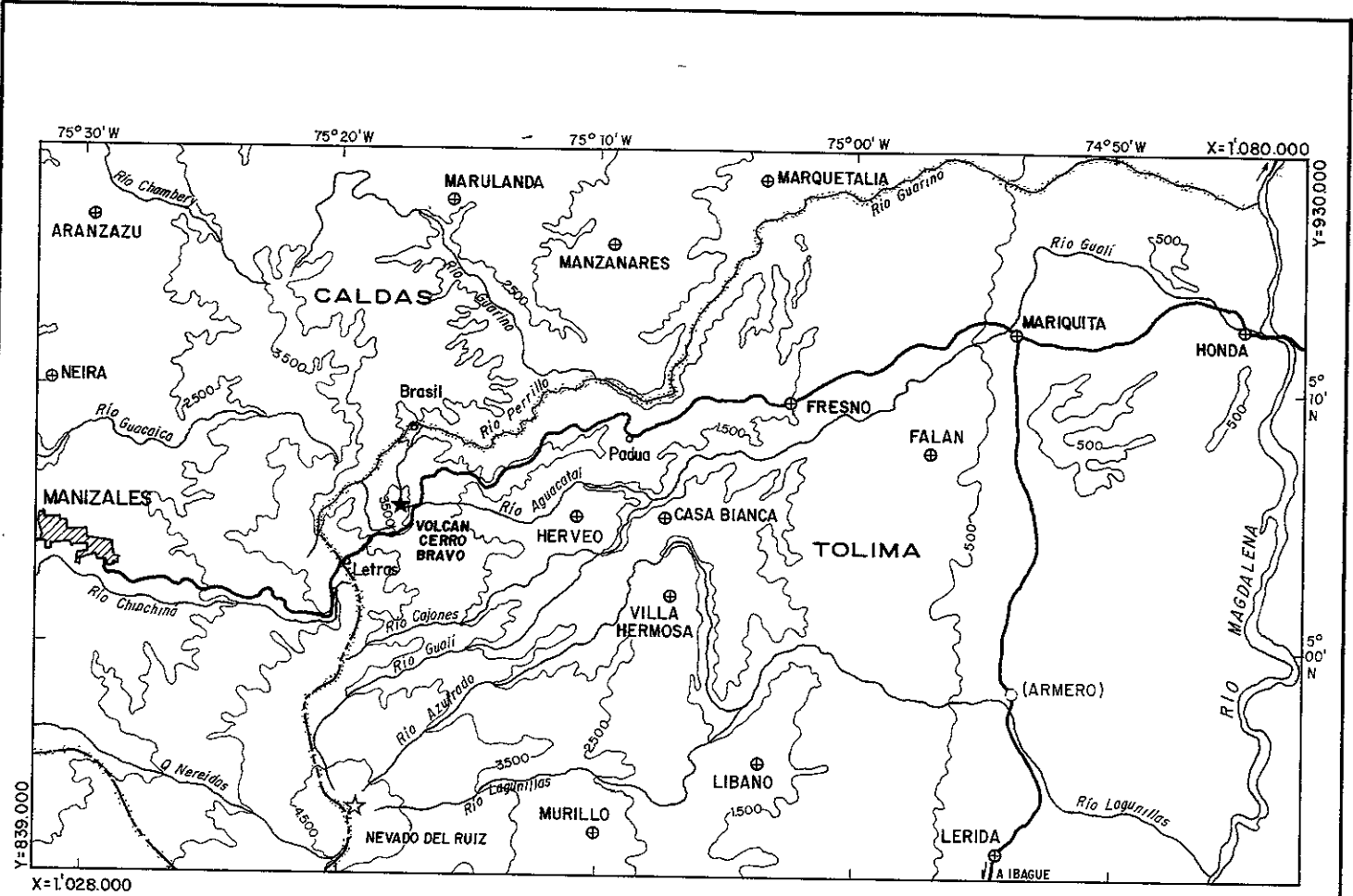
El volcán se encuentra al noroeste de Bogotá, capital de Colombia, e Ibagué, capital del departamento del Tolima, distantes, respectivamente, 150 y 65 Km. Por su base, en los costados sur y oriental, pasa la carretera nacional que une a Manizales con Bogotá; sobre ella se encuentran, además, las poblaciones tolimenses de Fresno, Mariquita y Honda, entre otras.

Cerro Bravo se halla en jurisdicción del municipio de Herveo, en una zona de intenso desarrollo agrícola y ganadero. Los caseríos de Letras o La Esperanza en el suroccidente, y Brasil en el norte, se encuentran a menos de 10 Km del centro volcánico. La región es drenada por los ríos Perrillo y Aguacatal; ellos llevan sus aguas al Guarinó y Gualí, respectivamente, que a su vez las tributan al río Magdalena.

1.3. MARCO GEOLOGICO Y ESTRUCTURAL

El volcán Cerro Bravo está localizado en el segmento volcánico activo más septentrional de la Cordillera de Los Andes. Este vulcanismo está asociado a un margen continental activo, producido por la subducción de la Placa de Nazca bajo

16.5



- Limite departamental
- ⊕ Cabecera municipal
- Caserio
- Carretera principal
- 3500- Curva de nivel
- ~ Río y/o quebrada

INGEOMINAS	
GOBERNACION DEL TOLIMA-CRET	
LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL VOLCAN CERRO BRAVO	
Autor: Alberto Nuñez T. Ma. Luisa Monsalve	Dibujó: Cartografía-Ingeominas
<p>ESCALA</p>	Abril - 1991
FIGURA 1	



la Miniplaca del Bloque Andino; su emplazamiento está relacionado, además, con tres sistemas de fallas, dos de ellos de carácter regional.

- 1- Sistema de dirección N 10 - 30 E, que corresponde al Sistema de Fallas de Palestina.
- 2- Sistema de dirección N 30 - 60 W, que corta y segmenta al Sistema Palestina.
- 3- Sistema E - W, de carácter local.

De estos tres sistemas el principal es el de Palestina que, según Feininger (1970), es de rumbo, con desplazamiento lateral derecho de 28 km. Este sistema tiene actividad neotectónica y está conformado por diferentes fallas subparalelas; las más importantes, en concepto de Cuéllar et al. (1990), son: Falla de Cerro Bravo - Manzanares, que controla el curso alto del río Ferrillo, Falla de Delgaditas y Falla de Herveo-Padua.

Los sistemas de falla de dirección N-W y E-W son de tipo normal, de longitud más corta y expresión morfológica menos acentuada; estas estructuras interceptan el Sistema de Palestina, formando un complejo tectónico-estructural que permitió que en el cruce de fallas se localizaran calderas, cráteres y domos del volcán Cerro Bravo.



Este mismo marco geotectónico es el responsable del vulcanismo al norte y sur del Cerro Bravo representado, entre otros, por los volcanes El Contento, Cerro Guadalupe y Laguna de San Diego, al norte, y Nevado del Ruiz, El Cisne y Nevado de Santa Isabel, al sur. Esta situación sugiere que, adicional a los desplazamientos de rumbo, existen esfuerzos tensionales que permiten el ascenso de magmas a la superficie.

1.4. METODOLOGIA

Para la elaboración del Mapa Preliminar de Amenaza Volcánica del Volcán Cerro Bravo se tuvo en cuenta la siguiente metodología:

- Recopilación, análisis y evaluación de información existente, que permitió programar la fase de recolección de datos de campo. Los trabajos existentes permitieron tener un registro aproximado de las erupciones, basado en dataciones radiométricas, así como un buen análisis de los depósitos plinianos de caída.

- Estudios fotogeológicos y trabajos de campo, que permitieron identificar los productos volcánicos emitidos en



anteriores erupciones, así como su distribución. Con estos datos se elaboró un mapa geológico escala 1:50.000 (Anexo 1).

- Levantamiento de 76 columnas estratigráficas, con las que se correlacionaron los depósitos volcánicos del Cerro Bravo y se diferenciaron los eventos eruptivos. En los depósitos plinianos de caída se midieron los espesores, en diferentes localidades, así como los tamaños máximos y mínimos del material juvenil, para elaborar mapas de isopacas e isopletas que dan una idea del tipo y características de la erupción que dio origen a estos depósitos.

- Del registro geológico, del análisis de los trabajos anteriores, de las características de las erupciones y del estado actual de evolución del Cerro Bravo se obtuvieron las áreas amenazadas por los siguientes productos eruptivos: caída de piroclastos, incluidos proyectiles balísticos, flujos piroclásticos, flujos de lodo y lavas.

- Con estos mapas, que muestran las áreas amenazadas por cada uno de estos fenómenos, y los criterios de Parra et al. (1986) y Parra and Cepeda (1990) se estableció la zonificación probabilística relativa, lo que permitió confeccionar el "Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Cerro Bravo" (Anexo 2).



1.5. TRABAJOS ANTERIORES

Del volcán Cerro Bravo sólo se conocen tres investigaciones específicas: Thouret et al. (1985) y Calvache et al. (1987), quienes tratan sobre los aspectos estructurales y mecanismos eruptivos, y Lescinsky (1990), que tuvo como objetivo el estudio de los productos eruptivos, especialmente los depósitos plinianos de caída, y, en forma subordinada, la elaboración de un mapa de amenaza volcánica.

Existen, además, otros trabajos que se refieren al Complejo Volcánico Ruiz-Tolima, al cual pertenece el volcán Cerro Bravo; entre éstos sobresalen los de Herd (1974) quien es, tal vez, la primera persona en reconocer al volcán Cerro Bravo como tal y sus productos eruptivos. Thouret (1984) hace mención del volcán y la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC, 1983), al evaluar el potencial geotérmico del área, estudia también al Cerro Bravo.

Otras investigaciones de carácter más regional son las de Mosquera (1978), que describe la geología regional de la zona, Ramírez (1982), que analiza los volcanes colombianos, y Flórez (1986), que describe la geomorfología del área.



2. VULCANOLOGIA

2.1. GENERALIDADES.

El volcán Cerro Bravo actual está constituido por dos estructuras caldéricas concatenadas; la más reciente de ellas, ubicada al norte, está ocupada por un complejo de domos que conforman el edificio activo propiamente dicho (ver contraportada).

La estructura sur, o primera caldera, tiene un diámetro aproximado de 1.5 Km; está parcialmente destruída, en el sector norte, en donde se encuentran los remanentes de un domo y parte de la caldera norte o segunda caldera.

La segunda caldera, que es la más reciente, tiene un diámetro cercano a 1 Km; se encuentra ocupada en su totalidad, por el complejo de domos, que constituyen los productos más recientes de la actividad volcánica del Cerro Bravo. Los domos presentan pequeños cráteres de explosión, indicativos de que la actividad más reciente del volcán ha estado concentrada en esta zona. La caldera se encuentra parcialmente destruída, hacia el norte, debido al colapso de uno de estos domos.



Aparentemente las dos calderas del Cerro Bravo actual son alimentadas por una misma cámara magmática; esto explicaría la similitud petrográfica y geoquímica de los productos asociados a ellas (Lescinsky 1990). Investigaciones de la CHEC (1983), proponen la misma situación, así como una migración del vulcanismo en sentido sur-norte. Teniendo en cuenta el estado de conservación de los edificios y las dataciones radiométricas, obtenidas por Herd (1974) y Lescinsky (1990), correlacionadas en el presente trabajo con eventos asociados a cada una de las estructuras caldéricas, se puede pensar en por lo menos una época en que los dos edificios han sido activos simultáneamente; por esta razón es necesario investigar sobre la supuesta inactividad actual de la caldera sur.

Remanentes de una estructura caldérica más antigua, se encuentran al sur de Cerro Bravo actual, en el sector de El Doce, y corresponden al antiguo Cerro Bravo; una de sus lavas fue datada por Thouret (1985, en Lescinsky, 1990), en 50 ± 50 Ka (50.000 ± 50 años). Esta estructura es llamada por Lescinsky (1990), Caldera de Quebrada Seca. En concepto de los autores mencionados, esta caldera tendría un diámetro de 3 Km; los estudios de CHEC (1983) Y Thouret (1984), proponen una estructura de dimensiones mayores pero, al igual que en este trabajo, fuera de productos lávicos y brechas, otros



productos asociados a ella no están plenamente identificados o diferenciados debido, quizás, a que en cercanías de la estructura la gran mayoría fueron depósitos piroclásticos, erosionados posteriormente por acción glacial.

El basamento del volcán está constituido por rocas intrusivas terciarias, de composición granodiorítica, correspondientes al Stock de Manizales, y metamorfitas paleozoicas del Grupo Cajamarca.

Los productos de la actividad volcánica del Cerro Bravo son, predominantemente, piroclastos y domos; en forma subordinada se presentan flujos de lava. Los depósitos piroclásticos corresponden a oleadas ("surges"), flujos y caídas. Esta situación evidencia el carácter explosivo de la actividad reciente del volcán.

La geología de los alrededores del volcán Cerro Bravo se muestra en el Anexo 1. El mapa de localización de estaciones y las columnas estratigráficas levantadas se pueden consultar en los archivos de la Regional Alto Magdalena con sede en Ibagué.



2.2. LAVAS.

Las lavas del Cerro Bravo corresponden a la construcción de los dos edificios volcánicos y se encuentran, por lo regular, cubiertas por piroclastos; sus afloramientos están restringidos a incisiones morfológicas y algunos cortes de carreteras. Son, por lo general, flujos de lavas masivas a bloques, espesos y de corta longitud (Figura 2). Los de mayor extensión afloran en el sector oriental del volcán y alcanzan 3 Km de longitud y hasta 100 m de espesor.

Macroscópicamente son muy homogéneas: color gris, textura porfirítica gruesa a media, con fenocristales de plagioclasa y máficos; en algunas ocasiones es posible distinguir cuarzo y biotita. Con frecuencia la textura y apariencia de las coladas de lava son similares a las de los domos; estos últimos son porfiríticos más gruesos. Su composición se encuentra en el rango de las andesitas ácidas a dacitas.

Petrográficamente las lavas tienen una mineralogía muy regular y similar a la del material juvenil de los productos piroclásticos, como lo reconoció Lescinsky (1990). Consisten en plagioclasa, hornblenda, ortopiroxeno y titanomagnetita; relictos de cuarzo y biotita son algo comunes y la escasez o

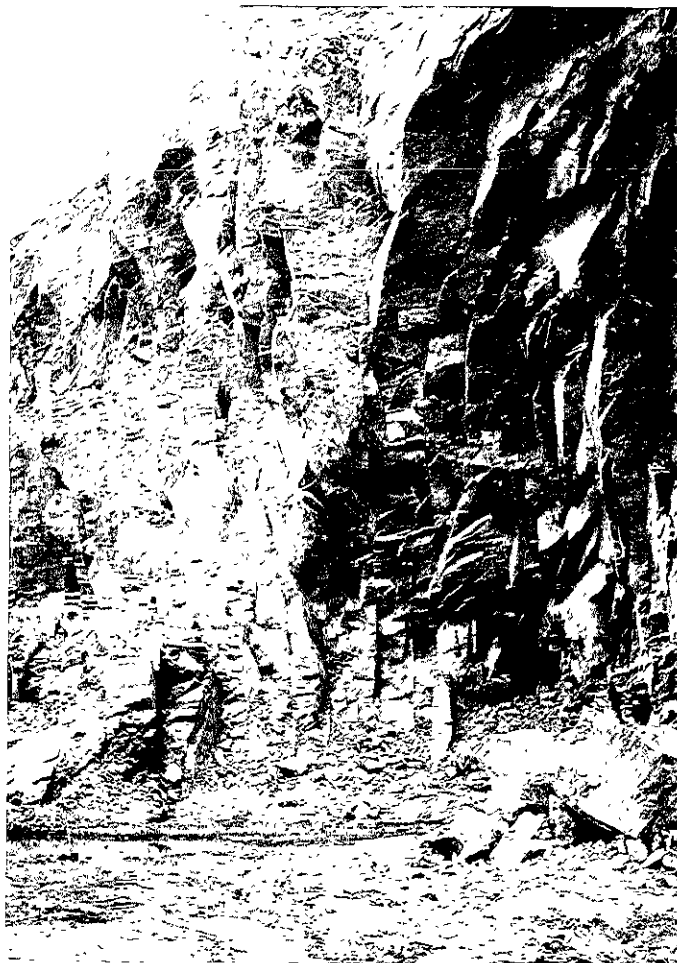


Figura 2. Flujo de lava de la primera caldera del volcán Cerro Bravo. Localidad: carretera Letras-El Doce.



ausencia de clinopiroxeno es una característica notoria de los productos volcánicos del Cerro Bravo.

Lavas, aparentemente más antiguas, son porfiríticas finas, algo granulares, con fenocristales pequeños de plagioclasa y máficos, en una matriz gris, afanítica; uno de estos flujos aflora en la cañada del Doce y parece pertenecer a la construcción del Cerro Bravo antiguo.

2.3. DOMOS

El volcán Cerro Bravo ha tenido, a lo largo de su historia, numerosos eventos de construcción y destrucción de domos. El episodio más reciente originó los domos que conforman el edificio moderno y que ocupan, totalmente, la caldera norte. Estos domos muestran una morfología en espigas y están rematados por pequeños cráteres de explosión, bien conservados, que demuestran su actividad reciente.

Asociado al complejo de domos se encuentra un anillo piroclástico ("tuff ring"), de forma semicircular, preservado sólo en el costado sur debido a los procesos de emplazamiento y destrucción de domos. Este anillo estaría relacionado con el ascenso y crecimiento de uno de estos domos.



La Figura 3 (Estación ML 4), muestra la sección generalizada del anillo piroclástico; en cada uno de los niveles se encuentra, como material juvenil, una roca no vesiculada, de color blanco, porfirítica media, con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y máficos, muy vítrea; el vidrio, ocasionalmente, es fibroso; la roca corresponde a un tipo de pómez densa.

La asociación del anillo piroclástico con el emplazamiento de un domo, pudo ser producto de actividad freatomagmática (Wohltz and Sheridan, 1983), evidenciada por la secuencia misma del anillo; esta actividad incluyó emplazamiento de brechas, intercaladas con capas de oleadas ("surges"). La posible presencia de un lago cratérico, tuvo que ver en este tipo de erupción.

2.4. FLUJOS PIROCLASTICOS

El emplazamiento y destrucción de los domos antiguos y el complejo actual, dieron origen a varios tipos de flujos piroclásticos, originados por diferentes mecanismos eruptivos.

2.4.1. Flujos de ceniza y bloques. Siguiendo la clasificación de Fisher and Schmincke (1984), los flujos de

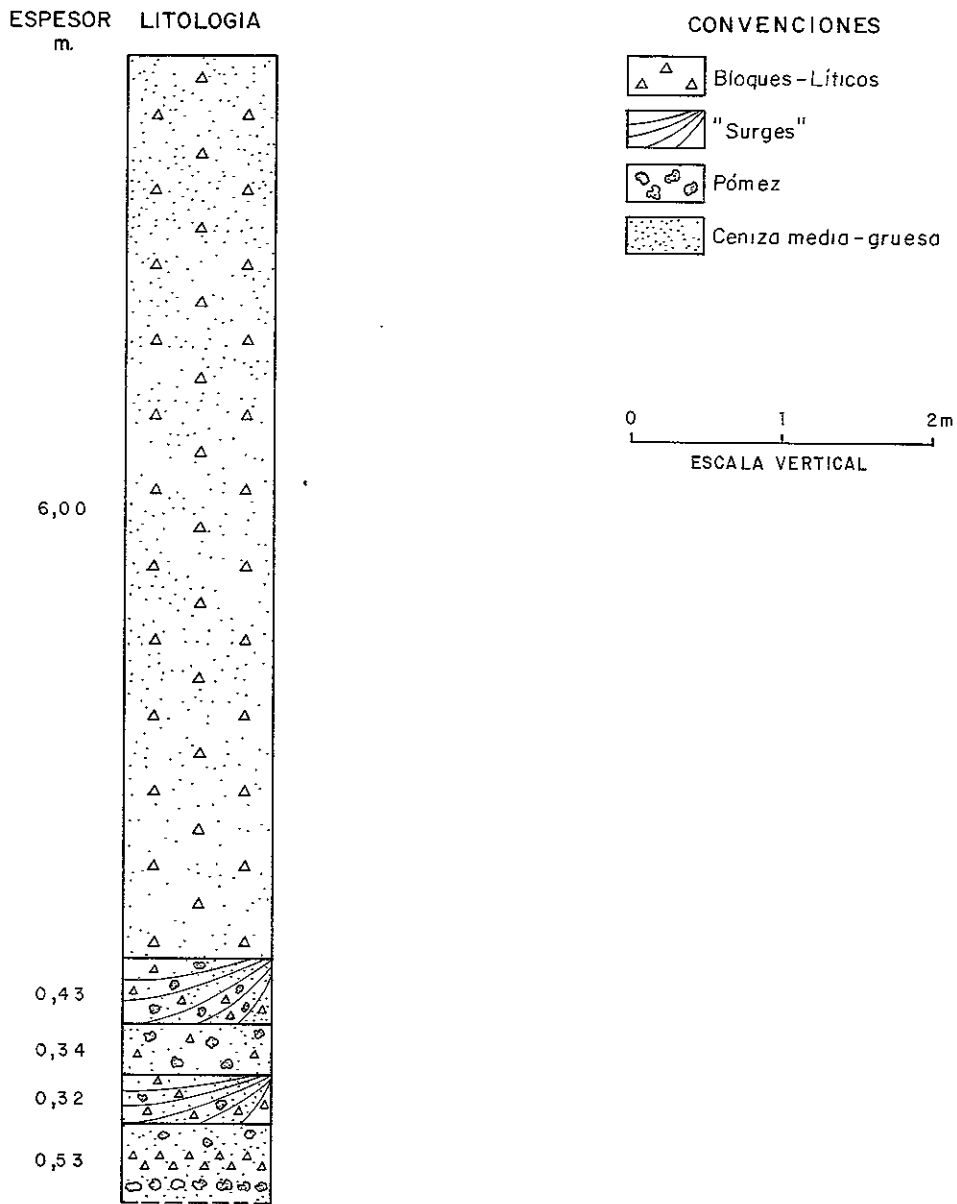


FIGURA 3 : Sección estratigráfica del anillo piroclástico "tuff ring" asociado al complejo de domos de la segunda caldera. (Estación ML 4).



ceniza y bloques pueden ser originados por explosión de domos o desintegración de flujos de lava. Adicionalmente, los flujos de escombros, producto de colapso de edificios volcánicos, también dan depósitos de ceniza y bloques. A la actividad del volcán Cerro Bravo se encuentran asociados flujos de ceniza y bloques ocasionados por colapso de edificios volcánicos (flujos de escombros), colapso de lavas y, los más comunes, colapso y explosión de domos; de este último tipo son los productos principales asociados al edificio del Cerro Bravo actual.

2.4.1.1. Flujos de ceniza y bloques asociados a colapso de edificios volcánicos (Flujos de escombros). Se trata de depósitos caóticos, muy alterados, constituidos, principalmente, por fragmentos de rocas volcánicas de variado tipo y composición, embebidos en una matriz arcillosa de color amarillo-rojiza; localmente estos depósitos forman el sub-basamento del Cerro Bravo actual. Afloramientos se observan en la carretera Delgaditas-Herveo, quebrada La Arenosa, al oriente del volcán, y como remanentes en el sector norte; estos últimos, a pesar de hallarse menos alterados que los del oriente, parecen corresponder al mismo episodio, ya que no existen evidencias estratigráficas para pensar en otro evento de este tipo.



Estos depósitos hacen parte de la Formación Casabianca, descrita por Borrero y Naranjo (1990), que tiene un origen volcanoclástico, asociado al terreno volcánico del Complejo Ruiz-Tolima, en donde se encuentra ubicado el Cerro Bravo. Para Thouret et al. (1985) la edad de la Formación Casabianca está comprendida entre 4 y 1.2 ma. Las facies de flujos de escombros podrían entonces estar asociadas a la actividad del antiguo Cerro Bravo.

2.4.1.2. Flujos de ceniza y bloques producto de colapso de lavas. Estos depósitos han sido denominados por Lescinsky (1990) "chutes" y son un producto frecuente en el Cerro Bravo, especialmente en la zona oriental. Su formación está asociada a la efusión de lavas ácidas, de alta viscosidad, en zonas de fuerte pendiente topográfica; bajo estas condiciones los flujos se tornan inestables, colapsando y dando origen a depósitos de ceniza y bloques, monolitológicos, con características algo similares a las de las acumulaciones producidas por explosión o colapso gravitacional de domos.

En la cartografía geológica se hace la diferenciación, entre estos dos tipos de flujo, ya que los originados por colapso de lavas son muy localizados, tienen menor volumen y, algunas veces, es visible la colada de lava que los originó; adicionalmente no es corriente encontrar, dentro de ellos,



material juvenil punitico muy frecuente en los flujos producto de explosión de domos.

En el sector oriental, algunos de estos depósitos que tienen su origen en flujos de lava asociados a la segunda caldera, afloran suprayaciendo el nivel guía CBS, que tiene su origen en la caldera sur, indicando así que la construcción de la caldera norte se llevó a cabo mientras era aún activa la primera, y que los dos edificios eran activos simultáneamente.

2.4.1.3. Flujos de ceniza y bloques producto de colapso y explosión de domos. Se han identificado, al menos, tres episodios de importancia producidos por este mecanismo, que han dado lugar a los depósitos de mayor volumen asociados al volcán. Ellos son:

-Flujo de La Plata. Debido a su posición geográfica y estratigráfica, al grado de erosión y a la forma de presentación, se asume que es el depósito, de ceniza y bloques, más antiguo. Aflora como remanentes en las localidades de Fredonia, La Plata y camino Puerto Brasil-Brasil, al norte, y en la quebrada San Fernando, al occidente. Restos de un flujo, que aflora en el río Aguacatal y El Plan (carretera Delgaditas-Herveo) al oriente del



volcán, pueden corresponder al mismo evento, como se desprende de la similitud de sus características.

Son acumulaciones monolitológicas, con material juvenil representado por roca porfirítica gruesa, color gris, con abundantes fenocristales de plagioclasa y minerales máficos. La matriz es vítrea a afanítica, también de color gris. En menor proporción se encuentran fragmentos de roca porfirítica fina, color gris, con matriz afanítica. La matriz del depósito es ceniza, constituida, principalmente, por fragmentos líticos y fragmentos cristalinos. La característica principal del flujo es su fuerte litificación, que lo diferencia de los depósitos similares presentes en el área (Figura 4). Este depósito parece corresponder a una etapa anterior a la formación de la segunda caldera, que incluyó emplazamiento de domos, en la primera caldera, y su posterior destrucción.

-Flujo de El Plan (sector del río Aguacatal). Constituye un extenso depósito que se originó a partir de un domo, asociado a la primera caldera, del que aún se conservan vestigios entre las dos calderas. El flujo descendió por la quebrada Los Micos, constituyendo, en la parte baja, una zona plana delimitada por el río Aguacatal y la quebrada El Jordán (Figura 5).

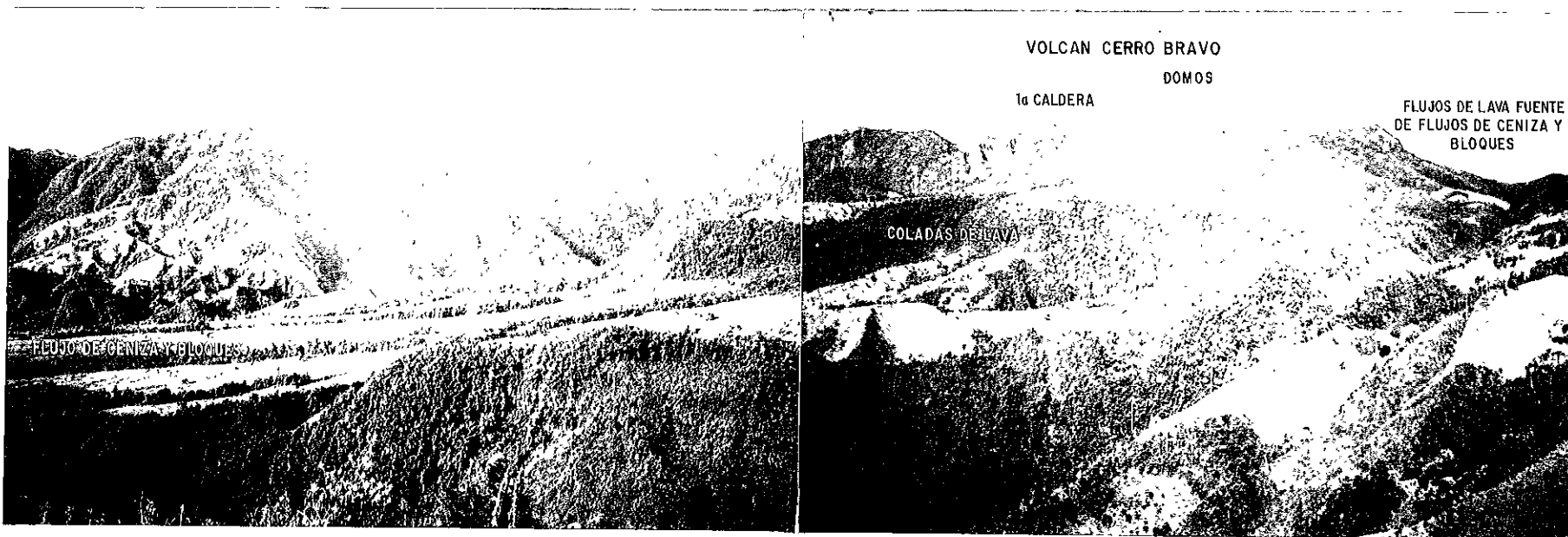


Figura 5. Panorámica del sector del Plan. Se observan el flujo de ceniza y bloques de El Plan, coladas de lava de mayor longitud, flujos de lava que originaron flujos de ceniza y bloques y el edificio volcánico del Cerro Bravo, con su Complejo de Domos. Fotografía tomada desde La Albania (carretera Manizales - Bogotá) al oriente del volcán.



Figura 4. Flujo de ceniza y bloques de La Plata. Nótese la "litificación". Localidad: La Plata.



Es un depósito compuesto por varios niveles caóticos de ceniza y bloques monolitológicos, grises, porfiríticos gruesos, matriz afanítica. los fenocrisotales son de plagioclasa y máficos, cuarzo ocasional. La matriz del depósito está compuesta por fragmentos líticos de la misma composición de los bloques y fragmentos cristalinos. Los niveles están separados, localmente, por capas más delgadas de ceniza rojiza (Figura 6). Algunos niveles, especialmente los superiores, se encuentran enriquecidos en material juvenil vesiculado pumítico; localmente éstos predominan, como sucede en la localidad del morro El Terrón, donde el flujo pasa literalmente a ser un flujo de ceniza y pómez que alcanza espesores cercanos a los 10 m.

En algunos afloramientos de la carretera Delgaditas-Herveo ciertos niveles son rojizos, hacia el tope, y grises, hacia la base; localmente los bloques se encuentran acumulados hacia la base y algunos niveles presentan también fragmentos juveniles, líticos y bombas corteza de pan, las cuales son rocas porfiríticas grises claras. algunas con interior pumítico, y con diámetro mayor de un metro. También se encuentran, en menor cantidad, pómez muy fibrosas. En este sector y en el depósito en general son comunes los pipes (conductos de desgasificación). La matriz forma el 60% del depósito, 35% son líticos y 5% pómez.



