

I-2162-6

21

INGEOMINAS

MAPA PRELIMINAR DE AMENAZA
VOLCANICA POTENCIAL
COMPLEJO DE DOMOS SANTA ISABEL
Cordillera Central de Colombia

I-2162-6



Ibagué, abril de 1993

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

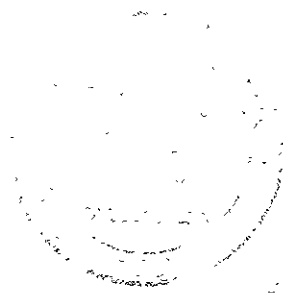
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS, MINERIA Y QUIMICA.

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

INGEOMINAS - CARDER

I - 216 -

MAPA PRELIMINAR DE AMENAZA
VOLCANICA POTENCIAL
COMPLEJO DE DOMOS SANTA ISABEL
Cordillera Central de Colombia



Ibagué, abril de 1993



CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivo	1
1.2. Localización	2
1.3. Historia eruptiva del Nevado Santa Isabel	2
1.4. Metodología	8
1.5. Trabajos anteriores	9
1.6. Personal participante	10
2. AMENAZA VOLCANICA POTENCIAL	11
2.1. Amenaza por flujos de lava	11
2.2. Amenaza por emplazamiento o destrucción de domos	13
2.3. Amenaza por flujos piroclásticos	15
2.4. Amenaza por caída de piroclastos	18
2.5. Amenaza por flujos de lodo	19
2.5.1. Erupción en el Nevado Santa Isabel	19
2.5.1.1. Cuenca del río Otún	21
2.5.1.2. Cuenca del río Campoalegre	23
2.5.1.3. Cuenca del río Claro	31
2.5.1.4. Efectos de los posibles flujos de lodo en las áreas expuestas	34
2.5.2. Erupción en áreas no glaciares	37
2.6. Amenaza por sismos volcánicos	40
2.7. Amenaza por emisión de gases	40
3. MAPA DE AMENAZA VOLCANICA POTENCIAL	42
3.1. Zona 1	42
3.1.1. Subzona 1A	42
3.1.2. Subzona 1B	43
3.1.3. Subzona 1C	43
3.2. Zona 2	43
3.3. Zona 3	44
4. CONCLUSIONES	45
5. RECOMENDACIONES	49
6. BIBLIOGRAFIA	52



FIGURAS

1. Localización geográfica del Nevado Santa Isabel	3
2. Sismos localizados en el área del Nevado Santa Isabel - Años 1986 - 1987	5
3. Sismos localizados en el área del Nevado Santa Isabel - Años 1988 - 1989	6
4. Sismos localizados en el área del Nevado Santa Isabel - Años 1990 - 1991	7
5. Area expuesta a flujos de lava provenientes del Nevado Santa Isabel	14
6. Amenaza por flujos piroclásticos del Nevado Santa Isabel, originados por colapso de columna eruptiva o por colapso o explosión de domos	16
7. Levantamiento aproximado de la laguna María Pardo	24
8. Levantamiento aproximado de la laguna El Mosquito.	25
9. Localización perfiles longitudinales ríos Claro, Campoalegre y Otún	27
10. Puente sobre el río Campoalegre en la vía Santa Rosa - Yarumal	36
11. Puente Tarapacá, sobre el río Campoalegre, en la carretera Pereira - Manizales	38
12. Puente La Insula en la carretera Chinchiná - Hidroeléctrica San Francisco	39



TABLAS

1. Principales eventos volcánicos del Complejo de domos- del Nevado Santa Isabel	12
2. Area y volúmenes estimados de los glaciares que ali - mentan las cuencas hidrográficas que nacen en el Nevado Santa Isabel	22
3. Características de los cauces de los ríos Campoalegre y Claro	29
4. Posibles alturas que alcanzaría un flujo de lodo en el río Campoalegre	30
5. Posibles alturas que alcanzaría un flujo de lodo en el río Campoalegre (Volumen inicial estimado: 1,9 mmc)	32
6. Posibles alturas que alcanzaría un flujo de lodo en el río Claro que descienda por la quebrada Juntas (Volu - men inicial estimado: 6,7 mmc)	35
7. Posibles alturas que alcanzaría un flujo de lodo en el río Claro que descienda por este y la quebrada Santa Bárbara (Volumen inicial estimado: 3,1 mmc)	35

ANEXOS

1. Modelo de simulación matemática sobre comportamiento
hidráulico de los flujos de lodo. Datos tomados de
HIMAT-FAO (1987) - PROGRAMA CREDAS



PLANCHAS

1. Mapa Preliminar de Amenaza Volcánica del Nevado Santa Isabel (Esc. 1:100.000)
2. Río Campoalegre. Sector: El Porvenir-Quebrada San José. Area expuesta a flujos de lodo
3. Río Campoalegre. Sector: Quebrada Yarumal-Cruce Oleoducto Caldas. Area expuesta flujos de lodo
4. Río Campoalegre. Sector: Oleoducto de Caldas subestación La Esmeralda. Area expuesta a flujos de lodo



RESUMEN

El Nevado Santa Isabel no es un volcán típico, con cráter visible; se trata de un conjunto de domos y domos colada que crecieron en la intersección de fallas geológicas de los Sistemas Palestina (NE - SW) y Sauto (NW - SE), por lo que se ha preferido denominarlo "**Complejo de Domos de Santa Isabel**".

Del análisis de la actividad volcánica pasada se considera que erupciones futuras pueden generar, principalmente, flujos de lava de composición intermedia que al entrar en contacto con zonas glaciales puede ocasionar explosiones freatomagmáticas con producción de piroclastos y formación de flujos de lodo o lahares. Flujos piroclásticos y emplazamiento o destrucción de domos son eventos de menor posibilidad de ocurrencia.

Las áreas más próximas al nevado, menos de 10 Km, están expuestas a flujos de lava, flujos piroclásticos y de lodo, colapso y explosión de domos y caída de piroclastos, formando capas de espesor mayor de 20 cm. Los flujos de lodo descenderían por los ríos Campoalegre y Claro, al oeste del nevado, y Recio y Totare al oriente; el valle del río Otún no está expuesto a este fenómeno, debido a que en sus nacimientos existen zonas para acumulación de material proveniente de este proceso.

Crecientes, avalanchas torrenciales y flujos de escombros, debidos a fenómenos hidrometeorológicos, sísmicos y movimientos en masa, son eventos más comunes que los ocasionados por actividad volcánica. Las cuencas involucradas, en esta amenaza natural, son las de los ríos Campoalegre, Claro, Otún, Recio y Totare.



1. INTRODUCCION

Finalizada la Fase I del Convenio Corporación Autónoma Regional de Risaralda "CARDER" e Ingeominas, que investigó la Geología y Vulcanología del Nevado Santa Isabel (Ingeominas, 1992-A), se procedió a iniciar la Fase II que trata sobre la evaluación de la amenaza volcánica, mediante un Convenio Adicional suscrito entre las dos entidades en mayo de 1992.

El estudio hace parte del "Plan de Ordenamiento, Saneamiento Ambiental y Prevención de Desastres del río Otún", que la Corporación adelanta desde 1983.

Con la elaboración de este estudio se completa el Mapa de Amenaza Volcánica Potencial del Nevado Santa Isabel, ya que la Gobernación del Tolima y el Comité Regional de Emergencias de ese departamento "CRET", también mediante convenio con Ingeominas, adelantaron los trabajos del sector oriental (INGEOMINAS, 1992-B).

1.1. OBJETIVO

El objetivo de la Fase II del convenio Ingeominas - Carder fue identificar las áreas amenazadas por actividad futura del Nevado Santa Isabel, con énfasis en las cuencas de los ríos Otún y Campoalegre que, junto con el río Claro, drenan el flanco occidental del mencionado nevado.



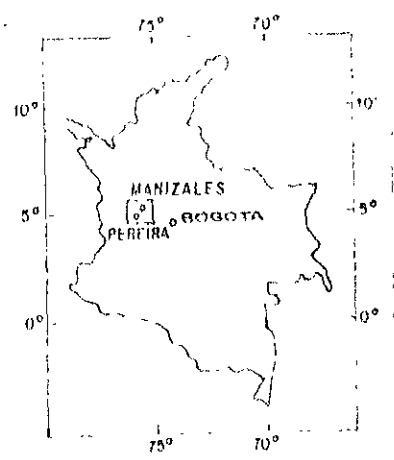
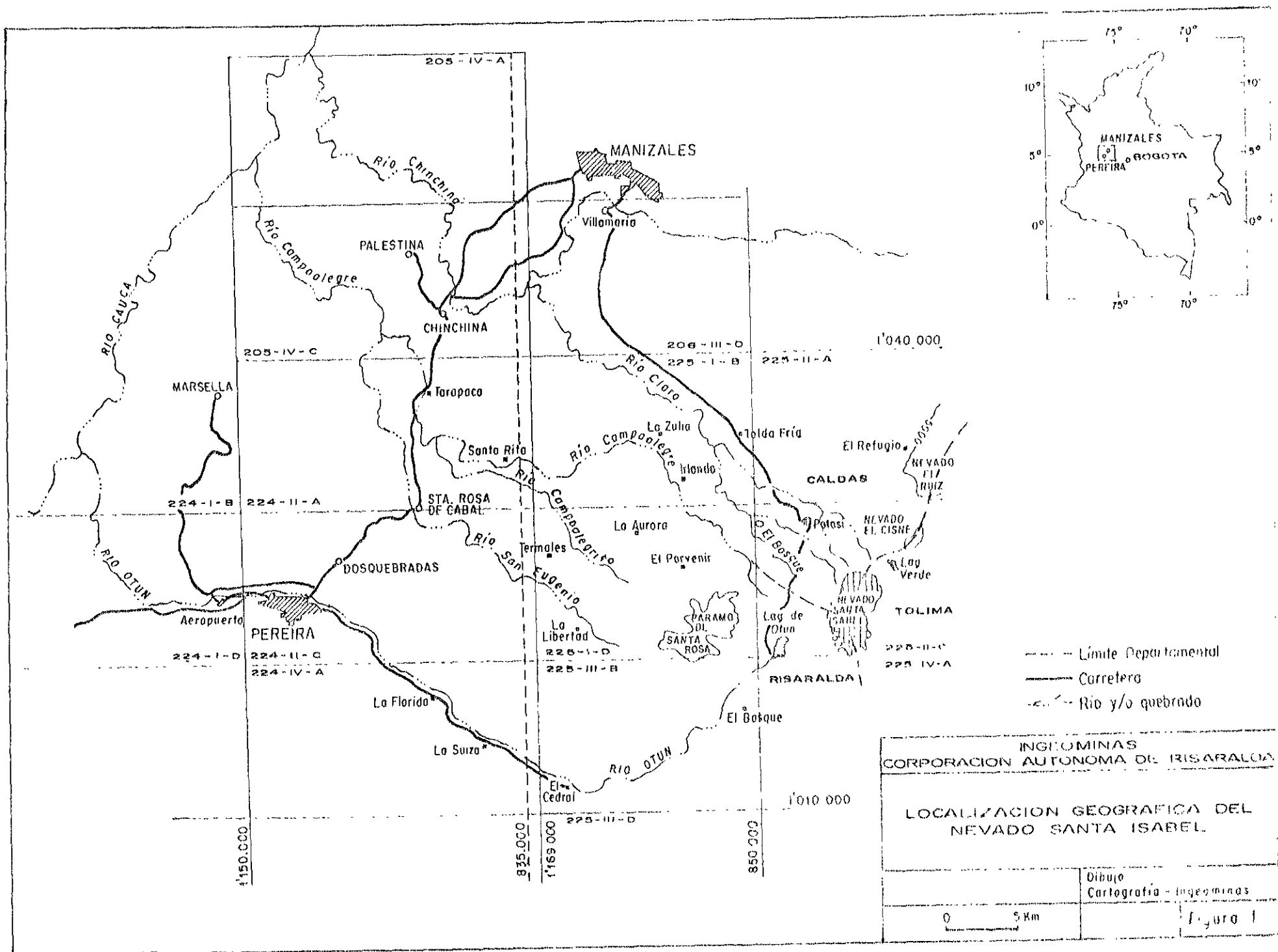
1.2. LOCALIZACION

El Nevado Santa Isabel, con 4965 m de altura sobre el nivel del mar, se encuentra en el Parque Nacional Natural los Nevados, en la Cordillera Central de Colombia. Está localizado en las coordenadas $4^{\circ} 47' N$ y $75^{\circ} 24' W$ del Meridiano de Greenwich, en los límites de los departamentos de Caldas, Risaralda y Tolima (Figura 1).

1.3. HISTORIA ERUPTIVA DEL NEVADO SANTA ISABEL

Las investigaciones realizadas por Ingeominas (1992-A y B) muestran que el Nevado Santa Isabel no es un volcán típico, con cráter visible, sino que se trata de un conjunto de domos y domos-colada, que crecieron en la intersección de fallas geológicas de dirección NW - SE, paralelas al Sistema Salento, y fallas del Sistema Palestina, de dirección NE - SW, por lo que se ha denominado "Complejo de Domos de Santa Isabel".

La actividad volcánica en la zona del Nevado Santa Isabel ha sido, predominantemente, de tipo efusivo y no se conocen erupciones históricas en el área. Las primeras erupciones volcánicas fueron lávicas, de composición andesítica, con edades entre 0,76 y 0,68 m.a. (THOURET ET AL., 1985). Estos flujos de lava formaron mesetas de 50 - 70 m de espesor al este y hasta 100 m al oeste.



- Limite Departamental
- Carretero
- - - Rio y/o quebrado

INGIOMINAS
CORPORACION AUTONOMA DE RISARALDA

LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL
NEVADO SANTA ISABEL

	Dibujo Cartografía - Ingeominas
	Figura 1



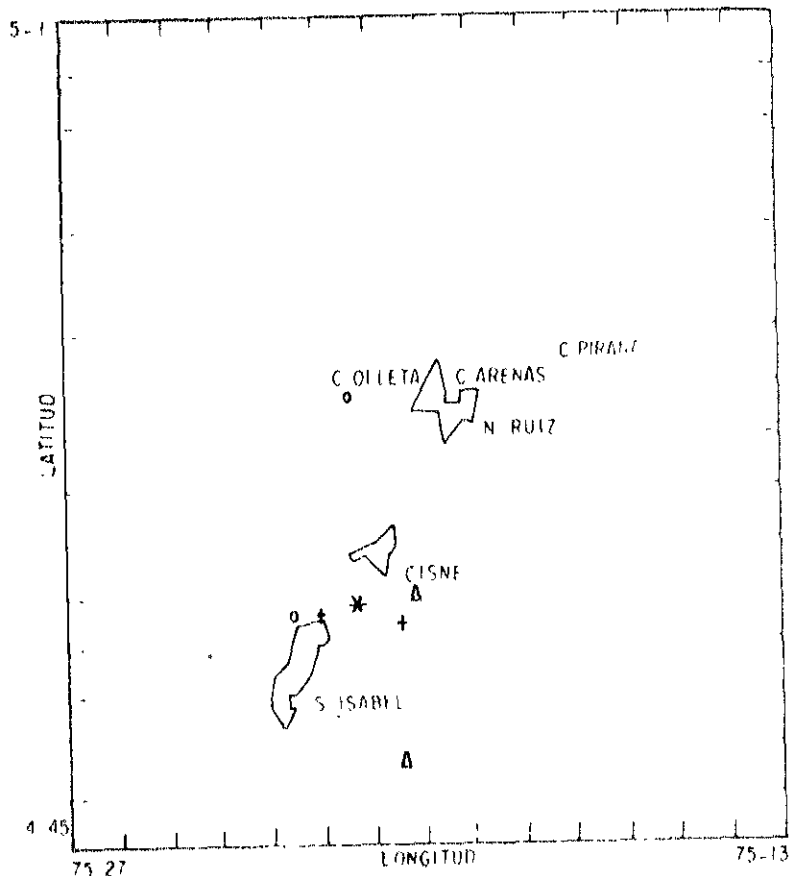
En el Pleistoceno superior se presentó una nueva etapa eruptiva, también de carácter lávico, que dio origen a coladas de lava que se extendieron 2,5 Km al oriente y 3,5 Km al occidente, con espesor entre 50 y 70 m. Intercalados entre lavas antiguas y de edad intermedia se encuentran, en el sector noroccidental, flujos piroclásticos.

La actividad más reciente se localizó en el sur del nevado, entre éste y Cerro España. Estas erupciones, que ocurrieron entre 7000 y 3600 años antes del presente "AP" (THOURET Y VAN DER HAMMEN, 1981, 1983), originaron depósitos de lava en bloques que avanzaron por los valles de las quebradas El Africa, por el oriente, y La Leona y el río Otún, por el occidente; este último depósito cerró un valle glacial y dio origen a la Laguna del Otún.

Bajo el glacial del Nevado Santa Isabel (6,4 - 7,2 Km² de área) se insinúan tres domos volcánicos, denominados Norte, Centro y Sur (INGEOMINAS, 1992-A); al sur del nevado se distinguen por lo menos cuatro estructuras dómicas llamadas Alsacia Norte y Sur y Arenero Norte y Sur. Esta situación apoya el nombre de Complejo de Domos de Santa Isabel, propuesto para el conjunto.

