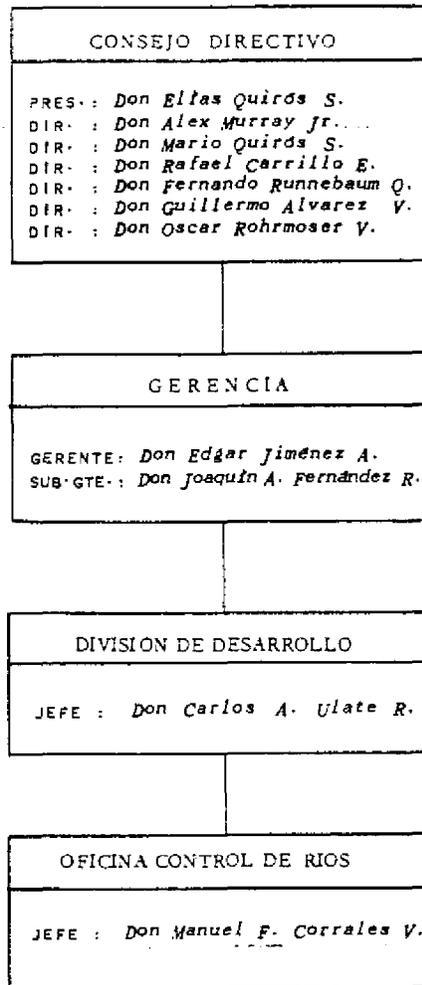


INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD

ORGANOGRAMA DE LA OFICINA

DE CONTROL DE RIOS

( Octubre de 1964 - diciembre de 1965 )



Nota: La Oficina de Control de Rios fue creada por el I. C. E. , exclusivamente para el estudio de los rios afectados por la precipitación de la ceniza, que - el volcán Irazú lanzó en su periodo eruptivo violento, marzo 1963 - marzo 1965.

Octubre 26 de 1965

Señor  
Don Francisco J. Orlich B.  
Presidente de La República de Costa Rica  
S. M.

Estimado señor Presidente:

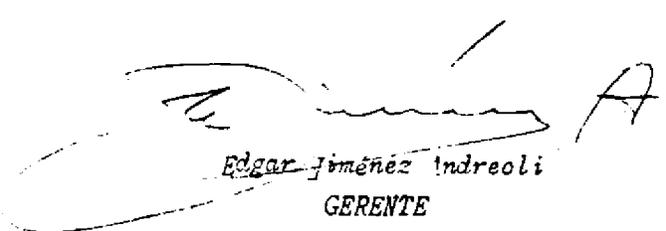
A nombre del Consejo Directivo y Gerencia del Instituto Costarricense de Electricidad, me permito hacer entrega a usted del Informe - sobre el problema del Río Reventado, que este Instituto preparó como - resultado de los estudios que nos solicitó su apreciable Gobierno, en agosto de 1964.

Este Informe representa una recopilación de los trabajos e investigaciones relativos al Río Reventado, en los cuales el personal del - ICE puso todo su empeño y entusiasmo.

En la esperanza de que este esfuerzo de ingenieros costarricenses sea de provecho para la solución del complejo problema del Río Reventado, quedamos a sus apreciables órdenes para brindar la colaboración técnica que adicionalmente requiera su Gobierno, especialmente a través de los servicios de nuestro Ingeniero Manuel Fco. Corrales V.

Hago propicia la oportunidad para reiterar a usted las seguridades de mi especial aprecio y consideración.

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD



Edgar Jiménez Indreoli

GERENTE

San José, octubre 1º, 1965

PARA : Lic. Edgar Jiménez A.  
Gerente

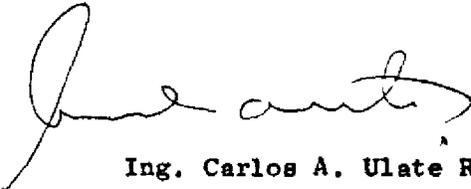
DE : Ing. Carlos A. Ulate R.  
Jefe División de Desarrollo

ASUNTO : Envío del Informe Sobre el Problema del Río Reventado.

Por medio de la presente tengo el gusto de suministrarle el Informe Sobre el Problema del Río Reventado, que fue preparado por la Oficina de Control de Ríos de esta División.

Este informe representa la fase final del trabajo solicitado al I.C.E. por el Gobierno de la República, en relación con el problema del Río Reventado.

Atentamente,



Ing. Carlos A. Ulate R.  
JEFE DIVISION DE DESARROLLO

CUR/MFCV/aqa

INFORME SOBRE EL PROBLEMA DEL RIO REVENTADO

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
ORGANOGRAMA DE LA OFICINA DE CONTROL DE RIOS	
CARTAS DE PRESENTACION	I-II
LISTA DE TABLAS INCLUIDAS EN EL TEXTO	VII
LISTA DE LAMINAS INCLUIDAS EN EL TEXTO	IX
LISTA DE LAMINAS INCLUIDAS EN LOS ANEXOS	XI
PERSONAL Y AGRADECIMIENTO	XII
INTRODUCCION	1
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	6
1.- <u>DESCRIPCION DE LA CUENCA DEL RIO REVENTADO</u>	11
1.1 Topografía y Cobertura Vegetal	11
1.2 Climatología	15
1.3 Geología	16
1.4 Suelos	18
1.5 Hidrología	19
2.- <u>DESCRIPCION DEL PROBLEMA</u>	23
3.- <u>INFORMACION BASICA OBTENIDA</u>	31
3.1 Información Topográfica	31
3.2 Datos Sobre Precipitación Pluvial	34
3.3 Niveles del Río y Caudales	38
3.3.1 Estaciones Medidoras de Niveles	38
3.3.2 Caudales del Río Reventado en el Puesto 2	41

IV

(Continuación)

	<u>Página</u>
3.4 Sedimentos	43
3.5 Estimación de la Avenida de Diseño para las Obras de Control de la Cuenca Superior del Río Reventado	46
3.5.1 Tormenta de Diseño	47
3.5.2 Hidrógrafo Unitario	49
3.5.3 Obtención de la Avenida de Diseño	51
3.5.4 Avenida de Diseño del Río Reventado Compara - da con Avenidas Extraordinarias en Costa Rica	54
3.6 Geología	55
3.7 Suelos	58
3.8 Experimentos	61
3.8.1 Experimentos con Modelos Hidráulicos	61
3.8.2 Experimentos para Determinar Coeficientes de Fricción	62
3.8.3 Experimentos para Estudiar el Comportamien - to de los Fluidos con Alta Concentración - de Sedimentos.	62
4.- <u>MEDIDAS DE EMERGENCIA TOMADAS PARA PROTEGER LA CIUDAD DE CARTAGO</u>	64
4.1 Plan de Alertas	64
4.2 Diques	69
4.3 Zanjeo y Resiembra	73
5.- <u>MEDIDAS PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA</u>	77
5.1 Restablecimiento del Equilibrio Hidrológico en la Cuenca Superior.	79