Figura 6. Flujo de ceniza y bloques de El Plan. Nótese los diferentes niveles de flujos y los "Pipes".
Localidad: quebrada El Jordán, cerca a la desembocadura en el río Aguacatal.



En la quebrada El Jordán (Figura 7, columna ML 108), el depósito está separado, por un paleosuelo, de un flujo piroclástico que lo suprayace y que puede ser relacionado con el evento que dio también origen al depósito pliniano de caída CB4 de Lescinsky (1990): esta relación estratigráfica permite inferir que el flujo de ceniza y bloques corresponde al evento eruptivo CB5, que de acuerdo a Lescinsky (1990), tendría una edad mayor de 3280 ± 150 años; para Herd (1974) sería menor de 2150 ± 100 años y según Thouret et al. (1985), estaría comprendido entre 2735 ± 30 , 2610 ± 35 y 2480 ± 100 años.

-Flujo de Ceniza y Bloques de Brasil. Es el flujo de ceniza y bloques más reciente, y parece corresponder, también, al episodio eruptivo más reciente del volcán Cerro Bravo, ya que sobre él no se observa ningún otro tipo de depósito. Su nombre se deriva de la población de Brasil (Tolima), edificada sobre él.

Las características estructurales y texturales de este flujo son muy similares a las del Plan (Aguacatal), indicando mecanismos eruptivos y condiciones de formación similares. Si bien el evento que dio origen al flujo del Plan parece haber sido de mayor magnitud.

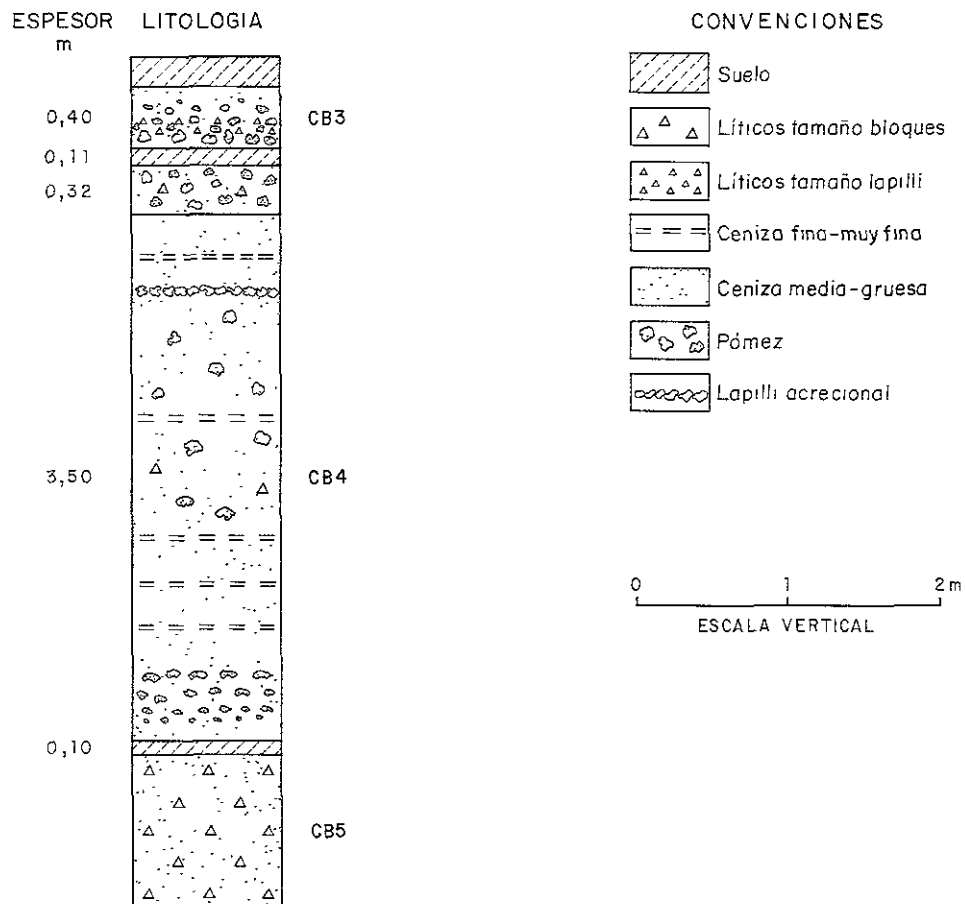


FIGURA 7. Columna estratigráfica mostrando la relación de algunos eventos proclásticos con el Flujo de Ceniza y Bloques de El Plan. Sector quebrada El Jordán. (Estacion ML 109).



El depósito se extiende, a partir del domo más septentrional, hacia el norte y noreste, en dirección al río Perrillo (Figura 8). Tiene una longitud aproximada de 8 Km y alcanza un espesor aproximado de 40 m, en el río Perrillo.

Una sección tipo del depósito, se observa en el camino que de Brasil conduce al río Perrillo (Figura 9a, columna estación ML 15). Se trata de un depósito compuesto por varios niveles cáuticos de ceniza y bloques: los bloques, monolitológicos, son rocas porfiríticas gruesas, con matriz afanítica, color gris y compuesta por fenocristales de plagioclasa de hasta 0.7 mm, máficos y, en menor cantidad, cuarzo. En algunos niveles se encuentran fragmentos juveniles de pómez, que vistos a la lupa binocular son blancos, con aspecto sacaróide, porfiríticos medios y con vesículas redondeadas, comúnmente rellenas por vidrio volcánico transparente; estas pómez indican que el depósito se originó por la explosión de un domo. Localmente se puede observar el tope del depósito y es posible apreciar el cambio transicional hacia la parte superior donde predominan las pómez (Figura 9b columna estación ML 26).

Ocasionalmente el depósito se encuentra enriquecido en otro tipo de líticos, especialmente en el contacto con lavas de la



Figura 8. Panorámica del sector norte del volcán Cerro Bravo: Obsérvese el abanico formado por el flujo de Ceniza y Bloques de Brasil. Hacia el sector noroccidental Flujo de Ceniza y Bómes de Fredonia. Fotografía tomada desde la margen norte del río Perrillo.

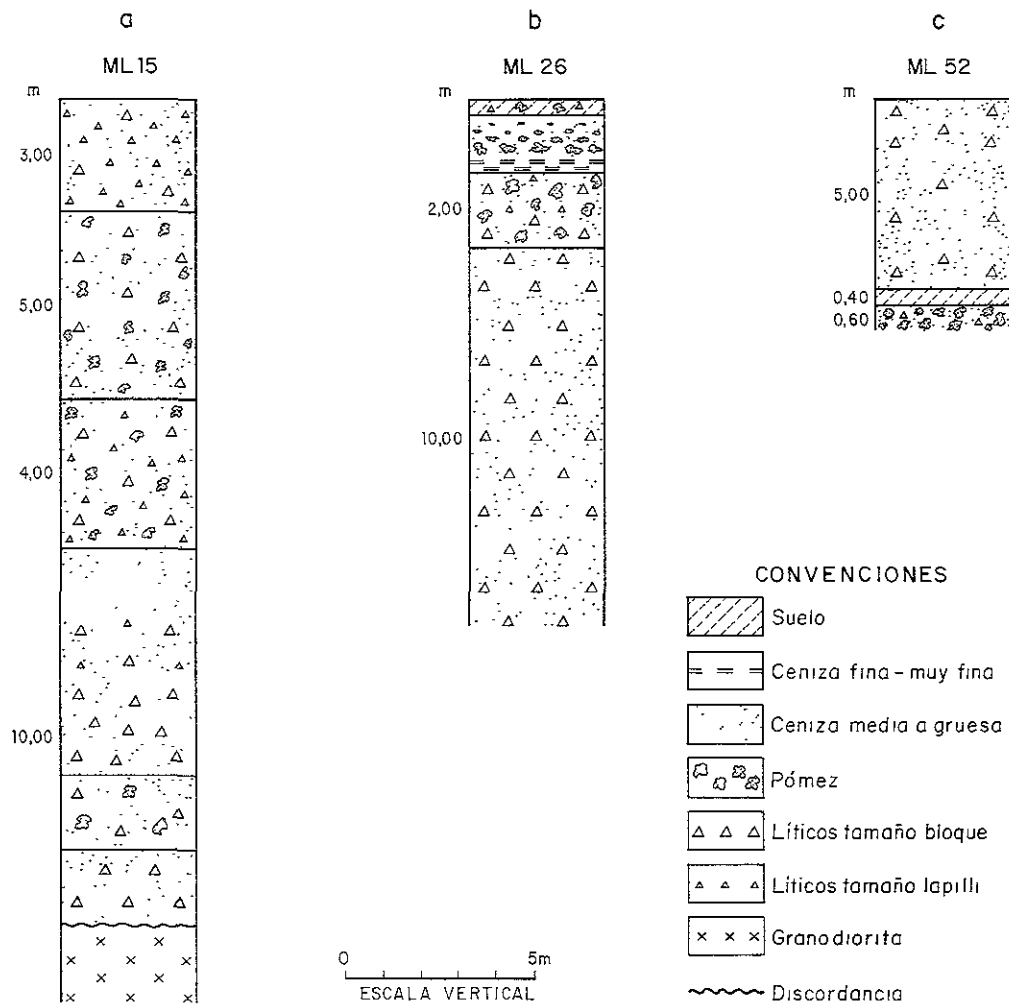


FIGURA 9: a - sección del Flujo de Ceniza y Bloques de Brasil en el camino Brasil-Río Perrillo
 b - sección del Flujo de Ceniza y Bloques de Brasil y su transición a flujo de ceniza y pómez en el camino Brasil-La Plata.
 c - sección del Flujo de Ceniza y Bloques de Brasil y su relación con el Flujo de Ceniza y Pómez de Fredonia.



segunda caldera. debido a la incorporación de fragmentos de ellas durante el avance del flujo. En otros lugares son muy abundantes los fragmentos porfiríticos gruesos. de color negro y más vítreos: esto puede ser debido a la anexión de material de la corteza del domo: esta parte del flujo representaría la fase inicial de la explosión del domo.

En algunos puntos distales se nota transición del flujo de ceniza y bloques a un depósito de ceniza y pómez. con predominio del material juvenil pumítico sobre los líticos. La pómez, encontrada en la parte superior de estas localidades tiene las mismas características de los fragmentos de pómez reportados en los otros niveles del depósito y en otros afloramientos. La matriz está compuesta. en su totalidad. por fragmentos líticos vítreos. similares a los bloques que conforman la fábrica del depósito. y por fragmentos cristalinos principalmente plagioclasa. máficos, cuarzo y biotita, los dos últimos ocasionales.

En algunos sitios. especialmente hacia el río Perrillo, el flujo descansa sobre el basamento del volcán. constituido allí por la granodiorita del Stock de Marizales. En sectores cercanos al volcán se encuentra suprayaciendo depósitos de flujos de ceniza y pómez aparentemente asociados a la



actividad de la segunda caldera (Figura 8c. columna estación MI 52).

2.4.2. Flujos de ceniza y pómez. Son muy comunes en el volcán Cerro Bravo: yacen alrededor del edificio y dentro de la primera caldera. Predominan hacia el noroccidente y occidente y la mayor parte parecen estar asociados a la formación de la caldera sur. Son, generalmente, de volumen pequeño y espesores variables, hasta 20 m. La correlación estratigráfica de estos flujos es difícil de realizar debido principalmente, a la similitud del material juvenil. Se han diferenciado nueve eventos de este tipo, sin tener en cuenta los que han sido generados inmediatamente después de la explosión de domos y que están involucrados directamente con los flujos de ceniza y bloques.

La mayoría de estos flujos de ceniza y pómez presentan variaciones verticales, como son cambio en granulometría, contenido de fragmentos juveniles, intercalaciones de "surges" o de cenizas finas, que indican cambios en las características de la erupción, dimensión del cráter o mecanismos eruptivos (Sheridan, 1979; Fisher and Schminke, 1984).



2.4.2.1. Flujos de ceniza y pómez asociados a la primera caldera. Los flujos de ceniza y pómez que están claramente asociados a la primera caldera afloran en el área del río Aguacatal (El Plan). al oriente: cañada del Doce. al sur, y sector de San Fernando. al occidente. Algunos de ellos se pueden correlacionar con los últimos eventos de erupciones plinianas.

-Flujo de ceniza y pómez del camino Puerto Brasil-Brasil.

De acuerdo al grado de meteorización y la apariencia general, uno de los depósitos de ceniza y pómez más antiguos aflora hacia el este, en el camino Puerto Brasil-Brasil. El evento que dio origen a este flujo pudo estar asociado a la primera caldera; la carencia de afloramientos en otros sectores, impide su ubicación estratigráfica precisa.

Se trata de un depósito caótico, con un 15-20% de pómez blanca, vesiculada, angular, con tamaños hasta 20 cm: los líticos (10%) son angulares, de tamaño y composición variada. La matriz es ceniza cristalina, de color rojizo, generalmente alterada.

-Flujos de ceniza y pómez del sector del Plan. Tres episodios que dieron origen a flujos de ceniza y pómez se reconocen en el sector del Plan: estos flujos descansan sobre las lavas y



el flujo de ceniza y bloques que aflora en esta región (Figuras 7 y 10). Los tres depósitos referenciados se pueden correlacionar con los flujos del sector del Doce y quebrada Seca (Figura 10). Los flujos infrayacen y suprayacen el nivel pliniano CB3, que es un nivel guía importante, datado por Lescinsky (1990) entre 860 ± 110 años y 940 ± 120 años. Dataciones de Haró (1974), en el paleosuelo suprayacente, han dado edades de 780 ± 90 y 810 ± 80 años.

El flujo que aflora en la parte más baja de la secuencia tiene 1.5 m, sin observar la base; es un depósito caótico, constituido, aproximadamente, en un 80% por ceniza (matriz), de color gris, conformada por fragmentos de pómez, cristales y en menor cantidad líticos. Los fragmentos juveniles son pómez vesiculadas (15% aproximadamente), de color blanco perlado, fibrosa y con textura sacaróide. Las vesículas son irregulares, la mayoría de ellas rellenas con fibras transparentes o perladas, algunas con vidrio oscuro o transparente. Es porfirítica media y en algunos sitios está enriquecida en máficos finos. Los líticos son grises, porfiríticos y forman un 5% del depósito. Este flujo está suprayacido por un suelo de color café y sobre él aflora el nivel guía CB3, pudiéndose correlacionar, de esta manera, con el evento que dio origen al nivel pliniano CB4, datado por

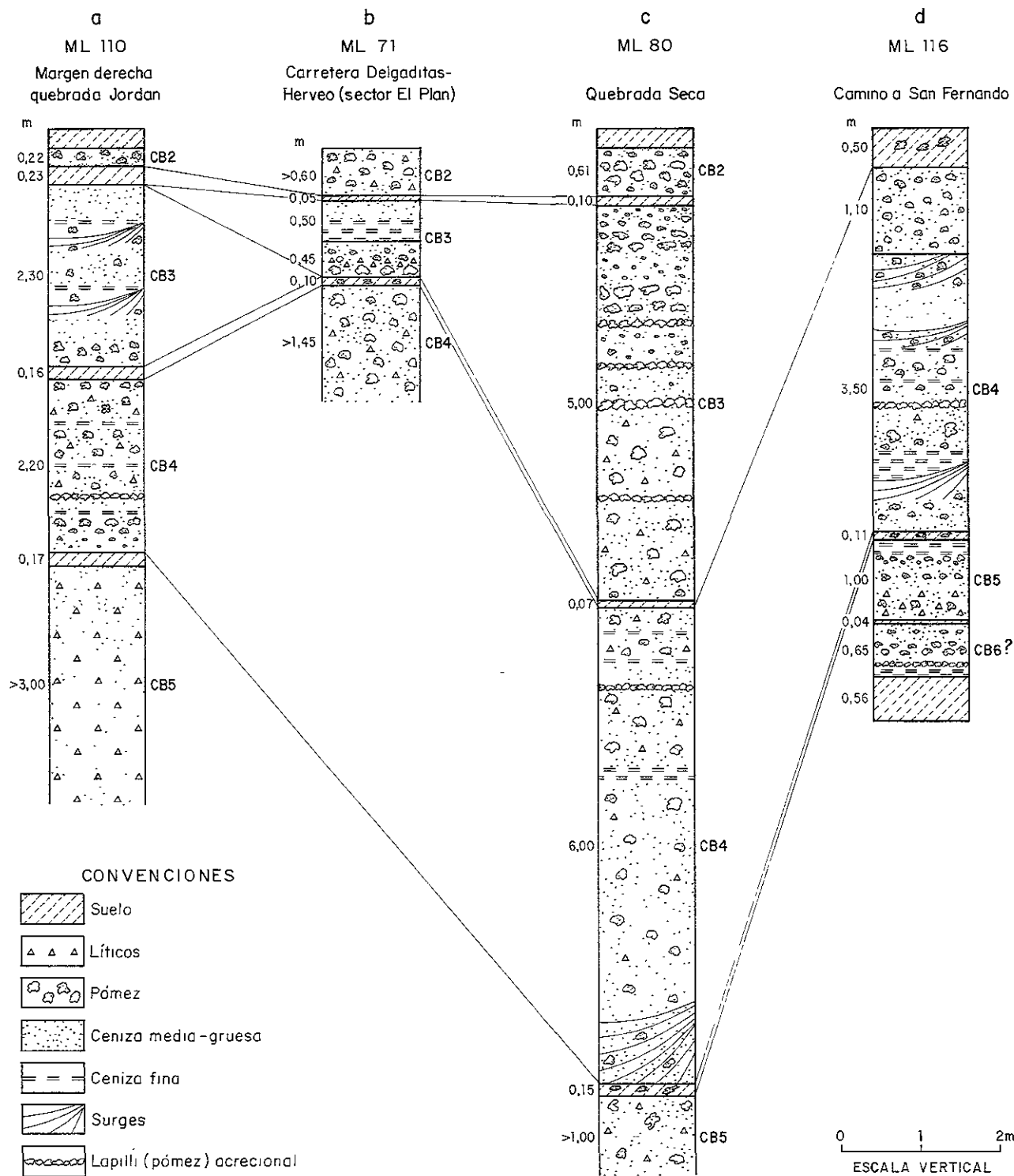


FIGURA 10. Correlación estratigráfica de flujos de ceniza y pómez que afloran alrededor del volcán Cerro Bravo.

a-sector quebrada Jordan. b-relación de flujos infra y suprayacentes al nivel guía CB3 sector El Plan.

c-sector quebrada Seca. d-sector occidental.



Leacinsky (1980) en 1190 = 120 y 1210 = 130 años y por Herd (1974), en 1070 = 80 años (Figuras 10a y 10b).

Suprayaciendo el nivel pliniano CB3, en esta misma región, y sobre un paleosuelo, aflora un remanente de otro flujo de ceniza y pómez, que podría correlacionarse con el nivel CB2, datado en 325 = 70 años por Leacinsky (1980). Este depósito es caótico, con predominio de matriz (80%) de ceniza de color café claro, compuesto por cristales y fragmentos líticos y pómez. Los fragmentos juveniles de pómez son de tamaño lapilli y forman el 10% del depósito. Son blancos, porfiríticos medios, vesiculados y algo fibrosos. Los líticos son tamaño lapilli y constituyen el 10% del depósito (Figura 10b).

Otro flujo de ceniza y pómez, en este sector, es correlacionable directamente con el nivel pliniano CB3 (Figura 10a). Es un depósito compuesto por niveles caóticos de ceniza color gris rojizo, con fragmentos de pómez y algunos bloques, intercalados con capas de oleadas ("surges"), ceniza muy fina color habano y, localmente, lapilli pumítico acrecional, indicando una componente freatomagmática en la erupción. Este flujo de ceniza y pómez, correlacionable con el evento CB3, aflora también en



los sectores sur (Figura 10c) y occidental (Figura 11, columna estación MI 117), donde su espesor supera los 5 m.

-Flujos de ceniza y pómez de la cañada del Doce. En ésta área afloran tres depósitos de este tipo; el nivel más inferior, de ceniza y pómez, es un depósito caótico, de 1.40 a 4 m de espesor (sin observar la base), que presenta cierta gradación normal. El depósito es de color gris amarillento a gris, en la base, en donde presenta niveles de lapilli acrecional y, aparentemente oleadas ("surges"), indicando un posible origen freatomagmático.

La matriz conforma un 60% del depósito, es gris, localmente rojiza y está constituida en su mayoría por fragmentos cristalinos con predominio de plagioclasa, máficos, en menor cantidad cuarzo, fragmentos de vidrio color negro, verde oscuro o transparente y biotita. En menor proporción presenta pómez y fragmentos líticos.

Este nivel puede correlacionarse con el evento CB5 y podría corresponder al flujo de ceniza y pómez generado al final de la fase eruptiva que dio origen al flujo de ceniza y bloques del sector del Plan (Figura 10c).

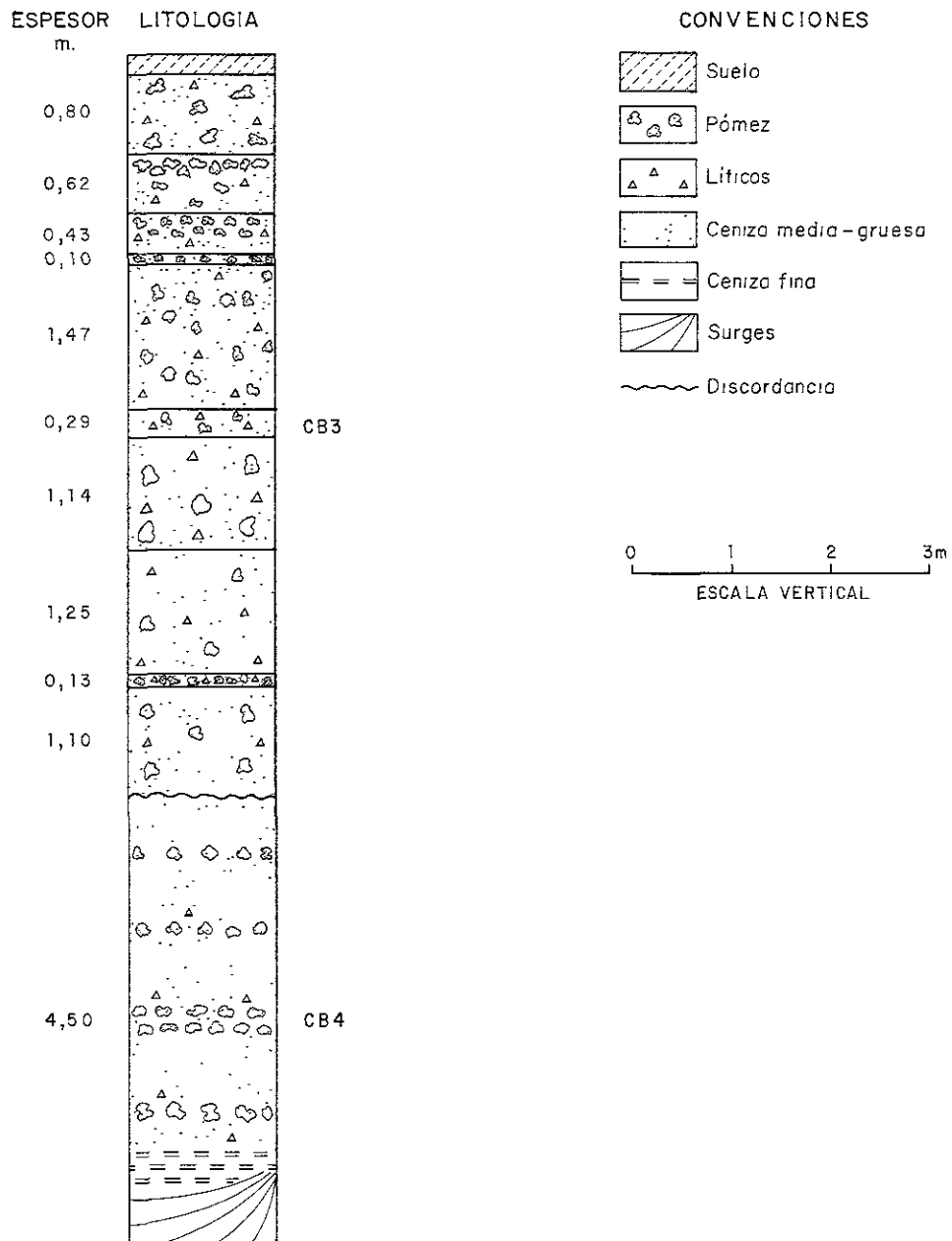


FIGURA 11: Columna estratigráfica mostrando la secuencia de flujos de ceniza y pómez, correspondientes a los eventos CB3 y CB4 en el sector occidental del volcán Cerro Bravo. Estación ML 117.



El nivel suprayacente consiste en un depósito caótico de 8 m de espesor, compuesto por matriz tamaño ceniza (70%), que consta de fragmentos de pómez (70%), cristales (20%) de plagioclasa, máficos, vidrio y, en menor cantidad, cuarzo, biotita y algo de vidrioso, y fragmentos líticos (menor del 10%). Es común encontrar intercalaciones de ceniza, muy fina, color habano, de 2 a 5 cm de espesor: estas cenizas predominan en la parte media superior del flujo (primeros 2.5 m superiores). También hay intercalaciones delgadas de ceniza gruesa a lapilli de pómez acrecional. Los 3 m inferiores, del depósito, son de ceniza gruesa, con mayor cantidad de fragmentos líticos y bloques; luego existe un nivel de oxidación interno, de 3 cm de espesor, y los 48 cm inferiores son de ceniza gruesa, gris oscura a rojiza, enriquecida en líticos que corresponde, posiblemente, a la iniciación del evento eruptivo, la apertura del conducto y la fase freatomagnética. Este nivel corresponde al evento CB4, descrito anteriormente.

El nivel más superior, 5 m de espesor, es un depósito caótico conformado principalmente, por pómez de color blanco (al binocular), de aspecto sacaroide, porfirítica media, con fenocristales de plagioclasa, máficos, cuarzo y, ocasionalmente, biotita. La pómez es vesiculada, con vesículas redondeadas, a veces con fibras mate dentro de



ellas. Hacia la parte media y superior las pómez son, en superficie, de color habano por algo de oxidación. La pómez forma un 30% del depósito y los líticos el 10%; estos últimos son porfiríticos gruesos, de color gris claro y, en menor proporción, rojizos.

Los fragmentos juveniles están compuestos por pómez, en un 20% del depósito, blanca a grisácea y, ocasionalmente, amarillosa, en superficie, por oxidación; es, además, porfirítica media, con vesículas redondeadas y, esporádicamente, rellenas por vidrio transparente. Los líticos sólo predominan hacia la base y son, en su mayor parte, grises, algunos pocos rojizos, porfiríticos gruesos y vítreos. Este depósito corresponde al evento pliniano que dio origen al nivel CBS de Lescinsky (1990) (Figura 10c).

-Flujos de ceniza y pómez sector de San Fernando. En el costado occidental del volcán predominan los flujos de ceniza y pómez asociados a la primera caldera. Entre la quebrada San Fernando y El Doce se pueden diferenciar claramente, tres eventos de este tipo, uno de ellos correlacionable con los encontrados en la cañada del Doce.

El más antiguo de los flujos observados muestra huellas de erosión y sus depresiones rellenas ya sea por flujos de



ceniza y bloques, producto de colapso de lavas o domos, o por otros flujos de ceniza y pómez. Este depósito parece, inicialmente, haber rellenado en su totalidad el sector occidental del volcán, en la cabecera de la quebrada La Plata; su espesor promedio es de 20 m. Es caótico, color gris, con predominio de matriz pumítico-cristalina. Los fragmentos juveniles están representados por pómez blanca, porfirítica media, vesiculada. Los líticos, presentes en menor cantidad, son grises, porfiríticos y los más pequeños están generalmente oxidados.

En uno de los cauces, labrado sobre el flujo descrito, existe una sección típica de una secuencia de dos flujos de ceniza y pómez (Figura 12). Los dos flujos piroclásticos muestran varias unidades de flujo, en el sentido de Fisher and Schminke (1984), marcadas por cambios en tamaño de grano, acumulación de lapilli y bloques, zona de estratificación cruzada, etc. (Figura 11, columna estación ML 117).

El material juvenil del depósito superior, que probablemente es el depósito de flujo más reciente asociado a la primera caldera, es pómez de color blanco, algo grisosa, porfirítica fina, vesiculada y algo fibrosa. Este flujo podría correlacionarse con el evento pliniano CB3 (Figuras 10 y 11).

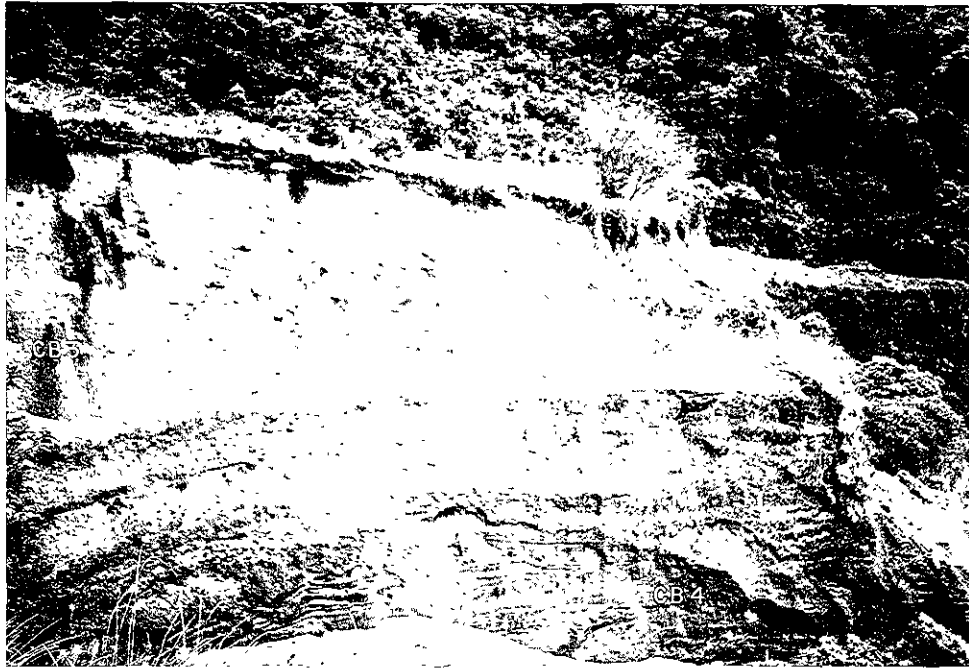


Figura 12. Flujos de ceniza y pómez del sector occidental del volcán. Localidad: quebrada San Fernando.



El depósito que infrayace al anterior también presenta unidades de flujo: en él se encuentran niveles de "surge" y capas finas de ceniza habana, así como bombas corteza de pan, indicando una componente freatomagmática en la erupción. Este depósito tiene características muy similares al flujo de ceniza y pómez que aflora en El Plan y que infrayace al evento correlacionable con el nivel pliniano CB3 y suprayace, separado por un paleosuelo, el depósito de ceniza y bloques de El Plan, pudiendo así correlacionarse con el nivel pliniano CB4 datado en 1070 ± 90 años (Herd, 1974), 1190 ± 120 y 1210 ± 130 años (Lescinsky, 1990).