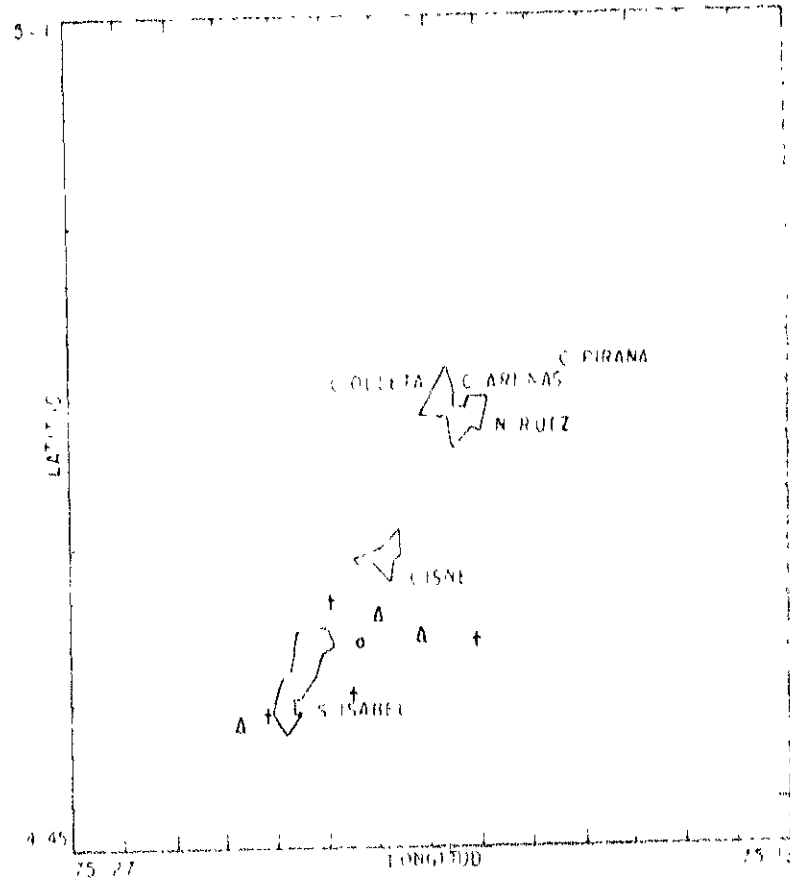
La actividad volcánica se manifiesta, en la actualidad, por fumarolas, fuentes termales y, posiblemente, actividad sísmica poco profunda (Figuras 2, 3 y 4), detectada por la red de vigilancia del Nevado del Ruiz;

AÑO 1986



SISMOS GRAFICADOS 16

AÑO 1987



SISMOS GRAFICADOS 9

PROFUNDIDAD

- + 0-250
- Δ 250-500
- o 500-800
- x 800-1000

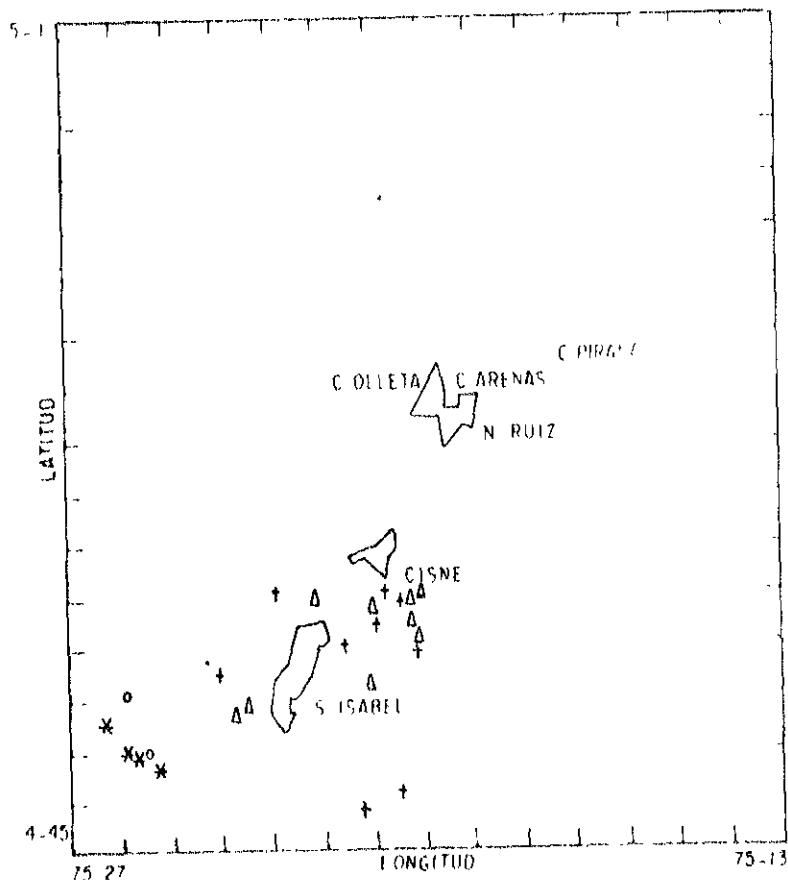
Datos suministrados por:
INGFOMINAS - OBSERVATORIO VULCANOLOGICO (Manizales)

INGEOMINAS-CARDER

SISMOS LOCALIZADOS EN EL AREA
DEL NEVADO SANTA ISABEL

Escala	1:100000	Dibujo	Cartografía
			Figura

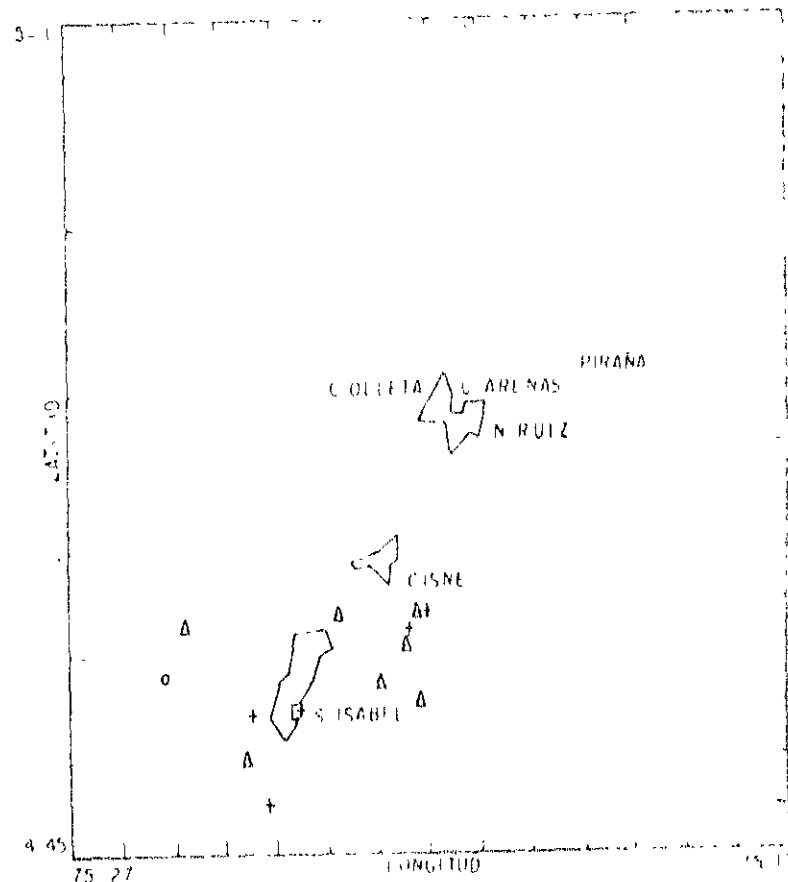
AÑO 1988



SISMOS GRAFICADOS 22

AÑO 1989

PROFUNDIDAD
 | 0 (0 - 50)
 Δ 250-500
 ○ 500-800
 × 800-3000



SISMOS GRAFICADOS 16

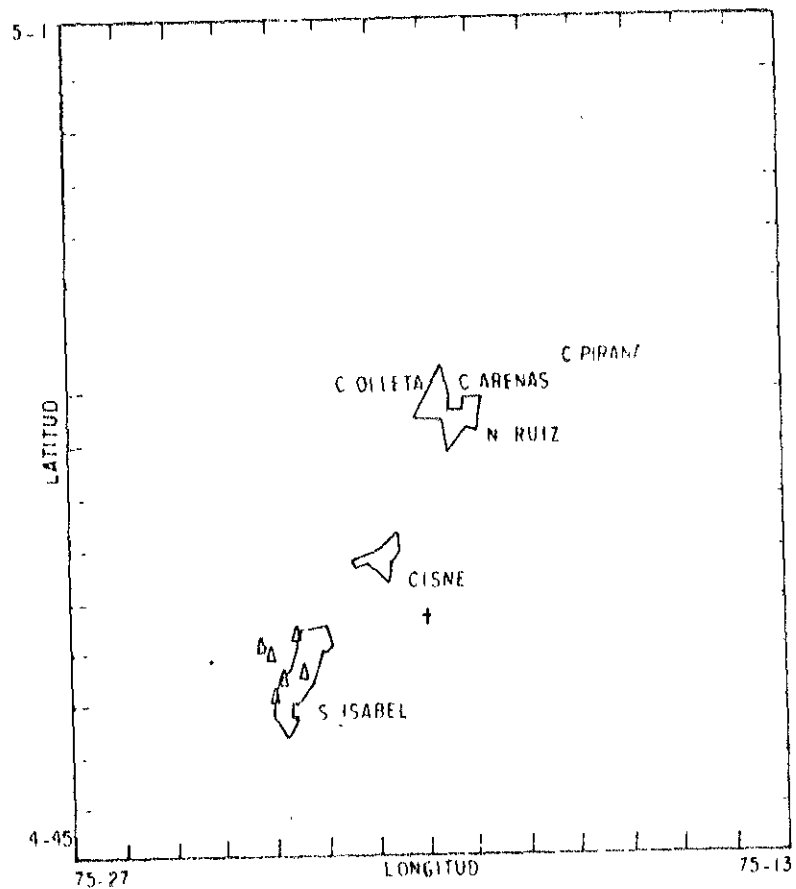
Datos suministrados por:
 INGEOMINAS - OBSERVATORIO VULCANOLOGICO (Monizales)

INGEOMINAS-CARDER

SISMOS LOCALIZADOS EN EL AREA
 DEL NEVADO SANTA ISABEL

Escala	Dibujo
Cartografía	Figura. 3

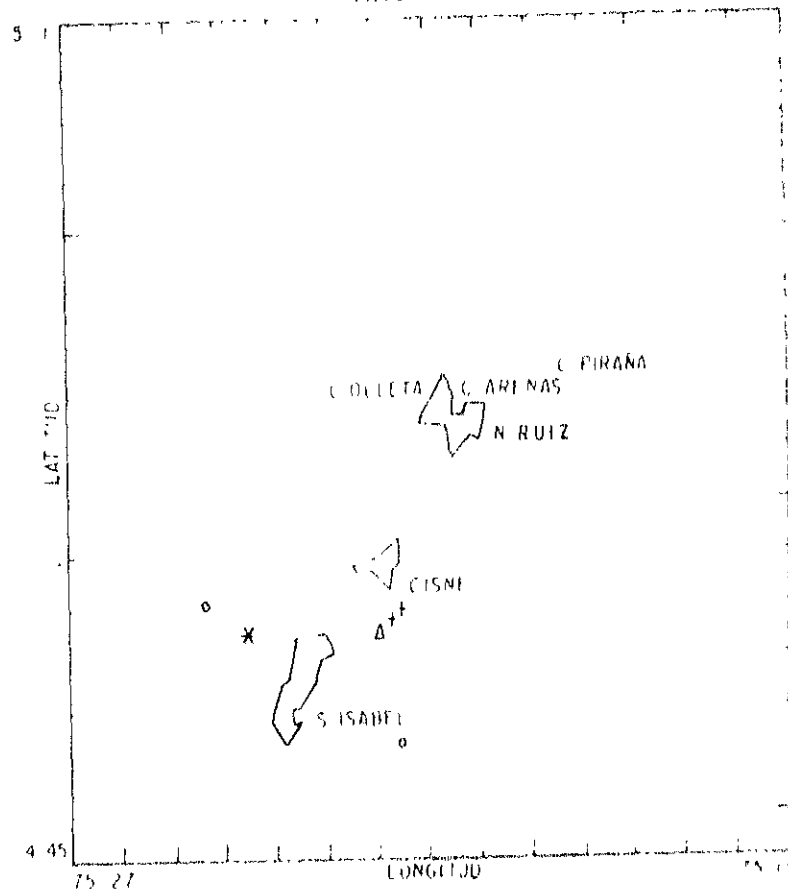
AÑO 1990



SISMOS GRAFICADOS 8

AÑO 1991

PROFUNDIDAD
 + 0 - 50
 Δ 250 - 500
 ○ 500 - 800
 x 800 - 3000



SISMOS GRAFICADOS 6

Datos suministrados por:
 INGEOMINAS - OBSERVATORIO VULCANOLOGICO (Manizales)

INGEOMINAS-CARDER

SISMOS LOCALIZADOS EN EL AREA
 DEL NEVADO SANTA ISABEL

Dibujó	Cartografía	1990/00/00
Escala	1:100000	Figura 4



según información de Ingeominas -Observatorio Vulcanológico, esta última no tiene ubicación geográfica precisa.

1.4. METODOLOGIA

El Mapa de Amenaza Volcánica Potencial del Nevado Santa Isabel, escala 1:100.000 (Plancha 1, en bolsillo), está dibujado sobre bases topográficas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi "IGAC". Este mapa es el resultado de la siguiente metodología:

- Recopilación y análisis de la información existente. Se recopiló y analizó la información existente del área de estudio, sobre diversos tópicos incluyendo geología, vulcanología, tectónica y sismicidad (Fase I).
- Interpretación de fotografías aéreas y trabajo de campo. Con estas actividades se prepararon el mapa geológico y de los productos volcánicos del Santa Isabel, diferenciándolos de los depósitos de los otros volcanes del área (Fase I).
- Mapa de Amenaza Volcánica Potencial. Una vez realizados los pasos anteriores se procedió a revisar la historia eruptiva, para identificar los productos volcánicos que podrían ser emitidos en erupciones futuras en el área del Nevado Santa Isabel. Con estos



datos se evaluaron los aspectos topográficos y morfológicos del área de influencia y se dibujaron las zonas amenazadas por productos derivados de la erupción. Para determinar las áreas y máximas alturas alcanzadas por posibles flujos de lodo "lahares", se realizaron perfiles topográficos transversales, en el campo y sobre mapas topográficos 1:25.000, de los ríos Otún, Campoalegre y Claro, así como los perfiles longitudinales. De estos perfiles se extractaron varios parámetros requeridos para simular flujos de lodo a través del programa diseñado por HIMAT - FAO (1987) y adaptado para computadores IBM y compatibles por la ingeniera de sistemas Flor Gamba de Ingeominas (Anexo 1).

- Informe Final. Con los resultados obtenidos, se procedió a escribir el informe final del proyecto.

1.5. TRABAJOS ANTERIORES

Evaluación de la amenaza volcánica del Nevado Santa Isabel, en forma detallada, no había sido realizada hasta la fecha.

Algunos comentarios de CARDER-HASKONING (1987-A Y B) y James et al. (1987) indican, a grandes rasgos, la amenaza baja sobre la cuenca del río Otún, por caídas de cenizas provenientes de otros volcanes de la zona, diferentes al Nevado Santa Isabel.



Thouret et al. (1991), durante el Simposio sobre Magmatismo Andino realizado en Manizales, presentó un poster en donde, en escala pequeña, muestra las amenazas volcánicas del Complejo Volcánico Ruiz-Tolima, incluyendo el Nevado Santa Isabel.

No existen más investigaciones que analicen el factor de amenaza volcánica, con excepción de las mencionadas y las realizadas por Ingeominas (1992-A y B).

1.6. PERSONAL PARTICIPANTE

La Fase II del proyecto fue realizada por el geólogo Alberto Núñez Tello.



2. AMENAZA VOLCANICA POTENCIAL

Para evaluar la amenaza volcánica potencial del Complejo de Domos de Santa Isabel se tuvieron presentes dos circunstancias relevantes. En primer lugar es importante señalar que, dadas las características de la actividad volcánica pasada (Tabla 1), las erupciones futuras serán, muy posiblemente, de carácter efusivo, con extrusión de lavas y quizás emplazamiento de domos endógenos o exógenos del tipo domo-colada. El segundo aspecto, que se tuvo muy presente, es que las erupciones en la zona tienen períodos de retorno de más de 3000 años. Con estas dos observaciones se abordó el análisis de la amenaza volcánica para cada tipo de producto.

2.1. AMENAZA POR FLUJOS DE LAVA

Las erupciones más recientes, en el área del Nevado Santa Isabel, tuvieron origen en la zona comprendida entre el nevado, propiamente dicho, y Cerro España. Se trata de domos-colada y depósitos de lava en bloques de composición andesítica, cuyos puntos de emisión se localizaron sobre fallas de dirección norte-noreste, del Sistema de Fallas de Palestina, en la intersección con fallas norte-noroeste. Estos mismos sistemas de fallas estuvieron ligados a erupciones antiguas, como lo evidencia la posición de los domos Norte, Centro y Sur que conforman el Nevado Santa Isabel (INGEOMINAS, 1992-A).

AÑOS	EVENTO VOLCANICO	DEPOSITO	EXTENSION	DEPOSITOS RELACIONADOS
Actual 1.000	Fuentes termales y fumarolas			
5.000	Extrusión de Lavas	Lavas en bloques del Otún	12Km	Lahar ? Domos Exógenos
	Extrusión de lavas	Lavas en bloques de La Leona Lavas en bloques de El Africa o Tolarito	5Km 8Km	Lahar ? Domos Exógenos
10.000				
15.000	Extrusión de lavas	Lavas de edad Intermedia	25 - 3.5 Km	Lahar ?
	Emplazamiento - colapso de Domos	Flujos Piroclásticos		
	Extrusión de Lavas	Lavas Antiguas	12Km	Lahar ?