(Continuación)	<u>Página</u>
5.2 Estabilización del Cauce	82
5.3 Estabilización de las Areas en Deslizamiento	85
5.3.1 Deslizamiento de Prusia	87
5.3.2 Deslizamiento de Retes	87
5.3.3 Deslizamientos de La Quebrada Pavas	88
5.3.4 Deslizamiento de Llano Grande	88
5.4 Tipo Recomendado de Presa de Control	89
5.4.1 Criterios Para el Diseño de las Presas de Gaviones	94
5.4.2 Disposición de las Presas en el Terreno	97
5.5 Alternativas Estudiadas	98
6.- <u>PROGRAMA DE OBRAS Y PRESUPUESTOS</u>	103
6.1 Estudios	103
6.1.1 Evaluación Hidrológica de las Medidas	103
6.1.2 Estudios Geológicos del Deslizamiento de Llano Grande	107
6.1.3 Medición del Movimiento en los Deslizamientos	107
6.2 Construcción y Mejoramiento de Caminos de Acceso	108
6.3 Obras para el Control de Esguerrimiento Superficial.	111

(Continuación	<u>Página</u>
6.3.1 Zanjeo	111
6.3.2 Mantenimiento de Zanjas	111
6.3.3 Siembra de Gramíneas	112
6.3.4 Reforestación	112
6.3.5 Construcción de Presas Para el Control de Erosión.	113
6.4 Obras para la Estabilización de los Cauces	114
6.5 Obras para la Estabilización de Deslizamientos	116
6.5.1 Control de Agua Superficial y Sellado - de Grietas.	116
6.5.2 Movimiento de Tierra en el Deslizamiento de Retes.	117
6.5.3 Otras Obras	118
6.6 Manejo de la Cuenca	118
6.7 Obras Defensivas de Cartago	120
6.8 Resumen de Costos	122
<u>LISTA DE REFERENCIAS</u>	124

ANEXOS:

A	Antecedentes Históricos del Problema del Río Reventado.	127
B	Geología de la Cuenca Superior del Río Reventado.	167
C	Estudios de Suelos de la Cuenca Superior del Río Reventado.	195
D	Estudios Hidrológicos de la Cuenca Superior del Río Reventado.	232
E	Experimentos Relativos a las Presas de Control de Gaviones y - al Comportamiento de Fluidos con Alta Concentración de Partículas.	259
F	Informe Sobre las Presas de Control del Deslizamiento de Llano Grande.	286

## VII

LISTA DE TABLAS (INCLUIDAS EN EL TEXTO)

<u>No.</u>	<u>TITULO</u>	<u>Página</u>
1-1	Clasificación del Terreno de la Cuenca Superior del Río Reventado, de Acuerdo con su Pendiente.	12
1-2	Principales Datos Topográficos del Río Reventado.	14
2-1	Efecto de la Ceniza Volcánica Sobre la Vegetación de la Cuenca Superior del Río Reventado (Junio de 1964).	28
2-2	Efecto de la Ceniza Volcánica Sobre la Vegetación de la Cuenca Superior del Río Reventado (Abril de 1965).	28
3-1	Resumen de Los Levantamientos Topográficos Realizados en la Cuenca Superior del Río Reventado.	34
3-2	Estaciones Medidoras de Lluvia de la Cuenca del Río Reventado y Alrededores.	36
3-3	Estaciones de Medición de Niveles del Río Reventado y Ríos Cercanos.	40
3-4	Caudales Pico de las Principales Avenidas del Río Reventado, Ocurridas Durante el año 1964 (Puesto 2).	42
3-5	Tormenta de Diseño Para la Cuenca Superior del Río Reventado (Posible Período de Recurrencia: una vez en 50 Años).	50
3-6	Hidrógrafos Unitarios Triangulares Para las Sub-Cuencas de Reventado, Retes y Pavas.	51
3-7	Características de la Avenida de Diseño Para la Cuenca Superior del Río Reventado (14.1 Km <sup>2</sup> ).	53
3-8	Lista de Avenidas Extraordinarias Ocurridas en Costa Rica, (Incluyendo Avenida de Diseño Para el Río Reventado).	56
4-1	Datos Sobre los Puestos de Observación y las Bases Establecidas con Motivo de la Emergencia Producida por el Volcán Irazú (al 15 de Julio de 1965).	66

## VIII

No.	<u>TITULO</u>	<u>Página</u>
5-1	Análisis Químico de muestras de Agua Procedentes de los Tres Tributarios Principales de la Cuenca Superior del Río Reventado.	93
6-1	Construcción y Mejoramiento de los Caminos de Acceso.	109
6-2	Costo Promedio de una Presa de Gaviones de 3 metros de Altura con su Contrapresa.	114
6-3	Costo de Mantenimiento de Diques y Canales en la Cuenca Baja del Río Reventado Para el Período: Setiembre 1965- Diciembre 1969.	121
6-4	Resumen de Presupuestos de Estudios y Obras del Río Reventado, Período: Setiembre 1965 - Diciembre 1969.	123

LISTA DE LAMINAS INCLUIDAS AL FINAL DEL TEXTO

No.	<u>TITULO</u>
1	Cuenca del Río Reventado
2	Perfil del Río Reventado
3	Indice de Láminas de la Topografía de la Cuenca Superior del Río Reventado.
4	Red de Estaciones Hidrológicas en la Cuenca del Río Reventado y Zonas Adyacentes.
5	Geología de la Cuenca Superior del Río Reventado.
6	Area Inundada en la Ciudad de Cartago y Alrededores por la Avenida del 9 de diciembre de 1963.
7	Efecto de la Ceniza Volcánica en la Cuenca del Río Reventado.
8	Datos Hidrológicos Sobre la Avenida del Río Reventado Ocurrida - el 9 de diciembre de 1963.
9	Topografía del Deslizamiento de Llano Grande.
10	Topografía del Deslizamiento de Prusia Sobre el Río Reventado.
11	Topografía del Deslizamiento de Retes.
12	Topografía de los Deslizamientos de Pavas I y Pavas II.
13	Niveles de las Principales Crecientes del Río Reventado, año 1964.
14	Caudales de Algunas Avenidas del Río Reventado, Ocurridas Durante el año 1964, Observadas en el Puesto 2.
15	Curva de Descarga del Río Reventado en el Puesto 2, Deslizamiento de Llano Grande.
16	Rango de la Granulometría del Material Transportado por el Río Reventado.
17	Clasificación de los Movimientos Superficiales de la Corteza Terrestre.
18	Precipitación Media Anual y Mensual en la Cuenca Superior del Río Reventado.