2.4.2.2. Flujos de ceniza y pómez asociados a la segunda caldera. En tres localidades se detectaron flujos piroclásticos de este tipo, asociados a la evolución de la segunda caldera. Los depósitos de esta caldera no han sido datados, ni se han identificado eventos plinianos relacionados. Si se considera que el último episodio de la caldera sur fue el CB2 (780 ± 90 y 810 ± 60 años, Lescinsky, 1990) existiría un lapso muy corto (900 años) para la formación del edificio norte, el posterior emplazamiento y destrucción de domos y los cuatro o cinco eventos eruptivos mayores asociados a él. Por tanto, lo más seguro es pensar que los dos edificios fueron activos simultáneamente. al



menos en las últimas etapas explosivas, del edificio meridional.

-Flujo de Ceniza y Pómez de la quebrada El Descanso. Se trata de un depósito caótico compuesto, en un 60% de matriz tamaño ceniza gruesa, cristalina, pómez de tamaño lapilli en un 30% y líticos escasos, entre 5% y 10% (Figura 13). En algunos afloramientos se encuentra carbón. Ocasionalmente se presentan niveles de acumulación de pómez, que alcanzan 15 cm de diámetro, pero el tamaño dominante es el de lapilli.

Los fragmentos juveniles de pómez son de color blanco, algo amarillenta en muestra de mano. textura sacaroides, porfirítica fina, con fenocristales de plagioclasa, abundantes máficos y, ocasionalmente, cuarzo. La poméz tiene vesículas pequeñas, redondeadas y, las de mayor tamaño, tienen en su interior fibras gruesas.

El espesor mayor del depósito, aproximadamente 15 m, se encuentra en la quebrada El Descanso; puede corresponder a uno de los primeros flujos emitidos por la segunda caldera. Para llegar hasta la quebrada El Descanso ha debido taponar, parcialmente, el río Ferrillo en su curso medio.



Figura 13. Flujo de Ceniza y Pómez de la quebrada El Descanso.



-Flujo de Pómez de río Ferrillo. Este flujo piroclástico sólo se observó en la parte media del valle del río Ferrillo, entre las localidades de Fredonia y Monte Bonito. Por su posición geográfica se piensa que puede estar asociado a la segunda caldera, aunque la relación estratigráfica con el depósito de Ceniza y Bloques de Brasil y los otros depósitos del área no es clara.

En el sitio en que aflora tiene un espesor promedio de 20 m: es caótico, de matriz tamaño ceniza, de color gris-rosado: esta matriz conforma el 70% del depósito y consta de fragmentos de pómez, de la misma composición que los fragmentos mayores y, en menor proporción, fragmentos líticos y fragmentos cristalinos.

El depósito tiene niveles diferenciables de acumulación de fragmentos de pómez, con tamaño máximo de 25 cm, que forman, aproximadamente, el 20% del depósito. Las pómez son de color blanco, al binocular perlado, porfiríticas medias, con fenocristales algo orientados de plagioclasa y máficos. La pómez es vesiculada y fibrosa, las fibras se encuentran, por lo regular, dentro de las vesículas y éstas, a su vez, se encuentran rellenas por vidrio de color oscuro, esporádicamente.



Los fragmentos líticos conforman, aproximadamente, el 10% del depósito; el tamaño de ellos es muy variado y predomina un tipo de lítico porfirítico grueso, color gris y, en menor proporción, rojizo. Localmente se encuentran niveles de acumulación de líticos.

En el lugar en donde la carretera a Monte Bonito cruza el río Ferrillo se encuentran remanentes del flujo; los fragmentos juveniles de pómez allí encontrados, son similares a los descritos anteriormente: el espesor es 4 m y está conformado, en su mayoría, por ceniza de color gris, que la constituyen fragmentos cristalinos, fragmentos de pómez y en menor proporción fragmentos líticos. Hay tres niveles de acumulación de pómez, los fragmentos mayores alcanzan 12 cm de diámetro y son subredondeados a redondeados. Los líticos son de composición variada, pero predomina una roca gris, porfirítica, con matriz afanítica. Hacia la base se encuentra mayor cantidad de líticos, subredondeados, de rocas metamórficas, arrastrados por el paso del flujo. Este afloramiento debe representar la facies distal del flujo de ceniza y pómez.

-Flujo de ceniza y pómez del sector de Fredonia. Aflora en el sector nororiental del volcán, en la localidad de Fredonia (Figura 8). es caótico, con pómez, líticos y ceniza en



proporciones similares. La ceniza es gruesa, compuesta, en su fracción más fina, por cristales de plagioclasa, máficos, cuarzo y biotita; también se observan, en menor cantidad, fragmentos de pómez (20%), líticos (20%) y, en menor proporción, fragmentos vítreos de color verde translúcido.

Los líticos, de tamaño lapilli a bloque, son polilitológicos y algunos están fumarolizados; localmente presenta bombas corteza de pan. La pómez es de color blanco, perlada al binocular, porfirítica media, vesiculada; las vesículas son pequeñas, redondeadas, algunas alargadas, tapizadas por vidrio de color oscuro; esporádicamente presenta fibras de vidrio transparente.

Este depósito parece corresponder al que se encuentra infrayaciendo el Flujo de Ceniza y Bloques de Brasil y podría correlacionarse con el flujo que rellena la primera caldera, que es un depósito caótico de ceniza gruesa, color gris, con niveles de acumulación de pómez y, en menor proporción, fragmentos líticos. Las pómez son de color blanco amarillento, porfiríticas medias, vesiculadas y algo densas. Entre los líticos del depósito algunos son bombas corteza de pan, de color gris, porfiríticas gruesas, con grandes fenocristales de plagioclasa y máficos.



Un depósito que aflora a lo largo del camino Puerto Brasil-Brasil, con mayor porcentaje de fragmentos de pómez, podría correlacionarse con este evento. Localmente aflora sobre el flujo de ceniza y pómez más antiguo, alcanzando espesores hasta de 7 m: es caótico, mal seleccionado, compuesto en un 70% por pómez, incluyendo la matriz que está compuesta por este mismo material, pero de tamaño lapilli fino.

Las pómez son, generalmente, de color blanco, a veces algo amarillentas y rosadas en su interior. En menor proporción se encuentran pómez de color café, subangulares a subredondeadas, con tamaño máximo, en el afloramiento, de 25 cm. Son porfiríticas finas y vesiculadas. Las pómez blancas tienen vesículas alargadas, orientadas y rellenas por vidrio volcánico oscuro (negro); las pómez más oscuras (alta T) son más vesiculadas hacia el interior y las vesículas, hacia la parte externa, son pequeñas, redondeadas y sin relleno. Entre los fragmentos líticos predomina el gris, porfirítico grueso, subangular, con tamaño máximo de 25 cm y matriz afanítica de color gris medio.

2.4.3. Oleadas piroclásticas. Varios afloramientos con estructuras de oleadas piroclásticas ("surges") como ondulaciones, estratificación cruzada, laminación, etc., se observan alrededor de Cerro Bravo: éstos, generalmente,



forman parte de los flujos de ceniza y pómez, ya sea como "base surges", precediendo el flujo piroclástico, lo que ha sido interpretado por Wilson and Walker (1982), como el desarrollo de una acción turbulenta en la base del flujo. Lo más común es que los "surges" se presenten intercalados en la secuencia del flujo, como se observa en el anillo piroclástico de la segunda caldera y en algunas localidades de San Fernando y El Plan, que han sido correlacionados con los niveles plinianos CB3 y CB4 (Figuras 8 y 10). Este tipo de cambios dentro del flujo piroclástico, representa variaciones en la columna eruptiva y posiblemente una componente freatomagmática en la erupción (Sheridan, 1979).

La Figura 14, muestra "surges" en el sector del Doce, correlacionables con el evento CB3; éste se encuentra sobre el flujo de ceniza y pómez y, además de presentar estructuras de laminación y estratificación cruzada, también tiene intercalaciones de lapilli (pómez) acrecional (lapilli "armored", según Fisher and Schminke 1984), indicando origen freatomagmático (Cas and Wright, 1987).

Otro tipo de "surge", encontrado en el sector norte, parece corresponder a los llamados "surges" de alta temperatura (Sheridan, 1979) y parece estar relacionado a un "blast" (explosión lateral dirigida), asociado al emplazamiento y



Figura 14. "Surges" Correlacionables con el evento CB3.
Localidad: El Doce.



explosión de domos. Según su posición geográfica, hacia el norte, y estratigráfica, sobre el nivel pliniano CB3 (Figura 15, estación ML 123), se puede pensar que este nivel representa el evento de "blast", relacionado con el emplazamiento del complejo de domos de la segunda caldera. En los sitios donde aflora este depósito no aparece el nivel pliniano CB2; posiblemente éste fue arrasado por el nivel de "surge", indicando que los dos eventos son contemporáneos o el "surge" inmediatamente posterior. De esta manera tenemos una edad mínima, para el emplazamiento de los domos, de 625 ± 70 años, según dataciones de Lescinsky (1980).

2.5. CAIDA DE PIROCLASTOS

Los productos piroclásticos de caída, correspondientes al Cerro Bravo, tienen una distribución muy amplia alrededor del edificio volcánico; comprenden proyectiles balísticos, en las zonas más cercanas, y depósitos de lapilli pumítico (niveles plinianos, y cenizas en zonas proximales y distales.

2.5.1. Proyectiles balísticos. En cercanías al volcán es común encontrar, como material suelto, bombas corteza de pan, que indican explosiones recientes en el complejo de domos. Este material se encuentra, esporádicamente, hasta una distancia aproximada de 3 Km del volcán y son más frecuentes

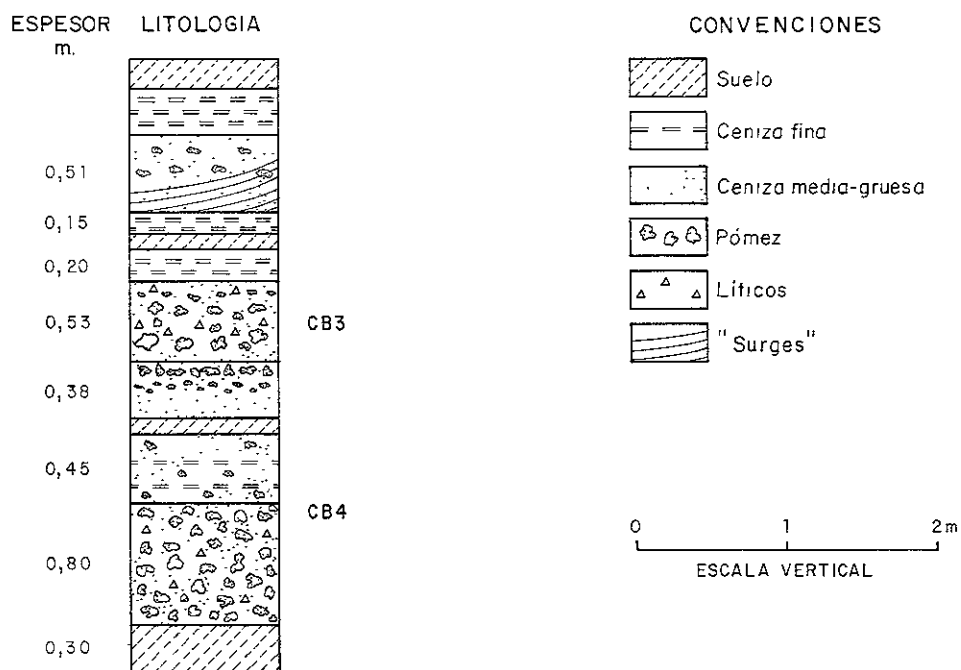


FIGURA 15: Relación estratigráfica con el nivel guía CB3 del nivel de "surges" correlacionable con un evento de "blast". Estación ML 126 carretera a La Matilde.



alrededor de los cráteres. El diámetro promedio de ellas es de 10 cm.

Bombas corteza de pan, que se encuentran a mayores distancias. hacen parte de los fragmentos juveniles de flujos de ceniza y pómez y a pesar de que pudieron ser emitidas como proyecciones balísticas, durante la erupción misma, fueron involucradas en el flujo y por esta razón alcanzaron mayores distancias.

2.5.2. Cenizas de Caída. Son muy comunes alrededor del volcán y presentan una distribución similar a la de los lapilli de pómez, con los cuales se encuentran intercalados (Figuras 18 y 17). Los depósitos de ceniza, encontrados en el área, han tenido como fuente los volcanes del Complejo Volcánico del Ruiz-Tolima; aquellas que están directamente asociadas con el volcán Cerro Bravo son, generalmente, productos acompañantes de otros emitidos en las erupciones del volcán.

2.5.3. Depósitos plinianos de caída. Son depósitos compuestos, principalmente, por pómez correspondientes a las fases de caída de erupciones plinianas: tienen una distribución muy amplia alrededor del volcán Cerro Bravo y

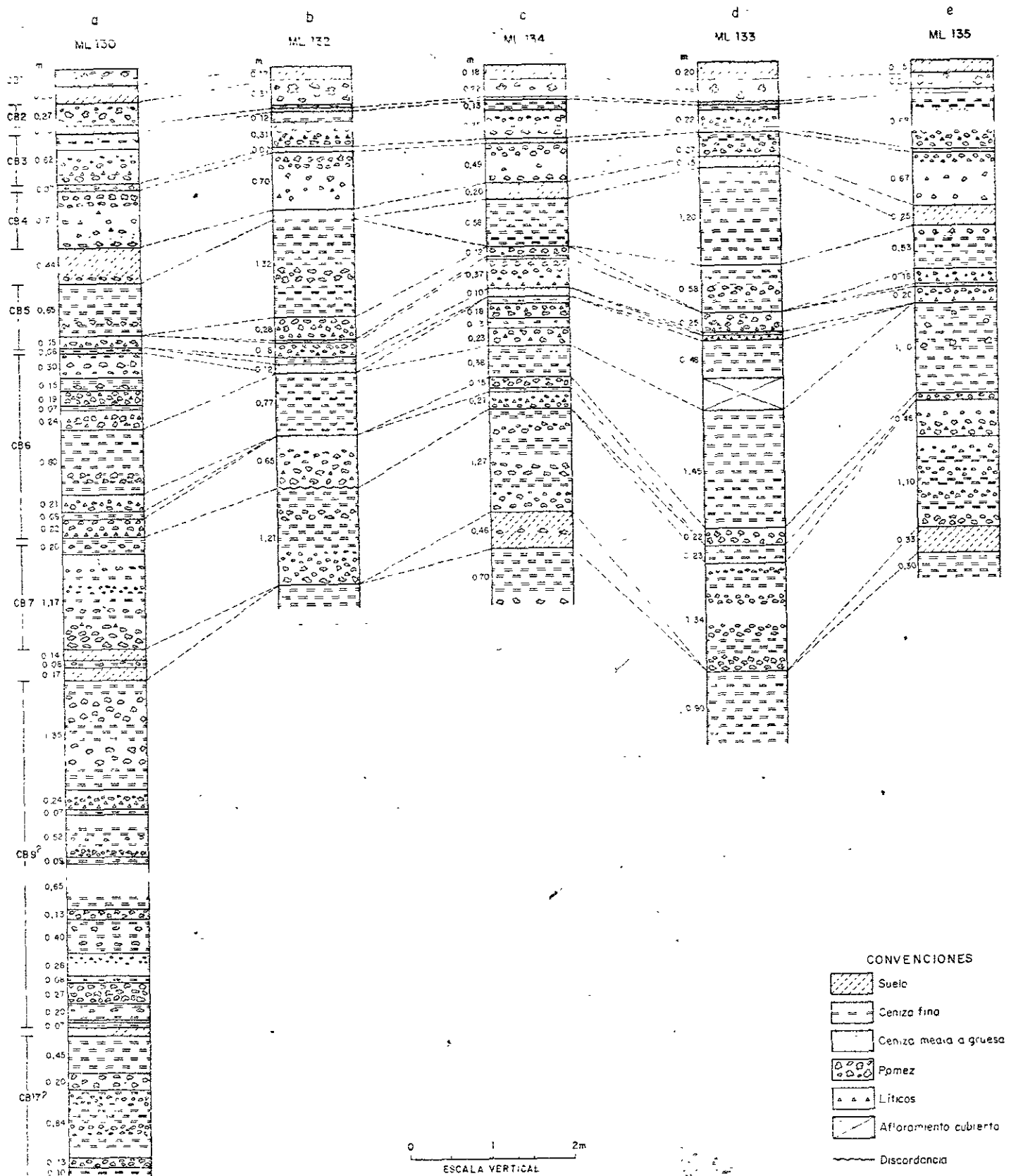


FIGURA 16 Correlación estratigráfica de los diferentes niveles plinianos de caída en el área del volcán Cerro Bravo
 a- quebrada Letras Viejas (columna tipo) d- carretera a La Plazuela
 b- cabeceras río Guacaico e- carretera desviación de Letras
 c- cabeceras río Perrillo



Figura 17. Intercalaciones de piroclastos de caída: ceniza y niveles pumíceos del volcán Cerro Bravo. Sector Letras-El Doce.



están intercalados con los demás productos del mismo (Figura 17).

Herd (1974) reconoció en el área 17 niveles plinianos asociados a la actividad de Cerro Bravo, en los últimos 14.000 años, mientras que Lescinsky (1990) los dividió en 8 niveles. Para uniformidad, en nomenclatura, en este trabajo se trata de correlacionar los niveles, hasta donde es posible, con los identificados por Lescinsky (1990), quien realizó un análisis completo de estos productos volcánicos.

Los trabajos de campo permitieron identificar 19 niveles plinianos intercalados con cenizas, correspondientes a 8 eventos eruptivos; algunos de ellos son niveles guía muy importantes para la interpretación y correlación de columnas estratigráficas (Figura 16). Las Figuras 16 a 27 muestran los mapas de isopacas e isoplejas de los niveles plinianos de caída más característicos identificados en el área, los cuales se describen a continuación. Un resumen de la dinámica eruptiva de estos productos, de acuerdo a Lescinsky (1990), se presenta en la Tabla 1.

2.5.3.1. Nivel 5. Correspondiente al nivel CB1 de Lescinsky (1990). Se trata de un nivel de lapilli pumítico caótico, amarillento, algo oxidado; localmente presenta parches de suelo. Las pómez son porfiríticas medias, fibrosas.

TABLA 1: Dinámica eruptiva del volcán Cerro Bravo.
(Tomado de Lescinsky, 1990)

NIVEL	DURACION ERUPCION (horas)	VELOCIDAD VIENTO (m/sg)	ALTURA DE COLUMNA (Km)	DESCARGA DE VOLUMEN ($10^3 m^3/sg$)	DESCARGA DE MASA ($10^6 Kg/sg$)	VOLUMEN ERUPTADO (Km^3)
CB 1	6,2	16	13	2	6	0,12
CB 2	3,6	26	22	11	26	0,34
CB 3	4,2	11	22	11	26	0,40
CB 4	10,6	20	15	3	8	0,39
CB 5	15,9	22	24	15	36	0,71
CB 6	13,2	30	19	7	18	0,57
CB 7	35,1	18	17	5	12	1,09
CB 9	18,9	16	27	25	62	1,34



Sus afloramientos son muy ocasionales debido, posiblemente, a la acción humana en el sector. Según Lescinsky (1990) este nivel tendría una edad inferior a 200 años. Para él este nivel presenta un eje de dispersión de 251° (Figura 18) y lo asocia a un nivel de flujo de pómez y al complejo de domos actual.

2.5.3.2. Nivel 10. Correspondiente al nivel CE2 de Lescinsky (1990). Es un depósito de lapilli punitico, con gradación simétrica; características del depósito son la presencia ocasional de pómez de gran tamaño y tener espesores más o menos constantes en toda el área, entre 40 cm y 15 cm, a 12 Km del volcán. Su eje de dispersión es de 220° (Figuras 19, 20 y 21).

Los fragmentos juveniles son pómez subangulares, muy amarillas en superficie; ocasionalmente, en el interior, es blanca, fibrosa, porfirítica media, con abundantes fenocristales, especialmente de plagioclasa y máficos. Los líticos son grises porfiríticos, algunos rojizos. La fracción entre 2 mm y 250 micrones está conformada por: pómez 60%, líticos 30%, cristales 10%.

Un flujo de ceniza y pómez que aflora en el sector oriental parece correlacionarse con este evento pliniano, datado por Lescinsky (1990) en 625 ± 70 años.

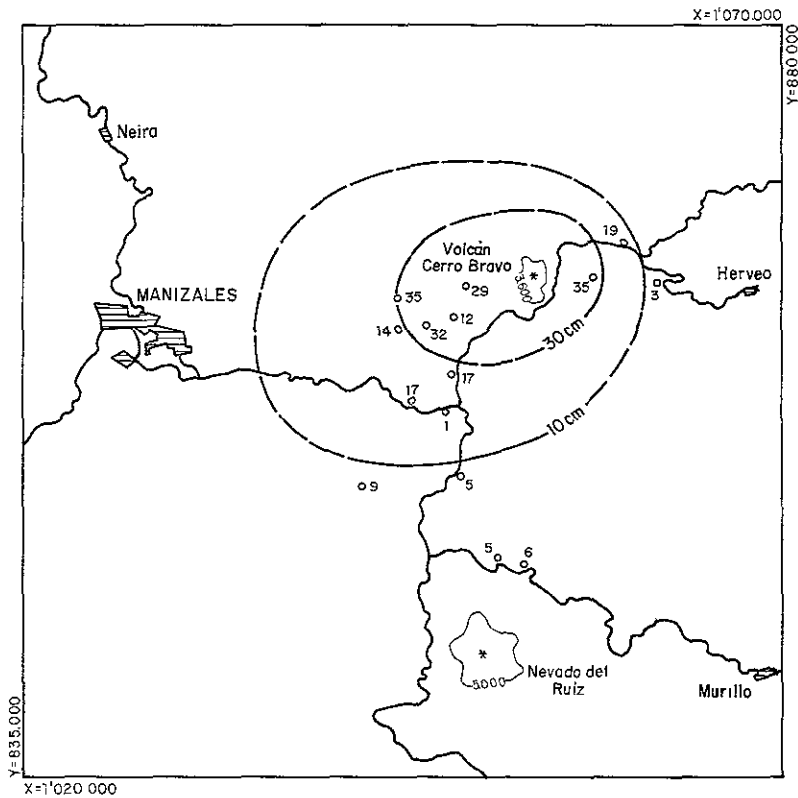


Sus afloramientos son muy ocasionales debido, posiblemente, a la acción humana en el sector. Según Lescinsky (1990) este nivel tendría una edad inferior a 200 años. Para él este nivel presenta un eje de dispersión de 251° (Figura 18) y lo asocia a un nivel de flujo de pómez y al complejo de domos actual.

2.5.3.2. Nivel 10. Correspondiente al nivel CB2 de Lescinsky (1990). Es un depósito de lapilli pumítico. con gradación simétrica: características del depósito son la presencia ocasional de pómez de gran tamaño y tener espesores más o menos constantes en toda el área, entre 40 cm y 15 cm, a 12 Km del volcán. Su eje de dispersión es de 220° (Figuras 19, 20 y 21).

Los fragmentos juveniles son pómez subangulares, muy amarillas en superficie; ocasionalmente, en el interior, es blanca, fibrosa, porfirítica media, con abundantes fenocristales, especialmente de plagioclasa y máficos. Los líticos son grises porfiríticos, algunos rojizos. La fracción entre 2 mm y 250 micrones está conformada por: pómez 30%, líticos 30%, cristales 10%.

Un flujo de ceniza y pómez que aflora en el sector oriental parece correlacionarse con este evento pliniano, datado por Lescinsky (1990) en 625 ± 70 años.



— 30 cm — Espesor del nivel

INGEOMINAS
GOBERNACION DEL TOLIMA-CRET

MAPA DE ISOPACAS
DEL NIVEL PLINIANO CB 1
VOLCAN CERRO BRAVO

Según: D. T. Lescinsky (1990)