Tabla 1. PRINCIPALES EVENTOS VOLCANICOS DEL COMPLEJO DE DOMOS DEL NEVADO DE SANTA ISABEL



Los volcanes Cerro Bravo, Nevado del Ruiz y Nevado del Tolima que, junto con el Nevado Santa Isabel y otros aparatos menores o extintos, conforman el Complejo Volcánico Ruiz-Tolima están en la misma ubicación geotectónica.

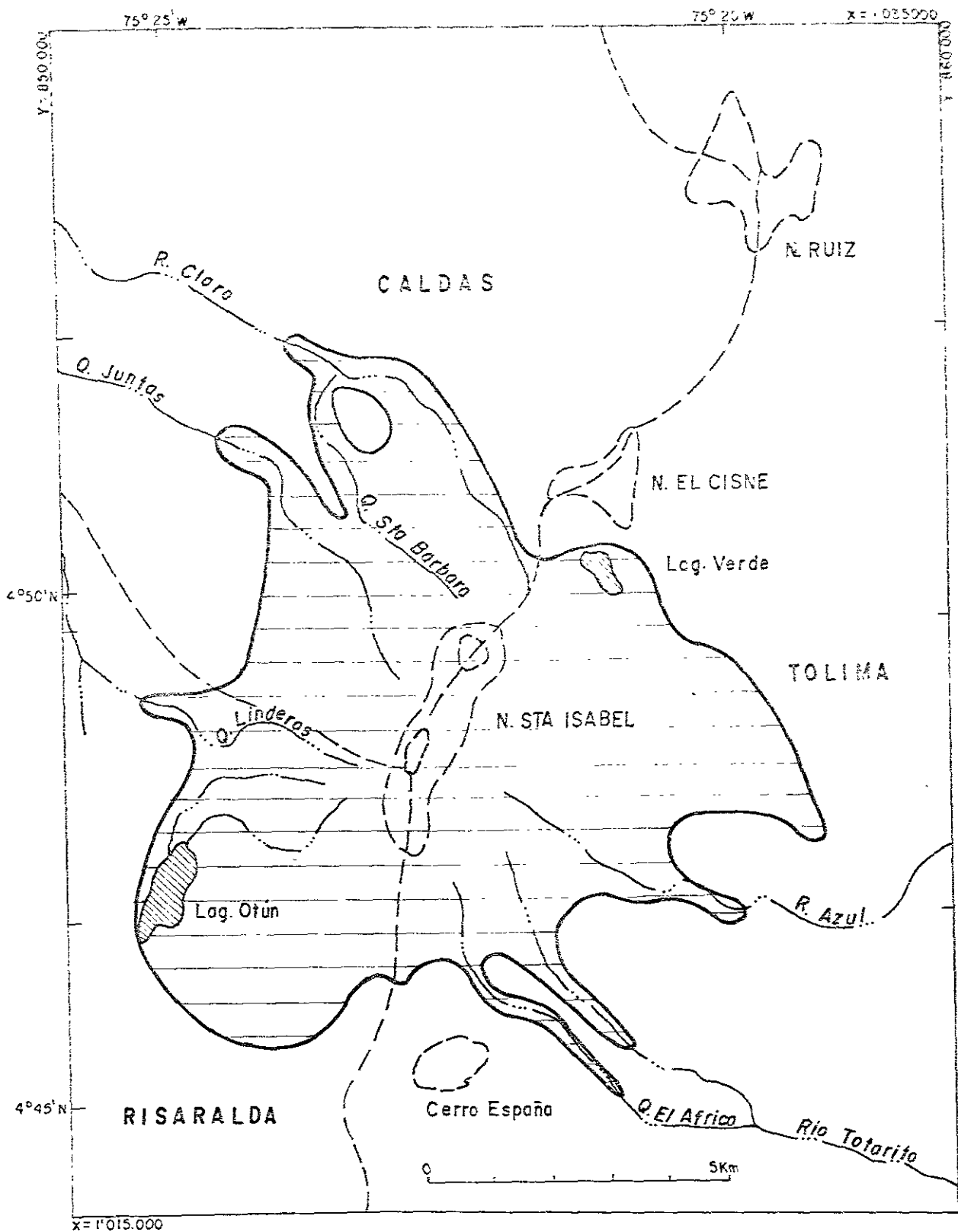
De esta situación se desprende que erupciones lávicas futuras, tendrían como eje o lugar de efusión el mismo sistema de fallas. La localización de los centros de emisión podría ser detectada con sistemas de vigilancia volcanológica.

El tamaño o longitud de los flujos de lava no debe superar 8 km y, al igual que en el pasado, avanzarían por las áreas planas a semiplanas para descender luego por los valles existentes (Figura 5, Plancha 1).

La composición de estas lavas debe ser andesítica, medianamente viscosa y fluida, de acuerdo con el proceso evolutivo que se observa.