(Continuación)

No.	<u>TITULO</u>
19	Red de Radio de Defensa Civil Establecida para la Emergencia del Volcán Irazú.
20	Tormenta y Avenida de Diseño para la Cuenca Superior del Río Reventado.
21	Avenida de Diseño para el Río Reventado Comparada con Avenidas - Extraordinarias en Costa Rica.
22	Aplicación de los Hidrógrafos Unitarios a la Tormenta del 2 de - setiembre de 1964. Sitio: Puesto 2, Llano Grande.
23	Relación Entre Velocidad Superficial, Pendiente y Concentración de Sedimento del Río Reventado en un Canal Modelo.
24	Localización y Secciones Típicas de los Diques de Defensa de la Ciudad de Cartago.
25	Plan Esquemático de Desvío de Aguas en la Cuenca Superior del Río Reventado.
26	Localización Esquemática de las Presas de Control de la Cuenca Superior del Río Reventado.
27	Precipitación Mensual de la Ceniza Volcánica del Irazú en San José, de marzo de 1963 a marzo de 1965.
28	Detalle de las Presas de Control para la Cuenca Superior del Río Reventado.
29	Programa de Estudios y Obras del Río Reventado. Período 1965-1966.
30	Plan Esquemático de Caminos de Acceso a la Cuenca Superior del Río Reventado.

LISTA DE LAMINAS INCLUIDAS EN LOS ANEXOS

ANEXO B.

- B-1 Condición de la Roca del Cauce del Río Reventado Superior y Tributarios.
- B-2 Medición del Movimiento Horizontal en Seis Puntos del Deslizamiento de Llano Grande.
- B-3 Medición del Movimiento Horizontal en Tres Puntos del Deslizamiento de Prusia.
- B-4 Medición del Movimiento Horizontal en Tres Puntos del Deslizamiento de Retes.

ANEXO C.

- C-1 Estudio de Redes de Flujo Para las Presas de Control Hechas de Gaviones.
- C-2 Movimiento de Tierra Propuesto Para el Deslizamiento de Retes.
- C-3 Detalle de las Perforaciones No. 1 y No. 2 en el Deslizamiento de Prusia.

ANEXO D.

- D-1 Precipitación Mensual Acumulada en la Estación de Sanatorio Durán (año 1944, 1958, 1963, 1964, 1965).
- D-2 Relación entre Intensidad, Duración y Frecuencia de Lluvia en la Estación de Pacayas.
- D-3 Gráfico para Encontrar la Relación entre A y T en la Ecuación  $A = C T^m$ , Estación de Pacayas.
- D-4 Curvas de Intensidad Duración para la Cuenca Superior del Río Reventado.
- D-5 Algunas de las Principales Tormentas y Avenidas Ocurridas en la Cuenca Superior del Río Reventado (años 1964, 1965).

PERSONAL Y AGRADECIMIENTO

Este informe fue preparado por la Oficina de Control de Ríos, Dependencia de la División de Desarrollo del Instituto Costarricense de Electricidad. La División de Desarrollo es dirigida por el Ing. Carlos A. Ulate Rivera.

La edición del informe fue llevada a cabo por el Ing. Manuel Francisco Corrales Villalobos, Jefe de la Oficina de Control de Ríos, quien contó con la colaboración del Ing. Rodolfo Sáenz Forero, en la redacción original del mismo. En la obtención de los datos básicos y estudios de ingeniería del problema participaron, además de los ingenieros Corrales y Sáenz, los Ingenieros Civiles Carlos Alberto Calvo Vargas y Miguel A. Murillo Monge. En el procesamiento de datos y preparación de los planos, tomaron parte los estudiantes de Ingeniería Civil: Sres. David S. Peralta Monge, Roberto López Escarré y Enrique Solano R. En los trabajos de secretariado y mecanografía del informe participaron las Señoritas Cecilia Van der Laat Ulloa, Doris Fallas Mora y la señora Alice Quirós de Bonilla, quien preparó todos los "stenciles" del presente informe.

Muchas dependencias y funcionarios del I.C.E. colaboraron para hacer posible la labor de la Oficina de Control de Ríos, pero cabe destacar entre ellos a la Oficina de Estudios Básicos, la cual facilitó equipo y personal para la obtención de los datos topográficos e hidrológicos; a la Oficina de Mantenimiento Civil, que realizó la instalación de equipo hidrológico; al Sr. Hermes Villegas Murillo, quien prestó su ayuda en la instalación de estaciones medidoras de lluvia y nivel; al

Sr. Ing. Roberto Lara Duarte que facilitó el Laboratorio de Hidráulica para llevar a cabo los experimentos con modelos hidráulicos y el estudio del comportamiento de fluidos con alta concentración de partículas.

Fuera de la Institución han colaborado tantas personas y dependencias, que sería imposible enumerarlas aquí. Sin embargo cabe mencionar en especial al Instituto Geográfico de Costa Rica, por el suministro de planos topográficos y de la fotografía aérea; al Servicio Meteorológico Nacional por facilitar la información de lluvias y niveles de los ríos de la zona afectada por la ceniza; a la Oficina de Defensa Civil por el suministro de los presupuestos sobre programas en ejecución (siembra y zanjeo; limpieza del cauce y construcción de los diques; - plan de caminos de acceso, etc.); por facilitar personal para la obtención de datos básicos (lluvia, niveles, sedimentos y topografía) y por el envío del informe: "Geología de la Cuenca Superior del Río Reventado", que fuera preparado por su geólogo Sr. Gregorio Escalante Montea-legre. Este informe aparece en esta publicación como Anexo B, conteniendo pequeños cambios en la redacción para adaptarlo al conjunto.

En el campo de la mecánica de suelos, se contó con los servicios del Ingeniero Consultor Dr. Manrique Lara Tomás, cuyos informes han sido resumidos en el Anexo C de la presente publicación, dejando sus ideas y forma originales, pero con pequeños cambios en la redacción para ajustarlo al presente trabajo.