Dibujó: Cartografía-Ingeominas

0 5 10 Km
ESCALA

Abril-1991

FIGURA 18

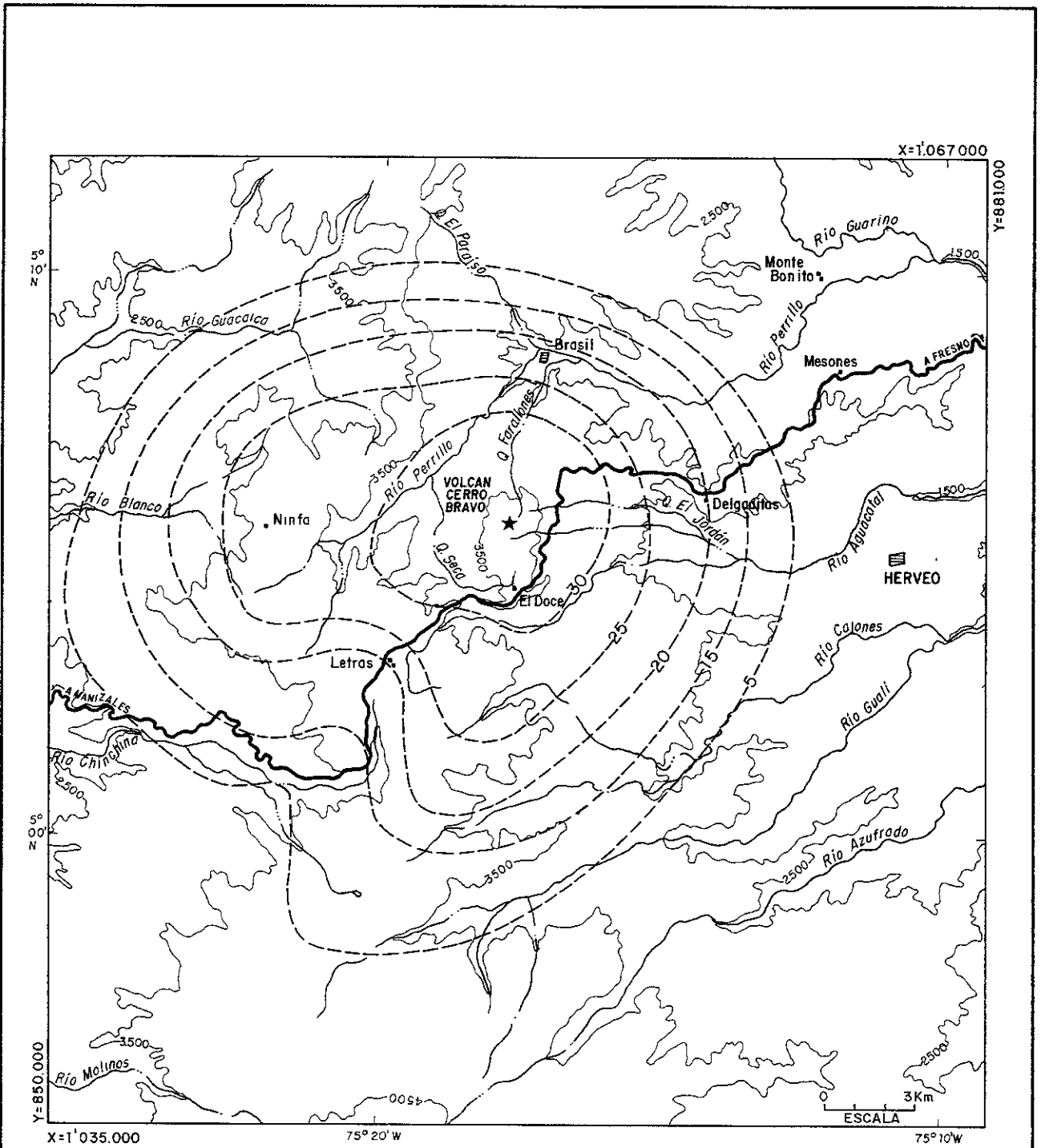


Figura 19: Mapa de Isopacas. Nivel 10. Volcán Cerro Bravo

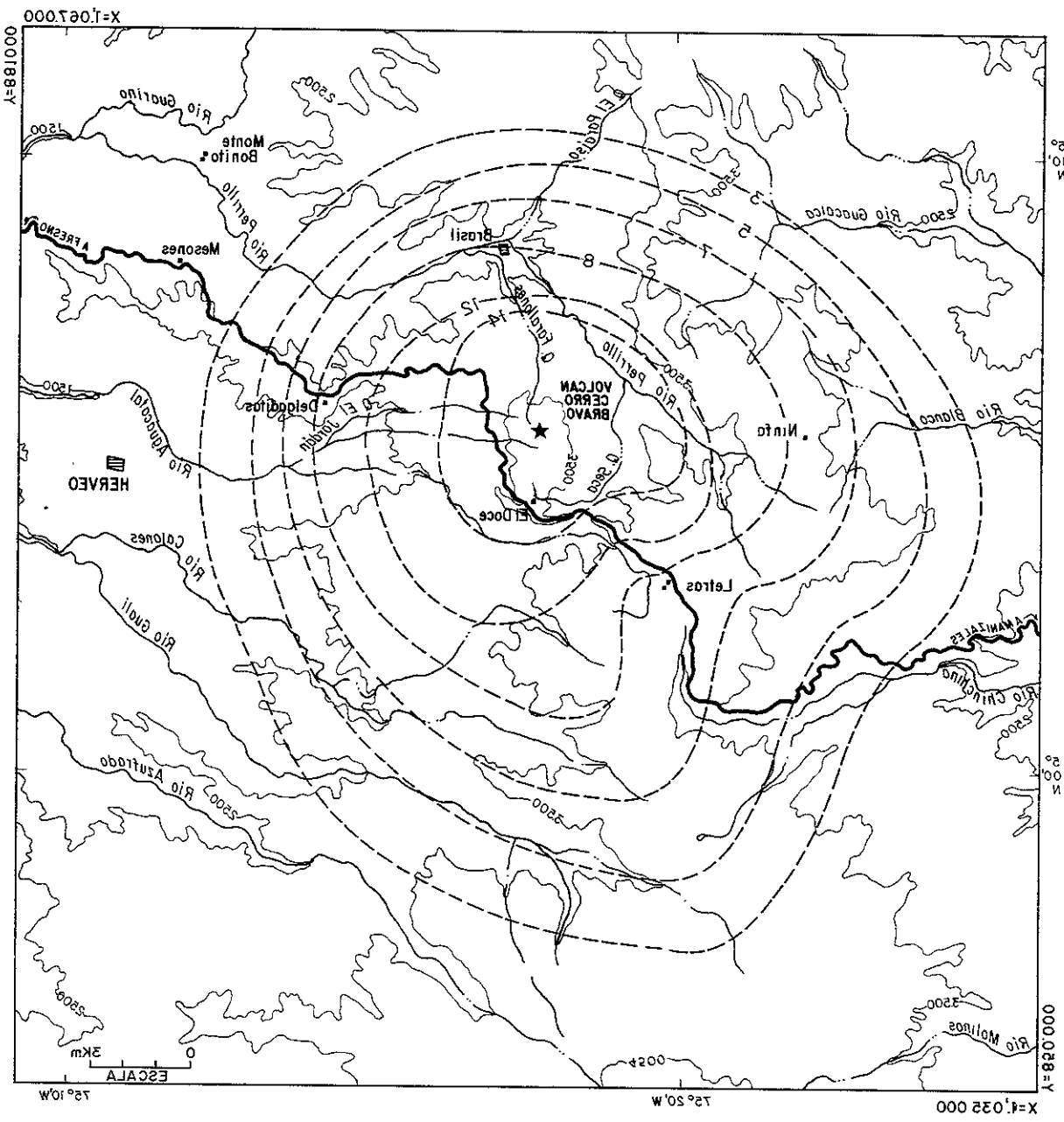


Figura 20: Mapa de Isopletas de p6mez. Nivel 10. Volc6n Cerro Bravo

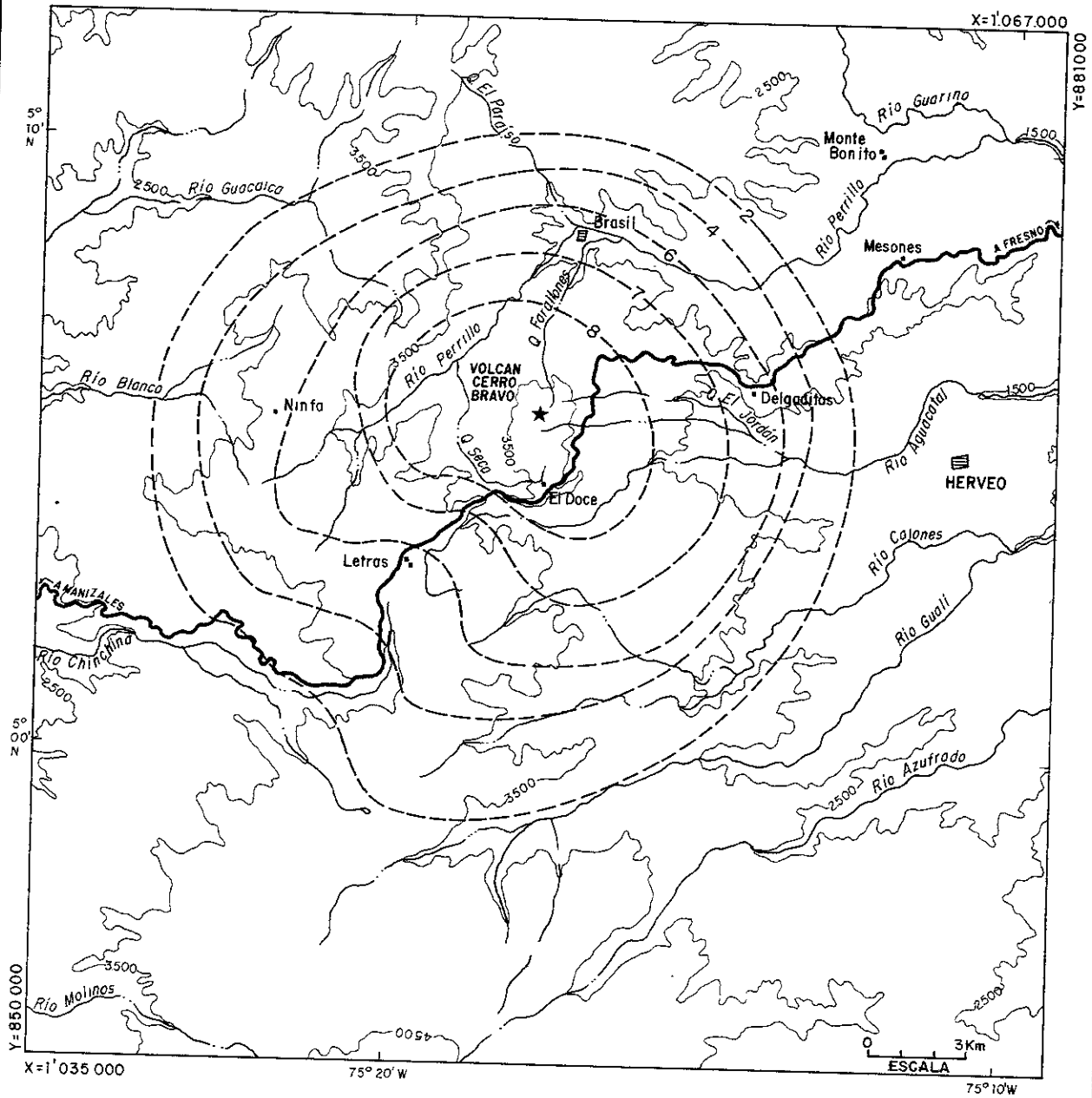


Figura 21: Mapa de Isopletas de líticos. Nivel 10. Volcán Cerro Bravo



2.5.3.3. Nivel 30 - Guía. Correspondiente al nivel CB3 de Lescinsky (1990). Se trata de un depósito de lapilli de pómez empobrecido en finos, con cierta gradación normal. A él se encuentran relacionados un flujo de ceniza y pómez, un "surge" y un nivel de lapilli de líticos, que aflora alrededor del volcán, principalmente hacia el sector occidental, que podría correlacionarse con una fase de crecimiento de domo y pequeñas explosiones asociadas.

Los fragmentos juveniles están constituidos por pómez angular a subangular, blanca algo grisácea, levemente amarillenta en superficie: es porfirítica media a fina, vesiculada, fibrosa en el interior de las vesículas: algunas de ellas están tapizadas por vidrio de color negro y otras por vidrio transparente. Los fragmentos líticos son grises, negros, rojizos y oxidados. La fracción entre 2 mm y 250 micrones está conformada por: pómez 40%, líticos 40%, cristales 20%.

Las relaciones estratigráficas muestran el nivel 30 como uno de los últimos episodios relacionados con la primera caldera. Según Lescinsky (1990). las dataciones en este nivel son de 860 ± 110 y 940 ± 120 ; para Herd (1974, su edad es menor de 985 ± 30 años. La gran variedad de productos volcánicos asociados hacen del nivel 30 uno de los mayores y más importantes en la historia geológica de Cerro Bravo. Es.



además. el nivel pliniano de mayor distribución en el área y uno de los niveles más característicos y fácilmente reconocible. debido a la acumulación de líticos oxidados en su parte media inferior. Los máximos espesores del nivel se encuentran en la zona oriental y afloran sobre la carretera a Delgaditas donde se han medido espesores hasta de 4 m. A 15 Km del volcán. cerca a Harveo. tiene espesores de 20 cm. Su eje de dispersión varía entre 200 y 220° (Figuras 22. 23 y 24). Con las consideraciones anteriores. el nivel 30 se establece como un guía estratigráfico importante, especialmente en el sector oriental. en donde yace sobre el paquete de piroclastos y demás productos allí expuestos. permitiendo la ubicación estratigráfica relativa de estos depósitos.

2.5.3.4. Nivel 40. Se correlaciona con el nivel CB4 de Lescinsky (1990). El depósito es de lapilli pumítico, de color gris amarillento, con cierta gradación normal en la parte inferior; en la parte superior existe una zona en donde el tamaño de los componentes es mayor. Su espesor varía entre 80 cm, a 2 km de la fuente. y 10 cm a 18 km, en la vía al Nevado del Ruiz. El eje de dispersión es de 235° (Figuras 25. 26 y 27).

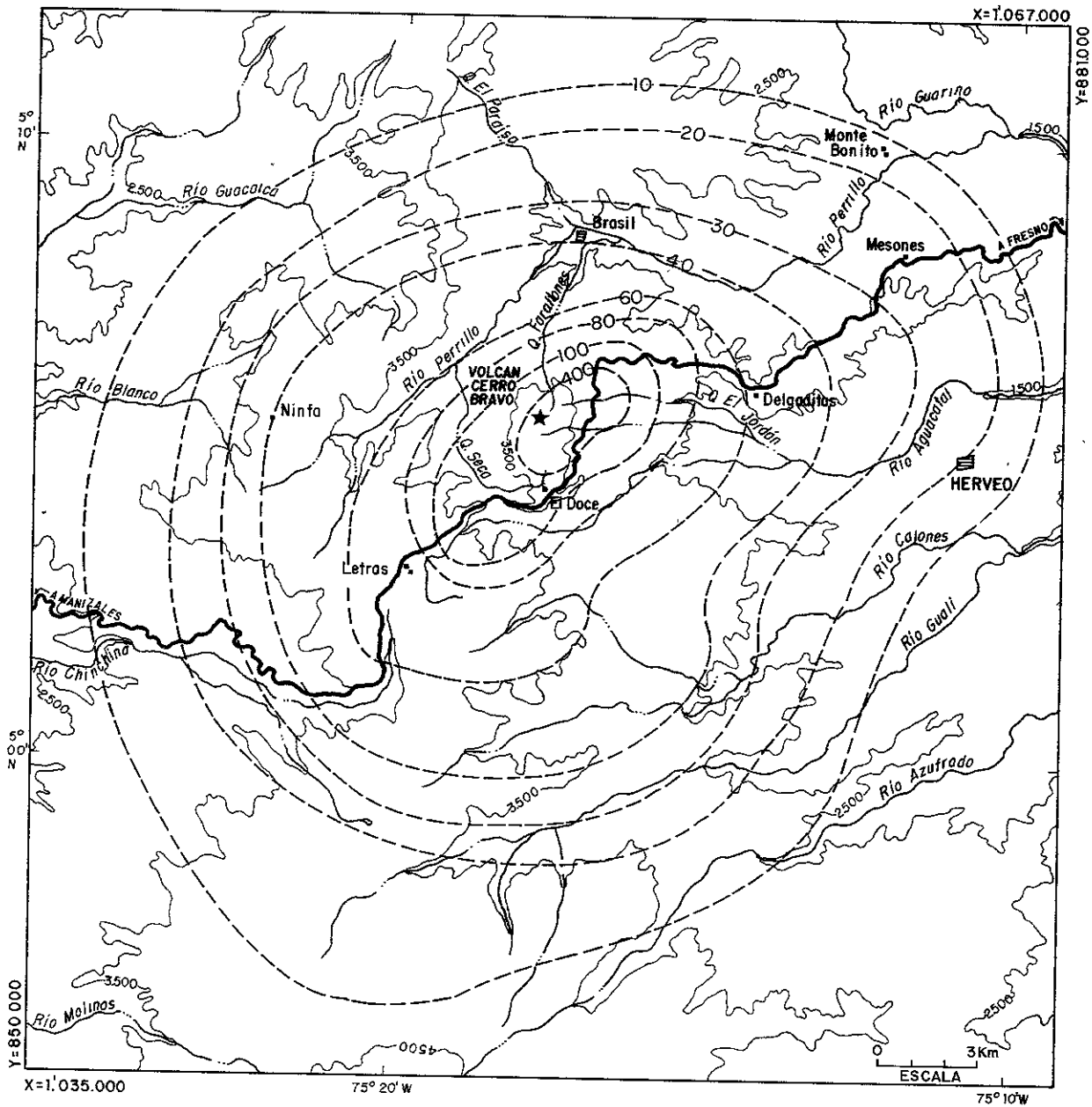


Figura 22: Mapa de Isopacas. Nivel 30. Volcán Cerro Bravo

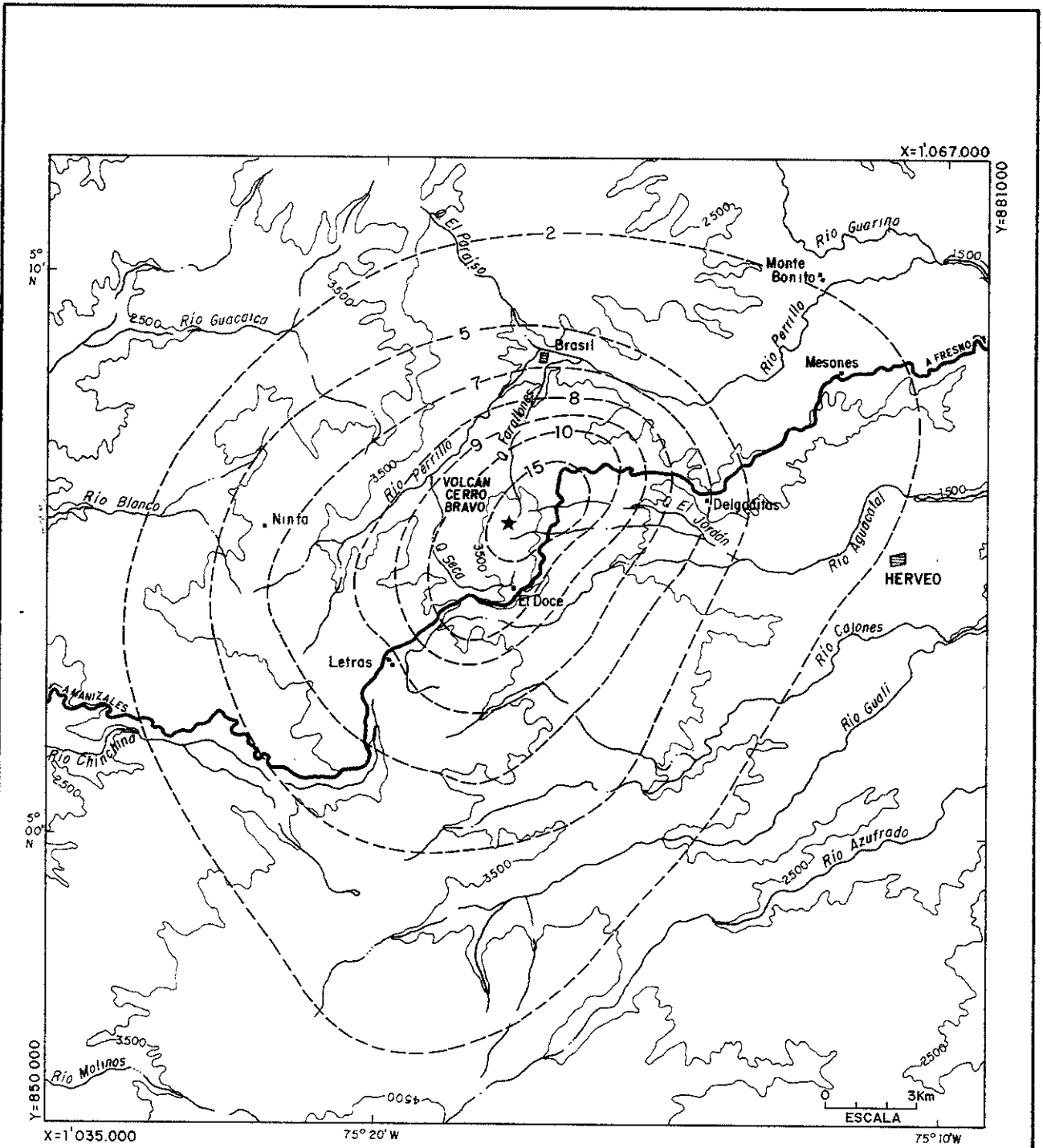


Figura 23: Mapa de Isopletas de pómez. Nivel 30. Volcán Cerro Bravo

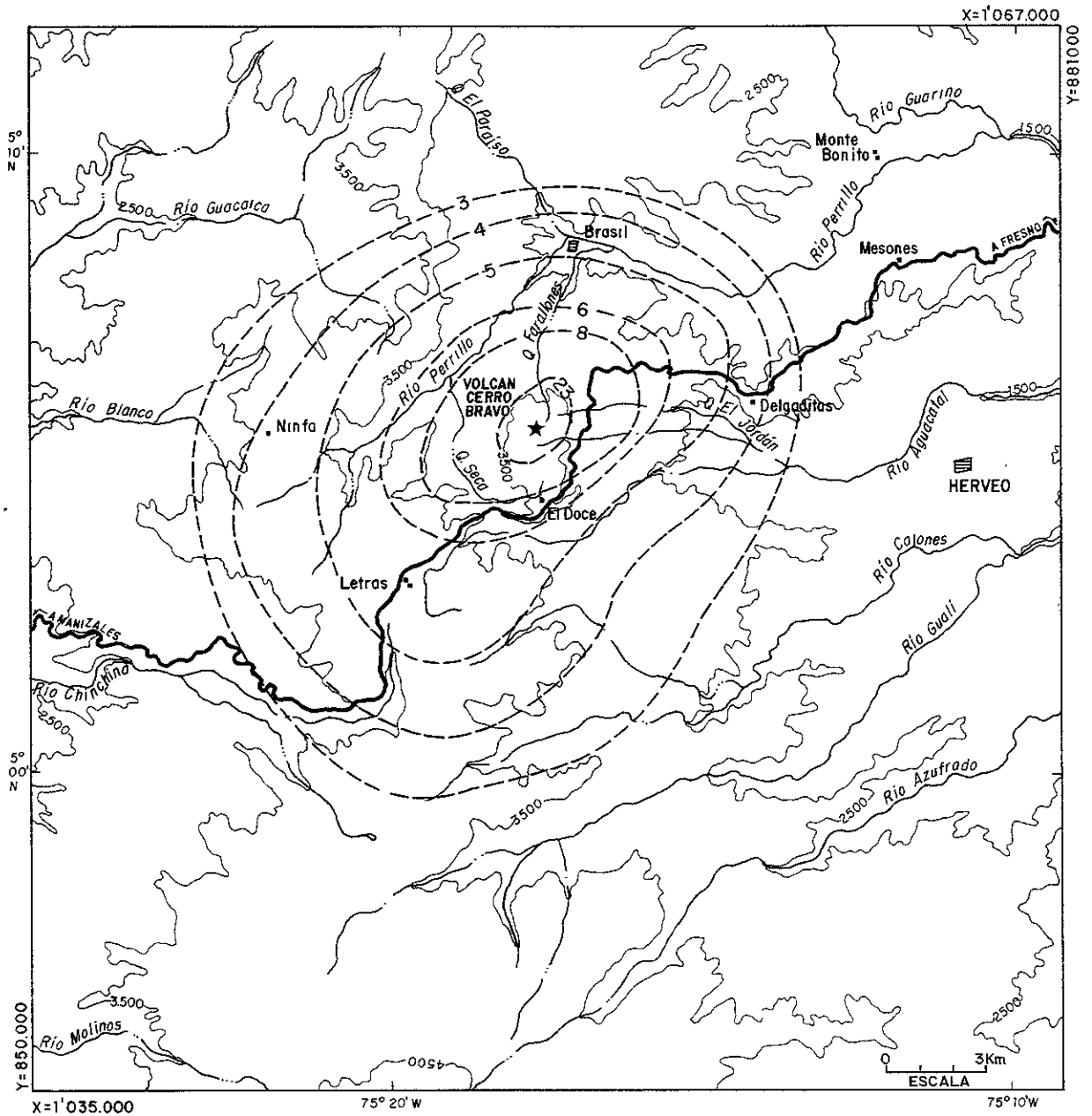


Figura 24: Mapa de Isopletas de líticos. Nivel 30. Volcán Cerro Bravo

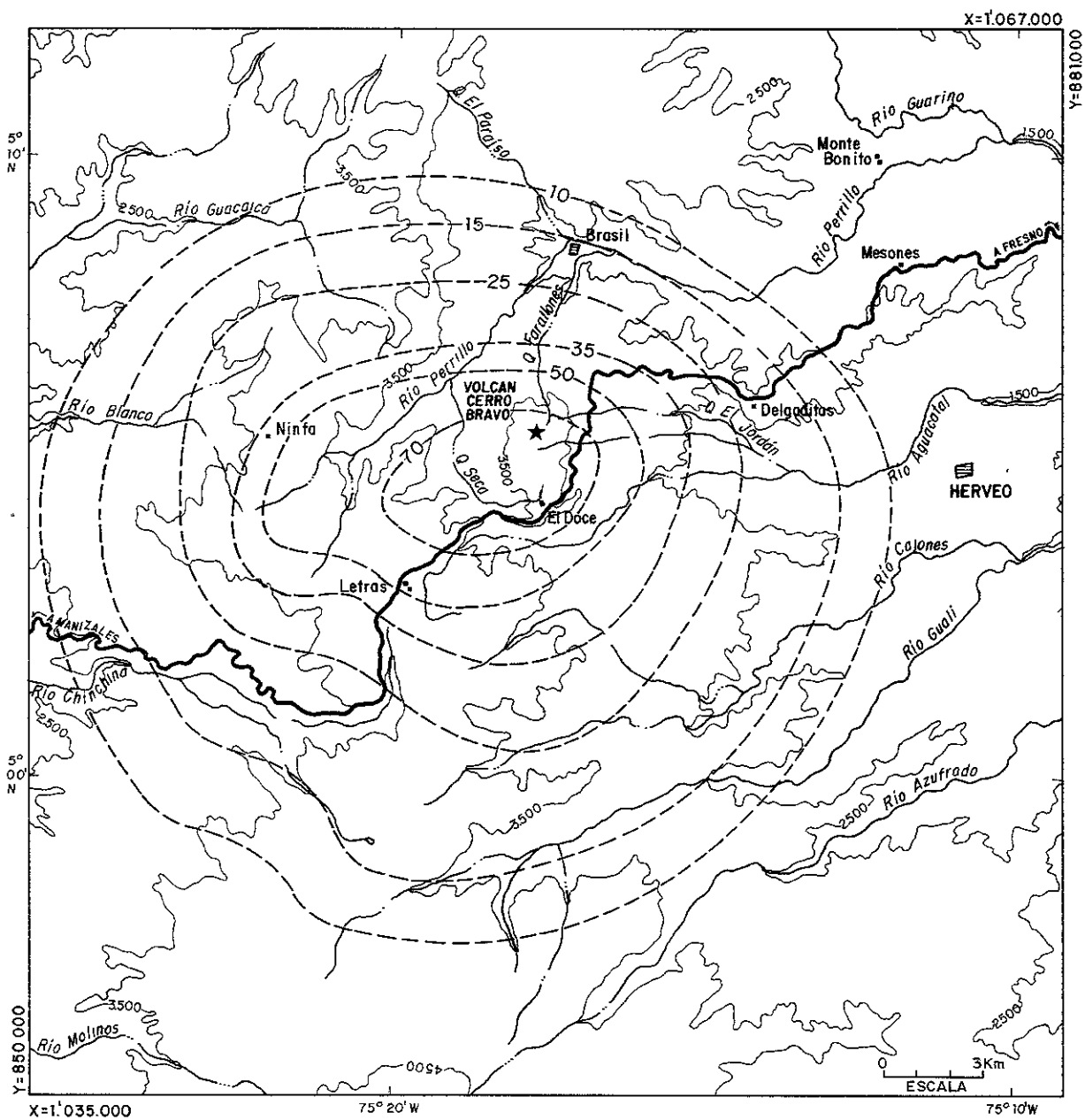


Figura 25: Mapa de Isopacas. Nivel 40. Volcán Cerro Bravo

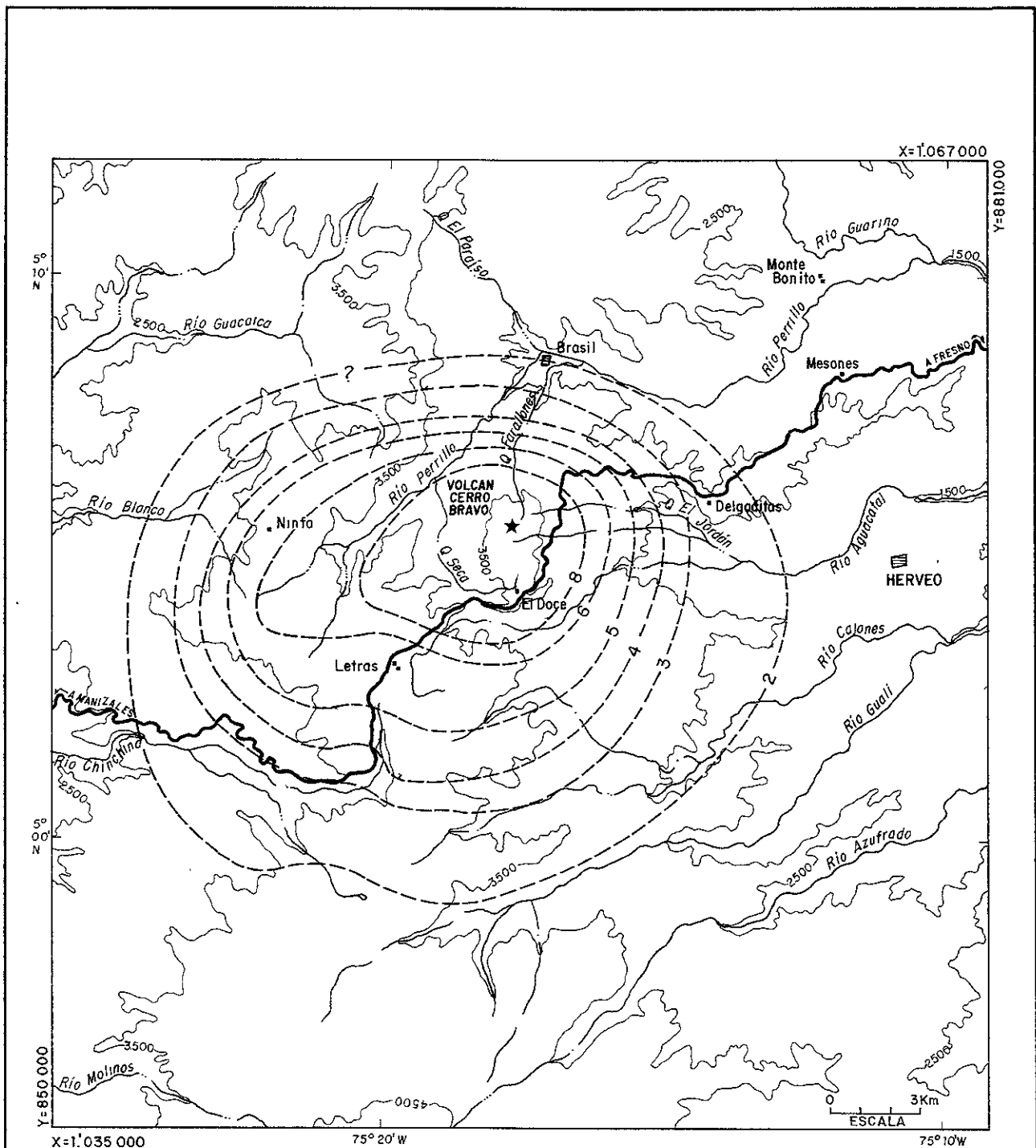


Figura 26: Mapa de Isopletas de pómez. Nivel 40. Volcán Cerro Bravo

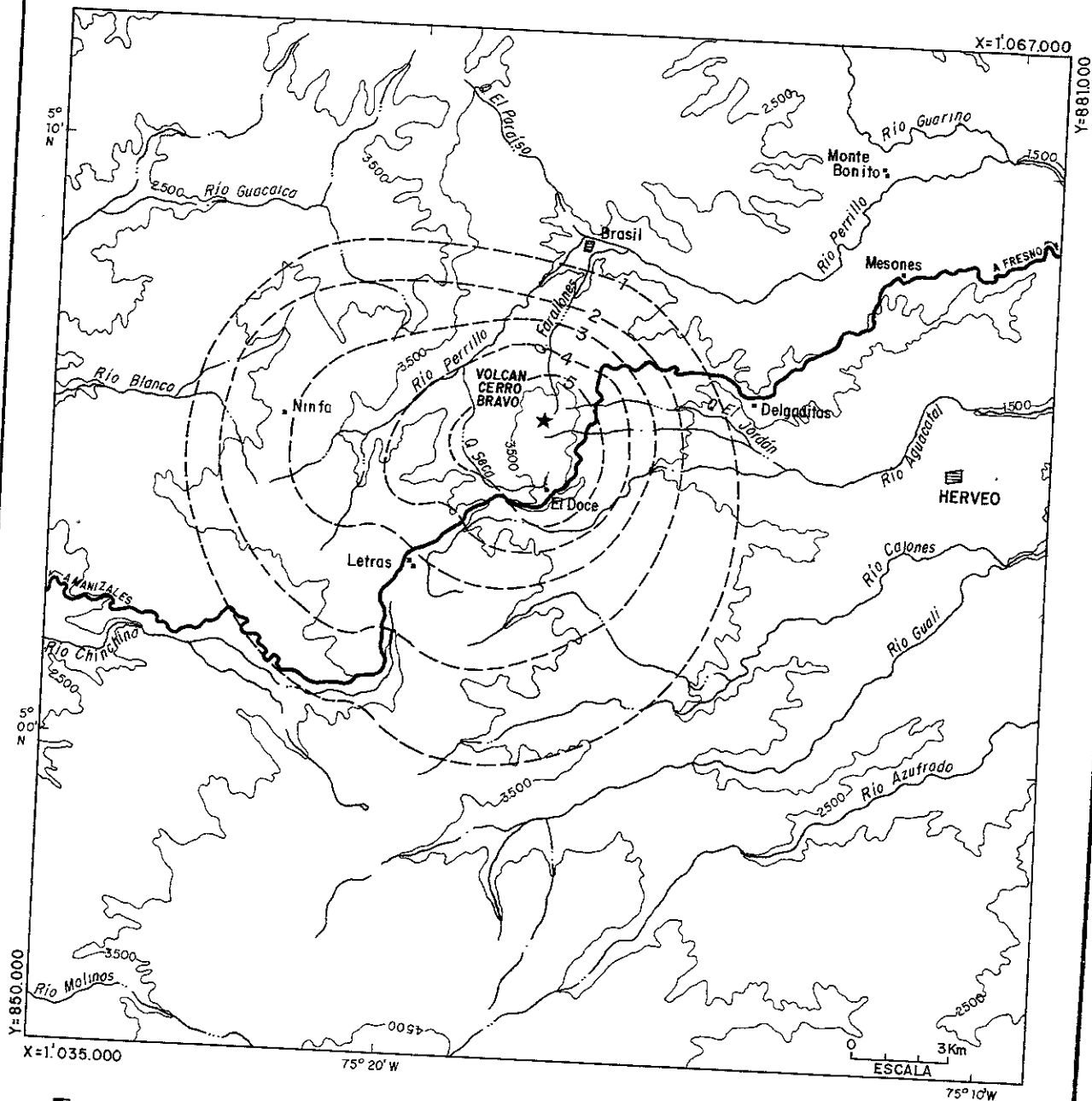


Figura 27: Mapa de Isopletas de líticos. Nivel 40. Volcán Cerro Bravo



Los fragmentos juveniles son pómez subangulares, levemente amarilla en superficie, porfirítica media a fina y con escasos cristales. En el interior la pómez es blanca, algo perlada y vesiculada; las vesículas son pequeñas, redondeadas, con fibras transparentes en su interior; algunas vesículas, de mayor tamaño, están tapizadas por vidrio de color negro. Localmente la pómez muestra cierta orientación, es más fibrosa y tiene abundante vidrio oscuro. Los líticos son de tamaño pequeño. La mayoría grises, otros rojizos por oxidación y porfiríticos. La fracción entre 2 mm y 250 micrones está conformada por: pómez 50%, líticos 20% y cristales 30%.

Este nivel se correlaciona con el depósito de flujo de ceniza y pómez con niveles de "surge", que aflora en El Plan y San Fernando.

2.5.3.5. Nivel 60. Corresponde al CB5 de Lescinsky (1990). Es un nivel caótico, de color gris, por enriquecimiento de líticos en la base, y amarillento al tope. La pómez es blanca, algo amarillenta, porfirítica media y vesiculada (Figura 18). Según Lescinsky (1990), tiene ejes de dispersión entre 249° y 263° .



