

# EL DESLIZAMIENTO DE LA JOSEFINA “TRAGEDIA NACIONAL”

**Rodrigo Zeas Domínguez <sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Profesor de la Facultad de Ingeniería

*La noche del 29 de marzo de 1993, un deslizamiento de más de 200 millones de metros cúbicos de tierra del cerro Tamuga, sector de La Josefina en la provincia del Azuay, transformó la geografía de este lugar del país.*

**Seminario Internacional sobre aludes  
torrenciales. Venezuela,  
diciembre de 1999**



## RESUMEN:

En el presente artículo hace una descripción sucinta de la emergencia vivida en la zona Austral y concretamente en las Provincias de Azuay y Cañar, durante el mes de marzo, abril y mayo de 1993, a consecuencia del deslizamiento ocurrido en el sector de la Josefina. Se narra el rol que jugó la Universidad en la Tragedia y su participación en diferentes facetas

vividas en la crisis. Se presenta una evaluación de los resultados en función del monitoreo realizado y la información obtenida, para en base a estos criterios, poner en consideración las conclusiones.

## 1.- DESCRIPCION DEL DESASTRE

El día lunes 29 de marzo de 1993, aproximadamente a las 21H00 en el cauce del río Cuenca, en la unión con el río Jadán cerca del cañón del Tual, en el sector de La Josefina perteneciente a la Parroquia San Cristóbal del Cantón Paute, se produce un violento aluvión que forma un dique de grandes proporciones, el cual tapona a los ríos mencionados originándose el embalsamiento de sus aguas. El Cerro denominado Tamuga, sufre un fuerte sacudón a consecuencia del deslizamiento de gran parte del mismo, que por la evidencia observada parece producirse en dos instancias, en la primera desciende una gran masa del cerro que tapona a los ríos Cuenca y Jadán y en un segundo momento el deslizamiento cubre una parte del primero y todo el material removido se apoya en el cerro del frente denominado Tubón, que alcanzó la cota 2375 m.s.n.m (Fig.1). Este evento provocó la muerte y desaparición de cerca de 150 personas y un saldo de 7.000 personas damnificadas.

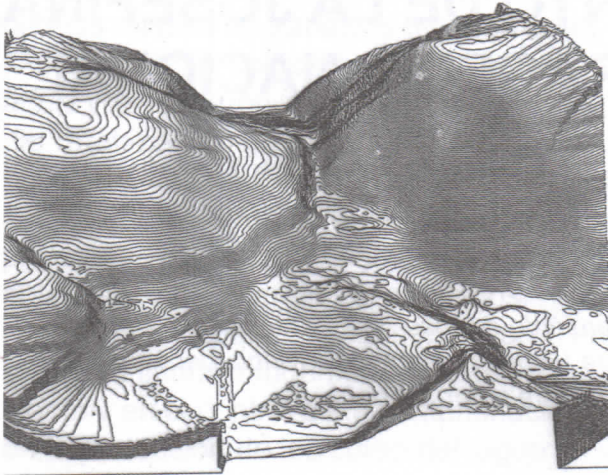


Fig. 1. La Josefina – Modelo Digital del Derrumbe

El deslizamiento aparentemente de tipo rotacional comprende el movimiento de una masa de material pétreo de un volumen aproximado de 27 millones de metros cúbicos compuesto por material fisurado, alterado y presenta una mezcla heterogénea con suelo de variada granulometría que van desde limos arcillosos plásticos a gravas y bloques angulares, este material corresponde aun cuerpo rocoso de origen volcánico que se nomina Tonalita.

Las probables causas para el desarrollo de este fenómeno catastrófico puede deberse a la fuerte estación invernal que soportó en sus dos últimos meses la zona Austral y las lluvias prolongadas de gran intensidad, que en forma localizada se ocasionaron en el sector de la Josefina en los días anteriores al deslave, lo que podría haber provocado un aumento de las fuerzas desestabilizadoras en el estado de tensiones internas del macizo; además se debe anotar que en el sector existían algunas canteras en las cuales se explotaba el material y que podría adicionarse como causa desestabilizadora. Se presume que se formó una superficie de deslizamiento que se desarrolló por debajo del cause del río Cuenca. El dique

formado tiene una longitud aproximada de 900 mts. y un ancho del orden de los 300 mts. La ubicación geográfica de la zona del siniestro, está en las coordenadas 2° 9' latitud Sur y 79° 9' longitud oeste a 22 Km. de la ciudad de Cuenca, en la vía que conduce a los Cantones de Paute y Gualaceo y a la región Oriental.