Se han tomado en cuenta los conocimientos aportados por expertos de los siguientes organismos internacionales: Agencia para el Desarrollo Internacional (AID), Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Oficina de Operaciones de Asistencia Técnica de las Naciones Unidas. A

## INTRODUCCION

El Volcán Irazú inició un nuevo período de actividad explosiva, lanzando enormes erupciones de ceniza a partir del mes de marzo del año 1963. Parte de esta ceniza se precipitó sobre las faldas del macizo del Irazú, donde se originan numerosos ríos que drenan tanto a la vertiente Pacífica (Tiribí, Virilla, Durazno, Fierro, etc.), como a la vertiente Atlántica (Reventado, Taras, Birris, Sucio, etc.). La capa de ceniza depositada destruyó la vegetación y formó una costra que durante ciertos períodos es impermeable, causando un notable desbalance hidrológico. Este desbalance se ha manifestado por la ocurrencia de frecuentes avenidas, de altos caudales pico y grandes volúmenes, al precipitar sobre las cuencas superiores de esos ríos las tormentas normales de la estación lluviosa.

Este fenómeno se presentó con caracteres alarmantes en el Río Reventado, el cual discurre en su Cuenca Superior por terrenos muy poco estables, debido a su origen y topografía; mientras que su Cuenca Inferior (cono de deyección) ocupa la parte oeste la ciudad de Cartago.

El incremento de caudales en los tributarios del Río Reventado en su Cuenca Superior produjo la profundización de los cauces, y en consecuencia las márgenes se inestabilizaron, aportando en esta forma, enorme cantidad de piedras y detritos a las avenidas, con la cual éstas aumentaban su caudal, volumen y el poder destructor. El problema se comenzó a manifestar desde mayo de 1963, cuando ocurrieron pequeñas avenidas, cargadas inicialmente de ceniza; en octubre y noviembre de ese mismo año las avenidas se comenzaron a presentar más frecuentemente con mayor can-

tividad de lodo, causando daños de importancia en los alrededores de la Ciudad de Cartago. Pero la verdadera magnitud del problema se hizo patente en la noche del 9 de diciembre de 1963, cuando un aguacero de alta intensidad, que formaba parte de un disturbio atmosférico del Caribe ("temporal"), se precipitó sobre la Cuenca Superior del Reventado, causando una gran avenida la cual puso en movimiento miles de rocas, troncos y gran cantidad de detritos de los mismos cauces. Al llegar a Cartago esta masa lodosa se desbordó al exceder la pequeña capacidad del cauce normal del río, invadiendo un área densamente poblada, destruyendo alrededor de 300 casas y causando cerca de 20 muertos. La carretera Nacional No. 2 quedó interrumpida, así como las comunicaciones telefónicas y telegráficas, y los suministros de fuerza eléctrica y agua potable, quedando destruida completamente la fábrica de pinturas y de detergentes Kativo. Las pérdidas materiales fueron tan cuantiosas que hasta la fecha no han podido ser calculadas con exactitud, pero se estiman en veinticinco millones de colones.

Al iniciarse la estación lluviosa del año 1964, se presentaron avenidas de características similares a las observadas en 1963, de tal suerte que al finalizar el año 1964 habían ocurrido 19 avenidas con niveles pico superiores a los 3.0 metros en el puesto 2 (Llano Grande).

La gravedad del problema exigía un estudio integral del mismo, para llegar a una solución relativamente a corto plazo y dentro de las posibilidades económicas del país. Con ese objeto, el Gobierno de Costa Rica encargó, en agosto del año 1964, al Instituto Costarricense de Electricidad (I.C.E.), de realizar tal estudio, y de presentar un informe de factibilidad de las obras recomendadas para la solución del problema.

El I.C.E. sometió a consideración del Gobierno, el primer informe preliminar en diciembre del mismo año. En este informe se fijaban las ideas básicas sobre el origen del problema y su posible solución. Como principio fundamental se fijó la necesidad de atacar el problema en su origen, es decir, ejecutar obras que vinieran a devolver a la cuenca su equilibrio hidrológico y a estabilizar los cauces de la Cuenca Superior.

En el presente informe, se resumen toda la información disponible sobre el problema, y se analizan las obras efectuadas y por efectuarse. La idea básica de solución del problema no ha cambiado, pero sí ciertos detalles, tales como la altura de las presas de control propuestas. Se han eliminado además, las presas de control de los deslizamientos, las cuales, de acuerdo con la experiencia obtenida en el deslizamiento de Llano Grande, están muy expuestas a la destrucción, debido a la fuerza abrasiva de las piedras que las avenidas pueden poner en movimiento a la altura de los grandes deslizamientos.

Se incluyen al final del informe los programas y presupuestos de las obras recomendadas.

En los cinco anexos se tratan en detalle los temas principales, que fueron mencionados someramente en el texto, a saber:

- ANEXO A Antecedentes Históricos del problema: en el cual se resume toda la historia relativa a las avenidas del Río Reventado, desde 1724 hasta 1965, lo mismo que una descripción suscita de la actividad del Volcán Irazú, desde 1719 hasta marzo de 1965.
- ANEXO B Geología de la Cuenca Superior del Río Reventado: se suministra toda la información disponible sobre la geología regional, e ingeniería geológica de los cauces de la Cuenca Superior; se

analiza el posible origen de las áreas inestables y se suministra el resultado de las mediciones periódicas de la dirección y magnitud de los movimientos.

ANEXO C Estudio de Suelos en la Cuenca Superior del Río Reventado: se suministra aquí toda la información referente a los estudios de suelos para la fundación de las presas de control propuestas en el informe preliminar del I.C.E., así como datos generales de diseño; se realiza también un análisis sobre el posible origen de los grandes deslizamientos, y su clasificación, así como de las posibles medidas aplicables para su estabilización.

ANEXO D Estudios Hidrológicos de la Cuenca Superior del Reventado: se amplían aquí los datos hidrológicos suministrados en el texto, explicando la obtención de la precipitación promedio sobre la Cuenca Superior; los métodos usados para obtener la curva de descarga del Río Reventado en el puesto 2; la obtención de la tormenta de diseño por métodos estadísticos y se suministran los resultados del muestreo para la obtención de las concentraciones de partículas en las avenidas del Río Reventado.

ANEXO E Experimentos: se resumen en este anexo toda la información obtenida mediante experimentos, los cuales fueron: con modelos hidráulicos de las presas de control; para determinar los coeficientes de fricción entre gavión y gavión y entre gavión y arcilla y sobre el comportamiento de fluidos con alta concentración de partículas.