Los fragmentos juveniles son pómez subangulares, de color amarillento, en superficie. al interior blanca a levemente amarilla; al binocular es muy blanca. porfirítica media, con fenocristales de plagioclasa y máficos, algo fibrosa, con vesículas pequeñas y redondeadas. Los líticos son, en su mayoría, grises claros, porfiríticos gruesos y escasos rojizos. La fracción entre 2 mm y 250 micrones está conformada por pómez: 30%, líticos 60%. cristales 10%.

Correspondiente a este evento se encuentra una segunda capa de lapilli pumítico con características similares a las descritas anteriormente (Figura 16b, c y e) y el Flujo de Ceniza y Bloques de El Plan.

2.5.3.6. Nivel 80. Es correlacionable con el nivel CB6 de Leacinsky (1990), al igual que los subsiguientes niveles 100, 130, 150 y 170 (Figura 16). Se trata de un depósito de lapilli color amarillo, con gradación inversa: hacia la parte media el tamaño de los componentes aumenta ligeramente: está enriquecido en líticos hacia la base. Los líticos de menor tamaño están oxidados. Su espesor varía entre 80 cm. a 2 km del volcán, y 28 cm. a 12 km sobre la vía Manizales-Bogotá. Su eje de dispersión es de 220° (Figuras 28, 29 y 30).

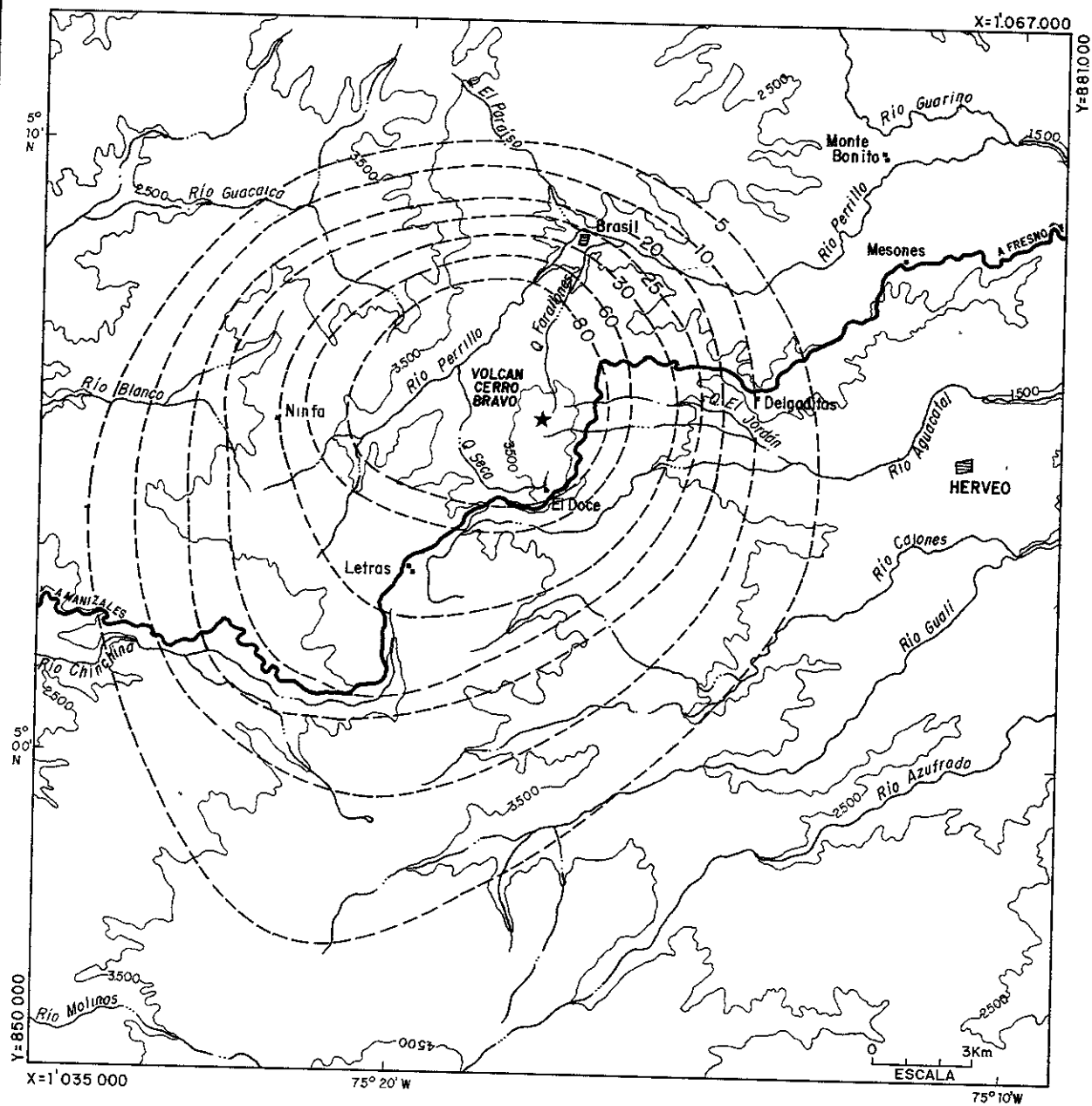


Figura 28: Mapa de Isopacas. Nivel 80 Volcán Cerro Bravo

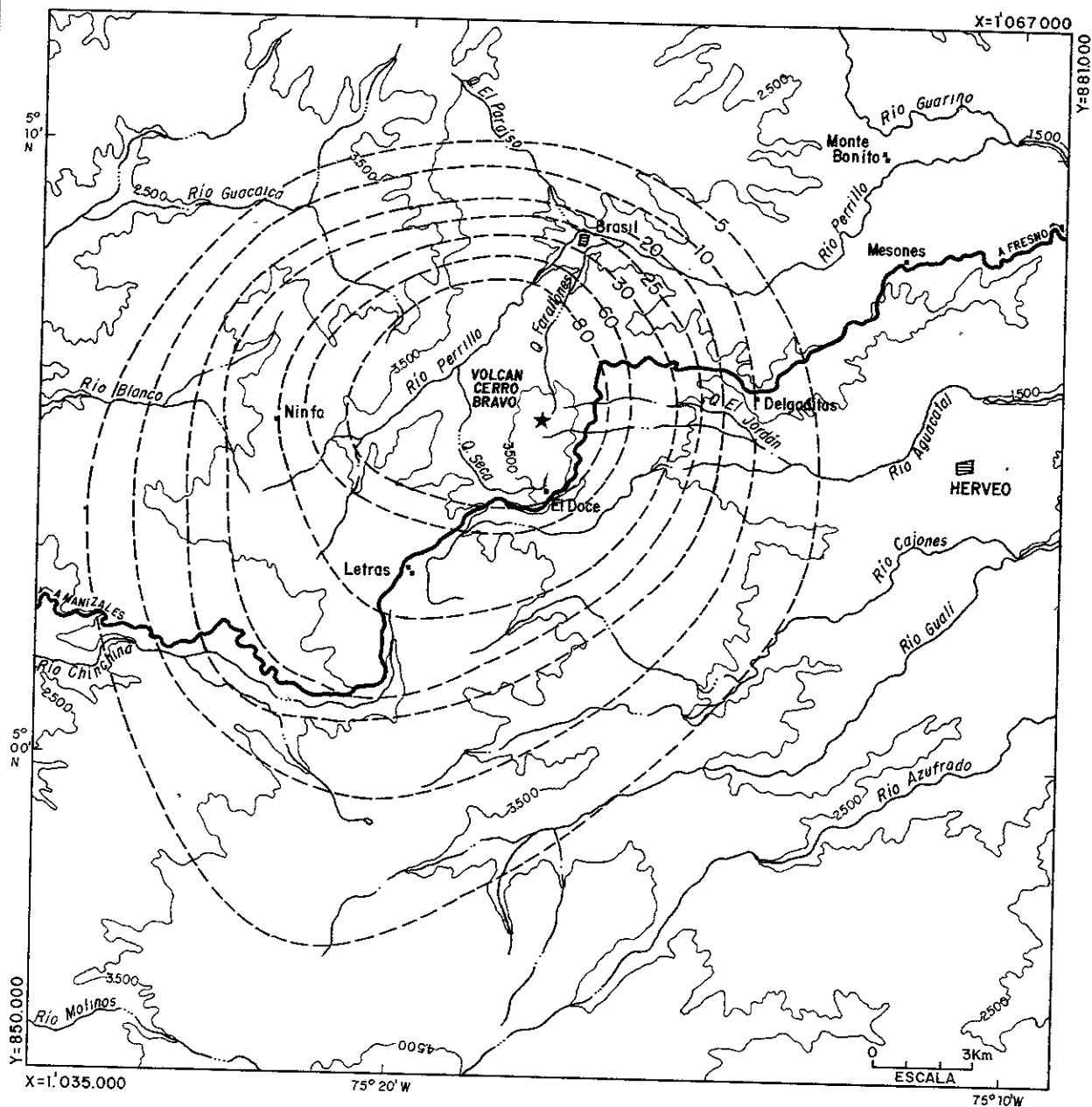


Figura 28: Mapa de Isopacas. Nivel 80 Volcán Cerro Bravo

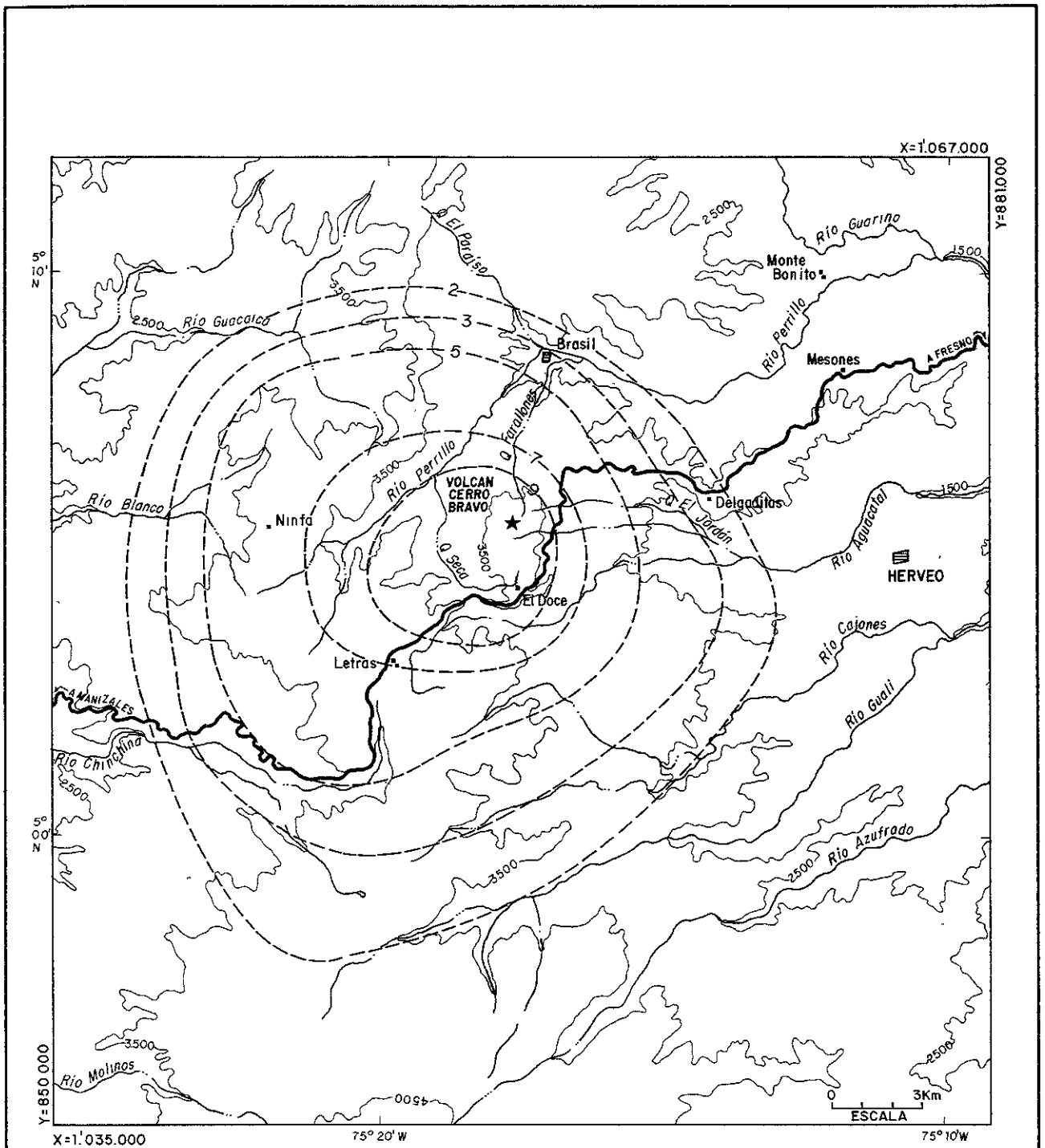


Figura 29: Mapa de Isopletas de pómez. Nivel 80. Volcán Cerro Bravo

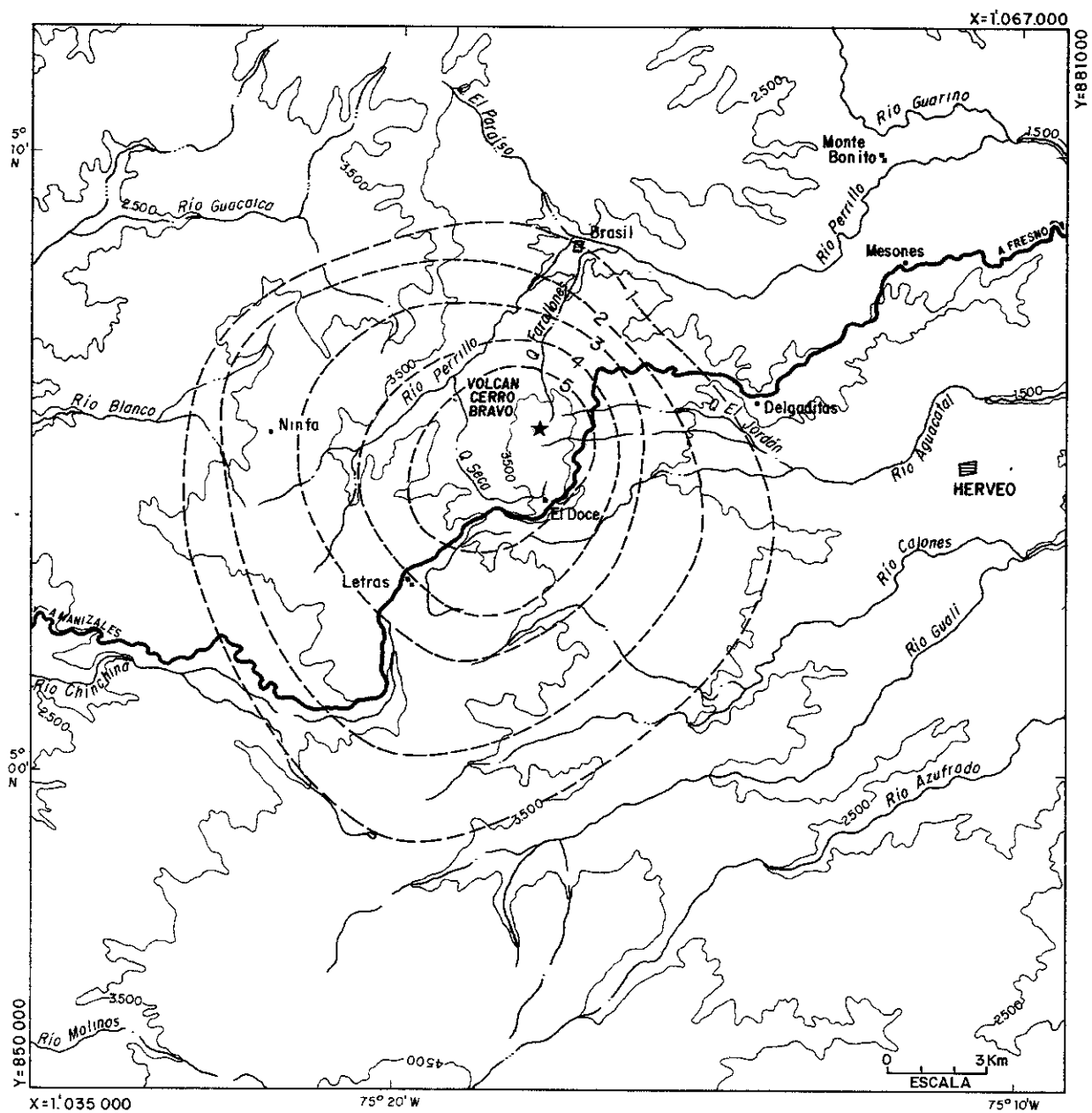


Figura 30: Mapa de Isopletas de líticos. Nivel 80. Volcán Cerro Bravo



Los fragmentos juveniles son vesiculados, fibrosos y subangulares; en superficie son amarillentos, por película de oxidación, y en el interior son blancos con ocasionales parches amarillos. Son porfiríticos medios, con abundantes fenocristales, en particular de máficos, a veces pseudo-orientados, y plagioclasa, de mayor tamaño, las fibras están ligeramente orientadas. Los líticos se encuentran en la misma proporción; son grises, vitreos, porfiríticos y rojizos oxidados. La fracción entre 2 mm y 250 micrones consta de: pómez 20%, líticos 50%, cristales 30%.

2.5.3.7. Nivel 100. Es una capa de lapilli punitico, con gradación normal, empobrecida en finos; en superficie es muy amarilla.

Los fragmentos juveniles son pómez angular a subangular, amarilla en superficie, blanca en el interior. porfirítica media y vesiculada. Existen fibras dentro de las vesículas y algunas están tapizadas con vidrio transparente y en raras ocasiones, con vidrio oscuro. La textura es sacaróide. Los líticos grandes son escasos y la mayoría son grises, porfiríticos y angulares. La fracción entre 2 mm y 250 micrones consta de: pómez 70%, líticos 10%, cristales 20%.



2.5.3.8. Nivel 130. Se trata de un nivel caótico de lapilli de pómez y líticos (20%). empobrecido en finos: algunas pómez tienen bandas amarillas en su interior, o son blancas, vesiculadas, porfiríticas media a fina y con fenocristales escasos.

La pómez es subangular a angular: en superficie tiene una película habana de oxidación y en el interior es muy blanca: es vesiculada, algo fibrosa, porfirítica fina, con fenocristales de plagioclasa y máficos. Las vesículas son redondeadas y alargadas y están rellenas por vidrio negro y, algunas, por vidrio transparente. Los líticos son de diferente tipo, porfiríticos, grises, negros y unos pocos rojizos. La fracción entre 2 mm y 250 micrones es de: pómez 50%, líticos 40%, cristales 10%.

2.5.3.9. Nivel 150. Es un depósito de lapilli pumítico, con gradación normal, empobrecido en finos y enriquecido en líticos en el tope. Presenta espesores que varían entre 55 cm alrededor del volcán, hasta 7 cm sobre la vía a Murillo, a 8 km. Su eje de dispersión es de 200° (Figuras 31, 32 y 33).

El material juvenil es pómez angular a subangular, amarillenta en superficie por oxidación, blanca grisácea en el interior; es porfirítica fina, con escasos fenocristales,

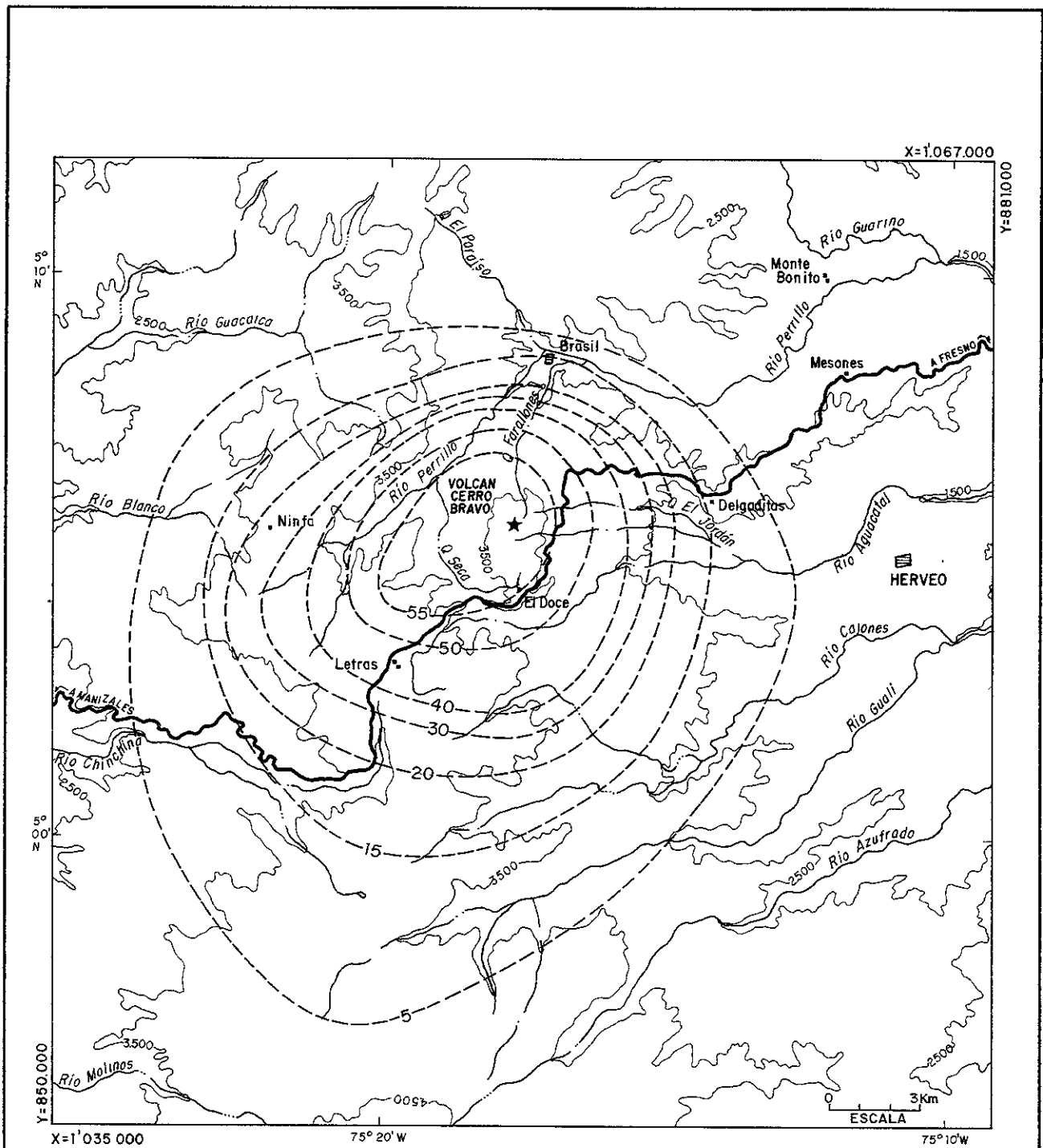


Figura 31: Mapa de Isopacas. Nivel 150. Volcán Cerro Bravo

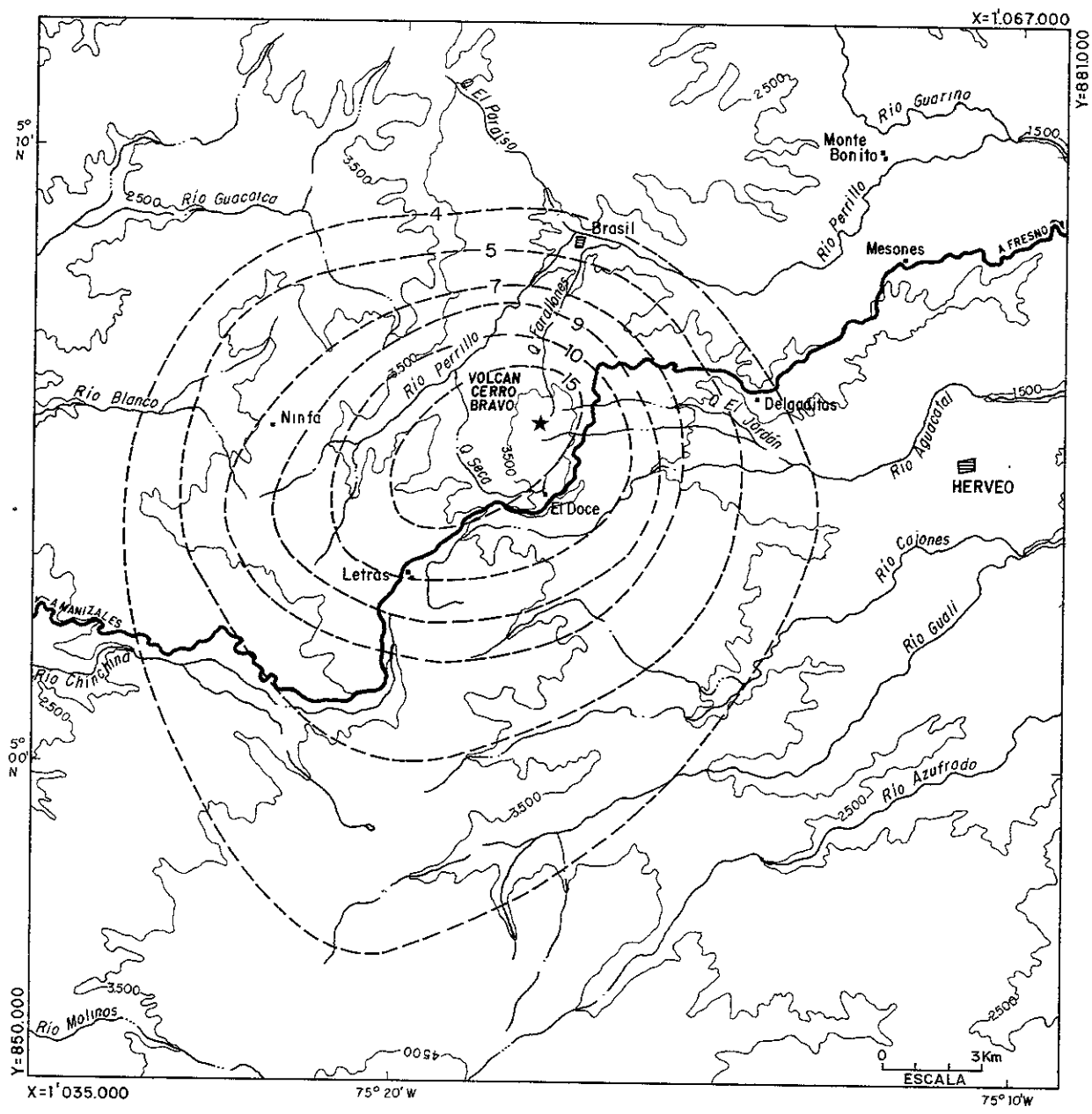


Figura 32: Mapa de Isopletas de pómez. Nivel 150. Volcán Cerro Bravo

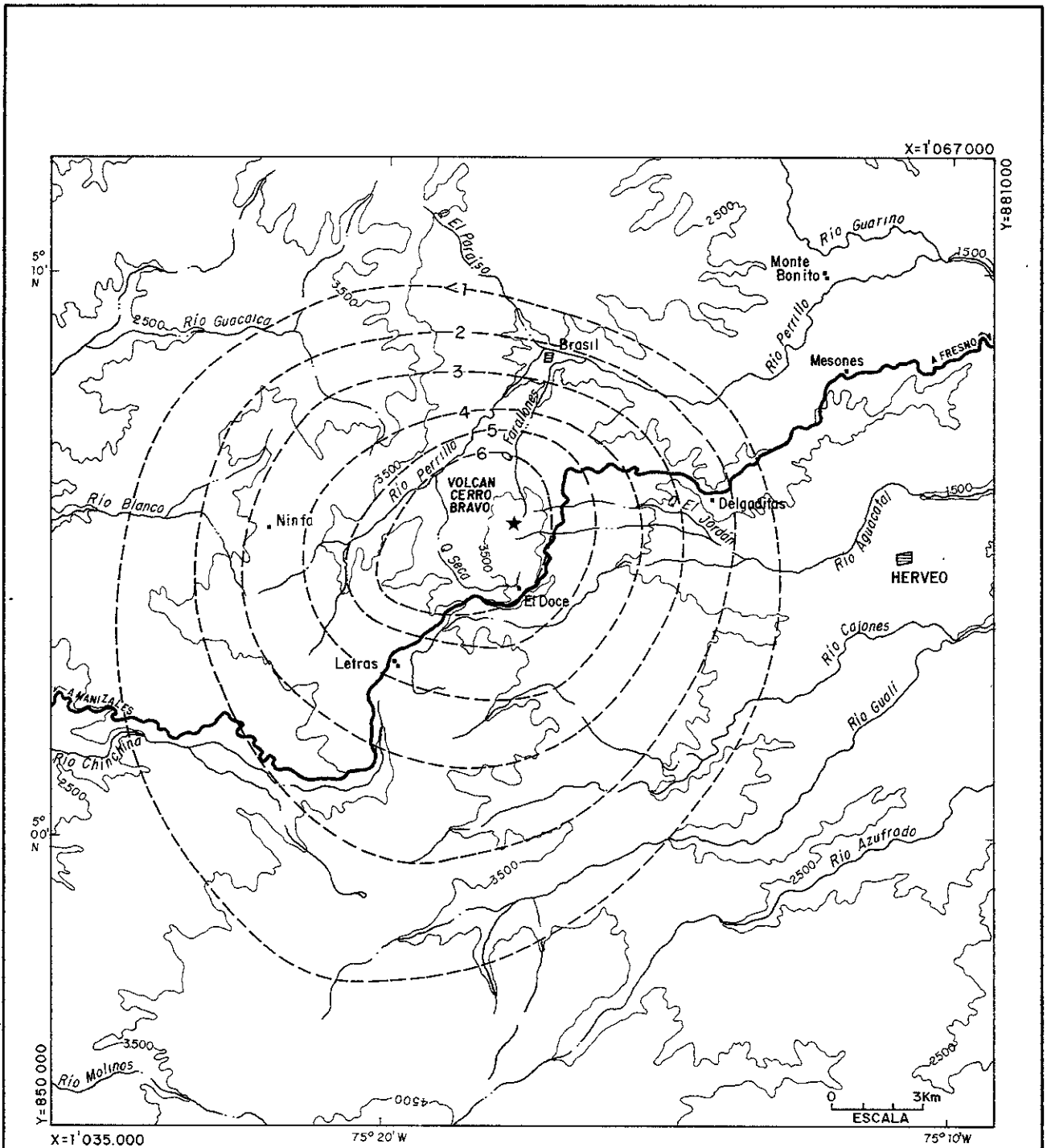


Figura 33: Mapa de Isopletas de líticos. Nivel 150. Volcán Cerro Bravo



aspecto sacaroides, con vesículas pequeñas y fibras delgadas en su interior. Unas pómez de mayor tamaño que el promedio son rosadas, algo café al interior, muy vesiculadas y fibrosas, algunas bandeadas y, generalmente, frágiles: otras pómez, menos frecuentes, son blanco-grisáceas, con bandas grises y no vesiculadas.