Durante los 33 días que duró la crisis originada por el deslizamiento, se formaron dos lagos a consecuencia del embalsamiento de los ríos Cuenca y Jadán, los mismos que en los últimos días se unieron, llegando a almacenar alrededor de 200 millones de metros cúbicos de agua, anegándose aproximadamente 1000 Ha de tierra fértiles y zonas habitadas (fig. 2). Se debe mencionar que el área de inundación corresponde al sistema hidrográfico de los ríos Cuenca, Deleg, Burgay y Jadán, que se encuentran en las provincias de Azuay y Cañar, por lo que estas dos Provincias Australes sufrieron los estragos del embate de la naturaleza; los sectores afectados por la inundación son, en la Provincia del Azuay: el Cañón del Tahuall, el Descanso, Huangarcucho y un gran sector de Challuabamba y adicionalmente la cuenca del río Jadán; en la Provincia del Cañar: La Victoria, Deleg, Shullín y una parte de Chuquipata (Javier Loyola). La inundación dejó sumergidos varios puentes en los que se puede contar los siguiente: Puente de el Descanso, Huangarcucho y Challuabamba en la provincia del Azuay y el puente de Shullín en la provincia del Cañar; además, gran parte de la vía panamericana Norte a partir del Km. 12 al 18 aproximadamente. La cota de espejo de agua llegó a la 2362.5 m.s.n.m.

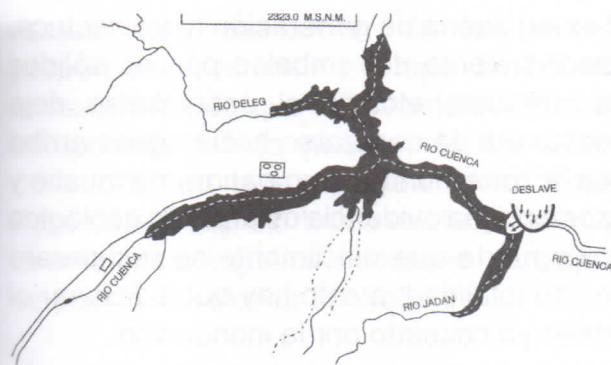


Fig. 2. Embalsamiento de los ríos Cuenca y Jadán

A la semana siguiente de haberse producido el deslave y mientras las aguas embalsadas continuaban inexorablemente su ascenso en los niveles, se iniciaron los trabajos en el sector la Josefina; la empresa privada de Construcciones hace llegar sus máquinas para colaborar con los trabajos que se habían planificado en el sector y es así, que a cargo del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, comienza un movimiento de tierras con el único objetivo de construir un canal que sirva para evacuar el agua que se estaba almacenando, se establece como horizonte de trabajo el conseguir disminuir de la cota 2375 a la 2353. Inicialmente se plantea un movimiento de alrededor de 300 mil metros cúbicos de material, lo que significa una afluencia de maquinaria más de las que se disponían; en ese contexto y debido a que el número de máquinas es insuficiente, se replanifica y se disminuye a 220 mil metros cúbicos, con lo que continúan los trabajos. Se debe anotar que el número de máquinas llegó en su mejor momento a 23 de las cuales 19 eran entre D7, D8 y D9. Entre los días 8, 9 y 10 de abril, se produce un gran aumento de los niveles de los lagos formados, debido a las precipitaciones pluviales de gran magnitud que se presentaron en las cuencas altas, lo que hace que se modifique lo planificado y se aceleren los trabajos reduciendo el volumen de movimiento de tierras a 160

mil metros cúbicos, lo que significa que los taludes sean mas pronunciados. De ésta manera se consigue terminar el canal, llegándose a la cota 2357 m.s.n.m con un ancho de 6 m. en la base y taludes de 70° en la margen izquierda (fig. 3). Este canal tenía una contrapendiente de aproximadamente el 2% y una pendiente positiva de mas o menos el 1%, ubicándose la cota más elevada (2357) a unos 80 m. de la entrada al canal. Los trabajos del canal en la Josefina se terminaron el día 15 de abril, debiendo salir las máquinas por el riego que corrían con la inestabilidad de los taludes construidos; posteriormente continuaron trabajando en la limpieza del canal 2 tractores pertenecientes al Cuerpo de Ingenieros del Ejército.