ANEXO F Sobre las presas de control del deslizamiento de Llano Grande: se analiza aquí la experiencia obtenida durante la construcción

de las presas de gaviones de 6.0 metros de altura en el deslizamiento de Llano Grande, así como las posibles causas de su destrucción por las grandes avenidas del Río Reventado del 25 y 26 de mayo de 1965.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en el análisis de los datos e informaciones relacionadas con el problema del Río Reventado, obtenidos hasta la fecha y que se incluyen en el presente informe, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- 1) Que el problema del Río Reventado es causado por el desbalance hidrológico de su Cuenca Superior, que ocurrió por la precipitación de ceniza lanzada por el Volcán Irazú, durante el período eruptivo violento: marzo 1963 - marzo de 1965.
- 2) Que tal desbalance hidrológico se ha manifestado por la ocurrencia de frecuentes y grandes avenidas, las cuales han profundizado los cauces de los tributarios de la Cuenca Superior, inestabilizando las laderas adyacentes a los mismos. Las avenidas son capaces de transportar por este motivo, enormes cantidades de detritos de los mismos cauces, los cuales llegan a depositarse en el cono de deyección cerca de la ciudad de Cartago.
- 3) Que la frecuencia, caudal pico y volúmenes de las avenidas están ligadas a las características de las tormentas que ocurren sobre la Cuenca Superior (intensidad y duración) y al porcentaje de material transportado.
- 4) Que de acuerdo con los registros de lluvia obtenidos en Sanatorio Durán (22 años de datos), el año 1963 fue un año muy seco, pero se observó un incremento en la precipitación a partir de octubre; el año 1964 fue un año muy cerca del normal; el año 1965, hasta agosto, se ha manifestado bajo lo normal, pero por encima del año 1963.

En relación con las avenidas, en el año 1963 ocurrieron importantes en octubre, noviembre y diciembre, incluyendo la del 9 de este último mes; en el año 1964, se presentaron 19 avenidas, entre el 11 de junio y el 2 de noviembre, con 3.0 o más metros de nivel pico en el puesto 2 - Llano Grande; en el año 1965 (hasta julio) se han presentado 10 avenidas con 3.0 m. o más de nivel pico en el mismo puesto. A diferencia del año 1964, las avenidas ocurridas en el año 1965 hasta la fecha de escribir este informe (julio de 1965), han tenido muy pequeños volúmenes, pues han sido producidos por tormentas de poca cantidad precipitada, aunque de alta intensidad, para duraciones de 15 minutos o menos. Cuatro tormentas analizadas, correspondientes al último trimestre del año 1964, tienen una precipitación total promedio de 47 m.m. por tormenta, mientras que las cinco tormentas mayores de mayo y junio de 1965, tienen apenas 16 m.m. por tormenta.

- 5) Que de acuerdo con los estudios realizados la sub-cuenca de Retes, sigue siendo la principal área productora de avenidas, pues a los factores topográficos y de cobertura de ceniza, se une la ocurrencia de tormentas concentradas de alta intensidad sobre esta área.
- 6) Que a la fecha de escribir este informe (julio de 1965), la Cuenca Superior está recobrando paulatinamente su vegetación natural y se trabaja activamente en la siembra de gramíneas; sin embargo, la velocidad de recuperación es lenta debido a la gran cantidad de ceniza que cubre la Cuenca Superior, por lo que podrían ocurrir avenidas de importancia en lo que resta del año 1965, y en el año 1966, dependiendo de la ocurrencia de tormentas intensas sobre el área. A

partir del año 1966, si no hay ningún factor externo que venga a de- tener o a bajar el grado de velocidad de recuperación, se espera - que la frecuencia de caudales pico y volúmenes de las avenidas tien- dan a disminuir, pero la recuperación completa tardará algunos años.

Con base en las conclusiones anteriores, se dan las siguientes recomendaciones:

- 1) Continuar y completar con toda celeridad los planes de siembras de gramíneas, y la construcción de las pequeñas presas para el control de erosión en canales naturales y artificiales, dando - prioridad a aquellas áreas altamente productoras de avenidas, - como la sub-cuenca del Río Retes.
- 2) Revisar continuamente el sistema de zanj<sup>as</sup> a contorno en la Cuen- ca Superior para mejorarlo si es posible, y mantenerlo en condi- ciones óptimas de operación.
- 3) Mantener una completa red de estaciones hidrológicas en la Cuen- ca Superior del Río Reventado con el objeto de evaluar la efecti- vidad de las medidas en ejecución y continuar operando por un - tiempo prudencial el puesto 2, a fin de alertar la ciudad de Car- tago, en caso de que se presenten avenidas de importancia.
- 4) Continuar las obras de sellado de grietas y encauzamiento de las aguas superficiales de las áreas en deslizamiento (Llano Grande, Prusia, Retes y Pavas).
- 5) Continuar las mediciones topográficas de la magnitud y dirección del movimiento, en las principales áreas inestables de la Cuenca Superior (Llano Grande, Prusia, Retes y Pavas).

- 6) Construir en la época seca del año 1966 cuatro presas experimentales de 3.00 metros de altura hechas de gaviones en el Río Re - tes, con el objeto de observar su comportamiento durante el in - vierno de ese año. Si se obtiene buen éxito, tanto en la estabi - lidad de las obras, como en sus beneficios, se recomienda la - construcción de las restantes 143 presas, a partir del año 1967, con el objeto de estabilizar los cauces de los tributarios de la Cuenca Superior del Río Reventado.
- 7) Declarar Reserva Nacional, mediante los trámites legales norma - les, toda la Cuenca Superior del Río Reventado, arriba de la ele - vación 2600 m.s.n.m. (aproximadamente 920 hectáreas). Esta área debería estar bajo administración de la Comisión Ejecutiva del - Irazú, por lo menos hasta el año 1969 inclusive, con el fin de - que se acelere al máximo su recuperación. Después de esta fecha, podría trasladarse al Instituto de Tierras y Colonización - (I.T.C.O.), para que la administre como un parque o reserva na - cional, de acuerdo con las normas y técnicas que dejará estable - cidas la Comisión Ejecutiva del Irazú.
- 8) Que el área restante de la Cuenca Superior (hasta el cruce del - camino Llano Grande - Tierra Blanca), sea dejado en manos de los propietarios actuales, siempre que los mismos se ajusten a las - disposiciones sobre técnicas de cultivo y conservación de recur - sos naturales, que se deberán dictar a la mayor brevedad posible.
- 9) Que los organismos competentes deberán elaborar un plan final pa - ra la recuperación completa de la vegetación de la Cuenca Supe - rior (arriba de la elevación 2600 m.s.n.m.), que incluye la -

siembra de árboles y arbustos adecuados.