2.2. AMENAZA POR EMPLAZAMIENTO O DESTRUCCION DE DOMOS

Los eventos eruptivos pasados, en el área del Nevado Santa Isabel, dieron lugar al emplazamiento de domos, especialmente de crecimiento externo, también conocidos como domos-colada. Este tipo de estructura volcánica se debe al apilamiento de lava, en el orificio de salida; a medida que más magma viene del interior, el material en proceso de enfriamiento



~~~~~ Ríos-Quebradas      - - - Límite Departamental

FIGURA 5 Area expuesta a flujos de lava provenientes del Nevado Santa Isabel



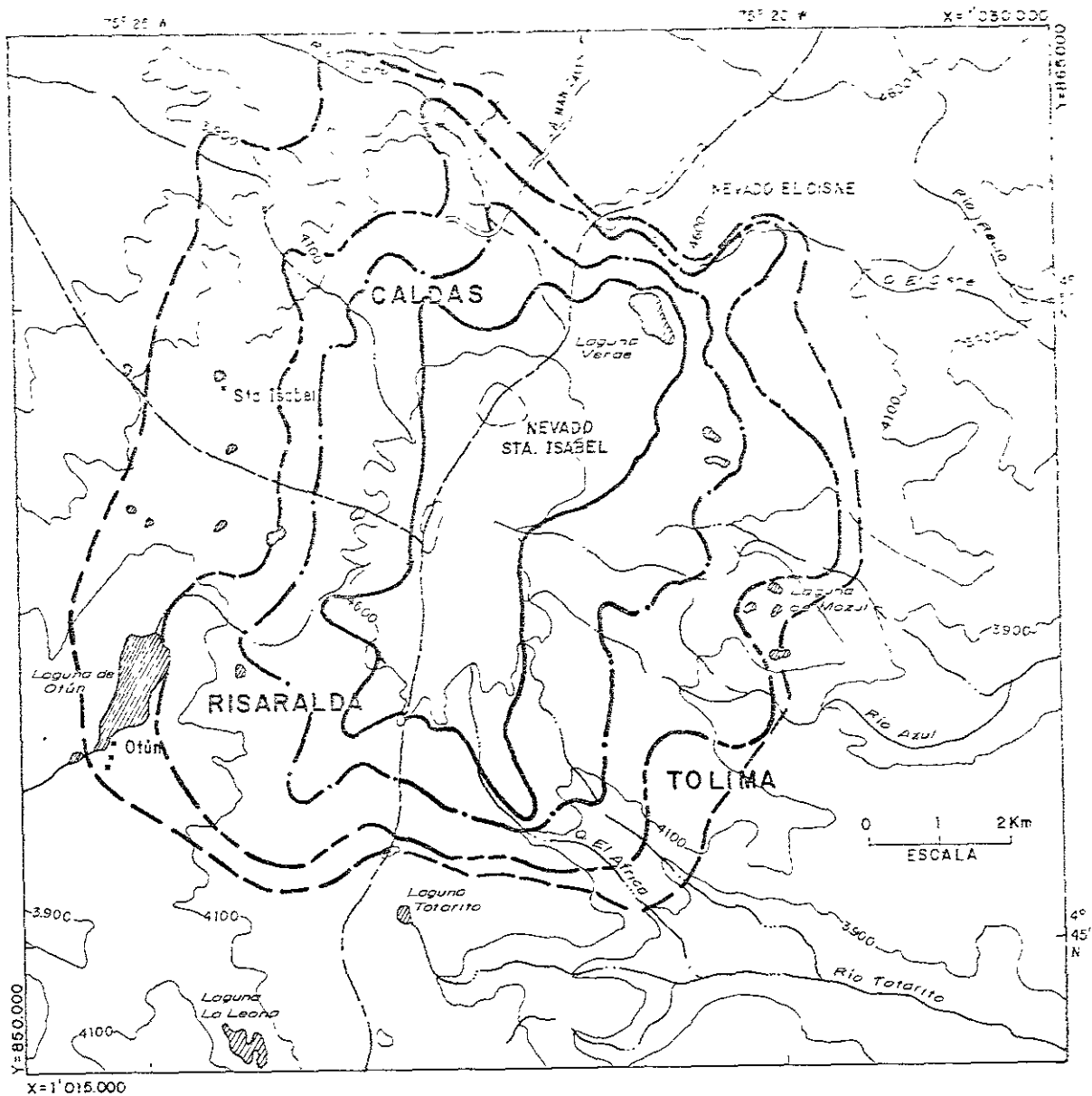
y solidificación, es empujado y desplazado dando lugar a los depósitos de lava en bloques característicos de las erupciones más modernas de la zona.

El emplazamiento de este tipo de domos, aparentemente, no es explosivo y de ahí que no ofrezca mayor amenaza. No obstante es preciso indicar que el movimiento del magma puede dar origen a desestabilización del domo y formación de avalanchas de escombros incandescentes, que son un tipo especial de flujo piroclástico; por esta razón un área de 5 km alrededor de los posibles lugares de emplazamiento de domos se ha marcado como zona expuesta a colapso de domos exógenos (Figura 6, Plancha 1).

### 2.3. AMENAZA POR FLUJOS PIROCLASTICOS

En el área de influencia del Complejo de Domos del Nevado Santa Isabel se identificaron flujos piroclásticos únicamente en la zona próxima al Domo Norte (INGEOMINAS, 1992-A y B). Se trata de depósitos de ceniza, escoria más pómez y, posiblemente, oleadas piroclásticas o "surges" que parecen corresponder a flujos piroclásticos producidos por colapso de flujos de lava o colapso de domo. El tamaño de estas acumulaciones volcánicas es pequeño.

Si se asume que la actividad volcánica futura, en la zona del Nevado Santa Isabel, tendría comportamiento similar al pasado, es decir de carácter



COLAPSOS DE COLUMNA

—— a 100 m      - - - a 300 m      - - - - a 500 m

—— Colapso e explosión de domos

FIGURA 6 Amenaza por flujos piroclásticos del Nevado Santa Isabel, originados por colapso de columna eruptiva o por colapso o explosión de domos.



efusivo, la posibilidad que se presenten flujos piroclásticos es relativamente muy baja. Si el fenómeno se llegara a presentar, lo más probable es que se origine por uno de los siguiente mecanismos:

- Colapso de flujos de lava. Este evento se presenta cuando una colada de lava encuentra un desnivel topográfico importante, que son característicos del área investigada. En esta situación se produciría una cascada de lava con la consiguiente formación de una avalancha incandescente o flujo piroclástico.
  
- Colapso gravitacional de domos-colada, que como se vio anteriormente son formas volcánicas importantes en el Complejo Santa Isabel, podría dar lugar a la formación de flujos piroclásticos, similares a los formados por colapso de flujos de lava, ya descritos.
  
- No se puede descartar, aunque con posibilidad de ocurrencia baja, la destrucción por explosión de los domos existentes, ocasionada por ascenso de magma nuevo por los mismos conductos que los generaron. Este fenómeno desencadenaría flujos y oledas ("surges") piroclásticas.

Para estas posibilidades se consideró que los flujos que se podrían formar, dada su posible magnitud, no avancen más de 5 km a partir del sitio de origen, canalizándose por valles fluviales (Figura 6).





- Una última posibilidad, para formación de flujos piroclásticos en la zona, se relaciona con el poco probable desarrollo de una columna de erupción y su colapso gravitacional. Para determinar el área expuesta se utilizó el método de las líneas de energía, diseñado por HSU (1975), simulándose colapso de columna a 100, 300 y 500 m (Figura 6).

#### 2.4. AMENAZA POR CAIDA DE PIROCLASTOS

Sibien, durante el reconocimiento de campo para identificar los productos volcánicos asociados a las erupciones pasadas del Complejo de Domos del Nevado Santa Isabel, no se reconocieron capas de piroclastos de caída originados en eventos eruptivos del sistema (INGEOMINAS, 1992-A y B), su presencia, durante erupciones futuras, no es totalmente descartable.

En Islandia y Filipinas flujos de lava en contacto con nieve y agua produjeron erupciones explosivas, freatomagnéticas, generándose material piroclástico (SAEMUNDSSON, 1979; THORARINSSON AND SAEMUNDSSON, 1979; SMITHSONIAN INSTITUTION, 1992) que fue distribuido en zonas próximas al sitio de interacción agua-lava. Las erupciones de Surtsey (1963-1967), Eldfell (1973) y Pinatubo (1992) en los países mencionados, son ejemplos recientes de este mecanismo de formación de material piroclástico.



En la región que nos ocupa existe nieve y numerosas lagunas a donde podrían llegar flujos de lava y generarse el fenómeno descrito. Asumiendo esta posibilidad se ha considerado que una zona casi circular, de 10 km de radio, podría resultar afectada por acumulaciones de piroclastos de caída en capas con espesor entre 10 cm, en las partes distales, y hasta 2 m en zonas próximas al sitio de origen (Plancha 1). Acumulaciones de menor potencia se pueden esperar en áreas más alejadas. La dirección de los vientos al momento de la erupción, desempeñaría papel fundamental en la distribución de los piroclastos finos (ceniza y lapilli).

Adicionalmente, material piroclástico de mayor tamaño (bombas y bloques) expulsado con trayectoria balística, podría alcanzar hasta 5 km a partir del nevado.

## **2.5. AMENAZA POR FLUJOS DE LODO**

Para evaluar la amenaza por flujos de lodo en el área del Complejo de Domos de Santa Isabel se tuvieron en cuenta dos posibilidades: que la actividad eruptiva tenga lugar sobre el glaciar del Nevado Santa Isabel o que la erupción ocurra en regiones sin cubierta de nieve o hielo.

**2.5.1. Erupción en el Nevado Santa Isabel.** Si la erupción ocurre sobre el glaciar se pueden generar flujos de lodo por fusión de hielo y nieve, debido a la alta temperatura de los materiales eruptados, que pueden ser



flujos piroclásticos, oleadas piroclásticas ("surges"), flujos de lava o caída de piroclastos.

En cualquiera de los casos, para evaluar la cantidad de nieve y hielo que puede ser fundida por los materiales volcánicos, es de vital importancia establecer el área cubierta por los glaciares y no el volumen total. Esta situación fue comprobada durante el análisis de los flujos de lodo generados por la erupción del Nevado del Ruiz, en noviembre de 1985, por Pierson et al. (1990) y Thouret (1990) quienes determinaron que la mencionada erupción sólo fundió una capa delgada de los glaciares cubiertos por los productos eruptivos y que las más afectadas fueron la nieve fresca y parte de nieve gruesa recristalizada conocida como "firn".

De otra parte, la dificultad para estimar el volumen de los glaciares, a pesar de las tecnologías empleadas, siempre dá un estimativo que tiene 70 - 75% de certeza (DRIEDGER and KENNARD, 1986).

Otro dato interesante, aportado por Thouret (1990), es que no toda el agua resultante de la fusión de hielo, nieve y "firn" contribuyó a la formación de flujos de lodo sino que parte de ella, aproximadamente 50%, tuvo los siguientes destinos: 1) quedó incluida en avalanchas de nieve, sedimentos con nieve medio fundida y lodo que fluyeron por fuera de los canales de los "lahares" o se incorporó a los depósitos húmedos de las oleadas ("surges") piroclásticas; 2) fue incorporada en los productos de



la explosión freática; 3) fue sublimada como vapor durante el paso de los flujos piroclásticos; o 4) se almacenó en cavidades dentro del hielo.

Con estas consideraciones iniciales y utilizando el "Modelo de Simulación Matemática Sobre Comportamiento Hidráulico de los Flujos de Lodo" (Ver Anexo 1), creado por HIMAT-FAO (1987), se procedió a evaluar la amenaza por flujos de lodo en el Nevado Santa Isabel. Esta evaluación se hizo para cada una de las tres cuencas hidrográficas que drenan el costado occidental del nevado; para el sector oriental la investigación fue realizada por Ingeominas (1992-B).

**2.5.1.1. Cuenca del río Otún.** Las quebradas El Boquerón y La Alsacia, que nacen al suroccidente-sur del Nevado Santa Isabel, alimentan la laguna del Otún que, a través de drenaje subterráneo junto con otras quebradas como Bagaseca y La Leona, dá origen al río Otún.

El área glaciar del Santa Isabel, que drena hacia esta cuenca, es de 0,75 km<sup>2</sup>; considerando como densidad promedio de la nieve, el "firn" y el hielo 0,7 (ver THOURET, 1990) y asumiendo espesor promedio de 10 m (INGEOMINAS, 1992-B), se puede tener un volumen total de agua de aproximadamente 5,25 mmc (Tabla 2). Si se asume que durante una erupción parte de este total (aproximadamente 50 - 60%) haría parte o contribuiría a la formación de flujos de lodo se estaría hablando de un volumen inicial, en el borde del glaciar, de 3,15 mmc. Ahora bien, estudios



**TABLA 2.- AREA Y VOLUMEN ESTIMADOS DE LOS GLACIARES QUE ALIMENTAN LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS QUE NACEN EN EL NEVADO SANTA ISABEL**

| CUENCA                     | AFLUENTE        | AREA |             | VOLUMEN<br>MILLONES DE METROS CUBICOS (mme) |                     |
|----------------------------|-----------------|------|-------------|---------------------------------------------|---------------------|
|                            |                 | Km2  | % DEL TOTAL | HIELO Y NIEVE (a)                           | AGUA POR FUSION (b) |
| CAMPOALEGRE                | Q. Linderos     | 0.45 | 6.21        | 4.50                                        | 3.15                |
|                            | R. Claro        | 0.15 | 2.07        | 1.50                                        | 1.05                |
| CLARO                      | Q. Juntas       | 1.35 | 18.62       | 13.50                                       | 9.45                |
|                            | Q. Sta. Barbara | 0.60 | 8.28        | 6.00                                        | 4.20                |
| OTUN                       | Q. alsacia      | 0.75 | 10.34       | 7.50                                        | 5.25                |
|                            | Q. Boqueron     |      |             |                                             |                     |
| Subtotal Sector Occidental |                 | 3.30 | 45.52       | 33.00                                       | 23.10               |
| RECIO                      | Laguna Verde    | 1.75 | 24.14       | 17.50                                       | 12.25               |
|                            | R. Azul         | 0.80 | 11.03       | 8.00                                        | 5.60                |
| TOTARE                     | Q. El Africa    | 1.40 | 19.31       | 14.00                                       | 9.80                |
|                            | Q. El Espanol   |      |             |                                             |                     |
| Subtotal Sector Oriental   |                 | 3.95 | 54.48       | 39.50                                       | 27.65               |
| TOTAL                      |                 | 7.25 | 100         | 72.50                                       | 50.75               |

a) Se asumen 10 m de espesor promedio de nieve, hielo y "firn"

b) Se asume como densidad promedio para nieve, hielo y "firn" 0.7

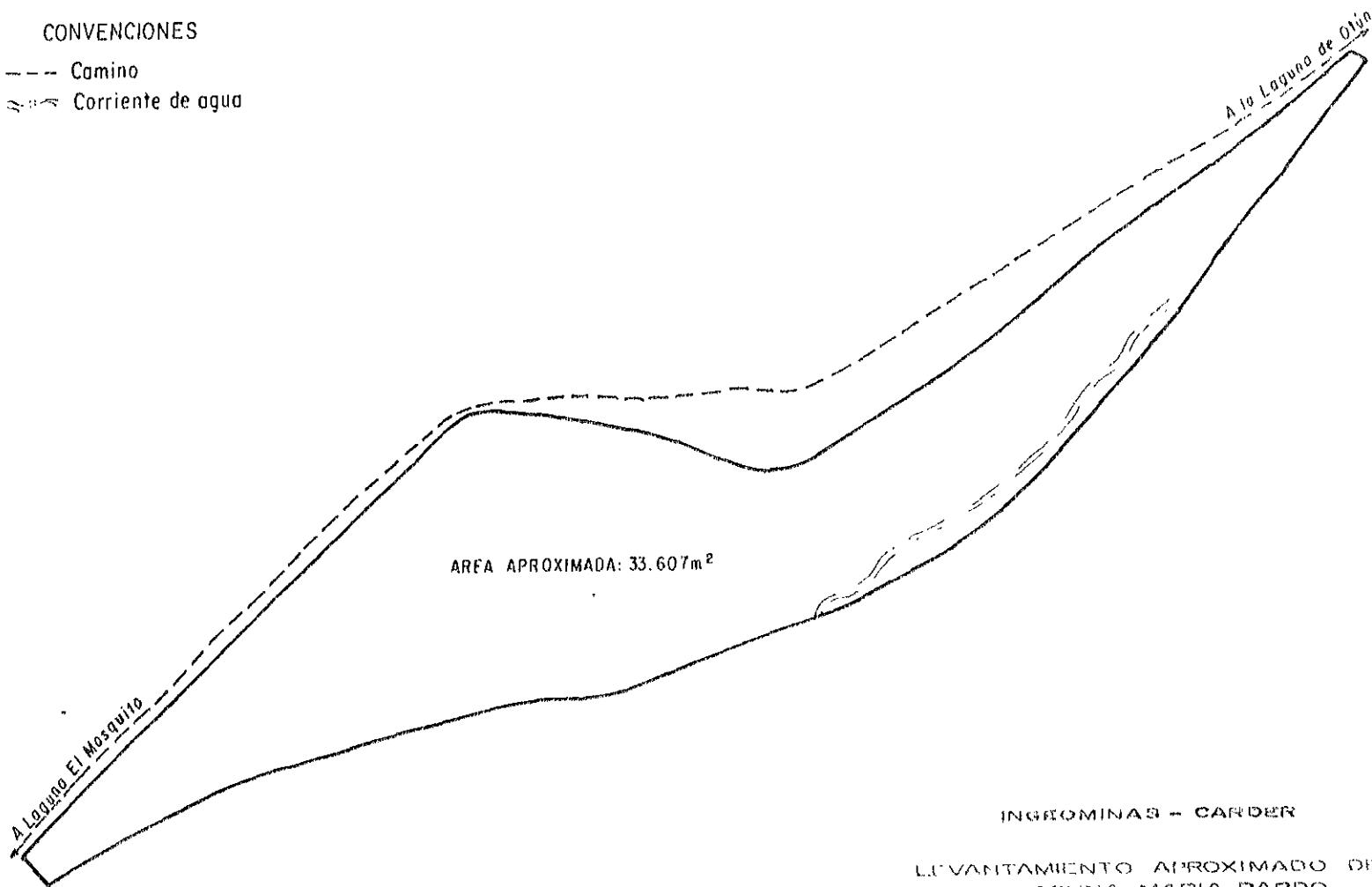


realizados por CARDER -HASKONING (1987) indican que la laguna del Otún tiene capacidad para almacenar 24 mmc; Himat (1988) calculó el volumen contenido en 19 mmc, por lo que se puede decir, con alto porcentaje de seguridad, que el agua generada por la fusión total del área drenada por las quebradas Boquerón y La Alsacia puede ser almacenada en la citada laguna. No obstante lo anterior y como garantía mayor de seguridad, entre el extremo sur de la laguna y la región de El Bosque, a partir de donde el río Otún tiene trayectoria superficial, existen más de 4 km; en este trayecto se conocen otras dos lagunas: María Pardo y El Mosquito, capaces de almacenar, aproximadamente, 0,5 mmc y 0,4 mmc, respectivamente (Figuras 7 y 8).

Concluyendo, en el caso muy hipotético que se presente deshielo total, durante erupciones futuras sobre el Nevado Santa Isabel, se puede tener la certeza que con las condiciones topográficas y el relieve actuales es poco probable que un flujo de lodo, generado por este fenómeno, descienda por el valle del río Otún.

**2.5.1.2. Cuenca del río Campoalegre.** El río Campoalegre tiene origen en los valles del Cóndor, ubicados entre el Nevado Santa Isabel y el Paramillo de Santa Rosa. La quebrada Linderos, primer afluente importante que recibe, drena, 6,2% del área glaciaria del Nevado Santa Isabel, equivalente, aproximadamente, a 0,45 km<sup>2</sup> (Tabla 2).

CONVENCIONES  
--- Camino  
--- Corriente de agua

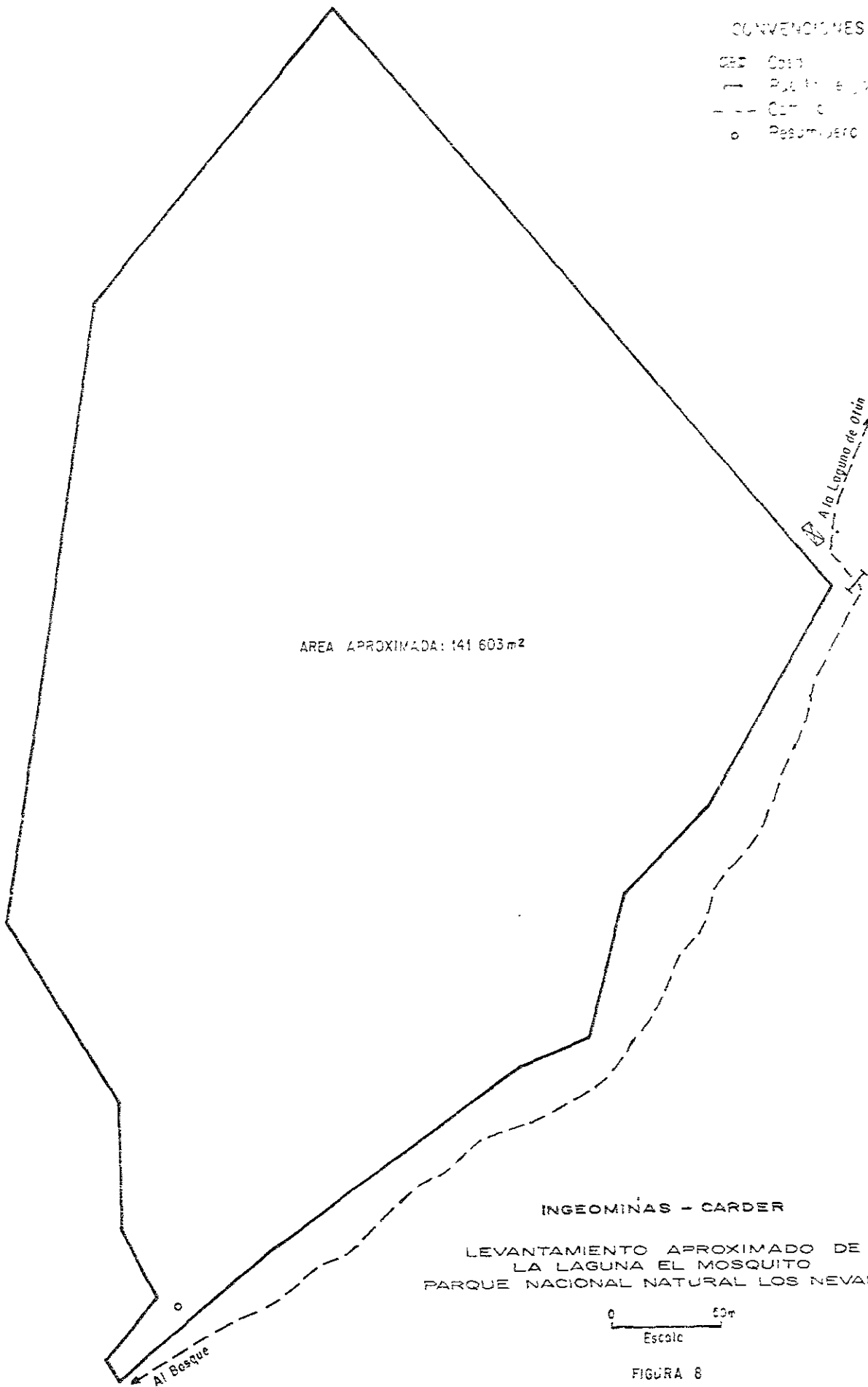


0 50 m  
Escala

FIGURA 7

CONVENCIONES

- Contorno
- - - - - Límite del Bosque
- - - - - Camino
- o Resguardo



AREA APROXIMADA: 141 603 m<sup>2</sup>

INGEOMINAS - CORDER

LEVANTAMIENTO APROXIMADO DE LA LAGUNA EL MOSQUITO PARQUE NACIONAL NATURAL LOS NEVADOS

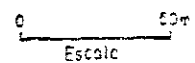


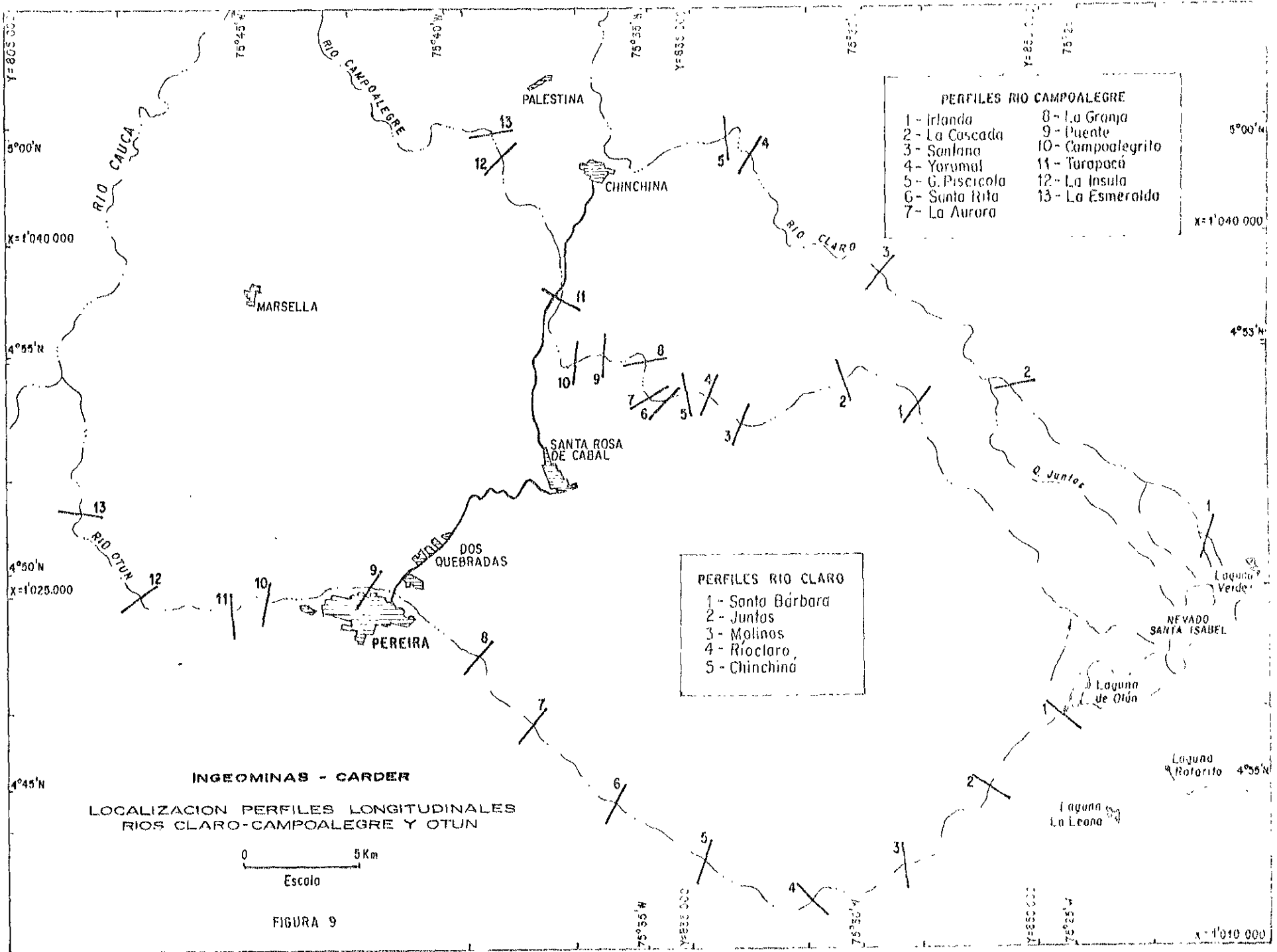
FIGURA 8





En el río Campoalegre se distinguen tres tramos o sectores con rasgos morfológicos, geográficos y de utilización bien diferenciables (Figura 9 y Planchas 2, 3 y 4 en bolsillo); estos sectores son:

- 1) Nacimiento quebrada Linderos-Santana. El valle de la quebrada Linderos, entre el nacimiento y la confluencia con el Campoalegre, es angosto y de alta pendiente. A partir de allí y hasta adelante de la hacienda Potosí el valle del río es glacial, relativamente amplio y cubierto de pastos y vegetación de páramo. La pendiente del río es relativamente elevada, aunque por sectores como en vecindades de las haciendas Porvenir y La Irlanda y entre la unión con la quebrada La Cristalina y Santana se suavizan ligeramente. No existen zonas pobladas, con excepción de una que otra casa, en su alrededor. En algunos sitios existe desarrollo agropecuario y en otros bosques que se conservan por lo escarpado del terreno.
  
- 2) Santana - Tarapacá. Es la zona de más alta densidad poblacional y de mayor desarrollo agrícola y ganadero. La pendiente del río es baja y la corriente avanza por un valle relativamente amplio, con ocasionales estrechamientos. Se observan abundantes sectores inestables y la presencia de conos de deyección y otros depósitos de origen torrencial.



**PERFILES RIO CAMPOALEGRE**

|                  |                    |
|------------------|--------------------|
| 1 - Irlanda      | 8 - La Granja      |
| 2 - La Cascada   | 9 - Puente         |
| 3 - Santana      | 10 - Campoalegrito |
| 4 - Yorumal      | 11 - Turopacá      |
| 5 - G. Piscicola | 12 - La Insula     |
| 6 - Santa Rita   | 13 - La Esmeralda  |
| 7 - La Aurora    |                    |

**PERFILES RIO CLARO**

|                   |
|-------------------|
| 1 - Santa Bárbara |
| 2 - Juntas        |
| 3 - Molinos       |
| 4 - Rioclaro      |
| 5 - Chinchinó     |

INGEOMINAS - CORDER  
 LOCALIZACION PERFILES LONGITUDINALES  
 RIOS CLARO-CAMPOALEGRE Y OTUN

0 5 Km  
 Escala

FIGURA 9



- 3) Tarapacá - río Cauca. El valle es estrecho, los asentamientos humanos escasos, el desarrollo cafetero y ganadero, en muy pocas ocasiones, llega hasta sus riberas. En esta zona se encuentra el aprovechamiento hidroeléctrico de La Esmeralda.

Tal como se hizo para el río Otún se tomó, para la zona glaciar que dá origen a la quebrada Linderos, un espesor promedio de 10 m, que permitió calcular 4,5 mmc de volumen; considerando como densidad promedio para la nieve, hielo y "firn" 0,7 se obtuvo un volumen de agua equivalente a 3,15 mmc. De este volumen se considera que, tal como sucedió en el Nevado del Ruiz en noviembre de 1985, entre 50 y 60% del agua liberada pasó a formar parte de los lahares por lo que de la fusión total del área glaciar, que alimenta la quebrada Linderos, se tendría como volumen inicial 1.9 mmc.

Con esta cifra, con muy baja posibilidad de ocurrencia, y utilizando los datos de la Tabla 3, se simularon flujos de lodo con el programa HIMAT-FAO (1987), obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 4.

Al analizar la morfología y topografía de la zona glaciar que alimenta la quebrada Linderos se observan dos regiones: la parte suroccidental y sur del Domo Central y la comprendida entre este domo y el Domo Sur. Las erupciones efusivas del pasado reciente del Santa Isabel han afectado zonas restringidas, por lo que una erupción futura podría localizarse en alguna de estas regiones con lo que el área afectada sería, en cualquier



**TABLA 3.- CARACTERISTICAS DE LOS CAUCES DE LOS RIOS CAMPOALEGRE Y CLARO**

| PERFILES RIO CAMPOALEGRE | DISTANCIA (metros) | ANCHO DEL CAUCE (metros) | PENDIENTE DEL TRAMO | TALUD DEL PERFIL |
|--------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------|------------------|
| 1 - IRLANDA              | 12.620             | 12.00                    | 0.183               | 3.560            |
| 2 - LA CASCADA           | 4.000              | 13.00                    | 0.158               | 2.560            |
| 3 - SANTANA              | 6.460              | 16.00                    | 0.073               | 8.000            |
| 4 - YARUMAL              | 1.280              | 12.00                    | 0.074               | 2.740            |
| 5 - G. PISCICOLA         | 1.580              | 22.00                    | 0.040               | 4.200            |
| 6 - SANTA RITA           | 6.700              | 50.00                    | 0.094               | 4.430            |
| 7 - LA AURORA            | 3.520              | 20.00                    | 0.036               | 1.100            |
| 8 - LA GRANJA            | 1.540              | 24.00                    | 0.020               | 2.580            |
| 9 - PUENTE               | 1.530              | 17.00                    | 0.016               | 2.410            |
| 10 - CAMPOALEGRITO       | 1.180              | 20.00                    | 0.032               | 1.360            |
| 11 - TARAPACA            | 5.280              | 23.50                    | 0.024               | 3.650            |
| 12 - LA INSULA           | 7.160              | 35.00                    | 0.022               | 4.880            |
| 13 - LA ESMERALDA        | 0.320              | 42.00                    | 0.019               | 2.400            |
| 14 - RIO CAUCA           | 20.780             | 60.00                    | 0.026               | 1.960            |

| PERFILES RIO CLARO | DISTANCIA (metros) | ANCHO DEL CAUCE (metros) | PENDIENTE DEL TRAMO | TALUD DEL PERFIL |
|--------------------|--------------------|--------------------------|---------------------|------------------|
| 1 - SANTA BARBARA  | 5.520              | 12.00                    | 0.228               | 3.350            |
| 2 - JUNTAS         | 6.840              | 20.00                    | 0.142               | 1.500            |
| 3 - MOLINOS        | 10.000             | 25.00                    | 0.111               | 0.960            |
| 4 - RIOCLARO       | 11.440             | 30.00                    | 0.048               | 1.900            |
| 5 - CHINCHINA      | 2.000              | 30.00                    | 0.035               | 2.360            |



**TABLA 4. - POSIBLES ALTURAS QUE ALCANZARIA UN FLUJO DE LODO  
EN EL RIO CAMPOALEGRE**  
Volumen inicial estimado : 1.9 mmc (\*)

| PERFILES           | TGA = 10 Minutos    |                      | TGA = 50 Minutos    |                      |
|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
|                    | ALTURA<br>en metros | TIEMPO<br>en minutos | ALTURA<br>en metros | TIEMPO<br>en minutos |
| 1- IRLANDA         | 15                  | 22                   | 9                   | 65                   |
| 2 - LA CASCADA     | 17                  | 25                   | 10                  | 69                   |
| 3 - SANTANA        | 10                  | 34                   | 6                   | 82                   |
| 4 - YARUMAL        | 14                  | 36                   | 9                   | 84                   |
| 5 - G. PISCICOLA   | 11                  | 38                   | 7                   | 87                   |
| 6 - SANTA RITA     | 9                   | 39                   | 5                   | 88                   |
| 7 - LA AURORA      | 16                  | 44                   | 9                   | 94                   |
| 8 - LA GRANJA      | 15                  | 47                   | 9                   | 98                   |
| 9 - PUENTE         | 17                  | 50                   | 11                  | 101                  |
| 10 - CAMPOALEGRITO | 16                  | 51                   | 9                   | 104                  |
| 11 - TARAPACA      | 13                  | 61                   | 8                   | 116                  |
| 12 - LA INSULA     | 11                  | 76                   | 7                   | 136                  |
| 13 - LA ESMERALDA  | 13                  | 77                   | 7                   | 137                  |
| 14 - RIO CAUCA     | 15                  | 104                  | 8                   | 173                  |

TGA : Tiempo de generacion del flujo

ALTURA : Altura, en metros, del posible flujo de lodo

TIEMPO : Tiempo, en minutos, de arribo del posible flujo de lodo

mmc : Millones de metros cubicos

(\*) Area total del glaciar de la Q. Linderos



caso, equivalente al 50% del glaciar que alimenta la quebrada Linderos. Este evento, factible de presentarse, originaría fusión total del volumen glaciar correspondiente (1,5 mmc) que daría, si se tiene en cuenta que el 60% de este volumen puede formar flujos de lodo, 0,9 mmc. Con este valor se hicieron las simulaciones; los resultados se muestran en la Tabla 5, que son más reales que los de la Tabla 4 y con ellos se limitaron las áreas expuestas a lahares en el río Campoalegre (Planchas 1, 2, 3 y 4).

Las áreas más vulnerables se encuentran entre Santana y La Esmeralda; en este tramo del río existe alta concentración humana, intensa actividad agropecuaria, extracción de materiales pétreos para construcción y numerosas obras de infraestructura.

**2.5.1.3. Cuenca del río Claro.** El río Claro y sus afluentes, las quebradas Juntas y Santa Bárbara, drenan la zona norte y noroccidental del Nevado Santa Isabel, aproximadamente 2.1 km<sup>2</sup> de área (Tabla 2). El curso del río Claro tiene 3 sectores diferenciables desde el punto de vista geomorfológico.

- 1) Nevado Santa Isabel-carretera Villamaría a Laguna del Otún. Esta parte tiene alta pendiente hasta la unión con la quebrada Santa Bárbara; de allí en adelante el gradiente disminuye y el río avanza por un valle glacial cubierto de pastos. En la zona existe algo de desarrollo agropecuario.



**TABLA 5. - POSIBLES ALTURAS QUE ALCANZARIA UN FLUJO DE LODO  
EN EL RIO CAMPOALEGRE**

Volumen inicial estimado : 0.9 mmc (\*)

| PERFILES           | TGA = 10 Minutos    |                      | TGA = 50 Minutos    |                      |
|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
|                    | ALTURA<br>en metros | TIEMPO<br>en minutos | ALTURA<br>en metros | TIEMPO<br>en minutos |
| 1.- IRLANDA        | 10                  | 24                   | 7                   | 67                   |
| 2 - LA CASCADA     | 11                  | 28                   | 7                   | 72                   |
| 3 - SANTANA        | 7                   | 40                   | 5                   | 87                   |
| 4 - YARUMAL        | 10                  | 42                   | 6                   | 89                   |
| 5 - G. PISCICOLA   | 8                   | 45                   | 5                   | 93                   |
| 6 - SANTA RITA     | 6                   | 46                   | 4                   | 94                   |
| 7 - LA AURORA      | 11                  | 51                   | 7                   | 101                  |
| 8 - LA GRANJA      | 10                  | 55                   | 7                   | 105                  |
| 9 - PUENTE         | 12                  | 58                   | 8                   | 110                  |
| 10 - CAMPOALEGRITO | 11                  | 60                   | 7                   | 112                  |
| 11 - TARAPACA      | 9                   | 72                   | 6                   | 127                  |
| 12 - LA INSULA     | 8                   | 90                   | 5                   | 150                  |
| 13 - LA ESMERALDA  | 8                   | 91                   | 5                   | 151                  |
| 14 - RIO CAUCA     | 10                  | 126                  | 6                   | 195                  |

TGA : Tiempo de generacion del flujo

ALTURA : Altura, en metros, del posible flujo de lodo

TIEMPO : Tiempo, en minutos, de arribo del posible flujo de lodo

mmc : Millones de metros cubicos

(\*) Erupcion afectando 50% del glaciar de la Q. Linderos