Fig. 3. Canal construido en La Josefina

El día sábado 1 de mayo, en sus primeras horas, se da la voz de alarma en lo que constituye el desagüe final. El proceso se había iniciado el día anterior aproximadamente a las 18H00 y el incremento del caudal fue notable a partir de la media noche del viernes, de modo que las 6H00 del día sábado, se tenía caudales sobre los 300 m<sup>3</sup>/s y a las 7H00 sobre los 500 m<sup>3</sup>/s, para luego registrar incrementos sobre los 1000 m<sup>3</sup>/s cada 30 minutos, aumentando en 8400 m<sup>3</sup>/s (fig. 4). Se calcula que durante el día sábado se

evacuó cerca de 170 millones de metros cúbicos, volumen que transitó por el cauce del río Cuenca y Paute arrasando con todo lo que encontró a su paso. En el sector de la Josefina hacia aguas abajo, el cauce se elevó a 40 mts. de altura, y se formó una pendiente uniforme que alcanza al cauce antiguo en el sector en donde se emplazaba el puente de Chicticay (aproximadamente 3 Km.). La erosión alcanzó su máximo efecto, cuando el canal anteriormente construido descendió su solera a 40 mts, quedando su ancho en la entrada del lago fue 30 mts. y a lo que fue la salida a 70 mts; en definitiva, la cota del espejo de agua descendió de la 2362.5 a la 2323 m.s.n.m.

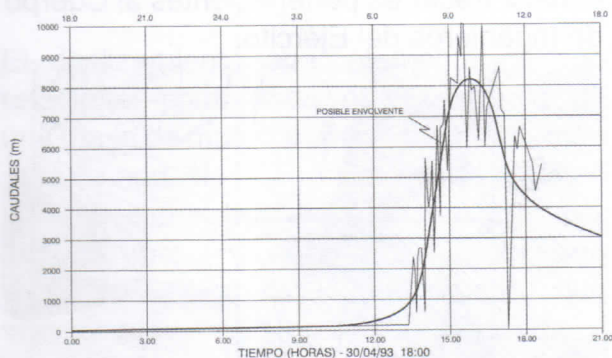


Fig. 4. Deslave de la Josefina. Hidrograma de Salida

El embate de las aguas originados por el desenlace del 1º de mayo, dejaron como saldo la destrucción total de todos los puentes hacia aguas debajo de la Josefina hasta el proyecto hidroeléctrico, destrucción de gran parte de las vías que conducen a las ciudades de Paute y Gualaceo, la destrucción total y parcial de fincas y haciendas ubicadas en las riberas de los ríos Cuenca y Paute, destrucción de plantaciones, destrucción de toda la infraestructura para la explotación de materiales pétreos en el río, destrucción total de la ciudadela Don Bosco en Paute, destrucción parcial de barrios ubicados en la parte baja del cantón Paute, aislamiento del Proyecto Hidroeléctrico, daños parciales en

la maquinaria de generación hidroeléctrica, asolvamiento del embalse por los sólidos acarreados, etc.; y, el desembalse dejó como era de esperarse hacia aguas arriba en la zona inundada un panorama mustio y sombrío y la evidencia de un daño ecológico muy fuerte que difícilmente se recuperará en su totalidad, a esto hay que adicionar el daño ya causado por la inundación.

El estado de la zona de la Josefina en donde se produjo el deslizamiento es todavía inestable, ya que el gran desagüe arrastró consigo gran parte del material suelto del deslave lo que fue depositando a lo largo del río, produciendo una pendiente mas o menos uniforme del orden del 13 por mil que se desarrolla hasta el sector del Chicticay como ya se anotó anteriormente (fig. 5).

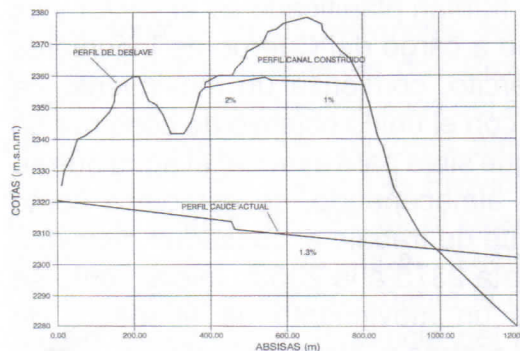


Fig. 5. Perfil longitudinal en el deslizamiento de La Josefina.