- 10) Que no se permita el pastoreo en las áreas en que la vegetación se está recuperando, ya sea natural o artificialmente, con base en la Ley de Conservación de Recursos Naturales, o decretos a propósito.
- 11) Que el público conozca que las obras para la recuperación de una cuenca van mostrando su efecto en forma paulatina, razón por la cual será necesario una vigilancia adecuada sobre las obras defensivas de Cartago y operar un cierto tiempo adicional la red de estaciones de vigilancia en la Cuenca Superior.
- 12) Que es necesario saber que existe la posibilidad de que se presenten sobre la Cuenca Superior aguaceros extraordinarios de alta intensidad, los cuales aun con la cuenca en estado normal, pueden producir avenidas de importancia, y con mucho más razón, con la cuenca en las fases iniciales de recuperación de la cobertura vegetal.

## 1.- DESCRIPCION DE LA CUENCA DEL RIO REVENTADO

A continuación se describe la Cuenca del Río Reventado en los aspectos topográfico, climatológico y geológico.

### 1.1 Topografía y Cobertura Vegetal

La Cuenca del Río Reventado se origina en las faldas sur de los cerros Sapper (3400 m.s.n.m.), Retes (3161 m.s.n.m.) y Cabeza de Vaca (3030 m.s.n.m.), quedando su extremo más oriental 2 kilómetros al sur-oeste del cráter activo del Volcán Irazú, y dentro del área afectada por la caída de la ceniza que ese volcán arrojó desde marzo de 1963 hasta marzo de 1965 (\*) (Ver láminas 1 y 2).

La Cuenca del Río Reventado puede dividirse en tres secciones, a saber:

- a) Cuenca Superior: que comprende desde sus cabeceras hasta la confluencia con la quebrada Pavas, o sea, cerca del sitio en donde estuvo el puente del camino Llano Grande - Tierra Blanca (Carretera Nacional No. 6).
- b) Cuenca Media : que comprende desde el mencionado puente sobre la Carretera Nacional No. 6, hasta el sitio en donde estuvo el llamado puente de la Carreta (cerca del quebrador del Ministerio de Transportes).
- c) Cuenca Inferior: se inicia en el sitio del llamado puente de la Carreta y concluye en la unión con el Río Taras.

La Cuenca Superior, con una elevación media de 2670 m.s.n.m., se caracteriza por las fuertes pendientes, pues en las vecindades de los cerros se encuentran taludes hasta del 175 por ciento (60°). Este hecho

se manifiesta en la pendiente promedio del río que, considerada desde el nacimiento hasta la unión con la quebrada Pavas, alcanza un promedio de 17.4 por ciento, ya que el río desciende aproximadamente 1050 metros en cerca de 6 kilómetros de recorrido. El terreno de la cuenca superior se puede clasificar en cuatro tipos, de acuerdo con su pendiente, según se muestra en la Tabla 1-1.

TABLA 1-1  
CLASIFICACION DEL TERRENO DE LA CUENCA SUPERIOR  
DEL RIO REVENTADO, DE ACUERDO CON SU PENDIENTE

Tipo de terreno	Pendiente en %	Area en Km. <sup>2</sup>	Porcentaje del área total
Montañoso	Mayor del 25%	6.4	45.4
Lomeríos y cerriles	10.25	6.9	48.9
Ondulado	5-10	.6	4.3
Plano o casi plano	0-5	.2	1.4
TOTAL		14.1	100.0

La Cuenca Superior tiene una forma trapezoidal, y ocupa una extensión de 14.1 Km.<sup>2</sup>, estando formada por las sub-cuencas de la quebrada Pavas (3.6 Km.<sup>2</sup>), del Río Retes (4.8 Km.<sup>2</sup>) y la del Río Reventado propiamente dicho (5.7 Km.<sup>2</sup>). Antes del inicio de la presente actividad eruptiva del Volcán Irazú, la Cuenca Superior estaba cubierta en un 80 por ciento por potreros, en donde tenían su asiento ganaderías de leche, y en un 20 por ciento por bosques de altura y charrales.

La Cuenca Media tiene una forma rectangular alargada en el sentido del río. Sus pendientes son relativamente más bajas que las de la cuenca superior. El río, en un recorrido de 7.6 kilómetros, baja 630 metros, o sea con una pendiente promedio del 8.3 por ciento. Su área tributaria de 7.3 Km.<sup>2</sup> está dedicada al cultivo de hortalizas, legumbres y granos, con zonas de potrero y un pequeño porcentaje cubierto de árboles y malezas, especialmente cerca del cauce. En su recorrido por la Cuenca Media, el Reventado no recibe ningún afluente importante.

La Cuenca Inferior se localiza dentro del Valle del Guarco, caracterizado topográficamente por lo plano de sus terrenos. El río, en un recorrido de 2.6 kilómetros, desde el antiguo puente de la Carreta hasta la unión con el Río Taras, baja 120 metros, o sea, con una pendiente promedio del 4.6 por ciento. Esta Cuenca Inferior coincide con la zona de sedimentación, estando por lo tanto sus márgenes expuestas a inundaciones. Desgraciadamente, esta zona ha sido habitada densamente, por lo que las inundaciones han provocado problemas sociales y económicos de gran magnitud que se analizan en el capítulo 2. Se estima que el área tributaria, correspondiente a la cuenca inferior, considerada hasta la unión con el Río Taras, es de 1 Km.<sup>2</sup>. Sin embargo, la zona de sedimentación continúa prácticamente hasta la junta con el Río Purires. A partir de este punto ambos ríos forman el Agua Caliente, el cual discurre por un cañón relativamente profundo y se une al Río Navarro.

En la tabla siguiente se resumen los principales datos topográficos de la cuenca del Río Reventado.

T A B L A 1-2

PRINCIPALES DATOS TOPOGRAFICOS DEL RIO REVENTADO

CUENCA	Area de drenaje Km <sup>2</sup>	Area de drenaje de acumulada Km <sup>2</sup>	Longitud del ca nal principal Km.	Longitud del ca nal principal acumulada Km.	Pendiente Promedio del canal - %
<u>Superior (a)</u>	14.1	14.1	6.0	6.0	17.4
Q. Pavas	3.6		4.4		18.0
R. Retes	4.8		3.8		17.1
R. Reventado	5.7		6.0		17.4
<u>Media (b)</u>	7.3	21.4	7.6	13.6	8.3
<u>Inferior (c)</u>	1.0	22.4	2.6	16.2	4.6
TOTALES PARA LA CUENCA	22.4		16.2		
PROMEDIO PARA LA CUENCA					11.1%

Notas:

- a) La Cuenca Superior concluye en el paso del camino Llano Grande - Tierra Blanca (Puesto 2)
- b) La Cuenca Media concluye en el sitio en que estuvo el puente "La Carreta".
- c) La Cuenca Inferior concluye en la unión con el Río Taras.