- 2) Carretera Villamaría a Laguna del Otún - Carretera Chinchiná a Villamaría (Puente Ríoclaro). Este sector se caracteriza por pendiente moderada a alta, escaso desarrollo, valle estrecho y rectilíneo. Las mayores pendientes se encuentran aguas arriba de la intersección con las quebradas Nereidas y San Antonio; esta zona es más o menos boscosa.
  
- 3) Puente Ríoclaro - Confluencia río Chinchiná. El río inicia un valle un poco más amplio. En esta zona abundan las explotaciones de arenas y gravas; el desarrollo agrícola y ganadero es limitado debido a que los habitantes de esta región fueron reubicados después de la erupción del Nevado del Ruiz, en 1985.

Tal como se realizó para los ríos Otún y Campoalegre, se tomó como espesor promedio de los glaciares que dan nacimiento al río Claro y las quebradas Juntas y Santa Bárbara, 10 m de espesor que dan un volumen de nieve y hielo de 21 mmc. Una erupción lávica, en el Nevado Santa Isabel, que comprometa todo este sector es poco probable, por lo que no es válido considerar la fusión total de esta masa de hielo y nieve.

Las erupciones del pasado reciente indican que las efusiones de lava son localizadas sobre zonas de máximo 500 m de ancho, por lo que es más real pensar que erupciones lávicas futuras, puedan afectar sólo la cuenca de la quebrada Juntas (1,35 km<sup>2</sup>, 9,45 mmc de agua por fusión; ver Tabla 2) o





simultáneamente los nacimientos de río Claro y la quebrada Santa Bárbara (0,75 km<sup>2</sup>, 5,25 mmc de agua por fusión; ver Tabla 2).

Para la simulación de flujos de lodo, para cada una de estas posibilidades, se tomó 60% de estos volúmenes como volumen inicial de agua para generar lahares y los valores de la Tabla 2. Los volúmenes iniciales, asumidos para la simulación, son inferiores a los 6.9 mmc (PIERSON ET AL., 1990) registrados por el río Molinos y la quebrada Nereidas, afluentes del río Claro, durante la erupción del Nevado del Ruiz en noviembre de 1985. Las alturas y tiempo de llegada se muestran en las Tablas 6 y 7.

La baja densidad poblacional y la poca actividad de la zona próxima a la corriente de agua, hasta la desembocadura en el río Chinchiná, indican baja vulnerabilidad por este tipo de fenómeno volcánico.

**2.5.1.4. Efectos de los posibles flujos de lodo en las áreas expuestas.** En las partes alta y baja de la cuenca del río Campoalegre predominarían los efectos erosivos y los flujos de lodo incrementarían el volumen. En la parte media, entre Santana y Tarapacá, debido al bajo gradiente dominaría la depositación de material; no obstante habría socavación lateral de las paredes del valle.

Las principales obras ubicadas en al área de amenaza son los puentes carreteables de las vías Santa Rosa-Yarumal (Figura 10), Pereira-



**TABLA 6. - POSIBLES ALTURAS QUE ALCANZARIA UN FLUJO DE LODO EN EL RIO CLARO QUE DESCIENDA POR LA QUEBRADA JUNTAS**

Volumen inicial estimado : 6.7 mmc

| PERFILES          | TGA = 10 Minutos    |                      | TGA = 50 Minutos    |                      |
|-------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
|                   | ALTURA<br>en metros | TIEMPO<br>en minutos | ALTURA<br>en metros | TIEMPO<br>en minutos |
| 1.- SANTA BARBARA |                     |                      |                     |                      |
| 2 - JUNTAS        | 28                  | 21                   | 16                  | 65                   |
| 3 - MOLINOS       | 29                  | 28                   | 16                  | 73                   |
| 4 - RIO CLARO     | 19                  | 39                   | 11                  | 88                   |
| 5 - CHINCHINA     | 10                  | 41                   | 11                  | 91                   |

**TABLA 7. - POSIBLES ALTURAS QUE ALCANZARIA UN FLUJO DE LODO EN EL RIO CLARO QUE DESCIENDA POR ESTE Y LA QUEBRADA SANTA BARBARA**

Volumen inicial estimado : 3.1 mmc

| PERFILES          | TGA = 10 Minutos    |                      | TGA = 50 Minutos    |                      |
|-------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
|                   | ALTURA<br>en metros | TIEMPO<br>en minutos | ALTURA<br>en metros | TIEMPO<br>en minutos |
| 1.- SANTA BARBARA | 19                  | 14                   | 12                  | 56                   |
| 2 - JUNTAS        | 22                  | 19                   | 13                  | 62                   |
| 3 - MOLINOS       | 22                  | 26                   | 12                  | 71                   |
| 4 - RIO CLARO     | 15                  | 39                   | 9                   | 88                   |
| 5 - CHINCHINA     | 15                  | 42                   | 9                   | 91                   |

TGA : Tiempo de generacion del flujo

ALTURA : Altura, en metros, del posible flujo de lodo

TIEMPO : Tiempo, en minutos, de arribo del posible flujo de lodo

mmc : Millones de metros cubicos

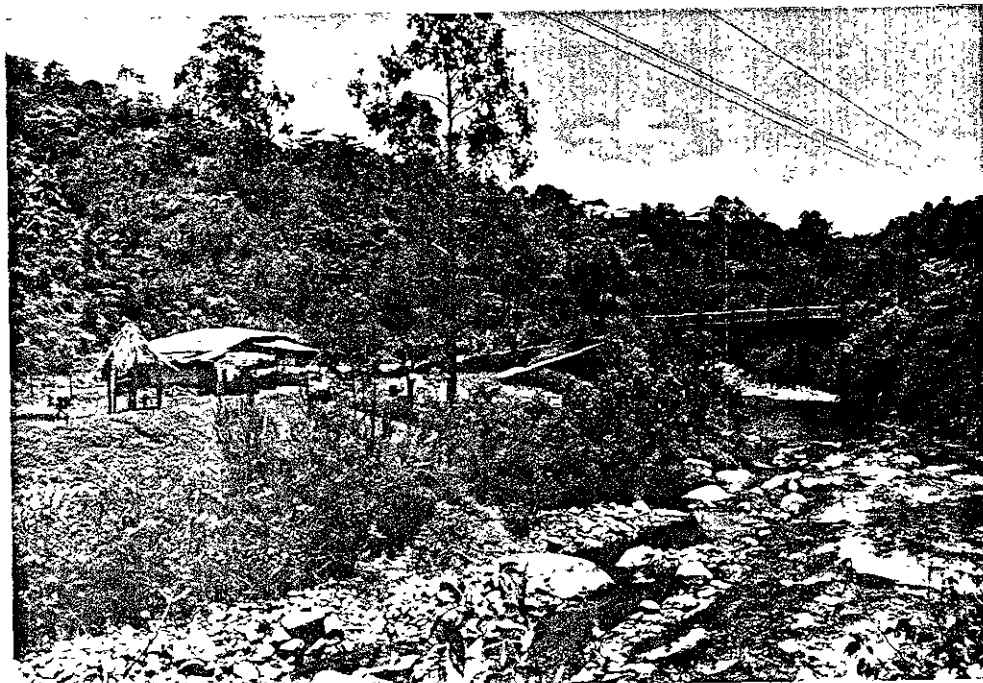


FIGURA 10. Puente sobre el río Campoalegre en la vía Santa Rosa - Yarumal (altura 5,20 m).



Manizales (Tarapacá, Figura 11), Chinchiná-Hidroeléctrica de San Francisco (La Insula, Figura 12) y en la entrada a La Esmeralda: este aprovechamiento hidroeléctrico se encuentra también en el área expuesta a flujos de lodo.

En el río Claro los procesos erosivos dominarían hasta el puente río Claro; de ese punto en adelante, tal como ocurrió en la erupción del Ruiz, se iniciaría la depositación de materiales. La captación de agua de la CHEC, ubicada aguas abajo de la confluencia de los ríos Chinchiná y Claro, podría resultar afectada durante una erupción en el Nevado Santa Isabel. Igualmente pueden resultar comprometidos los puentes carreteables de las vías Villamaría - Laguna del Otún, Villamaría - La Telaraña (Puente Riobamba, 13 m de altura) y Chinchiná - Ríoclaro - Villamaría (Puente Ríoclaro, 10 - 11 m de altura).

**2.5.2. Erupción en áreas no glaciares.** Si erupciones futuras ocurren en regiones que no tengan cubierta glaciar, no existen posibilidades de generación de flujos de lodo por deshielo. En este caso, y si la erupción produce abundante material piroclástico, los flujos podrían desarrollarse a partir de lluvias intensas que removilizarían el material suelto depositado en las laderas del área. El volumen y magnitud de estos eventos serían menores que si se presenta fusión de hielo y nieve.

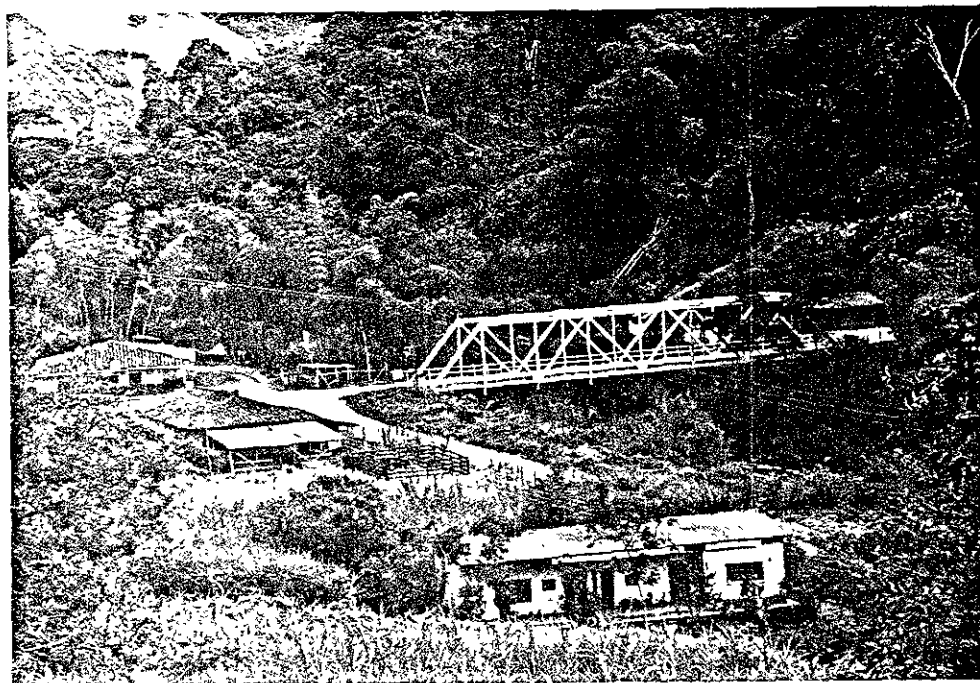


FIGURA 12. Puente La Insula en la carretera Chinchiná-Hidroeléctrica San Francisco (altura 8,20 metros).

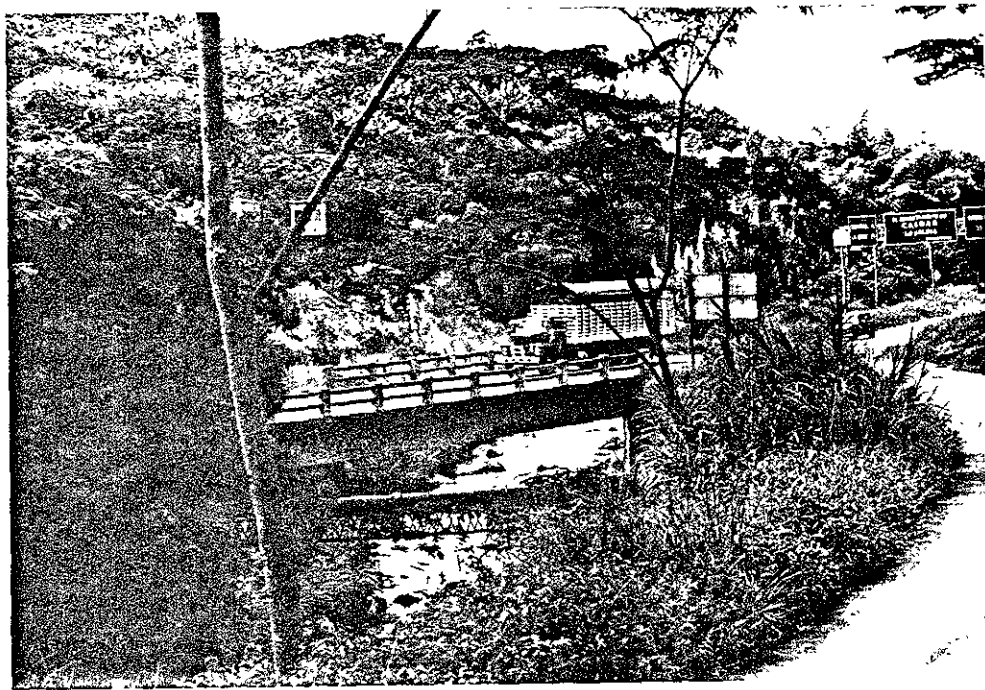


FIGURA 11. Puente Tarapacá, sobre el río Campoalegre, en la carretera Pereira - Manizales (altura 6,20 m).



## 2.6. AMENAZA POR SISMOS VOLCANICOS

Los sismos de origen volcánico que se pueden presentar en el área del Nevado Santa Isabel, tendrían magnitud baja; este hecho y lo deshabitado de la zona próxima al nevado, hacen poco probable los daños materiales y prácticamente nula la posibilidad de pérdidas humanas. La actividad sísmica prolongada podría desestabilizar el glaciar y zonas aledañas, provocando deslizamientos que generarían flujos de escombros por las corrientes de agua que nacen en el nevado, que afectarían áreas cercanas al cauce de las corrientes involucradas.

## 2.7. AMENAZA POR EMISION DE GASES

Los gases volcánicos que se desprenden del magam ocurren como compuestos tóxicos de azufre, cloro, flúor, nitrógeno, hidrógeno y carbono, entre otros elementos químicos. Cuando las concentraciones son elevadas la inhalación puede causar la muerte por envenenamiento.

Durante erupciones explosivas la violencia del proceso hace que los gases emitidos sean mezclados con gases atmosféricos, disminuyendo las concentraciones y por tanto la toxicidad. De otra parte, el régimen de vientos contribuye eficazmente a la dispersión.



Las emanaciones lentas, por el contrario, no se mezclan fácilmente con el aire, y se acumulan en depresiones y hondonadas muy cerca del suelo, debido a que normalmente son más densas o pesadas que él, constituyéndose en amenaza importante, especialmente para la fauna.

Estas consideraciones hacen recomendar que la azufrera del Otún, de fácil acceso y paso obligado de personas, sea revisada frecuentemente por si se detectan aves u otro tipo de animal muerto, por efecto de gases, para vedar el área.





### 3. MAPA DE AMENAZA VOLCANICA POTENCIAL

Del análisis de la información existente y colectada durante las etapas de la investigación sobre el Nevado Santa Isabel, se obtuvo el Mapa de Amenaza Volcánica Potencial (Plancha 1, en bolsillo), en donde se identifican tres zonas, cada una de ellas expuesta a uno o varios productos volcánicos, que podrían ser generados durante fases eruptivas futuras del Complejo de Domos del Nevado Santa Isabel.

#### 3.1 ZONA 1

Esta zona cubre un área de aproximadamente 9,5 km de radio alrededor del nevado, y presenta el mayor grado de amenaza por varios productos volcánicos. Para especificar mejor la situación la zona se dividió en tres subzonas, en donde los productos que originan la amenaza pueden ocurrir como un evento simple o simultáneamente.

**3.1.1 Subzona 1A.** Es la zona más próxima al nevado. En esta área, durante erupciones futuras, se podrían presentar flujos de lava, emplazamiento de domos, flujos piroclásticos por colapso o explosión de domos o colapso de columna eruptiva, flujos de lodo o lahares, piroclastos (bombas y bloques) proyectados balísticamente y piroclastos de caída (ceniza y lapilli) formando acumulaciones de más de 20 cm de espesor. Esta región es poco poblada, por lo que los daños que se podrían presentar son materiales, sobre cultivos y ganadería.



**3.1.2. Subzona 1B.** En ella se podrían presentar flujos piroclásticos por colapso o explosión de domos o colapso de columna eruptiva, flujos de lodo o lahares, restringidos a las quebradas y ríos que nacen en el Santa Isabel, y piroclastos de caída (ceniza y lapilli) en acumulaciones de más de 20 cm de espesor. Los daños serían de tipo material, especialmente sobre el sector agropecuario.

**3.1.3. Subzona 1C.** Corresponde a los valles de los ríos Claro y Campoalegre, por el sector occidental, y Recio y Totare en el costado oriental. En esta subzona se presentarían flujos de lodo o lahares, con alturas de hasta 25 - 30 m sobre el cauce actual del río Claro y 10 - 12 m en el Campoalegre. Resultarían afectados algunos asentamientos humanos, especialmente sobre los ríos Campoalegre y Totare. Infraestructura de servicios, principalmente puentes de vías nacionales y veredales y captaciones de agua para desarrollo hidroenergético, podría resultar comprometida.

### **3.2. ZONA 2**

Se extiende en forma semicircular, en un radio de aproximadamente 13 - 14 km alrededor del nevado. Esta región podría ser cubierta por piroclastos de caída, especialmente ceniza, formando acumulaciones entre 10 y 20 cm de espesor. La distribución de los materiales volcánicos sería controlada por la dirección de los vientos al momento de la erupción.



### 3.3. ZONA 3

Corresponde al grado más bajo de amenaza volcánica. Se extiende hasta un poco más de 20 km del nevado. En esta zona se presentarían piroclastos de caída en acumulaciones de menos de 10 cm de potencia. La dirección de los vientos desempeñaría, nuevamente, papel importante en la distribución de las cenizas volcánicas.



#### 4. CONCLUSIONES

1. El Nevado Santa Isabel no es un volcán típico, con cráter visible. Se trata de un complejo volcánico formado por domos y domos-colada, localizados en el cruce de fallas geológicas regionales, por lo que ha sido denominado "Complejo de Domos de Santa Isabel.
2. La actividad volcánica ha sido, predominantemente, efusiva, con dos eventos explosivos de pequeña magnitud que produjeron flujos piroclásticos.
3. La última erupción conocida ocurrió en el Holoceno, hace 5800 - 4700; estuvo asociada a focos de emisión en la parte sur y produjo lavas en bloques, que rellenaron los valles del río Otún y las quebradas La Leona, El Africa y El Español.
4. Analizando los períodos de retorno se considera que ofrecen mayor amenaza, por la frecuencia, las crecientes, avenidas torrenciales y flujos de escombros y lodo derivados de fenómenos hidrometeorológicos y geológicos, como sismos y deslizamientos, que los eventos originados por actividad volcánica del Complejo de Domos de Santa Isabel.



5. La actividad volcánica del pasado, en el área del Nevado Santa Isabel, sugiere que erupciones futuras darían, como producto principal, flujos de lava de composición intermedia. Productos menos probables son flujos piroclásticos y emplazamiento y destrucción de domos. Piroclastos de caída (ceniza y lapilli) pueden presentarse debido a la interacción lava - hielo o nieve que ocasionaría explosiones freatomagmáticas.
  
6. El complejo de domos está cubierto por un casquete glacial de aproximadamente 7 km<sup>2</sup> de área, espesor promedio 10 m y volumen de 72 mmc. Esto representa amenaza pues, en caso de erupción en el área glacial, el casquete podría sufrir fusión parcial, generándose flujos de lodo o lahares que descenderían por los ríos Campoalegre y Claro, al occidente, y Recio y Totare, al oriente.
  
7. El Mapa de Amenaza Volcánica Potencial indica que las áreas que presentan mayor grado de amenaza por la presencia de uno o varios productos volcánicos se encuentran en un radio máximo de 10 Km del nevado y se extienden por los valles de los ríos Campoalegre, Claro, Recio y Totare.
  
8. Las Lagunas Otún, María Pardo, Mosquito y otras depresiones menores, ubicadas entre el extremo sur de la última laguna mencionada y El Bosque, pueden almacenar flujos de lodo que se



generen en el sector sur y sur-occidental del Nevado Santa Isabel. Esta situación indica que, con las condiciones topográficas y morfológicas actuales, el valle del río Otún no estaría expuesto a este tipo de fenómeno derivado de actividad volcánica en el Nevado Santa Isabel.

9. Las partes altas del área están poco habitadas; por esta razón, en caso de erupción, los mayores problemas se presentarían en los valles de los ríos Campoalegre, Claro, Recio y Totare, por donde avanzarían los flujos de lodo o lahares que se generen por fusión parcial del casquete glaciar. En las partes media y baja de los ríos mencionados, están localizadas personas, viviendas e infraestructura de servicios que pueden resultar afectadas por flujos de lodo.
10. Las carreteras nacionales Pereira - Manizales e Ibagué - Honda podrían ser interrumpidas por flujos de lodo.
11. El grado de actividad volcánica es bajo y también es baja la probabilidad que ocurra una erupción a corto o mediano plazo. La actividad actual se manifiesta como fumarolas, fuentes termales y sismos poco profundos, que pueden ser reflejo de actividad tectónica o volcánica, sin confirmar.



12. La cuenca del río Campoalegre, en casi toda su extensión, muestra alto grado de deterioro; son frecuentes los fenómenos de inestabilidad activa y potencial, ocasionados por diversos factores geológicos y antrópicos, así como los depósitos generados por avenidas torrenciales, de diverso origen. Estos hechos indican amenaza para las personas y estructuras ubicadas en el área.



## 5. RECOMENDACIONES

Teniendo presente el grado de actividad volcánica y la necesidad de utilizar los recursos de la manera más eficiente se presentan, en orden de prioridad, las siguientes recomendaciones:

1. Establecer sistemas de vigilancia de la actividad volcánica con el siguiente equipo y metodología:
  - a) Instalación de uno o dos sismógrafo con telemetría, con el objeto de ampliar la red sísmica de vigilancia del Complejo Volcánico Ruiz - Tolima, para determinar el comportamiento volcano-tectónico del área.
  - b) Establecimiento de redes de deformación como inclinometría seca, vectores de nivelación y medidas electrónicas de distancia.
  - c) Muestreo de gases y aguas de fumarolas y fuentes termales, así como lecturas de acidez y temperatura.





Los trabajos de deformación y geoquímica pueden realizarse a intervalos de cuatro a seis meses mientras la actividad se mantenga en los bajos niveles actuales.

2. Realizar un estudio geológico, con criterios geotécnicos y geomorfológicos, de las cuencas de los ríos Campoalegre y Claro, como requisito indispensable para establecer el plan de manejo y protección de las cuencas hidrográficas.
3. Levantamientos topográficos, 1:10.000 con curvas de nivel entre 2 y 5 m, en el sector del río Campoalegre comprendido entre Santana y La Esmeralda, para mejorar la calidad de la información cartográfica para trabajos detallados, no tanto por amenaza volcánica sino por avalanchas torrenciales e inundaciones de tipo climatológico.
4. Apoyar las investigaciones glaciológicas que realizan Ingeominas y el IGAC, para determinar área y volumen del glaciar. Se debe incluir la instalación de puntos de control para determinar avances y retrocesos de la línea de nieve. Estos análisis, unidos al conocimiento de diversos parámetros físicos y climatológicos, permitirán evaluar en forma detallada, las áreas amenazadas por lahares y la evolución del área glaciar.



5. Muestreo sísmico, con mínimo cinco estaciones de campo y períodos de uno a dos meses, para mejorar la calidad de la información sísmica alrededor del Nevado Santa Isabel. Esto permitirá definir el origen de la sismicidad de la zona.
  
6. Preparar mapas de vulnerabilidad y riesgo para establecer planes de uso del suelo y agua, así como la preparación de programas de emergencia para erupciones futuras.



## 6. BIBLIOGRAFIA

- CARDER - HASKONING, 1987 - A. Plan de ordenamiento, prevención de desastres y saneamiento ambiental del río Otún. Zonificación de Riesgos, Tomo I: Geología y Geomorfología. 68p. Anexos. Pereira.
- , 1987 - B. Plan de ordenamiento, prevención de desastres y saneamiento ambiental del río Otún. Zonificación de riesgos, Tomo II: Hidrología e hidráulica. 114p. Anexos. Pereira.
- DRIEDGER, C.L. and KENNARD, P.M., 1986. Ice volumes on Cascade volcanoes: Mount Rainier, Mount Hood, Three Sisters, and Mount Shasta. U.S. Geological Survey, Professional Paper 1365: 28p.
- HIMAT-FAO., 1987. Modelo de simulación matemática sobre comportamiento hidráulico de los flujos de lodos (Documento No. 6). 61p. Bogotá.
- HIMAT, 1988. Batimetría de la "Laguna del Otún". 3p. La Unión (Valle).
- HSU, H., 1975. Catastrophe debris stream (sturzstroms) generated by rock fall. Geol.Soc.Am.Bull., 86: 129-140.
- INGEOMINAS, 1992 - A. Amenaza volcánica potencial del sector occidental del Nevado Santa Isabel, Fase I: Geología - Vulcanología: 70p. Ibagué.
- INGEOMINAS, 1992 - B. Amenaza volcánica potencial del sector oriental del Nevado Santa Isabel. 77p. Ibagué.
- JAMES, M., ET AL., 1987. Evaluación de amenazas geológicas en la cuenca del río Otún. Revista CIAF, 11 (Tomo II:1 - 3): 325-327. Bogotá.
- PIERSON, T. ET AL., 1990. Perturbation and melting of snow and ice by the 13 November 1985 eruption of Nevado del Ruiz, Colombia, and consequent mobilization, flow and deposition of lahars. Jour. Volcanology and Geothermal Research, 41 (1-4): 17-66.
- SAEMUNDSSON, K., 1979. Outline of the geology of Iceland. Jokull, 29: 7-28.
- SMITHSONIAN INSTITUTION, 1992. Pinatubo in Bulletin of the Global Volcanism Network, 17 (9):8-10. Washington.
- THORARINSSON, S. and SAEMUNDSON, K., 1979. Volcanic activity in historical time. Jokull, 29: 29-32.



- THOURET, J.C., 1990. Effects of the November 13, 1985 eruption on the snow pack and ice cap of Nevado del Ruiz volcano, Colombia. Jour. Volcanology and Geothermal Research, 41 (1-4): 177-201.
- THOURET, J.C., ET AL., 1985. Cronoestratigrafía mediante dataciones K/Ar y C-14 de los volcanes compuestos del Complejo Ruiz-Tolima y aspectos volcano estructurales del Nevado del Ruiz (Cordillera Central de Colombia). Memorias VI Congreso Latinoamericano de Geología, Tomo I: 385-354. Bogotá.
- THOURET, J.C., ET AL., 1991. Stratigraphy and Quaternary eruptive history of the Ruiz-Tolima Volcanic Massif, Colombia. Implications for assessment of volcanic hazards. Simposio sobre Magmatismo Andino (Poster). Manizales.
- THOURET, J.C. Y VAN DER HAMMEN, T., 1981. Una secuencia holocénica y tardiglaciár en la Cordillera Central de Colombia - Aspectos geomorfológicos, pedológicos, palinológicos y paleo-ecológicos en el área del Parque Nacional Natural Los Nevados (Tolima, Risaralda). Revista CIAF, 6 (1-3): 609-634. Bogotá.
- ., 1983. La secuencia holocénica y tardiglaciár en el Parque Los Nevados. In: Van der Hammen, T., Pérez, A., Pinto, P., editors: Studies on Tropical Andean Ecosystems, 1: La Cordillera Central Colombiana - Transecto Parque Los Nevados (Introducción y datos iniciales): 262-276. J. Cramer. Vaduz.



# PROGRAMA CREDAS



A N E X O 1

MODELO DE SIMULACION MATEMATICA SOBRE COMPORTAMIENTO  
HIDRAULICO DE LOS FLUJOS DE LODO

DATOS TOMADOS DE HIMAT - YAO (1987)



## 1. GENERALIDADES

El programa CREDAS, realizado por el ingeniero OSCAR ARANGO B. en 1987 y utilizado en este proyecto con su autorización, es el resultado de un modelo matemático de simulación de flujos de lodo que buscaba representar el comportamiento hidráulico de los flujos de lodo a lo largo de los cauces de los ríos que nacen en el nevado del Ruiz.

El modelo fue formulado con base en ecuaciones que reflejan, tanto las características de los lodos, como las variaciones de los cauces en sección, pendiente y dirección.

Las variables que el modelo está en capacidad de resolver son las siguientes:

1. Velocidad de propagación del frente de la avalancha y tiempos de llegada de la misma a secciones determinadas a lo largo de los ríos
2. Niveles máximos esperados y sitios de desbordamiento
3. Volúmenes de sólidos que las avalanchas pueden entregar a los ríos principales



El programa permite efectuar, entre otras, simulaciones referentes al tránsito de avalanchas originadas por deshielo; para su utilización se debe contar con los siguientes parámetros:

1. Índices morfométricos en el río principal y sus afluentes
  - a) Area en Km<sup>2</sup>
  - b) Tiempo de concentración en minutos
  
2. Perfil longitudinal del río principal
  - a) Cotas de fondo en metros sobre el nivel del mar
  - b) Longitudes, en Km, desde el nacimiento
  
3. Secciones transversales adaptadas a secciones trapezoidales
  - a) Ancho de la solera en metros
  - b) Talud del perfil (relación H:V)
  
4. Tramos de alimentación de las avalanchas  
Abscisa inicial y final de acuerdo con los datos del perfil longitudinal
  
5. Entrada de tributarios





Abscisa de entrada de acuerdo con los datos del perfil longitudinal

Deben tenerse, además, las siguientes variables, que pueden modificarse dentro del proceso de simulación; estas modificaciones pueden hacerse directamente o por pantalla:

1. Magnitud del evento ( $Z_A$  msnm)
2. Condición inicial del río principal ( $Z_0$  msnm)
3. Duración del evento que genera la avalancha ( $T_A$  en minutos)
4. Factor de Manning. Se consideran 3 casos:
  - Lodo con alta concentración de sólidos  $m=0.120$
  - Lodo con alto porcentaje de líquido  $n=0.050$
  - Lodo con sedimentos en suspensión  $n=0.040$
5. Características geotécnicas de los sólidos que forman parte de las avalanchas, tales como ángulo de fricción interna



6. Alimentación de las avalanchas en el recorrido, especialmente volumen de incremento por unidad de tiempo en cada tramo de alimentación

El programa imprime una tabla de resultados que corresponden a:

- Altura máxima en m ( $Y_{max}$ )
- Ancho máximo en metros ( $T_{max}$ )
- Tiempo de propagación del frente de onda de la avalancha, en minutos (T)
- Velocidad de propagación en metros/segundo

#### DESCRIPCION DE LOS ARCHIVOS

El programa se denomina **CREDas** y consta de varios archivos; los principales son:

- **CREDas.DOC** : Breve descripción del programa
- **CREDas.FOR** : Contiene el programa escrito
- **CREDas.EXE** : Es el archivo ejecutable



- CREDAS1.ENT : A través de un procesador de palabras como el WS se introducen los datos correspondientes al río que se va a analizar

- CREDAS1.SAL : Es el archivo con los datos de salida que imprime el computador

Cuando se entra al directorio CREDAS y se ordena ejecutar el archivo CREDAS3.EXE, aparecen las siguientes opciones:

1. Cálculo de  $Q_{max}$ ,  $Q$ ,  $Y_n$ ,  $Y_c$
2. Cálculo de  $Y_n$  y  $Y_c$  a partir de  $Q$
3. Tránsito de crecientes (ola cinemática)
4. Generación de  $Q$  y tránsito
- 9.- Terminar

Para la simulación de flujos de lodo se escoge la opción 3 y el programa pregunta lo siguiente:

- Desea hidrograma al fina de cada tramo (S?N)?
- Los datos a leer son caudales (0) o alturas (1)?
- Desea listar todos los caudales (S/N)?
- Ola cinemática (0) o súbita (S)?



Respondidos estos interrogantes el programa indaga sobre el Factor de Manning (N); en este momento se inicia el proceso de cálculo y la impresora debe estar lista para la impresión de los resultados.



C  
C MODELO "CRECIDA" PARA SIMULACION DE CRECIDAS Y AVALANCHAS  
C  
C

C PROGRAMADOR : ING. OSCAR ARANGO B. (HIMAT) - JUNIO DE 1987  
C PARA COMPUTADOR PRIME

C ADAPTADO: ING. FLOR E. GAMBA O. (INGEOMINAS) - 1992  
C FORTRAN 77 Version 3.2 para micros compatibles  
C IMB-PC bajo DOS version 3.2 o reciente  
C Requiere 640 kb de memoria RAM  
C y coprocesador matematico  
C

C \*\*\*\*\* MAIN \*\*\*\*\*  
C