## 2.- ROL DE LA UNIVERSIDAD

La Universidad de Cuenca a través del Instituto de Investigación de Ciencias Técnicas y de la Facultad de Ingeniería, dispuso que el personal del Departamento de Audiovisuales, del Proyecto de Investigación "Protección de Márgenes y Control de Inundaciones de los ríos que Atraviesan la Ciudad de Cuenca" y el grupo de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería se trasladen al sector del siniestro para

realizar una evaluación de las reales proporciones; al mismo tiempo, se estimó la necesidad de que se trabaje durante el tiempo que dure la emergencia, con el fin de aportar en la superación de la crisis. Pare este fin se dio todas las facilidades y la asistencia logística necesaria para que se pueda desarrollar los trabajos.

Una vez constatado la magnitud del dique natural formado en los cauces del río Cuenca y Jadán en el sector de La Josefina, conjuntamente con el personal Técnico de la Facultad de Ingeniería de nuestra Universidad, se formó una oficina técnica en donde se realizaron trabajos de tipo topográfico, hidrológico, hidráulico y de evaluación de riesgo geológico, además, que ésta oficina pasó a formar parte de la Comisión Técnica del Comité de Crisis. Simultáneamente los integrantes del Departamento de Audiovisuales desde el primer día realizaron un trabajo gráfico que consistió en tomas de vídeo y material fotográfico.

El Instituto de Investigación de Ciencias Técnicas, a través de estas dos gestiones tuvo una participación muy activa ya que los que conforman las dos áreas, trabajaron incansablemente durante los 33 días que duró la emergencia en las provincias de Azuay y Cañar y en el día del desagüe final, en la Provincia de Morona Santiago.

Los logros alcanzados a través de la participación del IICT son los siguientes:

**a) Departamento de Audiovisuales**

El trabajo realizado se ha plasmado en un seguimiento día a día de las áreas de inundación de las dos provincias, y luego el desenlace que se produjo el primero de mayo hasta concluir con los efectos originados por el mismo

en el valle del Paute. Este trabajo resume aproximadamente unas 350 fotografías a color, blanco y negro y transparencias (slydes) y una filmación de vídeo que supera las 7 horas. El objetivo fundamental fue realizar un documento gráfico tanto desde el punto de vista fotográfico como también desde el punto de vista de video, con esta finalidad se realizó la edición cuyo guión y producción fue elaborado en el propio Instituto, con el propósito que este documento sirva tanto como material informativo y también como material didáctico.

**b) Proyecto de Investigaciones “Protección de Márgenes y Control de inundaciones de los Ríos que Atraviesan la Ciudad de Cuenca”**

Todo el personal técnico del Proyecto se unió al grupo de la Universidad, liderado por la Facultad de Ingeniería y posteriormente con los grupos Técnicos de misiones extranjeras que estuvieron presentes como son: los de Italia, Estados Unidos, Chile, Naciones Unidas, Suiza, etc., y posteriormente con los técnicos de Instituciones Nacionales como son: INAMHI, INECEL, EERCS, INERHI, etc., y una especial participación de un grupo de técnicos del CICA, que representaron al Colegio de Ingenieros Civiles del Ecuador y de la Fundación del Agua.

La actividad del personal técnico del proyecto y del IICT fue la colaboración directa con los técnicos extranjeros en la modelización matemática, esto es con los técnicos Italianos en el modelo de Erosión y con uno de los técnicos estadounidenses en el modelo de Rotura de Presas y Propagación de la Onda Creciente (DAMBREAK),

los resultados obtenidos permitieron que se asesore al Comandante de la III Zona Militar, acantonado en la ciudad de Cuenca, para que realice un programa de salvamento de los pobladores del valle de Paute y el hecho de no haberse producido ni una sola pérdida de vida humana declarada, justifica el esfuerzo de los mismos (fig. 6). Además, se realizaron experiencias de diversos escenarios y se consiguió predecir con errores muy pequeños las cotas de inundación hacia aguas abajo del dique de La Josefina y a lo largo del río Paute, especialmente en áreas pobladas como son los cantones Paute y Gualaceo. Durante todo el tiempo que duró la emergencia este grupo técnico que luego se denominó Subcomité Técnico, estuvo proporcionando información a través de monitoreo diario sobre caudales de entrada a la laguna formada, niveles de la cola de los embalses y la predicción en función del tiempo del volumen almacenado de agua.

Adicionalmente, La Universidad de Cuenca, a través del IICT y la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca y el CICA realizó una propuesta al Presidente de la República, Arq. Sixto Durán Ballén, la misma que cubre lo referente al trabajo técnico e incluye una estimación de los recursos tanto físicos como humanos necesarios para un buen desarrollo de los trabajos.