## 1.2 Climatología

La cuenca del Río Reventado está ubicada en la Vertiente Atlántica - de la República de Costa Rica, muy cerca de la División Continental, constituyendo su borde occidental superior parte de esta División - (Ver lámina 1). Este hecho influye grandemente en su climatología, y en especial en su régimen pluvial, ya que es afectada por el clima de ambas vertientes.

Durante los meses de mayo a octubre inclusive, predominan sobre la - cuenca las lluvias orográficas causadas por el flujo del aire húmedo del Pacífico, afectando principalmente la parte oeste de la Cuenca - Superior (sub-cuenca de Retes y Pavas). A partir de octubre y hasta diciembre inclusive, ocurren en el área los llamados temporales del Atlántico, que afectan principalmente la parte este de la Cuenca Superior, o sea la subcuenca del Reventado propiamente dicho. Sin embargo, algunas tormentas, ya sean provenientes del Pacífico o del Atlántico, podrían afectar toda la cuenca.

De acuerdo con Coen, el clima que predomina en la cuenca es el "seco de altura" (1). En efecto, en la estación pluviográfica de Sanatorio Durán, situada a una elevación de 2337 m.s.n.m., y en el borde - mismo del extremo sur-este de la cuenca superior (Ver lámina 4), pre cipitan anualmente un promedio de 1482.6 mm. de lluvia.

En la cuenca del Reventado se presentan al año dos estaciones bien - definidas, a saber: la seca, que se extiende de enero a abril y la

---

(1) Ministerio de Economía y Hacienda : Atlas Estadístico de Costa Rica (Dirección General de Estadística y Censos, San José, Costa Rica, 1953) Página 34.

lluviosa, que se extiende de mayo a diciembre. Sin embargo, ocurre normalmente entre julio y agosto, un período de relativa poca precipitación, llamado el "Veranillo de San Juan", el cual puede durar de 8 a 22 días.

Durante la estación seca, la precipitación pluvial promedio en el Sanatorio Durán es de 81 mm., mientras que durante la estación lluviosa es de 1401,6 mm.

Del registro de temperaturas del Sanatorio Durán (2337 m.s.n.m.) se observa que la temperatura mínima es de 6°C, la máxima promedio es de 22° y la temperatura promedio es de 14°C.

De acuerdo con los registros que lleva el Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.) en la cima del volcán Irazú (aproximadamente 3300 m.s.n.m.), se estima que en las partes más altas de la Cuenca Superior ocurren, en las madrugadas de los días más fríos temperaturas ligeramente bajo el punto de congelación, produciéndose, cuando las condiciones de humedad son propicias, la formación de escarcha, que desaparece conforme el sol va calentando la superficie. Los mismos registros indican que la temperatura máxima promedio en esta zona es de 16°C.

### 1.3 Geología

Toda la zona conocida como Cuenca Superior del Río Reventado está situada en la falda sur del Volcán Irazú. El Volcán Irazú, junto con el vecino Volcán Turrialba comprenden el macizo volcánico que limita al este la Cordillera Volcánica Central.

El Volcán Irazú, al igual que los otros núcleos volcánicos de la Cordillera Volcánica Central, está constituido de rocas lávicas, pi

roclásticas y laháricas. Las rocas expuestas en la Cuenca Superior del Río Reventado representan los depósitos originados en los últimos ciclos eruptivos del Volcán Irazú, que probablemente datan de la época Pleistocénica, extendiéndose hasta el Reciente.

Afloran en la Cuenca Superior del Río Reventado secuencias varias veces repetidas de lavas, escorias y aglomerados que por lo general se presentan en buen estado físico; algunas secciones de toba presentan poca alteración y en general buena consolidación. Los depósitos laháricos comprenden grandes masas de material heterogéneo en vuelto en una matriz tobacea o arcillosa, a veces intercalado entre delgadas coladas de lava y capas de escoria y toba. Las zonas compuestas de material lahárico en la Cuenca Superior del Río Reventado corresponden a los lugares de gran inestabilidad, algunos de los cuales recientemente se han empezado a deslizar.

Estructuralmente se considera que la Cuenca Superior del Río Reventado presenta poco plegamiento y fallamiento. Algunas coladas de lava presentan buzamientos constantes al sur que varían de 5° a 20° y concuerdan con la topografía regional. Esta inclinación de la roca se debe a la inclinación original en que fueron depositadas y no a fuerzas tectónicas.

El fallamiento relativamente moderado en la Cuenca Superior del Río Reventado está evidenciado por zonas de falla en algunos afloramientos localizados dentro del cruce del río, así como por la severa fracturación y diaclasado que se muestra en las vecindades de estos sitios. Algunas de estas fallas coinciden con alineaciones claramente discernibles en la fotografía aérea. Sin embargo, no ha -

sido posible establecer claramente una diferenciación del fallamiento en cuanto a sistemas y relación de edad. Además, la carencia casi absoluta de datos geológicos en áreas vecinas dificulta la interpretación.

En la lámina 5, se muestra el resultado de los levantamientos geológicos realizado en la Cuenca Superior del Río Reventado.

#### 1.4 Suelos (2)

Los suelos de la ladera del macizo del Irazú, están formados por la alteración de las rocas y lavas que el volcán ha expulsado en épocas pasadas. Los diversos grados de alteración y el transporte que han experimentado estas materiales, hace que la variabilidad de su composición y características físicas sea considerable.

Las zonas inestables, como es natural, corresponden a las de suelos más débiles en cuanto a resistencia al esfuerzo cortante y a la erosión. Estos suelos están formados, en su parte superior, por una mezcla heterogénea de material de arrastre del río, suave y deleznable, que se puede clasificar, desde el punto de vista de la Ingeniería, como una mezcla de piedras grandes, grava y arena de forma angular y subredondeada en una matriz arcillo-limosa, con diferentes grados de cementación. Inmediatamente después de esta capa, que parece proceder de avalanchas antiguas de los ríos de la zona, se encuentran arcillas de consistencia suave a media, de diversas colores

- (2) Lara T. Dr. Manrique, Ingeniero Consultor: Informes al Ing. Carlos Ulate, Jefe de la División de Desarrollo del I.C.E., en relación con los estudios de suelos de la cuenca del Río Reventado. San José, Costa Rica, 25 de mayo de 1965.

ciones, predominando la gris azulada y café amarillenta, materias - que parecieran proceder de la meteorización de las rocas del lugar y del mismo material de arrastre. Generalmente se encuentran, después de estas capas de arcilla, flujos de lava escorasea, o bien aglomerados volcánicos, y en pocos casos, buena roca.