```
CALL CLS
50 WRITE(*,1)
   WRITE(*,9)
   WRITE(*,2)
   READ(*,3)IOP
   IC=0
   IC3=0
   IUNIT = 9
   ICONT = 0
   OPEN(5,FILE='CREDAS1.ENT')
   OPEN(7,FILE='CREDAS2.ENT')
   OPEN(8,FILE='CREDAS1.SAL',STATUS='OLD')
   OPEN(IUNIT,FILE='CREDAS2.SAL',STATUS='OLD')
   OPEN(6,FILE='PRN')
   IF(IOP.EQ.1) CALL CAL1(IC,QMAX,YC,H1,H2,ICONT,SO,B,M,N)
   IF(IOP.EQ.2) CALL CAL2(IC,SO,B,M,N,IC3,YN,Q,0,YC)
   IF(IOP.EQ.3) CALL TRANST
   IF(IOP.EQ.4) CALL GENER
   IF(IOP.EQ.9) GO TO 999
   GO TO 50
999 STOP
1  FORMAT('  MODELO PARA SIMULACION DE CRECIDAS Y AVALANCHAS')
9  FORMAT('          PROYECTO FAO')
2  FORMAT('          ELIJA SU OPCION....')
*/9X, '          1. - CALCULO DE QMAX,Q,YN,YC'
*/9X, '          2. - CALCULO DE YN y YC A PARTIR DE Q'
*/9X, '          3. - TRANSITO DE CRECIENTES (OLA CINEMATICA)'
*/9X, '          4. - GENERACION DE Q Y TRANSITO'
*/9X, '          9. - TERMINAR',5x,$)
3  FORMAT(I1)
   END
```

C  
C \*\*\*\*\*  
C SUBROUTINA GRAPH PARA LA ELABORACION DE HIDROGRAMAS  
C \*\*\*\*\*  
C