Los líticos constituyen un 50% en la fracción de 2 mm: son grises oscuros, algunos muy escasos, rojos y grises claros; son porfiríticos y predominan los vitreos. La fracción 2 mm a 250 micrones se compone de: pómez 30%, líticos 30%, cristales 40%.

2.5.3.10. Nivel 170. Está conformado por lapilli caóticos, con 50% de matriz, 40% de pómez y 10% de líticos. Las pómez son gris a café, porfiríticas muy finas y con vesículas también muy finas.

El material juvenil es pómez angular, de color habano a gris amarillento: las de mayor diámetro son rosadas a cafés en el interior. En general son algo frágiles, porfiríticas finas y fibrosas. Los líticos son escasos, de color gris y porfiríticos. La fracción entre 2 mm y 250 micrones consta de: pómez 40%, líticos 20%, cristales 40%.



2.5.3.11. Nivel 190. Concuerda con CB7 de Lescinsky (1990). Se trata de un nivel guía, compuesto por intercalaciones de ceniza fina, color pardo y gris violeta, con lapilli punitico fino, color gris. Las capas aumentan de espesor y tamaño de grano hacia la base. Existe relación directa entre el espesor de los niveles y el predominio de pómez. El aspecto del depósito en general, es laminado y tiene una gran distribución en el área: sus mayores espesores se encuentran al oeste del volcán, variando entre 60 cm. a 2 km de la fuente, y 20 cm. a los 12 km. Su eje de dispersión es aproximadamente 210° (Figuras 34, 35, 36 y 37).

Los fragmentos juveniles son pómez subangular, de color blanco grisoso, en muestra de mano, localmente, en superficie son ligeramente amarillas. Es porfirítica fina, vesiculada y algo fibrosa. Las de mayor tamaño son de color rosado en su interior y muy fibrosas. Los líticos son escasos, de tamaño pequeño, porfiríticos, grises, algunos rojizos. La fracción entre 2 mm y 250 micrones consta de: pómez 50%, líticos 20%, cristales 30%.

Los otros niveles correspondientes a CB9 y CB17 de Lescinsky (1990), no presentan una gran dispersión en el área. El CB9 estaría compuesto por varios niveles plinianos de lapilli de pómez alterado, de color amarillento, intercalado con

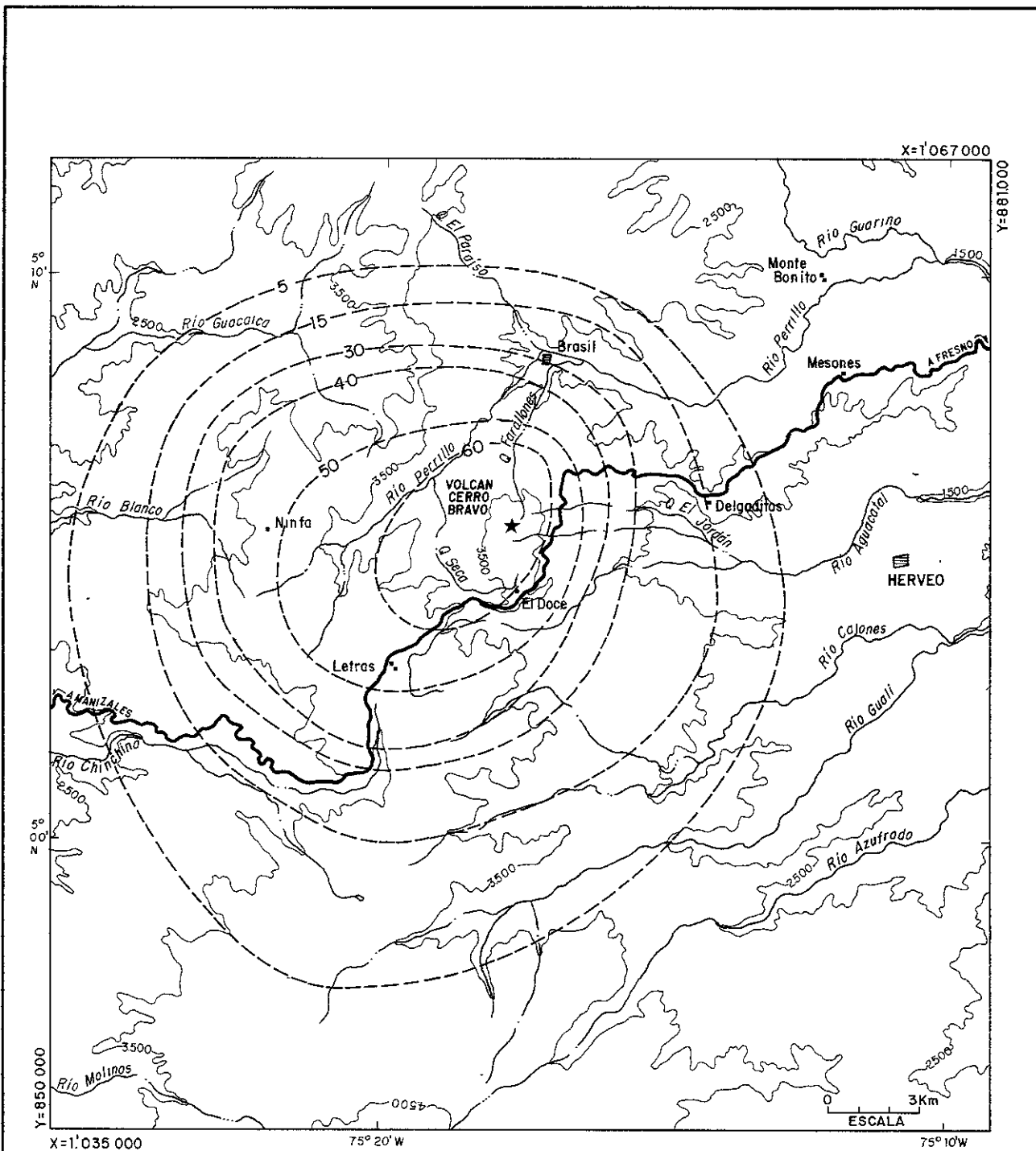


Figura 34: Mapa de Isopacas. Nivel 190 (Inferior). Volcán Cerro Bravo

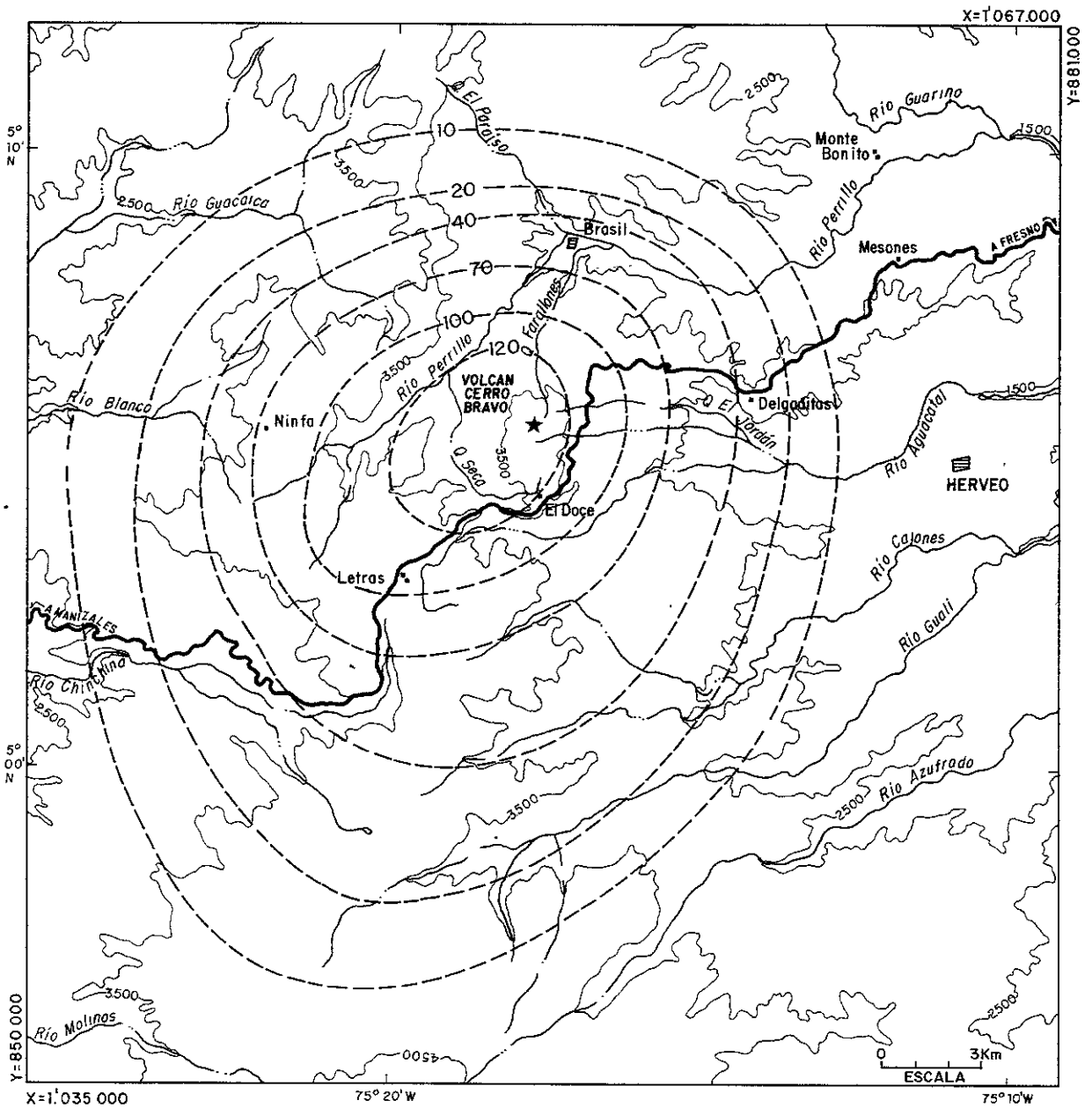


Figura 35: Mapa de Isopacas Nivel 190 (Total). Volcán Cerro Bravo

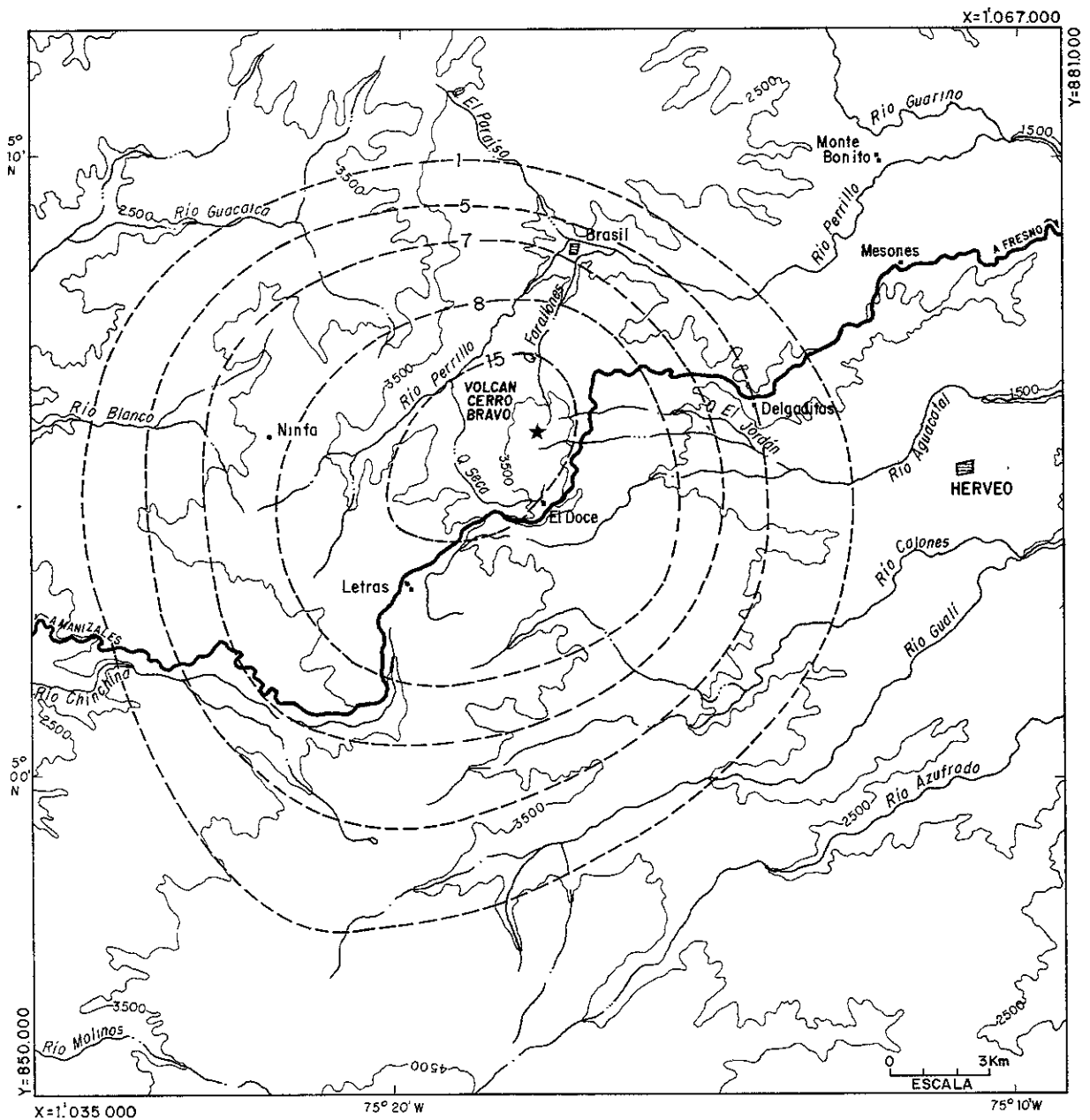


Figura 36: Mapa de Isopletas de pómez. Nivel 190. Volcán Cerro Bravo

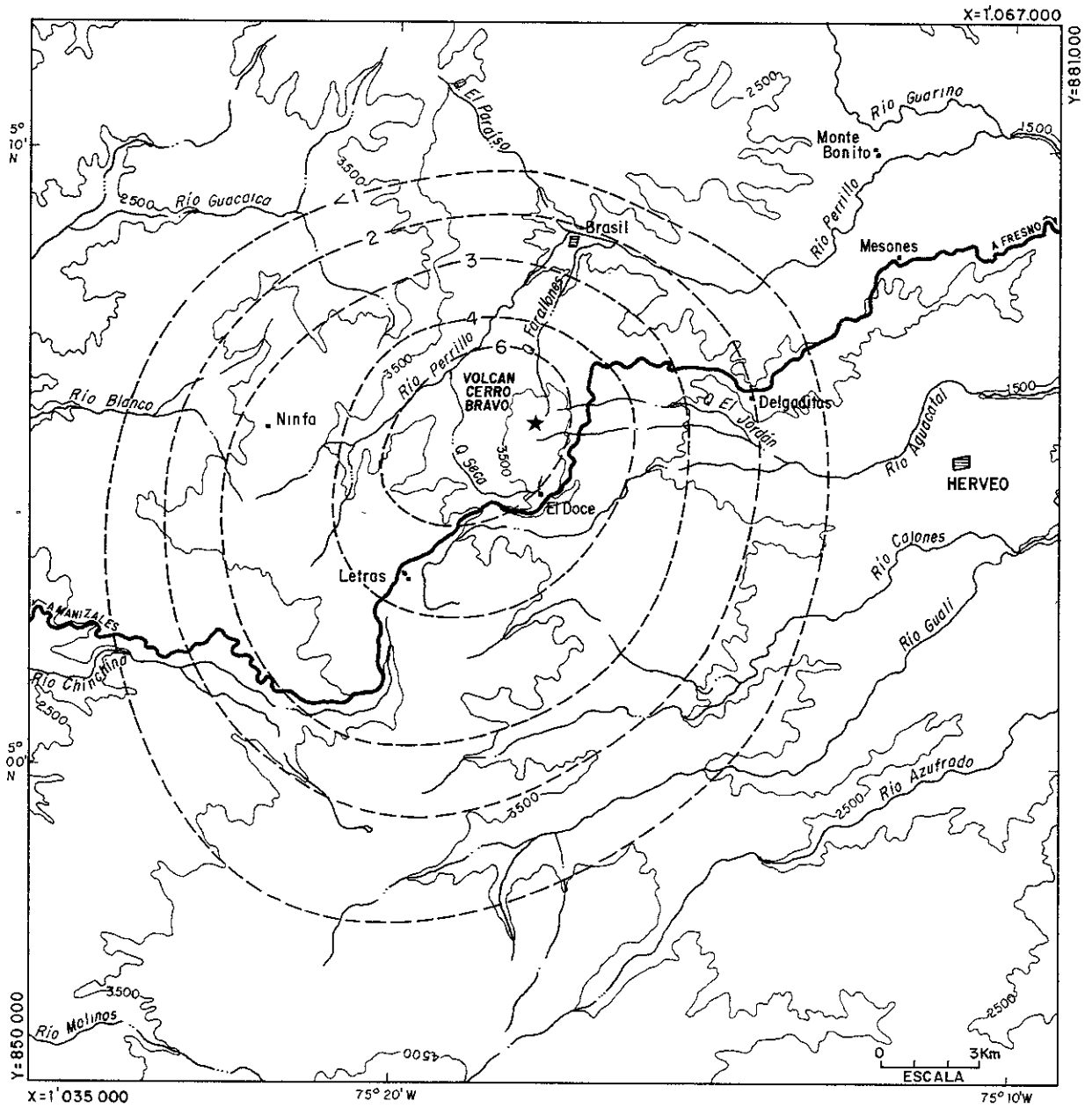


Figura 37: Mapa de Isopletas de líticos Nivel 190. Volcán Cerro Bravo



cenizas. Los niveles identificados en este trabajo correspondiente al CB9 son: 210, 260, 300 (Figura 18a). El nivel CB17 está conformado por dos niveles de lapilli amarillo muy alterado (340, 360), intercalado con cenizas.

2.6. FLUJOS DE LODO

Depósitos dejados por arrastre y retrabajamiento de material volcánico, especialmente de tipo piroclástico, se reconocen en varios lugares de los valles de los ríos Gualí y Guarinó: se trata de acumulaciones de espesor entre 2 y 6 m. compuestas por arena media a fina, de aspecto tobáceo a pumítico, con cantos y bloques de rocas volcánicas, en menor proporción intrusiva y metamórfica, y niveles de pómez retrabajadas. Estos depósitos, equivalentes en parte a flujos de lodo secundarios, se encuentran intercalados con depósitos aluviales, formando terrazas con altura variable, entre 3 y 50 m. sobre el valle de los ríos mencionados.

En la zona montañosa el registro es menos extenso que en la región plana del valle del río Magdalena, debido a que el alto gradiente, de estas corrientes fluviales, ha provocado su erosión. En el río Gualí se encontraron acumulaciones en la vereda Brisas del Gualí (Plancha 207-III-A), en la confluencia con el río Aguacatal (Plancha 207-II-A) y en el



trayecto Mariquita-Honda. Sobre el río Guarinó aparecen en la región comprendida entre un poco al norte del puente de la carretera Petaqueros (Tolima) - Manzanares (Caldas) y la confluencia con el río Santo Domingo (Planchas 207-I-A y I-C) y cuando el río sale al valle del Magdalena, en la vereda Pifales.

En el valle del río Magdalena se presentan niveles, de 3 - 5 m de espesor, de material volcánico retrabajado, similar a flujos de lodo, que forman acumulaciones de hasta 12 m por encima del nivel actual del río Guarinó. En Honda las acumulaciones más antiguas tienen una potencia mayor de 20 m, debido a que se intercalan con flujos de lodo y otros materiales provenientes del volcán Nevado del Ruiz, que en conjunto forman la llamada Formación Gualí (Butler, 1942, en De Porta, 1974); en esta zona los niveles recientes están intercalados con los aluviones actuales del río.

2.7. ACTIVIDAD TERMAL

Aunque nunca se había reportado actividad termal asociada al volcán Cerro Bravo, en el transcurso de los trabajos para la elaboración del mapa preliminar de amenaza, se identificaron tres sitios donde afloran manantiales tibios ('warm springs'). A pesar de su baja temperatura (alrededor de 20°C,



valor estimado). representan un signo de actividad del volcán y deben ser estudiadas con el fin de conocer sus características.

Dos de estos sitios se encuentran en la quebrada El Jordán, al oriente del volcán; el primer grupo (Figura 38a) constituido por tres manantiales pequeños, tibios y fríos, se halla a 2400 m de altura y tienen sabor a soda. El segundo grupo, localizado en la misma quebrada a 2150 m. está conformado por varios resumaderos (Figura 38b), con temperatura también baja.

El tercer sitio se encuentra a 3500 m de altura, sobre la quebrada Cerro Bravo, cerca a la confluencia con el río Aguacatal. Son fuentes de mayor volumen, igualmente tibias que emergen del contacto entre rocas intrusivas y lavas del Cerro Bravo antiguo. En la región son conocidas como los termales de Cerro Bravo y, a pesar de su difícil acceso, fueron utilizadas, en un tiempo, como baños termales.

2.8. ESQUEMA DE LA EVOLUCION GEOLOGICA DEL VOLCAN CERRO BRAVO.

Si bien el registro geológico del volcán Cerro Bravo no está completo en todos los sitios, los resultados obtenidos

Figura 86. Fuentes termales del volcán Cerro Bravo



a) Quebrada El Jordán 2400 m



b) Quebrada El Jordán 2150 m



permiten hacer una reconstrucción parcial de la historia evolutiva de él (Figura 38), en donde se distinguen básicamente, dos etapas de construcción del volcán:

I - La actividad de un volcán de base y su evolución a fase caldérica, conformaron el Cerro Bravo antiguo, en el Pleistoceno inferior (Thouret et al., 1985).

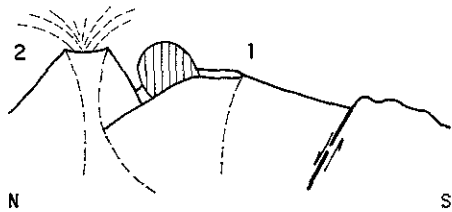
II - Formación del volcán Cerro Bravo moderno, constituido por dos calderas concatenadas, con extrusión de domos que representan el centro actual de la actividad. El registro geológico de la fase explosiva abarca un lapso de, aproximadamente, 14.000 años (Herd, 1974).

El desarrollo del Cerro Bravo reciente incluye los siguientes eventos:

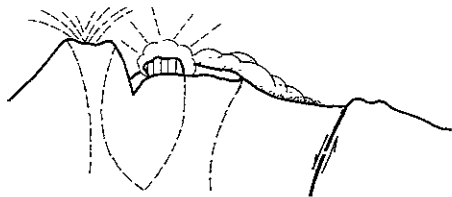
a- Construcción del edificio sur, que incluye efusión de lavas andesíticas-dacíticas.

b- Erupciones explosivas, cuyos flujos piroclásticos no están muy bien preservados y sólo es posible diferenciar tres episodios plinianos de caída (CB9 a CB7). Con esta fase se relacionan los eventos que dieron origen a la primera caldera o caldera sur.

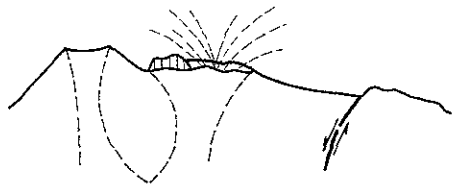
III 3.000-600 AÑOS



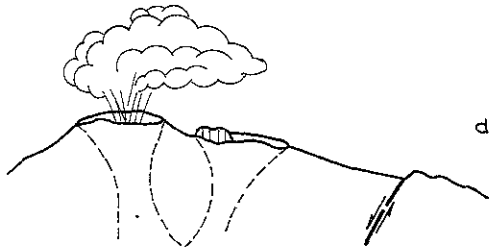
- a - Fase de actividad contemporánea en dos centros de emisión alimentados por una misma cámara magmática.
Emplazamiento de nuevos domos e inicio de construcción del segundo edificio



- b - Destrucción parcial del domo de la primera caldera dando Flujo de Ceniza y Bloques del Aguacatal (evento CB5).
Continúa la construcción del segundo edificio

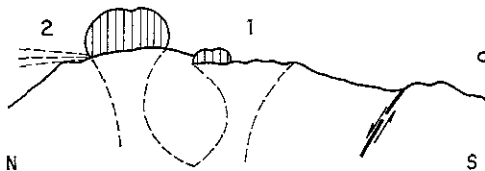


- c - Continúa la actividad explosiva en la primera caldera dando erupciones plinianas que generan tanto a piroclastos de caída como flujos de ceniza y pómez (CB3-CB4).
Continúa la construcción del segundo edificio, y se producen colapsos de lavas muy viscosas

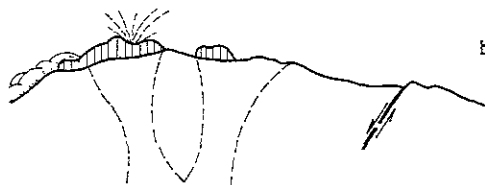


- d - Comienzo de la actividad explosiva de la segunda caldera con emisiones plinianas de flujos de ceniza y pómez que dan lugar a la formación de la segunda caldera o ensanchamiento del cráter

IV 600 AÑOS - PRESENTE



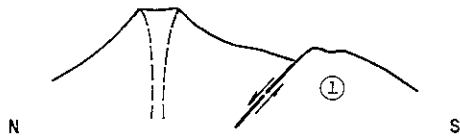
- a - Continúa la actividad explosiva en la segunda caldera se produce emplazamiento del complejo de domo que la rellenan totalmente, acompañado por un evento de explosión lateral dirigida ("Blast").



- b - La actividad explosiva reciente se concentra en el complejo de domos produciendo pequeñas explosiones que forma pequeños cráteres en ellos. Se produce la explosión y colapsamiento de la parte norte del complejo de domos dando lugar a el Flujo de Ceniza y Bloques de Brasil.

FIGURA 39: Esquema de la evolución geológica del Cerro Bravo Actual. (Continuación)
Diseñado por M. L. Monsalve.

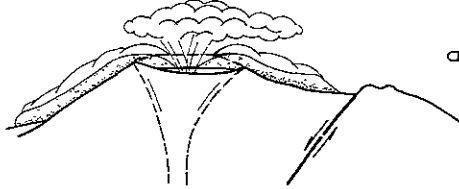
I >14.000 AÑOS



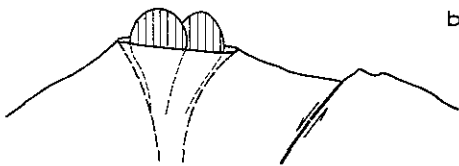
Construcción del edificio sur de Cerro Bravo Actual. Principalmente emisión de lavas

①-Caldera Quebrada Seca (Lesinsky, 1990) o Depresión Volcano Tectónica de Letras (Thouret, 1985)

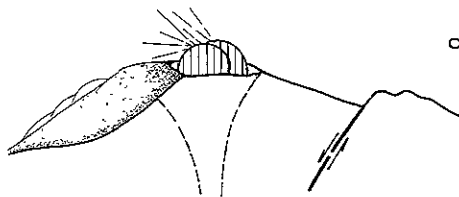
II 14.000 - <3.000 AÑOS



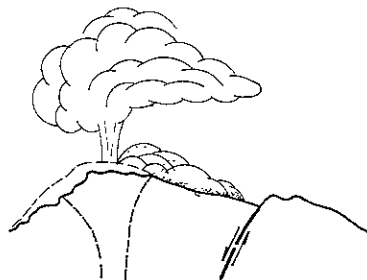
a- Comienzo de la actividad explosiva, con erupciones plinianas que dieron piroclastos de caída y flujos de pómez, produciendo el colapso caudérico o ensanchamiento del cráter



b- Emplazamiento de domos.



c- Explosión y destrucción de domos y colapso parcial del edificio (Flujo de Ceniza y Bloques de La Plata).



d- Reinicio de actividad explosiva en el edificio parcialmente destruido

FIGURA 39: Esquema de la evolución geológica del Cerro Bravo Actual.
Diseñado por M. L. Monsalve



c- Desarrollo de domos intracaldéricos y su posterior destrucción. originando el Flujo de Ceniza y Bloques de La Plata, con destrucción del sector norte de la caldera sur.

d- Erupciones explosivas de tipo pliniano (CB6).

e- Desarrollo de un nuevo domo intracaldérico: aparentemente en este episodio se inicia la construcción, en el norte, del segundo edificio volcánico, cuyos productos rellenan, en parte, la primera caldera.

f- Destrucción parcial del domo de la primera caldera hacia el sector oriental, generando el flujo de ceniza y bloques del sector del Plan. Este evento se correlaciona con CB5 de Lescinsky (1890), comprendido entre 2735 ± 30 y 3260 ± 35 años. Remanentes de este domo son visibles entre la primera y segunda calderas. Continúa la actividad efusiva en la segunda caldera.

g- Continuación de la actividad explosiva en la caldera sur, con formación de flujos de ceniza y pómez y "surges", así como productos plinianos de caída, correspondientes a los eventos CB4, datado entre 1070 ± 90 y 985 ± 30 años y CB3, que es uno de los mayores episodios de la actividad volcánica reciente de Cerro Bravo, comprendido entre 940 ± 120 y $860 \pm$



110 años. Contemporáneamente se inicia la fase explosiva del edificio norte, que ocasiona ensanchamiento del cráter. a dimensiones caldéricas. La carencia de dataciones radiométricas. sobre productos claramente identificados como provenientes de ésta etapa. impide conocer la edad precisa del inicio de esta fase explosiva.

h- A partir del evento pliniano CB3, asociado a la caldera sur, la actividad volcánica se concentra en la caldera norte y se inicia el emplazamiento de los domos que la ocupan. en la actualidad. Este emplazamiento fue acompañado por una explosión lateral dirigida ("blast"), que ocasionó el colapso parcial de la estructura, hacia el norte, con generación de "surges", en esa misma dirección. Este emplazamiento de domos ocurrió contemporánea o inmediatamente después del evento CB2, fechado por Lescinsky (1990) en 625 ± 70 años.

i- Explosiones pequeñas. en los domos de la caldera norte y colapso parcial del más septentrional. que generó el Flujo de Ceniza y Bloques de Brasil, que constituye uno de los últimos o quizás el último evento de la actividad reciente del volcán Cerro Bravo.

j- Para Lescinsky (1990), la última actividad pliniana de Cerro Bravo ocurrió hace, aproximadamente. 200 años, edad



histórica de la cual no se conoce registro oral o escrito. Herd (1974) hace mención de una erupción, en el año 1570, en el Complejo Volcánico Ruiz-Tolima, basado en el Mapa Colonial de Colombia (IGAC), en el cual aparece un volcán de la Cordillera Central en erupción, que podría tratarse del Ruiz o del Cerro Bravo.



3. AMENAZA VOLCANICA DE CERRO BRAVO

El Mapa Preliminar de Amenaza Volcánica del Volcán Cerro Bravo (Anexo 2). se elaboró teniendo en cuenta dos principios básicos como son: que la actividad futura tenga un patrón similar de comportamiento a la actividad pasada y que los centros de emisión, de los productos de futuras erupciones, sean los cráteres actuales. Cambios en estilos eruptivos o focos de emisión se deben detectar con estudios estratigráficos y petrológicos detallados y con métodos de vigilancia volcánica, tanto en períodos de reposo como de crisis.