### 1.5 Hidrología

El Río Reventado es una pequeña corriente que durante la época seca llega a Cartago con un caudal de apenas unos 100 lts/seg. Pero durante la estación lluviosa se convierte en un torrente de montaña - cuyas avenidas dan origen a inundaciones. En los últimos 200 años, antes del período eruptivo del Volcán Irazú de los años 1963 - 1965, la ciudad de Cartago fue inundada cinco veces, lo que indica que estas avenidas ocurrían con relativa poca frecuencia.

En el año 1951 ocurrió una de las avenidas más grandes registradas en el Río Reventado en ese período, cuyo caudal máximo se estimó en 226 m<sup>3</sup>/seg., con base en las observaciones efectuadas en el puente de la carretera Llano Grande - Tierra Blanca.

Como este río no es aprovechable hidráulicamente, no se tienen datos de los caudales del mismo, excepto estimaciones de las avenidas ocurridas en 1951, 1963 y 1964.

Después de las erupciones de ceniza del año 1963, las avenidas del Río Reventado aumentaron notablemente en magnitud y frecuencia, como lo revela el hecho de que en los años 1963 y 1964 ocurrieron cinco avenidas mayores que la de 1951, y otras cinco más cuyo caudal máximo excedió los 150 m<sup>3</sup>/seg. (\*). En total, en el año 1964 se -

---

(\*) Estos caudales incluyen el total de agua más sedimentos, cuya concentración promedio fue de 574,000 p.p.m. (aproximadamente).

presentaron diecinueve avenidas con niveles superiores a los 3 m. - (10 pies); en los meses de mayo y junio del año 1965, diez avenidas habían excedido tal nivel, de las cuales dos, la del 25 y la del 26 de mayo, están entre las más grandes del presente período de desbalance hidrológico.

El hecho de que una cuenca de apenas 14.1 Km.<sup>2</sup> haya dado origen con tanta frecuencia a avenidas relativamente grandes, se debe a la pérdida de la vegetación y la impermeabilización que ha causado la ceniza volcánica caída recientemente, a las altas pendientes de los terrenos y a la forma de su sistema de drenaje superficial.

La destrucción de la cobertura vegetal ha eliminado prácticamente - las pérdidas por intercepción y disminuido la infiltración, al mismo tiempo la escorrentía superficial discurre rápidamente hacia los colectores naturales sin obstáculos. Adicionalmente, sobre la ceniza se forma una capa o costra impermeable, constituida por las partículas más finas de la misma, que no sólo disminuyen considerablemente la permeabilidad del suelo, sino que presentan una superficie de muy baja rugosidad al flujo laminar de la escorrentía superficial. (Ver foto 1-1).

Todos estos fenómenos hacen que el tiempo de concentración de la lluvia sea muy corto, lo que da origen a caudales muy altos, que toda vía son incrementados por la gran cantidad de detritos, piedras y paños que arrastran.

El 9 de diciembre de 1963, dentro del período posterior al inicio del desbalance hidrológico ocasionado por la ceniza volcánica, se produjo una avenida de considerable magnitud y volumen. Esta es quizá una de las avenidas más grandes registradas en el Río Reventado, que alcanzó un caudal pico estimado en 407 m<sup>3</sup>/segundo, que

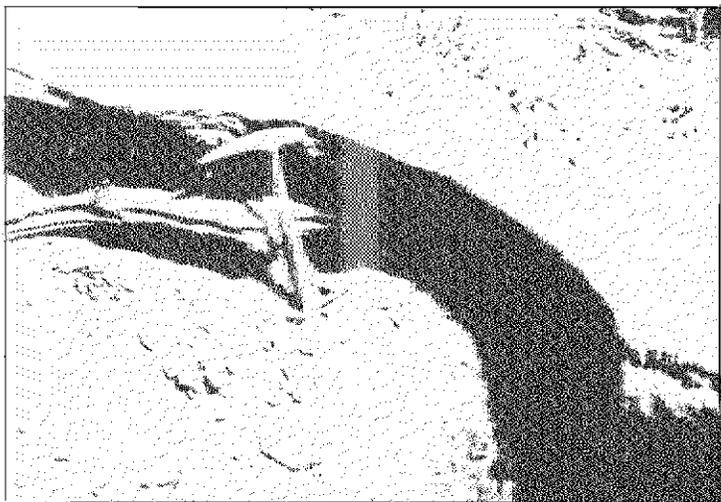


Foto No. 1-1

*Detalle de la formación de capas de ceniza, producida por las diferentes erupciones. Obsérvese la textura de la capa superior, especialmente cerca de la vegetación. Cuenca superior del río Reventado, elevación: 2770 m. s. n. m. ( Foto I.C.E. del 25 de noviembre de 1964 ).*

Foto No. 1-2

*Obsérvese la resistencia de la capa superior formada por la acción cementante de las partículas más finas de la ceniza, sometida a ciclos de lluvia y sol. Durante la época seca, esta capa tiende a desintegrarse, lo mismo que durante periodos lluviosos muy prolongados. ( Foto I.C.E. del 25 de noviembre de 1964 ).*



Foto No. 1-3

*Vista del borde norte de la cuenca superior del río Reventado, a la elevación de 3300 m. s. n. m., cerca del Cerro Sanper. Obsérvese la capa de ceniza, la vegetación destruida y las cárcavas - que la escorrentía superficial ha cortado sobre la ceniza. ( Foto I.C.E. del 4 de agosto de 1965 ).*



corresponde a una "C" de Creager de 77 (Ver láminas 8 y 21). De acuerdo con los estudios realizados, esta avenida fue motivada por la ocurrencia de un aguacero de gran intensidad, superior a los 75 mm/hora para el tiempo de concentración de la cuenca, el cual ocurrió después de 17 horas de lluvia continua. Esta precipitación fue motivada por un disturbio atmosférico que afectaba toda la Vertiente Atlántica del país (Ver lámina 3.)

La situación de desbalance hidrológico continuó en 1964 y 1965 y se mantendrá hasta tanto la vegetación de la cuenca superior no se recobre, natural o artificialmente, a un grado adecuado.