```
SUBROUTINE GRAPH(QG,IT,COUNT,TITULO,BASE,IUNIT)
DIMENSION QG(96),PARTS(11)
REAL IT,MAX,MIN
CHARACTER*1 ILINE(120)
CHARACTER*80 TITULO
ICOUNT=IFIX(COUNT)
MIN=100000.
```



```
MAX=-1000.
DO 100 I=1,ICOUNT
  IF(QG(I).GT.MAX) MAX=QG(I)
  IF(QG(I).LT.MIN) MIN=QG(I)
100 CONTINUE
FINC=(MAX-MIN)/10.
DO 150 I=1,11
  PARTS(I)=$((I-1)*FINC)+MIN
150 CONTINUE
DO 160 I=1,100
  ILINE(I)='.'
160 CONTINUE
DO 170 I=1,100,5
  ILINE(I)='+'
170 CONTINUE
  I=1
190 IREM=IFIX(MAX)/(10**I)
  IF(IREM.GT.0) THEN
    I=I+1
    GO TO 190
  ENDIF
  I=I-1
DO 200 J=1,11
  PARTS(J)=PARTS(J)/(10**I)
200 CONTINUE
WRITE(IUNIT,3)TITULO,I,(PARTS(J),J=1,11),(ILINE(J),J=1,100)
3 FORMAT(25X,A80//25X,'CAUDALES EN M3/S*10^^',I1//14X,11(F4.2,6
*X)/15X,100A1,'+')
DO 450 J=1,ICOUNT
  DO 250 K=1,100
    ILINE(K)=' '
250 CONTINUE
    ILINE(1)='+'
    IP=1+((QG(J)-MIN)/(MAX-MIN))*99
    ITT=((J*IT*60)+BASE)+0.5
    DO 300 K=2,IP
      ILINE(K)='*'
300 CONTINUE
    WRITE(IUNIT,4)ITT,(ILINE(K),K=1,100)
4 FORMAT(9X,I5,1X,100A1)
450 CONTINUE
RETURN
END
```

C  
C  
C  
C  
C  
C

```
*****
SUBROUTINA GENER PARA GENERACION DE HIDROGRAMAS UNITARIOS
Y SUMA DE ESTOS DE ACUERDO A TIEMPOS DE VIAJE.
*****
```

```
SUBROUTINE GENER
DIMENSION Q(20,96),TV(20),QG(96),TC(20),ISW(40),TVN(20)
REAL IT,IMX,KTR,INCT,ITTEM
INTEGER TINT,TOT
CHARACTER*80 DESC
```

C  
C  
C

```
GENERACION DEL HIDROGRAMA UNITARIO
```

```
REWIND 7
```



```
DO 50 I=1,20
DO 50 J=1,96
Q(I,J)=0.0
50 CONTINUE
QT=0.0
NEST=1
100 READ(7,3,END=999)IW,DESC
IF(IW.NE.3)ISW(NEST)=IW
IF(IW.EQ.3) GO TO 300
READ(7,1)A,TC(NEST),PMX,SIGP
WRITE(*,7)A,TC(NEST),PMX,SIGP
READ(7,1)CP,IT,TV(NEST),TR
TVN(NEST)=TV(NEST)
T=TC(NEST)*60.
TB=3.0*TC(NEST)
TINT=T/(IT*60.)
TOT=((TB*60.)-T)/(IT*60.)
CV=SIGP/PMX
PMXH=PMX/3.
SIGPH=PMXH*CV
C=PMXH*(60.+5.)*0.63
SIGC=C*CV
FAC=1-(1/TR)
FAC=ALOG(FAC)
FAC=ALOG(-1.0*FAC)
Y=-1.0*FAC
KTR=(Y-0.52)/1.06
CTR=C+KTR*SIGC
IMX=CTR/((T+5.0)*0.63)
PE=IMX*TC(NEST)*CP
QPS=A/(1.8*TB)
QPL=QPS*PE
PEND=QPL/T
WRITE(6,9)DESC
DO 150 I=1,TINT
INCT=IT*60.0*I
Q(NEST,I)=INCT*PEND
WRITE(6,6)INCT,Q(NEST,I)
150 CONTINUE
TI=TINT+1
PEND=-1.0*QPL/((TB-TC(NEST))*60.)
DO 200 I=1,TOT
J=I+TINT
ITIEM=IT*60.0*J
INCT=IT*60.0*I
Q(NEST,J)=QPL+INCT*PEND
WRITE(6,6)ITIEM,Q(NEST,J)
200 CONTINUE
WRITE(6,8)A,TC(NEST),PMX,SIGP,CP,IT,TV(NEST),TR
250 NEST=NEST+1
GO TO 100
C
C PROPAGACION DE CAUDALES
C
300 NEST=NEST-1
DO 315 I=1,NEST
DO 310 J=I,NEST
IF(ISW(J).EQ.1.AND.J.NE.I) THEN
TV(I)=TV(I)+TV(J)
ELSE
IF(J.EQ.I) THEN
```



TV(I)=0.0

ENDIF

ENDIF

```

10 CONTINUE
315 CONTINUE
WRITE(6,5)
COUNT=1.0
320 CINT=COUNT*IT*60.0
DO 350 K=1,NEST
TVV=TV(K)*60.0
FJ=((CINT-TVV)/(60.0*IT))+0.5
IF(FJ.GE.1.0) THEN
IFJ=IFIX(FJ)
QT=QT+Q(K,IFJ)
ENDIF
350 CONTINUE
IF(QT.EQ.0.0.AND.COUNT.LT.6.0) GO TO 400
IF(QT.EQ.0.0.AND.COUNT.GT.6.0) GO TO 500
WRITE(6,8)CINT,QT
400 IC=IFIX(COUNT)
QG(IC)=QT
COUNT=COUNT+1.0
QT=0.0
GO TO 320
500 CALL GRAPH(QG,IT,COUNT,DESC,0.0,6)
DO 600 I=1,NEST
TV(I)=TVN(I)
600 CONTINUE
DO 700 I=1,IC
QG(I)=0.0
700 CONTINUE
NEST=NEST+1
GO TO 100
999 RETURN
1 FORMAT(4F9.3)
3 FORMAT(I1,A79)
4 FORMAT(F4.1)
5 FORMAT('1',20X,'PROPAGACION DE CAUDALES'///20X,'TIEMPO',10X,'CAUDA
*L'//)
6 FORMAT(19X,F7.1,9X,F7.1)
7 FORMAT(7(F9.3,2X))
8 FORMAT(15X,'AREA DE LA CUENCA ',15X,F9.1,' KM2'/15X,'TIEMPO DE CON
*CENTRACION',9X,F9.1,' HORAS'/15X,'PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HRS.'
*,1X,F9.1,' MM'/15X,'DESVIACION STANDARD',13X,F9.2/15X,'CP',30X,F9.
*3/15X,'INCREMENTO DE TIEMPO',12X,F9.1,' HORAS'/15X,'TIEMPO DE VIAJ
*E',17X,F9.2,' HORAS'/15X,'PERIODO DE RETORNO',14X,F9.1,' A#OS')
9 FORMAT(//20X,'HIDROGRAMA GENERADO PARA ',A40//20X,'TIEMPO',10X,'CA
*UDAL'//)
END

```

C  
C  
C  
C  
C  
C  
C

\*\*\*\*\*  
SUBROUTINA TRANST UTILIZADA PARA DESPLAZAR AVALNCHAS A TRAVES DE  
UN CANAL PRA EL CUAL SE CONOCEN SUS CARACTERISTICAS POR TRAMOS.  
\*\*\*\*\*

```

SUBROUTINE TRANST
DIMENSION T(96),QD(96),TD(96),YMX(3),QINT(96)
REAL M,N,K2
INTEGER TRAMO,COUNT
CHARACTER*18 AVIS
CHARACTER*80 DESC
CHARACTER*1 IY,TYP,IY3

```





```
REWIND 5
AVIS=
WRITE(*,19)
READ(*,3)IY3
WRITE(*,7)
READ(*,8)IC2
WRITE(*,2)
READ(*,3)IY
WRITE(*,13)
READ(*,3)TYP
QTOT=0.0
20 DO 25 I=1,96
    T(I)=0.0
    TD(I)=0.0
25 CONTINUE
ISW2=0
TOTDIS=0.0
READ(5,10,END=500)ICLAS,DESC
WRITE(6,11)DESC
WRITE(6,4)
IF(ICLAS.EQ.0) THEN
    READ(5,6)HI,HF,TTA,TTC,TTD
    WRITE(*,14)DESC
    WRITE(*,15)HF
    READ(*,16)FNHF
    IF(FNHF.GT.0.0)HF=FNHF
ENDIF
WRITE(*,17)
READ(*,18)FNN
IF(FNN.GT.0.0) THEN
    ISW2=1
ENDIF
TRAMO=1
ISW=0
30 READ(5,1,END=500,ERR=450)SO,B,M,N,DX,TIT,PHI,FAT
IF(ISW2.GT.0) N=FNN
IF(ICLAS.GT.0) THEN
    QD(1)=QTOT
    QD(2)=0.0
    GO TO 35
ENDIF
IF(ISW.EQ.0) THEN
    I2=1
    CALL CAL1(1,QMX,YC,HF,HF,1,SO,B,M,N)
    CALL CAL1(1,QMN,YC,HI,HI,1,SO,B,M,N)
    QTOT=QTOT+QMX
    TAV=((TTA*(QMX-QMN)/2.0)+(TTC*(QMX-QMN))+(TTD*(QMX-QMN)/2.0))*60.
    TAV=TAV/1000000.0
    TFAV=TAV
    QD(I2)=QMN
    ICT=TTA/TIT
    DO 31 JN=1,ICT
        I2=I2+1
        QD(I2)=(((QMX-QMN)/TTA)*(JN*TIT))+QMN
31 CONTINUE
    ICT=TTC/TIT
    DO 32 JN=1,ICT
        I2=I2+1
```