Los trabajos geológicos dan una idea de los tipos de productos emitidos por el volcán en anteriores erupciones, así como su distribución.

El volcán Cerro Bravo se caracteriza por su comportamiento de tipo explosivo, que ha predominado, al menos, en los últimos 14.000 años y que ha dejado como productos principales flujos piroclásticos, piroclastos de caída (ceniza y lapilli), "surges" y emplazamiento de domos. Todos estos productos, o la mayoría, son factibles de ser emitidos en el transcurso de una misma erupción, si es de tipo pliniano, tal como lo demuestra el registro geológico en el área.



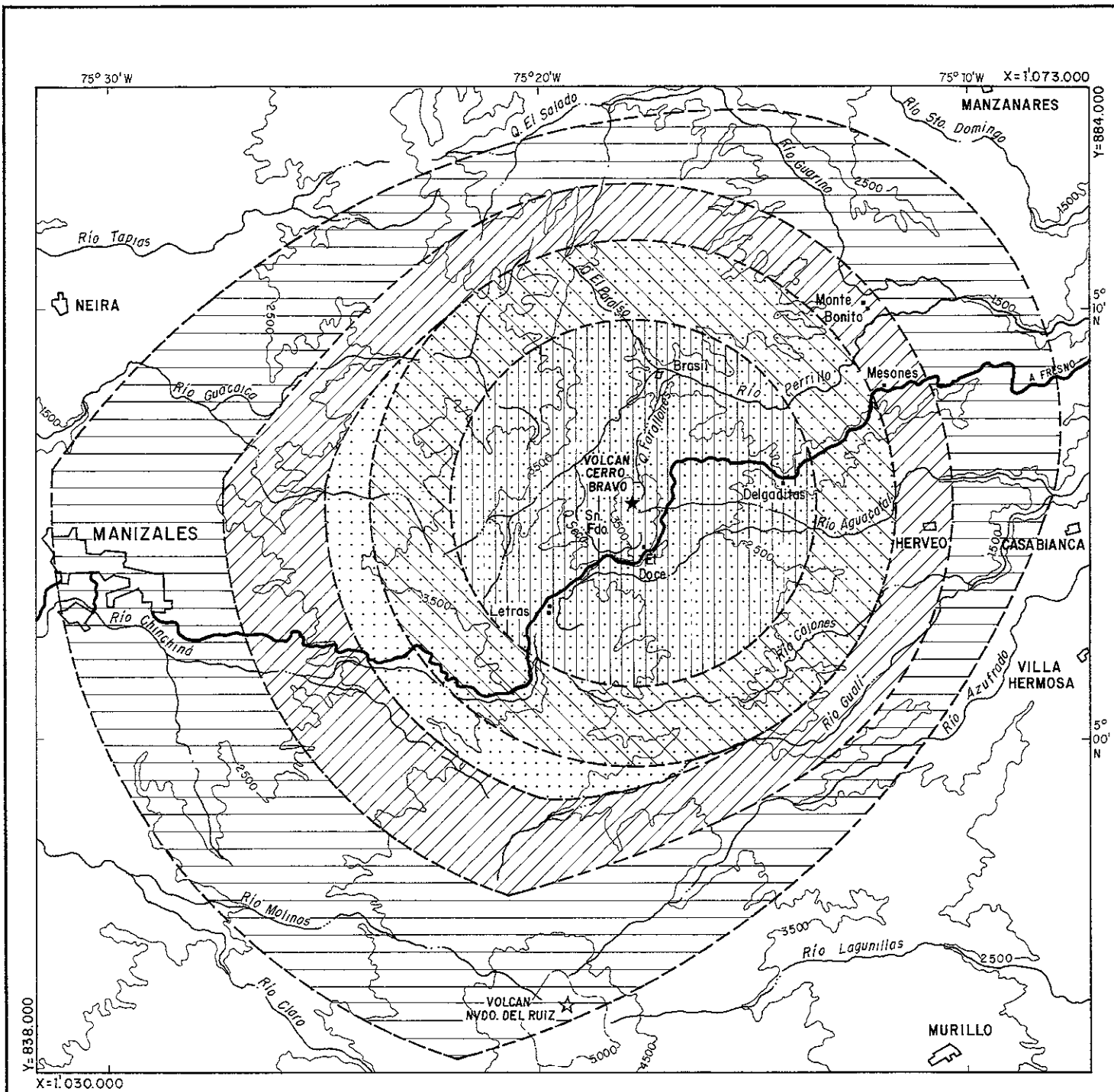
Los flujos de lava son comunes en los episodios de construcción de los edificios volcánicos, que constituyen el Cerro Bravo. Registro de flujos de lodo no se conserva en las zonas próximas al volcán. Estos podrían ser productos secundarios en erupciones futuras.






3.1. AMENAZA POR PIROCLASTOS DE CAIDA


Los piroclastos de caída (ceniza y lapilli punitico) son los productos más comunes en la actividad del Cerro Bravo. El registro geológico muestra que generalmente ellos son el resultado de erupciones mayores, de tipo pliniano, que han generado, también, flujos piroclásticos. Actividad futura del volcán producirá, de nuevo, piroclastos de caída, ya sea como productos únicos de la erupción, o generados al mismo tiempo o en la misma fase eruptiva que dé lugar a otro tipo de productos.

La zonificación de la amenaza por este tipo de productos (Figura 40), se elaboró con base en los mapas de isopacas e isopletras de los principales niveles plinianos reconocidos en el área (Figuras 18 a 37).

Los proyectiles balísticos, representados por bombas corteza de pan, se encuentran en un área más limitada alrededor del



-  Amenaza alta por proyectiles balísticos y caída de piroclastos.
-  Amenaza media por proyectiles balísticos y amenaza alta por caída de piroclastos
-  Amenaza alta por caída de piroclastos.
-  Amenaza media por caída de piroclastos.
-  Amenaza baja por caída de piroclastos

INGEOMINAS GOBERNACION DEL TOLIMA-CRET	
ZONAS AMENAZADAS POR PIROCLASTOS DE CAIDA Y PROYECTADOS BALISTICAMENTE VOLCAN CERRO BRAVO	
Autor: Alberto Nuñez T. Ma. Luisa Monsalve	Dibujó: Cartografía-Ingeominas
 ESCALA	
Abril-1991	FIGURA 40



volcán. de aproximadamente 8 Km de radio a partir de los cráteres. Sin embargo, fragmentos de pómez de hasta 7 cm de diámetro, asociados al nivel pliniano de caída 10, se encuentran hasta 12 km de distancia del volcán, lo que da una idea de la máxima distancia alcanzada por fragmentos proyectados balísticamente. Para la zonificación por este tipo de producto se toma un radio de 8 km, a partir del cráter, para la amenaza alta, que corresponde a la distancia promedio en que se ha encontrado pómez de 7 cm de diámetro, en la mayoría de niveles plinianos de caída; y amenaza media, hasta 12 km de radio a partir de la fuente, teniendo como base el nivel pliniano 10, que representa el máximo evento de este tipo, pero que tendría una posibilidad menor de producirse en una futura erupción (Figura 40).

La zonificación de la amenaza por piroclastos de caída se realizó teniendo en cuenta las características de los niveles plinianos de caída, particularmente aquellas de la erupción que dió origen al nivel pliniano CB3 (nivel 30), que representa el mayor evento de caída del volcán Cerro Bravo (Ver Tabla 1).

La zona de amenaza alta se toma hasta una distancia de 14 km, a partir del cráter, con dirección preferencial sur-suroeste, donde se han encontrado espesores de 20 cm; en una erupción



futura pueden acumularse espesores entre 20 cm y 400 cm, de material piroclástico, en menos de dos horas.

La zona de amenaza media comprende un área hasta 18 km. en dirección sur-suroeste, que puede ser afectada por espesores entre 20 cm y 10 cm, de productos de caída, emitidos en menos de dos horas.

La zona de amenaza baja comprende el área que puede ser afectada por espesores menores a 10 cm, acumulados en menos de dos horas: este material puede ser removido fácilmente, impidiendo su acumulación, que puede provocar colapsamiento de techos.

Cálculos realizados por Cepeda y Murcia (1988), para la elaboración del Mapa Preliminar de Amenaza Volcánica Potencial del Nevado del Tolima, indican que la máxima carga soportada por una teja metálica, de 1,6 mm de espesor y 214 cm de largo, es de 35 kg/m², lo que equivale a una capa de 7 cm de espesor de material con 500 kg/m².

Se debe tener en cuenta que la dirección de los vientos, tomada para la zonificación de la amenaza por piroclastos de caída, corresponde a las direcciones prevalecientes durante



la mayoría de las erupciones anteriores del volcán Cerro Bravo.

Según Cepeda y Murcia (1988), la dirección del viento, a más de 15 km de altura, durante la fase eruptiva del Nevado del Ruiz el 18 de noviembre de 1985, fue noreste y la dirección de éstos por debajo de esta altura es predominantemente oeste, hacia donde han sido transportadas la mayoría de cenizas del Nevado del Ruiz durante el desarrollo de las fases eruptivas menores actuales. El volcán Cerro Bravo se encuentra 20 km al norte del Ruiz, en el mismo sistema montañoso, por lo tanto sometido a condiciones meteorológicas similares.

Por las anteriores razones es necesario, en caso de una reactivación futura del Cerro Bravo, contar con estudios de regímenes de vientos para establecer las direcciones preferenciales de distribución de los piroclastos de caída.

La amenaza por piroclastos de caída resulta, principalmente, de la acumulación del depósito y en parte por la temperatura de los fragmentos: esta amenaza depende de la dirección de los vientos, en el momento de la erupción, y decrece exponencialmente, con la distancia a la fuente volcánica.



Entre los efectos de la caída de piroclastos se tienen la oscuridad que se produce durante el tiempo que dura la emisión, que puede causar problemas en los transportes, tanto aéreo como terrestre; así mismo se pueden presentar molestias en las vías respiratorias de personas y animales.

La emisión de proyectiles balísticos, bombas, puede generar incendios, daños en cultivos y viviendas, y la muerte de animales y personas, por impacto.

La acumulación de material tamaño lapilli y acumulaciones mayores de ceniza, pueden producir daños en construcciones, como colapso de techos. Acumulaciones menores de este material, aún de mm, pueden tener componentes tóxicos de flúor, que producen efectos nocivos sobre cultivos y animales, inclusive a grandes distancias del centro de emisión (Blong 1984).

3.2. AMENAZA POR FLUJOS PIROCLASTICOS

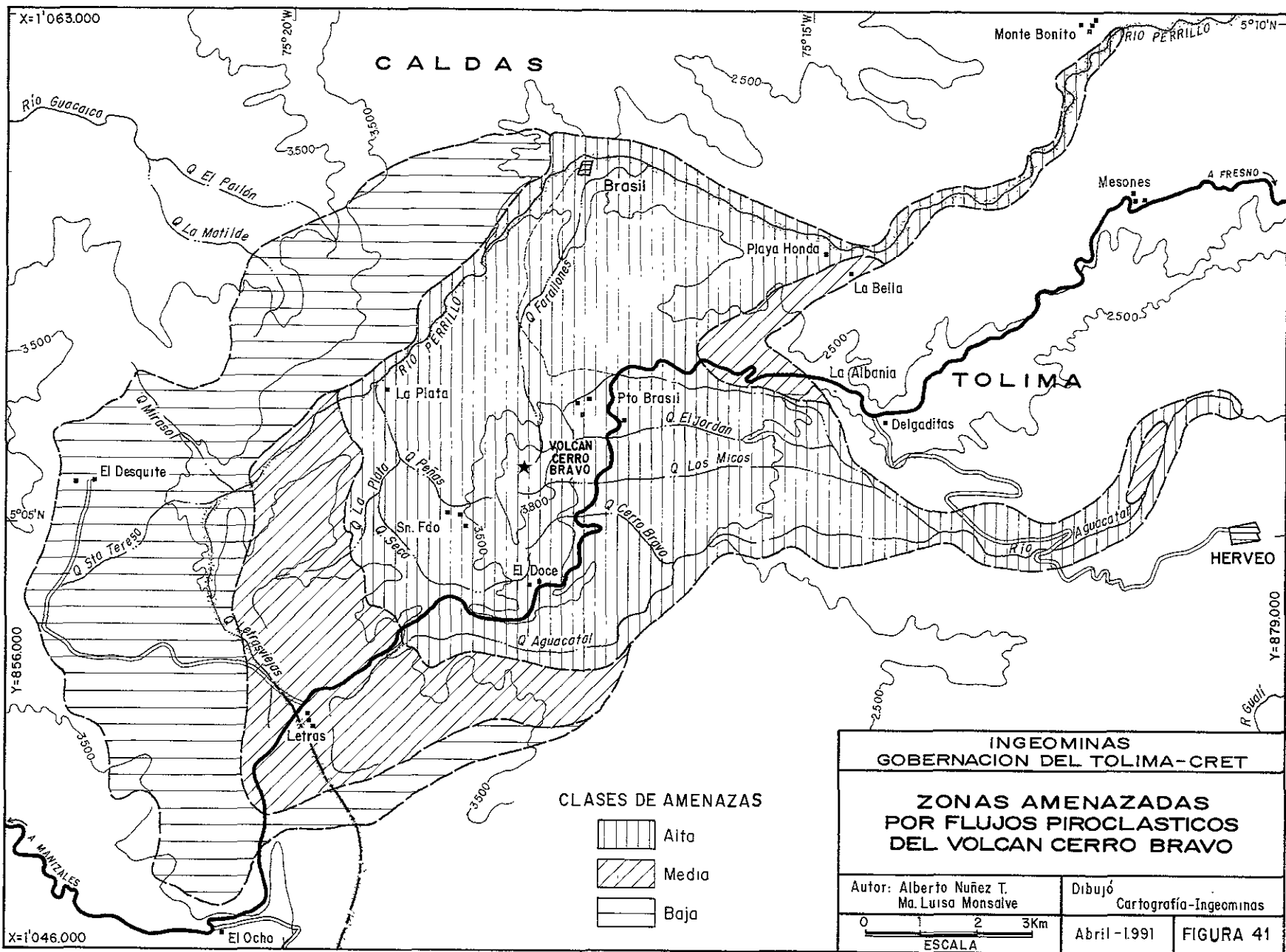
Los flujos piroclásticos generados por el Cerro Bravo, son flujos de ceniza y pómez, de los cuales se han reconocido al menos nueve eventos, y flujos de ceniza y bloques, de los que se tiene registro geológico de tres. Se han observado a distancias del volcán que varían entre 6 y 18 Km. dependiendo de la magnitud de la erupción que los produjo.



Estos dos tipos de flujo tienen grandes posibilidades de producirse en una erupción futura, tanto independientemente como en un mismo evento eruptivo: esta situación se ha observado en erupciones contemporáneas e históricas como la del Santa Helena en 1980 (Tilling, 1985), Montaña Pelée en 1902 (Bourdier et al., 1989) y el mismo Cerro Bravo, ya que se han detectado flujos de ceniza y bloques que pasan, de una manera transicional, a flujos de ceniza y pómez en las últimas fases de la erupción.

Parte de la amenaza por flujos piroclásticos se debe a su velocidad de desplazamiento, que puede variar entre 70 y 200 m/seg (Blong 1984), lo cual implica arrasamiento de todo lo que encuentre a su paso. La temperatura de los flujos, entre 250° y 600°, también representa una amenaza considerable, que inclusive puede repercutir en zonas aledañas a aquellas afectadas directamente por el flujo. La Figura 41 muestra las zonas amenazadas por este tipo de productos.

3.2.1. Amenaza por flujos de ceniza y bloques. De acuerdo con el estado actual del volcán, donde la actividad más reciente se ha observado que se concentra en el complejo de domos que rellenan la segunda caldera, se puede inferir que los flujos de ceniza y bloques, causados por la explosión de domos,



INGEOMINAS GOBERNACION DEL TOLIMA-CRET	
ZONAS AMENAZADAS POR FLUJOS PIROCLASTICOS DEL VOLCAN CERRO BRAVO	
Autor: Alberto Nuñez T. Ma. Luisa Monsalve	Dibujó Cartografía-Ingeominas
0 1 2 3Km ESCALA	Abril - 1991 FIGURA 41



constituyen una de las amenazas más probables en Cerro Bravo: como se ha visto en el registro geológico estos flujos pueden terminar con una fase que incluya magma juvenil que genere tanto productos plinianos de caída como flujos de ceniza y pómez.

Una erupción en la segunda caldera, que origine este tipo de material, afectaría los flancos norte, oriental y noroccidental del volcán.

El flanco norte del volcán es especialmente inestable, debido a su morfología: la destrucción del domo norte podría afectar la misma área que arrasó el Flujo de Ceniza y Bloques de Brasil.

Una erupción de mayor magnitud, que incluya la destrucción total del complejo de domos, puede generar flujos de ceniza y bloques en las tres direcciones mencionadas, simultáneamente.

3.2.2. Amenaza por flujos de ceniza y pómez. Los flujos de ceniza y pómez son muy comunes en el volcán Cerro Bravo, por lo que constituyen una amenaza muy probable en futuras erupciones. Podrían tener como fuente la primera caldera, donde constituirían el producto principal de la erupción, c



podrían generarse en la segunda caldera como producto acompañante de flujos producidos por la destrucción de domos.

Este tipo de producto, según la fuente de origen, afectaría los siguientes sectores:

Primera caldera: las partes altas del volcán, en su totalidad, y los valles de quebrada Seca, tributaria del río Ferrillo, cañada del Doce y demás tributarios del río Aguacatal, así como el valle de este mismo río.

Segunda caldera: el área afectada sería similar a la cubierta por los flujos de ceniza y bloques, incluyendo el sector oriental: quebrada Los Micos, quebrada La Arenera y, en general, todas las quebradas que nacen en este sector del volcán.

Según el registro geológico, los flujos de ceniza y pómez pueden viajar grandes distancias y podrían afectar el valle del río Ferrillo, incluso más allá de la población de Monte Benito (Caldas).

3.2.3. Amenaza por "surges". La mayoría de los "surges" encontrados en Cerro Bravo corresponden a unidades de flujos de ceniza y pómez y aún de ceniza y bloques, indicando así



que se pueden formar en cualquier momento de la erupción. En éste caso las áreas amenazadas serían las mismas que las señaladas para los flujos piroclásticos. Sin embargo, si los "surges" se presentan en forma independiente o acompañando otro tipo de erupciones como explosión de domos, pueden abarcar áreas más extensas, debido a su gran movilidad y capacidad de superar barreras topográficas: el registro geológico de este tipo de depósitos alrededor de Cerro Bravo, no es común, pero se considera que en una eventual erupción podría producirse y afectaría un área que se incluye dentro de amenaza media y baja por flujos piroclásticos, ya que es menor su probabilidad de ocurrencia (Figure 41).

3.3. AMENAZA POR FORMACION DE DOMOS

La formación de domos, en el volcán Cerro Bravo, es común como lo demuestra su historia geológica.

Una nueva formación de domos, en el Cerro Bravo, sería posible en un episodio eruptivo que implique, primero, la destrucción de los domos actuales y luego el ascenso de magma nuevo, viscoso, que permita el emplazamiento de domos. Otra posibilidad, algo remota, es que los domos se emplacen en la primera caldera.



El emplazamiento de domos puede ocurrir de una manera no explosiva. lo que no generaría amenaza para las áreas circundantes al volcán: existe la posibilidad que este fenómeno se encuentre acompañado de explosiones, que pueden desencadenar desde la emisión de proyectiles balísticos, hasta la inducción de explosiones laterales dirigidas ("blast"). En este caso un área considerable puede ser afectada, tanto por la onda de choque como por "surges".

Con métodos de vigilancia volcánica, especialmente aquellos de deformación, realizados con suficiente antelación para percibir cambios importantes, se puede, en un momento dado, detectar el ascenso de nuevos domos.

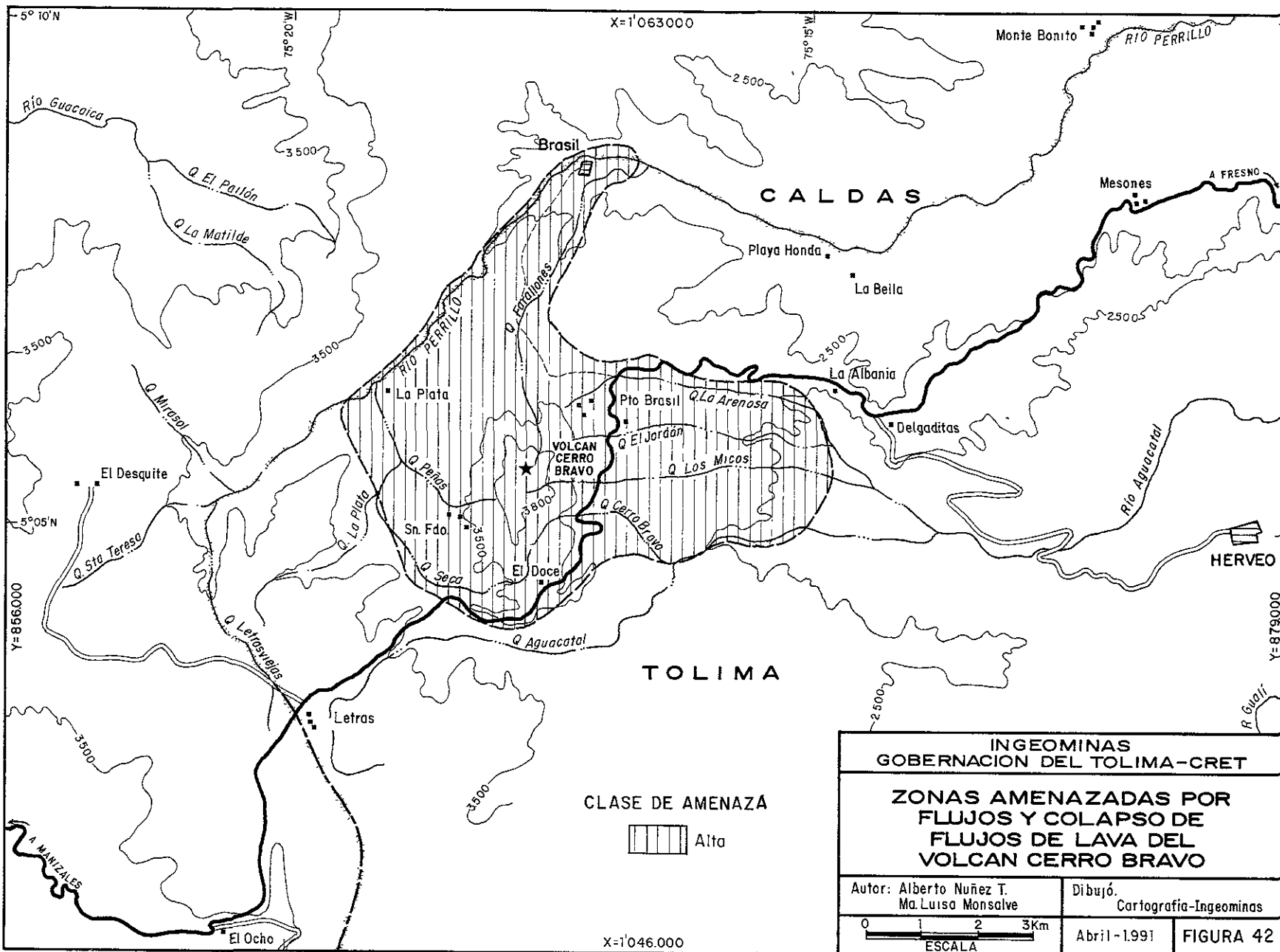
3.4. AMENAZA POR FLUJOS DE LAVA

Los flujos de lava, en Cerro Bravo, generalmente son muy viscosos y de corta longitud. Por otra parte, el estado actual del volcán, indica que si éstas llegan a presentarse, en una erupción futura, sería como producto final de una fase eruptiva que dé lugar a otro tipo de depósitos, como flujos piroclásticos. La formación de lavas, como producto único de una erupción, es muy poco probable.



Las áreas que cubrirían flujos de lava se limitan a las partes altas del volcán, ya que se espera que sean de corta longitud y muy viscosas. tal como se observa en el registro geológico. En las áreas afectadas se presentarían incendios, pero no habría una amenaza mayor para la vida humana. ya que estos flujos alcanzan lentamente, permitiendo a las personas escapar de ellos.

Sin embargo, se deben tener en cuenta las fuertes pendientes que se presentan en las partes altas del volcán, especialmente en los sectores oriental y norte: esta situación puede inducir, si las lavas fluyen hacia esos sitios, a su inestabilidad y disgregación, dando origen a flujos de ceniza y bloques. Estos flujos a pesar de ser muy pequeños comparados con los que se producen por colapso y explosión de domos, tendrían las mismas características descritas para aquellos. En este caso el área afectada por las lavas se incrementaría, incluyendo también las amenazadas por los flujos de ceniza y bloques generados por el colapso de ellas, pero sin superar un radio de 8 Km a partir del centro de emisión (Figura 42).



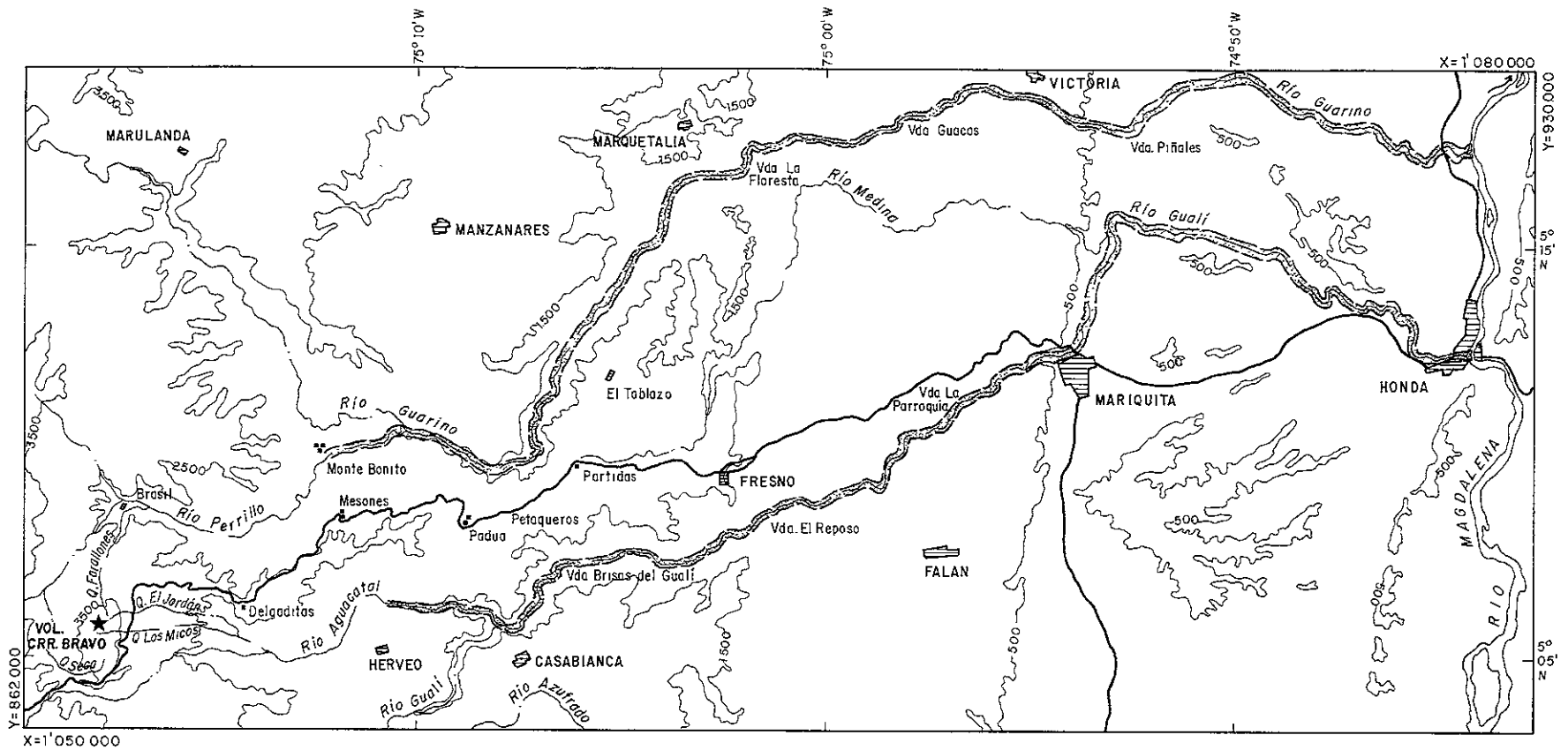



3.5. AMENAZA POR FLUJOS DE LODO

Registro geológico de flujos de lodo. en las partes altas del volcán no fue observado: sin embargo no se puede descartar que ellos se hayan producido en el pasado, aún en épocas históricas.

Flujos de lodo secundarios se presentarían en caso de fuertes lluvias en el momento o después de una erupción; el agua tendería a mezclarse con el material piroclástico suelto, que se encuentra alrededor del volcán, y el proveniente de la erupción misma. Otro tipo de flujo de lodo puede presentarse por represamiento parcial de las corrientes de agua que drenan el área, ocasionado por el material expulsado en la erupción, principalmente si se trata de flujos piroclásticos. En este caso los flujos de lodo se generarían a una distancia del volcán, que depende de aquella recorrida por los flujos piroclásticos, pudiendo, a su vez, avanzar distancias considerables (Figura 43).

El efecto de los flujos de lodo sobre las áreas afectadas, es arrasamiento total, debido a su movilidad y capacidad de incorporar todo lo que encuentre a su paso, por los valles de los ríos y quebradas por los que va avanzando.



 Flujos de lodo secundarios

INGEOMINAS
GOBERNACION DEL TOLIMA-CRET

**ZONAS AMENAZADAS POR
FLUJOS DE LODO DEL
VOLCAN CERRO BRAVO**

Autor. Alberto Nuñez T
Ma Luisa Monsalve

Dibujó:
Cartografía-Ingeominas

0 8Km
ESCALA

Abril-1.991 FIGURA 43



El análisis del registro geológico dejado por flujos de lodo secundarios y material piroclástico retrabajado, en los valles de los ríos Gualí y Guarínó, permite suponer que la altura que pueden alcanzar eventos similares en una eventual erupción del Cerro Bravo, no sobrepase los 10 m sobre el piso actual de los ríos nombrados. Esta altura puede aumentar, ligeramente, en los sitios en donde los valles de los ríos se estrechan.

Es muy importante destacar que en ningún momento estos flujos tendrían la magnitud y capacidad destructiva de los flujos de lodo provocados por la erupción del Nevado del Ruiz, en noviembre de 1985.

La amenaza puede prolongarse tiempo después que la erupción haya cesado, especialmente si se han generado abundantes y espesos depósitos piroclásticos, ya sea de caída o de flujo: esto se debe a que el agua, lluvia o de drenaje, continuará erosionando los materiales sueltos producidos por la erupción: en épocas de intensas precipitaciones, al aumentar los caudales, los ríos transportarán mayor cantidad de detritos. Una amenaza que se desprende de estos flujos torrenciales se debe a su gran capacidad erosiva, que incluye profundización del cauce y socavamiento de las paredes del cauce y valle del río o quebrada por donde transite. El



socavamiento lateral origina desprendimientos y deslizamientos y por tanto amenaza sobre edificaciones, cultivos y obras de infraestructura ubicadas sobre el área amenazada.