```
VW=VA+T3
A=(Q-QA+VW*AA)/VW
YN=(-B+SQRT((B**2.0)+4.0*A*M))/(2.0*M)
DIF=ABS(YN-YNI)
IF(DIF.LE.0.005) THEN
    YN=YNI
ELSE
    YNI=YNI+((YN-YNI)/2.0)
    GO TO 45
ENDIF
V2=Q/A
T(COUNT)=T(COUNT)-((DTD*DX)/60.)
DTD=1.0/VW
T(COUNT)=((DTD*DX)/60.)+T(COUNT)
AVIS='*** OLA SUBITA ***'
ENDIF
ENDIF
50 YA=YN
AA=A
QA=Q
IF(AVIS.NE.' ') THEN
    VA=V2
    V=VAS
ELSE
    VA=V
    VW=VAL
ENDIF
ACIT=ACIT+TIT
D=(DTD/60.)*DX
TD(COUNT)=TD(COUNT)+D
YMAX=YN*1.2
YMX(1)=YN
YMX(3)=0.0
ANGLE=(PHI*6.283)/360.
PERALT=(ATAN(ANGLE))*TT/2.0
BORLIB=(YN*0.20)+PERALT
YMX(2)=YN+BORLIB
FROUDE=V/(SQRT(9.81*DD))
IF(FROUDE.GT.1.0) THEN
    IF(M.EQ.0.0) THEN
        YMX(3)=(YN/2.0)*(SQRT(8.0*(FROUDE**2.)+1.0)-1.0)
    ELSE
        YM1=(((B*YA*YA)/2.)+(M*(YA**3.))/3.)/AA
        K2=((QA**2.)/(AA*9.81))+AA*YM1
        Y2=1.1*YC
300 A=Y2*(B+M*Y2)
        YM2=(((B*Y2*Y2)/2.)+(M*(Y2**3.))/3.)/A
        W=(K2-(Q**2.0)/(9.81*A))/YM2
        FJK=ABS(W-A)
        IF(FJK.GT.1.0) THEN
            A=A+(W-A)/2.0
            Y2=(-B+SQRT(B**2.0+4.0*M*A))/(2.0*M)
            WRITE(*,12)Y2,W,A
            GO TO 300
        ENDIF
        YMX(3)=Y2
    ENDIF
ENDIF
ENDIF
```



```
DO 350 J=1,3
  IF(YMX(J).GT.YMAX) YMAX=YMX(J)
350 CONTINUE
  TMAX=B+2.0*M*YMAX
  IF(IY.EQ.'S') THEN
    WRITE(6,5)TOTDIS,Q,YMAX,TMAX,T(COUNT),V,VW,TD(COUNT),AVIS
  ELSE
    IF(I.EQ.IP) THEN
      WRITE(6,5)TOTDIS,Q,YMAX,TMAX,T(COUNT),V,VW,TD(COUNT),AVIS
      GO TO 200
    ENDIF
  ENDIF
  AVIS='
  COUNT=COUNT+1
370 I=I+1
  GO TO 40
200 IF(IY3.EQ.'S') THEN
  WRITE(8,21)TRAMO
  I=I-1
  CALL ORDENA(QD,T,I,TD)
  CALL INTERP(QD,QINT,I,TIT,T,BASE,JZ)
  FIT=TIT/60.
  FJ=FLOAT(JZ)
  CALL GRAPH(QINT,FIT,FJ,DESC,BASE,8)
ENDIF
TRAMO=TRAMO+1
GO TO 30
450 IF(ICLAS.GT.0) GO TO 480
  BACKSPACE 5
  IF(TTA.EQ.0.0) THEN
    ZT=999999999.9
  ELSE
    ZT=DZ/TTA
  ENDIF
  WRITE(6,9)HF,QMX,HI,QMN,ZT,TTA,TAV,TFAV,N
480 GO TO 20
500 IF(ICLAS.GT.0) GO TO 999
  IF(TTA.EQ.0.0) THEN
    ZT=999999999.9
  ELSE
    ZT=DZ/TTA
  ENDIF
  WRITE(6,9)HF,QMX,HI,QMN,ZT,TTA,TAV,TFAV,N
999 RETURN
1 FORMAT(F6.4,F5.1,F5.2,F5.3,F6.3,F5.2,F5.1,F5.1)
2 FORMAT(' DESEA LISTAR TODOS LOS CAUDALES(S/N)?',$(
3 FORMAT(A1)
4 FORMAT(//10X,'DISTANCIA      CAUDAL      YMAX      TMAX      ACUMULADO
* VELOCIDAD      VW      T INDIV'/12X,'(KMS)      (M3/S)      (MTS
*)      (MTS)      (MIN)      (M/S)      (M/S)      (MIN)')
5 FORMAT(11X,F7.2,4X,F7.1,2X,F6.2,3X,F7.2,6X,F7.2,6X,F7.2,4X,F7.2,5X
*,F7.2,5X,A18)
6 FORMAT(2F6.2,3F5.2)
7 FORMAT(' LOS DATOS A LEER SON CAUDALES(0) O ALTURAS(1)?',$(
8 FORMAT(I1)
9 FORMAT(//10X,'VARIABLE DE ESTADO ZA=',F6.2,12X,'CAUDAL MAXIMO=',F
*.1,' M3/S'/10X,'NIVEL MINIMO      ZO=',F6.2,12X,'CAUDAL MINIMO='
INGEOMINAS
```



```
*F7.1, ' M3/S'/10X, 'VARIACION DE NIVEL =',F6.2, ' M/MIN'/10X, 'TIEMP
*O DE GENERACION DE AVALANCHA',18X, 'TA=',F6.2, ' MIN'/10X, 'VOLUMEN D
*E AVALANCHA',31X, 'VA=',F5.2, ' MMC'/10X, 'VOLUMEN TOTAL DE AVALANCHA
*',24X, 'VTA=',F5.2, ' MMC'/10X, 'FACTOR DE MANNING',35X, 'N=',F5.3)
10 FORMAT(I1,A80)
11 FORMAT('1',10X,A80//10X, ' SIMULACION No. _____ ')
12 FORMAT(3F9.1)
13 FORMAT(' OLA CINEMATICA(C) O SUBITA(S)?', $)
14 FORMAT(A80)
15 FORMAT(' Hf=',F6.2, ' NUEVO VALOR=', $)
16 FORMAT(F6.2)
17 FORMAT(' NUEVO VALOR DE N=', $)
18 FORMAT(F5.3)
19 FORMAT(' DESEA HIDROGRAMA AL FINAL DE CADA TRAMO (S/N)?', $)
21 FORMAT('1', //25X, 'TRAMO No.', I2)
END
```

C  
C  
C  
C  
C

```
*****
SUBROUTINA "CAL2" PARA CALCULAR YN y YC A PARTIR DE Q.
*****
```

```
SUBROUTINE CAL2(IC,SO,B,M,N,IC3,YN,Q,NENT,YC)
REAL N,M
IF(NENT.EQ.0) REWIND 5
G=9.81
IF(IC3.GT.0) GO TO 100
READ(5,6,END=999)DESC
READ(5,7)SO,B,M,N
WRITE(6,3)
WRITE(6,4)
50 WRITE(*,1)
READ(*,2)Q
IF(Q.EQ.0.0) GO TO 999
100 TOL=0.005
YCI=0.0
COUNT=0
150 YC=((Q/SQRT(G))*0.6666)*((B+2*M*YCI)**0.3333)/(B+M*YCI)
DIF=ABS(YCI-YC)
COUNT=COUNT+1
WRITE(*,10)TOL,YC,YCI
IF(DIF.LE.TOL) THEN
  YC=YCI
ELSE
  IF(COUNT.GT.500) THEN
    TOL=TOL+0.005
    GO TO 100
  ENDIF
  YCI=YCI+((YC-YCI)/2.0)
  GO TO 150
ENDIF
AC=YC*(B+M*YC)
DC=AC/(B+2*M*YC)
VC=SQRT(G*DC)
180 TOL=0.005
200 YNI=0.0
COUNT=0
250 W=(Q*N)/SQRT(SO)
```



```
W=W**0.6
X=(M**2.0)+1.0
X=SQRT(X)
T=(B+2.0*YNI*X)**0.4
YN=(W*T)/(B+M*YNI)
DIF=ABS(YNI-YN)
COUNT=COUNT+1
WRITE(*,10)TOL,YN,YNI
IF(DIF.LE.TOL) THEN
  YN=YNI
ELSE
  IF(COUNT.GT.500) THEN
    TOL=TOL+0.005
    GO TO 200
  ENDIF
  YNI=YNI+((YN-YNI)/2.0)
  GO TO 250
ENDIF
AN=YN*(B+M*YN)
VN=Q/AN
IF(IC3.GT.0) GO TO 999
WRITE(6,5)Q,YN,VN,YC,VC
GO TO 50
999 RETURN
1 FORMAT(' CAUDAL (M3/S): ')
2 FORMAT(F7.1)
3 FORMAT('1',20X,'MODELO DE SIMULACION DE CRECIDAS Y AVALANCHAS - PR
*OYECTO FAO'//22X,'CALCULO DE VN,YN,YC,VC PARA VALORES DE Q'///)
4 FORMAT(30X,'CAUDAL',7X,'YN',9X,'VN',9X,'YC',9X,'VC'/)
5 FORMAT(29X,F7.1,4(5X,F6.2))
6 FORMAT(A80///)
7 FORMAT(F6.4,F5.1,F5.2,F5.3)
10 FORMAT(' TOLERANCIA=',F5.3,' Y= ',F5.2,' Y2= ',F5.2)
END
C
C *****
C SUBROUTINA "CAL1" PARA CALCULO DE QMAX,Q,YN,YC
C *****
C
SUBROUTINE CAL1(IC,QMAX,YC,H1,H2,ICONT,SO,B,M,N)
REAL N,M
CHARACTER*80 DESC
IF(ICONT.EQ.0) THEN
  REWIND 5
ENDIF
IF(ICONT.GT.0) GO TO 45
WRITE(6,1)
WRITE(*,7)
READ(*,8)H1
READ(*,8)H2
30 READ(5,5,END=999)DESC
WRITE(6,5)DESC
40 READ(5,6,ERR=700)SO,B,M,N
WRITE(6,2)H1,H2,B,M,N,SO
45 TOL=0.005
G=9.81
IH1=IFIX(H1)
IH2=IFIX(H2)
```



```
DO 200 JJ=IH1,IH2
H=FLOAT(JJ)
50 COUNT=0
YCI=0.0
70 YC=H-(YCI*(B+M*YCI)/(B+2*M*YCI))/2.0
DIF=ABS(YC-YCI)
COUNT=COUNT+1
WRITE(*,10)TOL,YC,YCI
IF(DIF.LE.TOL) THEN
  YC=YCI
ELSE
  IF(COUNT.GT.500) THEN
    TOL=TOL+0.005
    GO TO 50
  ENDIF
  YCI=YCI+((YC-YCI)/2.0)
  GO TO 70
ENDIF
AC=YC*(B+M*YC)
DC=AC/(B+2*M*YC)
VC=SQRT(G*DC)
QMAX=AC*VC
75 TOL=0.005
80 YNI=0.0
COUNT=0
90 W=(QMAX*N)/SQRT(SO)
W=W**0.6
X=(M**2.0)+1.0
X=SQRT(X)
T=(B+2.0*YNI*X)**0.4
YN=(W*T)/(B+M*YNI)
DIF=ABS(YNI-YN)
COUNT=COUNT+1
WRITE(*,10)TOL,YN,YNI
IF(DIF.LE.TOL) THEN
  YN=YNI
ELSE
  IF(COUNT.GT.500) THEN
    TOL=TOL+0.005
    GO TO 80
  ENDIF
  YNI=YNI+((YN-YNI)/2.0)
  GO TO 90
ENDIF
IF(YN.GT.YC) THEN
  TOL=0.005
100 COUNT=0
YNI=0.0
150 RN=YNI*(B+M*YNI)/(B+2*YNI*SQRT((M**2.0)+1))
VN=((RN**2.0)**0.3333)*SQRT(SO)/N
YN=H-((VN**2.0)/(2.0*G))
DIF=ABS(YN-YNI)
COUNT=COUNT+1
WRITE(*,10)TOL,YN,YNI
IF(DIF.LE.TOL)THEN
  YN=YNI
ELSE
  IF(COUNT.GT.500) THEN
```



```
TOL=TOL+0.005
GO TO 100
ENDIF
YNI=YNI+((YN-YNI)/2.0)
GO TO 150
ENDIF
AN=YN*(B+M*YN)
Q=AN*VN
ELSE
Q=QMAX
ENDIF
IF(ICONT.GT.0) GO TO 200
WRITE(6,4)H
WRITE(6,3)QMAX,Q,YN,VN,YC,VC
200 CONTINUE
IF(ICONT.GT.0) GO TO 999
GO TO 40
700 BACKSPACE 5
GO TO 30
999 RETURN
1 FORMAT('1',20X,'MODELO DE SIMULACION DE CRECIDAS Y AVALANCHAS - PR
*OYECTO FAO'//21X,'CALCULO DE CAUDALES MAXIMO Y REAL Y ALTURAS NORM
*AL Y CRITICA'///)
2 FORMAT(20X,'DATOS DE ENTRADA UTILIZADOS : '//30X,'H INICIAL
* : ',F5.1/30X,'H FINAL : ',F5.1/30X,'ANCHO DEL CANAL
* : ',F5.1/30X,'PENDIENTE DEL TALUD : ',F5.1/30X,'COEF. DE RUGOSI
*DAD : ',F5.3/30X,'PENDIENTE DEL TRAMO : ',F5.3//)
3 FORMAT(20X,'VALORES CALCULADOS : '//30X,'CAUDAL MAXIMO : ',F7.1/30X
*, 'CAUDAL REAL : ',F7.1/41X,'YN=',F7.2/41X,'VN=',F7.2/41X,'YC=',F
*7.2/41X,'VC=',F7.2)
4 FORMAT(///20X,'ALTURA (H) : ',F7.2,' MTS.'//)
5 FORMAT(A80/)
6 FORMAT(F6.4,F5.1,F5.2,F5.3)
7 FORMAT(' H INICIAL=          H FINAL=')
8 FORMAT(F5.1)
10 FORMAT(' TOLERANCIA= ',F5.3,' Y= ',F5.2,' Y2= ',F5.2)
END
```

C  
C  
C  
C  
C

```
*****
SUBROUTINE "ORDENA" PARA ORDENAMIENTO DE DATOS
*****
```

```
SUBROUTINE ORDENA(QD,T,N,TD)
DIMENSION QD(96),T(96),TD(96)
NDELTA=N
10 IF(NDELTA.GT.1) THEN
NDELTA=NDELTA/2
20 IN=1
DO 30 I=1,N-NDELTA
IF(T(I).GT.T(I+NDELTA)) THEN
TEMP=T(I)
TEMP1=QD(I)
TEMP2=TD(I)
QD(I)=QD(I+NDELTA)
T(I)=T(I+NDELTA)
TD(I)=TD(I+NDELTA)
T(I+NDELTA)=TEMP
```



```
        QD(I+NDELTA)=TEMP1
        TD(I+NDELTA)=TEMP2
        IN=0
    ENDIF
30    CONTINUE
    IF(IN.EQ.0) GO TO 20
    GO TO 10
ENDIF
RETURN
END
```

C  
C  
C  
C  
C

```
*****
SUBROUTINA "INTERP" PARA INTERPOLACION
*****

SUBROUTINE INTERP(QD,QINT,I,TIT,TIME,BASE,J)
DIMENSION QD(96),QINT(96),TIME(96)
DO 10 K=1,I
    QINT(K)=0.0
10 CONTINUE
TINIC=TIT
K=1
ISW=0
J=1
N=2
20 IF(QD(K).GT.QD(N).AND.QD(N).LT.QD(N+1)) THEN
    QD(N)=(QD(K)+QD(N+1))/2.0
ENDIF
IF(TINIC.GE.TIME(K)) THEN
    IF(QD(N).EQ.0.0) GO TO 33
    IF(ISW.EQ.0) THEN
        BASE=TINIC-TIT
        ISW=1
    ENDIF
30    IF(TINIC.LE.TIME(N)) THEN
        QINT(J)=(((QD(N)-QD(K))/(TIME(N)-TIME(K)))*(TINIC-TIME(K)))-
        *QD(K)
        J=J+1
        TINIC=TINIC+TIT
        GO TO 20
    ELSE
        K=N
        N=N+1
        GO TO 20
    ENDIF
ELSE
    TINIC=TINIC+TIT
    GO TO 20
ENDIF
33 TIEM=BASE
WRITE(8,2)
DO 35 NK=1,J-1
    TIEM=TIEM+TIT
    WRITE(8,1)TIEM,QINT(NK)
35 CONTINUE
J=J-1
40 RETURN
1 FORMAT(25X,F5.1,10X,F7.1)
```





```
2 FORMAT(24X, 'TIEMPO', 11X, 'CAUDAL' /)
END
SUBROUTINE CLS
WRITE(*,*)CHAR(027),CHAR(091),CHAR(050),CHAR(074)
RETURN
END
```