Las zonas más críticas se encuentran en el río Gualí, entre la confluencia con el río Aguacatal y la vereda Brisas del Gualí y en la región entre Mariquita y Honda. Por el río Guarinó las zonas de mayor problema se encuentran entre el puente de la carretera Petaqueros - Manzanares y la confluencia del río Santo Domingo y entre la vereda Piñales y la desembocadura en el río Magdalena. En estas áreas se requiere levantamiento topográfico detallado, para delimitar con precisión las zonas de mayor amenaza.

3.6. AMENAZA POR SISMOS VOLCANICOS

Los sismos volcánicos, generalmente, son de pequeña magnitud y sentidos únicamente en áreas cercanas al volcán; ellos permiten reconocer signos de reactivación de un volcán en reposo o el advenimiento de una crisis en un volcán que ha entrado de nuevo en actividad.

En los alrededores del volcán Cerro Bravo se encuentran algunas casas de habitación y dos pequeñas poblaciones:



Brasil y Letras (Tolima), a menos de 10 Km de distancia. Allí es posible sentir los temblores, aunque los daños producidos por ellos sean menores. Muy cerca al volcán y debido a las fuertes pendientes que se presentan, los sismos de origen volcánico pueden producir inestabilidad de taludes dando lugar a deslizamientos, que pueden producir daños, entre otros sitios, en la carretera central Manizales - Bogotá.

3.7. AMENAZA POR GASES VOLCANICOS

Gases volcánicos nocivos se concentran en las zonas de fumarolas y mofetas, especialmente en depresiones topográficas cuando se trata de gases densos como el CO₂; también pueden ser llevados por el viento a grandes distancias. En el primer caso se puede presentar envenenamiento en animales y personas; en el segundo caso marchitamiento de los cultivos, aún a distancias considerables.

En el Cerro Bravo la amenaza por gases volcánicos es baja, debido a la presencia de fuertes corrientes de aire que disipan y rebajan el nivel de toxicidad de los gases que se pueden emitir.



4. ZONIFICACION PROBABILISTICA RELATIVA

El Mapa Preliminar de Amenaza Volcánica del Volcán Cerro Bravo, se elaboró siguiendo la metodología, con algunas modificaciones, utilizada por Farra and Cepeda (1990), para la actualización del Mapa de Amenaza Volcánica del Nevado del Ruiz: se utiliza el concepto de zonificación probabilística que tiene en cuenta los fenómenos volcánicos que amenazan un área determinada, en caso de una eventual erupción, y la severidad con la cual esta zona puede ser afectada.

Para el volcán Cerro Bravo se tomó como base los mapas de áreas amenazadas por diferentes fenómenos volcánicos (Figuras 40, 41, 42 y 43) y se proponen ocho escenarios posibles, con base en la historia eruptiva reciente del volcán y su estado actual:

- 17 Eventos plinianos de caída (emitidos en 8 erupciones plinianas)
- 8 Flujos de ceniza y pómez
- 3 Eventos de generación y ascenso de dcms
- 3 Flujos de ceniza y bloques por explosión y colapso de dcms
- 4 Flujos de lava
- 4 Flujos de ceniza y bloques por colapso de lavas



- 12 Flujos de lodo secundarios, generados a partir de flujos piroclásticos mayores
- 2 Proyectiles balísticos

Estos escenarios se toman de acuerdo con 21 erupciones ocurridas en los últimos 14.000 años, que según las observaciones geológicas corresponden a:

- 9 Erupciones plinianas
- 3 Episodios de emplazamiento de domos
- 3 Eventos de explosión de domos
- 4 Emisiones de lavas
- 2 Eventos de emisiones balísticas

Durante algunas erupciones son generados varios tipos de productos volcánicos, como ocurre en erupciones plinianas, muy frecuentes en el volcán Cerro Bravo. La probabilidad (P) de presentarse, cada uno de estos fenómenos, se obtiene de la cantidad de productos tipo identificados en el área, dividido por el número de erupciones ocurridas en el intervalo de tiempo tomado (14.000 años). Esta probabilidad, expresada en porcentaje (%P), se muestra en la Tabla 2.

La severidad, o sea la capacidad destructora de un producto volcánico, se toma de la escala de Farrand Cepeda (1990).

TABLA 2 : Volcán Cerro Bravo; severidad y severidad ponderada para los eventos de amenaza volcánica potencial.

EVENTO	PROB. P	PROB. % P %	SEVERIDAD			SEVERIDAD PONDERADA		
			A	M	B	A	M	B
Caída de piroclastos (plinianos).	17 / 21	80,9	3	2	1	23,4	15,6	7,8
Caída de piroclastos (proyectiles balísticos)	2 / 21	9,5	2	1	-	1,8	0,9	-
Flujos piroclásticos*	12 / 21	57,1	5	4	3	27,5	22	16,5
Ascenso de domos	3 / 21	14,2	1	-	-	1,4	-	-
Flujos de lava	4 / 21	19	5	-	-	9,2	-	-
Flujos piroclásticos**	4 / 21	19	5	4	-	9,2	-	-
Flujos de lodo	12 / 21	57,1	5	-	-	27,5	-	-

* Flujos de ceniza y pómez + Flujos de ceniza y bloques producto de explosión de domos.

** Flujos de ceniza y bloques producto de colapso de lavas.

A - Amenaza alta

M - Amenaza media

B - Amenaza baja



TIPO DE DAÑO	SEVERIDAD
Daño parcial a cultivos	1
Daño total a cultivos, daño parcial a propiedad	2
Destrucción propiedad, posibilidad de supervivencia	3
Sin diferencia entre supervivencia o muerte	4
Destrucción total sin posibilidad de supervivencia	5

Para los fenómenos volcánicos, que se pueden originar en el Cerro Bravo, esta severidad se indica en la Tabla 2.

La severidad ponderada (SP), para Cerro Bravo, se obtiene multiplicando la probabilidad en porcentaje (%P), por la severidad: los valores obtenidos se multiplicaron por el factor común 0.0984, obtenido de igualar a cien la suma de las severidades ponderadas para la amenaza alta de cada producto volcánico: el resultado se consigna en la Tabla 2.

Una vez determinada la severidad ponderada, para cada tipo de producto volcánico que puede ser generado en una eventual erupción del volcán Cerro Bravo, se elaboraron los mapas de severidad ponderada y se superpusieron, para obtener el Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Cerro Bravo (Anexo 2).



Las áreas de amenaza alta tienen una severidad ponderada por uno o varios fenómenos volcánicos, mayor de 25, que es el valor de la severidad ponderada de la amenaza alta por caída de piroclastos y proyectiles balísticos a una distancia de 8 km. En el Cerro Bravo esta zona podría estar afectada por caída de piroclastos, proyectiles balísticos, flujos piroclásticos, flujos de lodo y/o flujos de lava. La amenaza intermedia está representada por valores de severidad ponderada entre 16 y 25, esta zona se encuentra amenazada por caída de piroclastos y proyectiles balísticos, principalmente. La amenaza baja está dada por factores de severidad ponderada entre 1 y 16, siendo los piroclastos de caída la amenaza principal en esta zona.



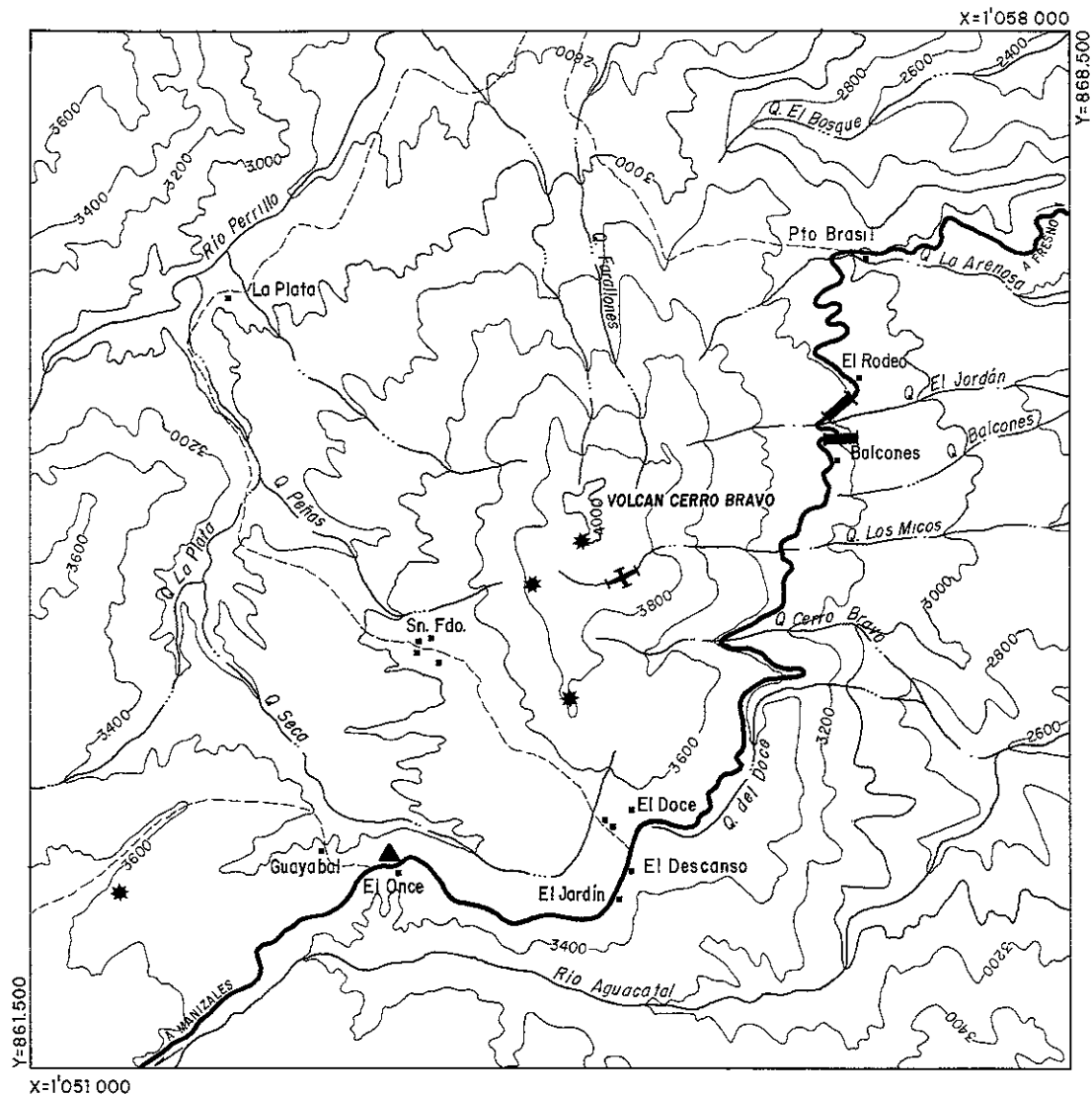
5. VIGILANCIA

Por ser Cerro Bravo un volcán con características altamente explosivas, debe contar con un programa de vigilancia básica, periódica, que alerte sobre su reactivación.






Un primer paso en las labores de vigilancia se llevó a cabo por parte INGEOMINAS, a través de la División Observatorio Vulcanológico de Colombia (O.V.C), en diciembre de 1980, cuando se materializó una red básica primaria de deformación (Figura 44). Esta red consiste de tres vectores cortos de nivelación; dos de ellos (Guacaica y Quimbaya) están ubicados en el costado este del edificio volcánico, al borde de la vía Manizales - Mariquita (Tolima); el otro está situado en la base del domo superior, localizado al este de la laguna. Se espera realizar al menos tres medidas cada año (O.V.C, 1991).


Es necesario obtener e instalar 5 reflectores para montar la red de E.D.M. La difícil topografía que presenta este volcán exige la colocación de por lo menos un inclinómetro electrónico, para encontrar posibles deformaciones de la parte alta del volcán.

En cuanto a sismología se requieren por lo menos dos estaciones sismológicas, una de ellas con telemetría.



CONVENCIONES

-  Base E D M
-  Reflector o Prisma
-  Línea nivelación IGAC (1er orden)
-  Vector corto de nivelación
-  Vector corto en cruz

INGEOMINAS	
GOBERNACION DEL TOLIMA-CRET	
LOCALIZACION DE RED DE DEFORMACION EN EL VOLCAN CERRO BRAVO	
Tomado de: O.V.C. (1991)	Dibujó: Cartografía-Ingeominas
 ESCALA	Abril-1991 FIGURA 44



6. CONCLUSIONES

El Cerro Bravo es un estrato-volcán activo, con un predominio de actividad de tipo explosivo, en sus últimos 14.000 años, que incluye como productos, piroclastos de caída (ceniza y lapilli de pómez), flujos de ceniza y pómez, flujos de ceniza y bloques, domos y lavas.

Para la elaboración del Mapa de Amenaza se tomaron, como centros de emisión, las dos calderas del actual Cerro Bravo, ya que no existe ninguna clase de indicio de que la caldera sur se encuentre inactiva.

De acuerdo con el estado actual de actividad del volcán y su grado de explosividad, una erupción futura puede generar varios tipos de productos simultáneamente.

El fenómeno más probable es la explosión de domos que puede, a su vez, estar acompañada por flujos de ceniza y bloques, flujos de ceniza y pómez, caída de piroclastos y flujos de lodo secundarios.

Los productos plinianos de caída son los más comunes en el área y al mismo tiempo representan un amenaza que puede afectar varias decenas de kilómetros alrededor del volcán.



Los flujos de lodo, a pesar de ser productos secundarios de una futura erupción, pueden afectar zonas alejadas del edificio volcánico, como son los valles de los ríos Gualí y Guarinó hasta la desembocadura en el río Magdalena; su tamaño debe ser menor que el de los generados durante la erupción del Nevado del Ruiz, en noviembre de 1985.

Erupciones futuras, de este volcán, pueden afectar áreas pobladas y con desarrollo económico, como son las poblaciones de Letras, Brasil y Herveo en el Tolima, así como fincas en los alrededores del volcán, la ciudad de Manizales (Caldas) y la carretera central que une a Bogotá con Manizales. Los valles de los ríos Gualí y Guarinó pueden verse afectados por flujos de lodo secundarios.

A medida que se vayan adquiriendo más conocimientos sobre el volcán, ya sea por estudios cronoestratigráficos y petrológicos, o de su comportamiento, por medio de la vigilancia básica, el mapa preliminar de amenaza debe irse actualizando, de acuerdo con esos nuevos datos.



7. RECOMENDACIONES

A pesar de ser el Cerro Bravo un volcán activo en reposo, es conveniente implementar una red de vigilancia básica, que incluya sismología, deformación, geoquímica, toma de temperatura periódica de las fuentes termales y observaciones visuales, con el fin de conocer el patrón de actividad actual y poder detectar, a tiempo, cualquier variación que se presente y que pueda ser debida a una reactivación.

La vigilancia, especialmente por medidas de deformación, es muy importante en este tipo de volcanes, ya que podría suministrar información sobre ascenso de nuevos domos hacia la superficie, lo que implicaría una actualización del presente mapa de amenaza, para incluir amenaza por explosiones laterales dirigidas ("blast").

En caso de presentarse, en una eventual erupción futura, un nuevo centro de emisión en los alrededores del volcán actual, el presente mapa de amenazas debe modificarse de acuerdo con las características de la nueva fuente y su localización. Vigilancia previa del volcán, en estado de reposo, puede dar indicios de la posibilidad de presentarse un nuevo foco volcánico.



Se deben llevar a cabo planes de educación pública para las comunidades que viven en la zona de influencia del volcán, para que lo conozcan y en una futura crisis otras campañas de educación sean más fáciles de entender por los habitantes de la región.

Este primer Mapa Preliminar de Amenaza Volcánica del Volcán Cerro Bravo debe servir como base a las entidades gubernamentales y comunidad, para elaborar los planes de contingencia pertinentes para afrontar una futura crisis volcánica.



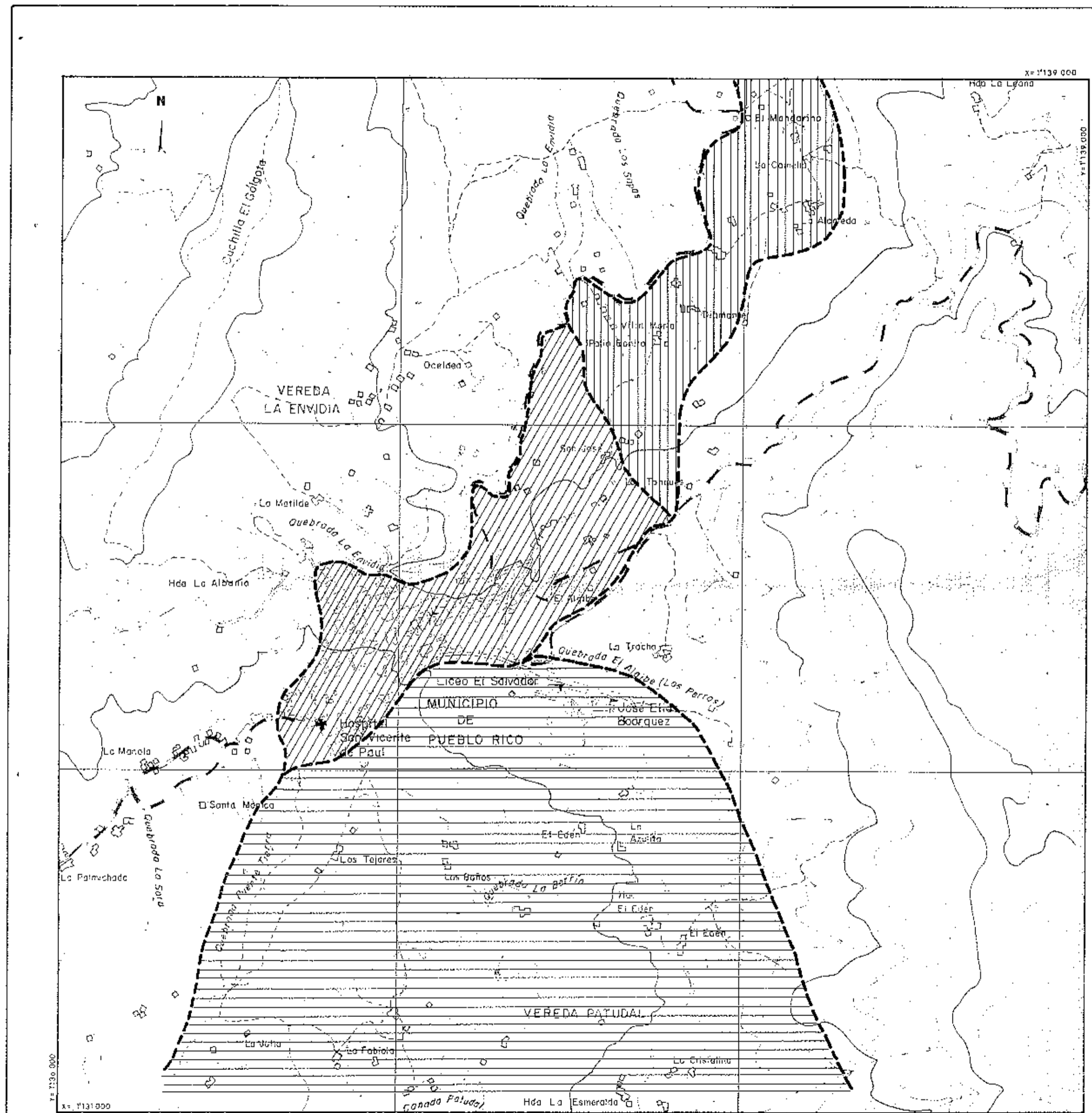
- FLOREZ, A., 1986. Geomorfología del área de Manizales-Chinociná. Cordillera Central, Colombia. Análisis geográficas. IGAC.
- GOBERNACION TOLIMA-CRET, 1988. Sistema Integral de Prevención Manejo de Emergencias. Ibagué. 56 p.
- HERD, D. G., 1974. Glacial and volcanic geology of the Ruiz-Tolima volcanic complex, Cordillera Central Colombia. dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. University of Washington. 71 p.
- LESCINSKY, D., 1990. Geology, volcanology and petrology of Cerro Bravo, a young dacitic stratovolcano in West-Central Colombia. Thesis master of science. Dartmouth college. 244p.
- MOSQUERA, D., 1978. Geología del Cuadrángulo K-8. Informe preliminar. Inf. 1768 INGEOMINAS, Ibagué.
- O.V.C., 1991. Boletín informativo No. 50. Feb. 1991. INGEOMINAS, Manizales.
- PARRA, E., CEPEDA, H. y THOURET, J. C., 1986. Mapa de Amenaza Volcánica Potencial del Nevado del Ruiz. Colombia. S.A.. Esc. 1:100.000. INGEOMINAS, Bogotá, 10 p.
- PARRA, E. AND CEPEDA, H., 1990. Volcanic hazard maps of the Nevado del Ruiz volcano, Colombia. J. of Volc. and Geoth. Res. 42 (1-2): 117-127.
- RAMIREZ, C., 1982. El vulcanismo neogénico y cuaternario de Colombia: cronología y caracterización química retrográfica. Tesis de grado U. Nat. de Colombia. Bogotá, 201 p.
- SHERIDAN, M. F., 1978. Emplacement of pyroclastic flows: A review. Geol. Soc. of Am. Special paper 180: 125-135.
- THOURET, J. C., 1984. Observations geomorphologiques préliminaires sur quelques reliefs volcaniques des Andes centrales de Colombie. Geomorphologie, exemples Sud Américains. Trav. et Doc. du CEGET-CNRS. No. 52.
- THOURET, J. C., ET AL., 1985. Aspectos volcano-estructurales y dinamismo eruptivo reciente de los volcanes Cerro-Bravo y Nevado del Tolima. Cordillera Central de Colombia. Memorias VI Congreso Latinoamericano de Geología. tomo I: 307-3334. Bogotá.

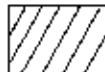


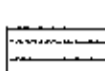


TILLING, R. 1985. Eruptions of mount St Helens: past, present and future. Departement of the Interior, U. S. Geol. Survey.



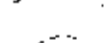
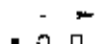



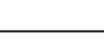

WILSON, C. J. N. AND WALKER, G. P. L.. 1982. Ignimbrite depositional facies: The anatomy of a pyroclastic flow. J. Geol. Soc. London, 138: 381-392.

WOKLTZ, K. H. and Sheridan, M. F.. 1983. Hydrovolcanic explosions II. Evolution of basaltic tuff rings and tuff cones. Amer. J. Sci. 283: 283-413.

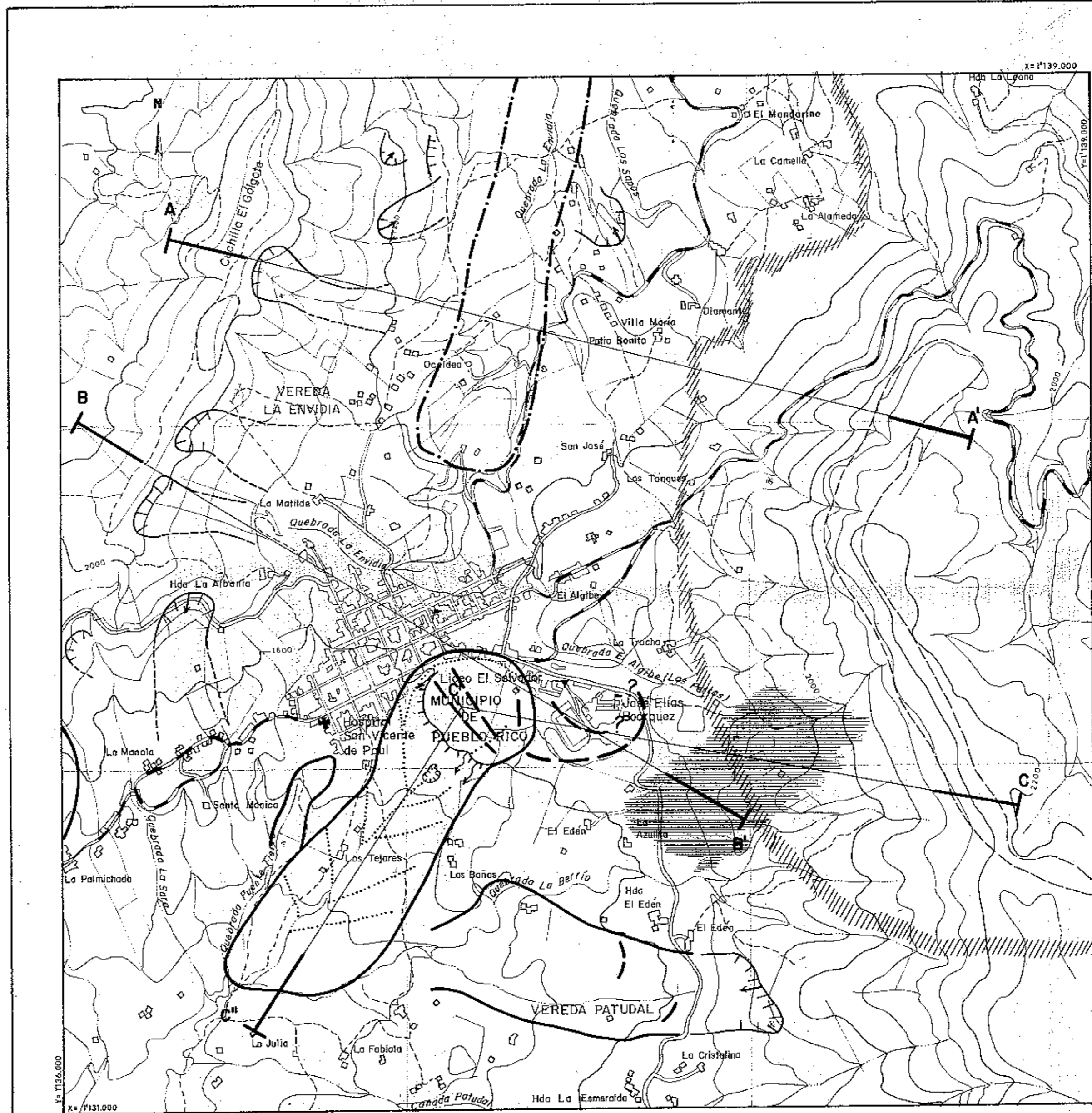


-  Zona urbano o urbanizable sin mayores restricciones
-  Zona semiurbano por urbanizar a largo plazo. Restricción por caída de bloques de roca provenientes del alto La Trocha.
-  Zona para uso rural con bajas densidades de habitantes. Restricciones por caída de bloques, derrumbes y actividad torrencial de quebradas.
-  Zona para uso rural con bajas densidades de habitantes. Restricciones por reptación de suelos. Deben iniciarse planes de reforestación técnica de áreas críticas.

NOTA: Este mapa no sustituye los estudios de detalle necesarios para la construcción de obras y planes de urbanización.

- CONVENCIONES**
-  Carretera sin pavimentar, dos ó más vías
 -  Carretera transitable en tiempo seco
 -  Carretera transitable en tiempo seco (vehículos de doble tracción y carrito)
 -  Camino de herradura, sendera
 -  Casa, Iglesia, Escuela, Mina.
 -  Hospital
 -  Curva de Nivel Intermedia
 -  Curva de Nivel Principal
 -  Río y/o Quebrada

INGEOMINAS		
Uso del suelo recomendado en alrededores del casco urbano Pueblorrico (Ant.)		
Por: Humberto Caballero	Dibujo: Margarita R.	
Escala: 1:10,000	Fecha: IX-25/51	Plancha 2 de 2



- CONVENCIONES**
- Derrumbe activo o reciente con indicación del escarpe principal
 - Zona afectada por reptación
 - Cicatriz de derrumbe con indicación del escarpe principal
 - Agrietamientos del terreno identificados y proyectados
 - Zona aproximada de afloramiento de roca
 - Zona potencialmente afectable por bloques de roca desprendido de la parte alta. (límites aproximados)
 - Derrumbe de la quebrada La Envidia
 - Escarpe de fuerte declive debido al "descaña" producido por reptación
 - Exfiltraciones de agua
 - Empozamientos identificados
 - Área de infiltración probable
 - Zanjas drenantes propuestas. La ubicación exacta deberá determinarse en un estudio detallado
 - Cortes transversales

- CONVENCIONES**
- Carretera sin pavimentar, dos ó más vías.
 - Carretera transitable en tiempo seco
 - Carretera transitable en tiempo seco (vehículos de doble tracción y carreta)
 - Camiño de harradura, sendero
 - Casa, Iglesia, Escuela, Mina.
 - Hospital
 - Curva de Nivel Intermedia
 - Curva de Nivel Principal
 - Río y/o Quebrada

INGEOMINAS

Cartografía de procesos geomorfológicos en los alrededores del casco urbano Pueblorrico (Ant.)

Por: Humberto Caballero	Dibujo: Margarita R.
Escala: 1:10.000	Fecha: IX-26/91
Plancha 1 de 2.	



8. BIBLIOGRAFIA

- BLONG, R. J.. 1984. Volcanic hazards. A source book on the effects of eruptions. Academic press. 424 p.
- BORRERO, C. A. AND NARANJO, J. L.. 1990. Casabianca formation: a Colombian example of vulcanism-induced aggradation in fluvial basin. J. of Volc. and Geoth. Res., 41 (1-4): 282-288.
- BOURDIER, J. L.. BLONG, G. AND GOURGAUD, A., 1989. Stratigraphy of the 1902 and 1929 nue ardente deposits, Mt Pele, Martinique. J. of Volc. and Geoth. Res., 38: 77-96.
- CALVACHE, M. L.. WILLIAMS, S. AND YOUNG, R. H.. 1987. Distribution and volumes of deposits and dynamics of eruptions of Nevado del Ruiz and Cerro Bravo volcanoes, Colombia within the past 2.100 years (abs). EOS, 68 (16):455.
- CAS, R. A. F. AND WRIGHT, J. V., 1987. Volcanic successions. Modern and ancient. Allen and Urwin, London. 828p.
- CEPEDA, H. Y MURCIA, A., 1986. Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del Nevado del Tolima, Colombia, S.A. Boletín Geológico INGEOMINAS, 28 (3): 33-75. Bogotá.
- CNEC, 1988. Investigación geotérmica. Macizo volcánico del Ruiz. Fase II etapa A. Vol III Geovulcanología. Ministerio de Minas y Energía. Instituto Colombiano de Energía eléctrica. 194p.
- CUELLAR, J., VARGAS, C., GUTIERREZ, E. Y FRANCO, R.. (1980). La Falla Palestina en la parte norte de Caldas y Tolima. Informe inédito. 42p. INGEOMINAS.
- DE PORTA, J., 1974. Lexique Stratigraphique International. Vol. V. Fascicule 43. Colombie (Deuxieme partie). Centre National de la Recherche Scientifique. 701 p. Paris.
- FEININGER, T., 1970. The Palestina fault. Geol. Soc. Am. Bull. 81 (4): 1201-1206.
- FISHER, R. V. and Schminke, H.U., 1984. Pyroclastic rocks. Springer-Verlag. Berlin. 472p.