Esta propuesta incluye la acción y coordinación de la programación de actividades en los diferentes grupos de trabajo, el control de su ejecución y la introducción de los correctivos que sean necesarios a fin de lograr los objetivos planteados, los mismo que son: Apoyo para el Tránsito de caudales, prevención de riesgo geológico, prevención de riesgo sanitario y estudios de soluciones post-tránsito de avenidas.

En conclusión, el rol que jugó la Universidad en la Tragedia de la Josefina fue protagónico y su gestión a través de su personal fue reconocido a nivel Nacional, quedando comprometida a través de sus autoridades (Rector y Vicerrector) en dar su contingente para superar la crisis luego del desenlace y en el futuro para la pronta reconstrucción de la zona austral afectada por este evento catastrófico.

### 3.- ANALISIS DE LA INFORMACION OBTENIDA

Para entender mejor la problemática del análisis de la información disponible, es menester hacer una separación de situaciones; esto se refiere, concretamente a las instancias antes y después del desenlace vivido el 1º de mayo y que produjo la circunstancia descrita anteriormente con el desagüe final por el dique de la Josefina. En consecuencia, a continuación se tratará

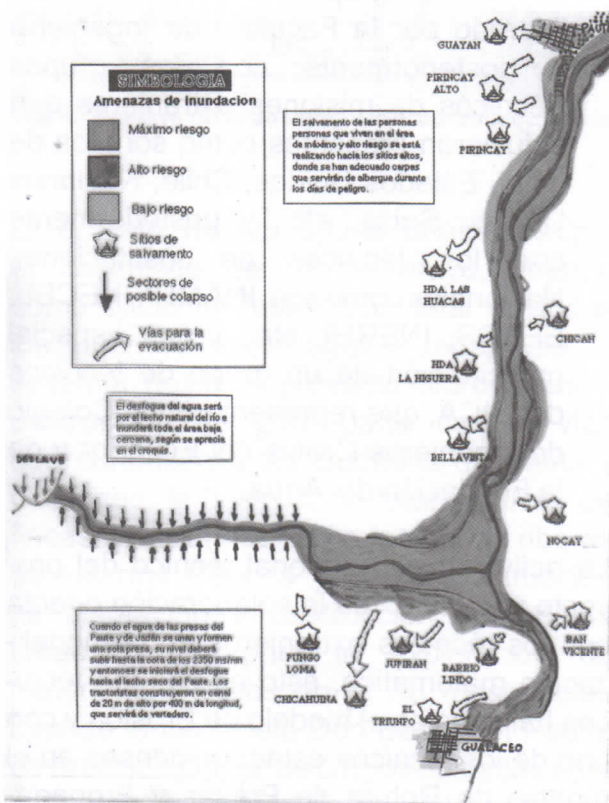


Fig. 6.

el tema del análisis de la información en dos partes como sigue:

**a) Antes del 1º de mayo**

Mientras la inundación avanzaba hacia las provincias del Azuay y Cañar a consecuencia del embalsamiento del río Cuenca en la Josefina y a su vez continuaba los trabajos en la construcción del Canal para la evacuación de las aguas, en algunas instituciones se estudiaba las posibilidades de una u otra alternativa de los que sucedería en el momento en que las aguas comienzan a desbordar a través del canal. De esta manera y bajo ciertos criterios especulativos, se daban a conocer a través de la prensa hablada y escrita los resultados que se obtenían y que se resume a continuación.

Algunos técnicos de INECEL (Instituto Ecuatoriano de Electrificación) asumían a base de los estudios realizados por Costa en 1985, quién recopiló información sobre roturas de presas que se habían formado por deslizamiento de tierras y generó un gráfico en escala doble logarítmica que se ajusta a una recta en donde, en las abscisas se coloca en factor correspondiente al producto de la altura del dique o presa por el volumen de agua embalsado y en las ordenadas el Caudal pico que se generó al producirse la falla de la presa. De este modo considerando en forma aproximada la altura de la presa en la Josefina de 100 m y el volumen almacenado de cerca de 200 millones de m<sup>3</sup> de agua, el gráfico genera un caudal pico aproximado de 10000 m<sup>3</sup>/s (fig. 7)

SECONDARY EFFECTS OF LANDSLIDE DAM FAILURE

When a landslide dam fails, other secondary processes can be triggered. One problem can be the initiation of additional landslides as the water level in the reservoir drops. During filling of the basin behind a landslide dam, the rising groundwater table around the reservoir saturates the soils comprising the reservoir banks.

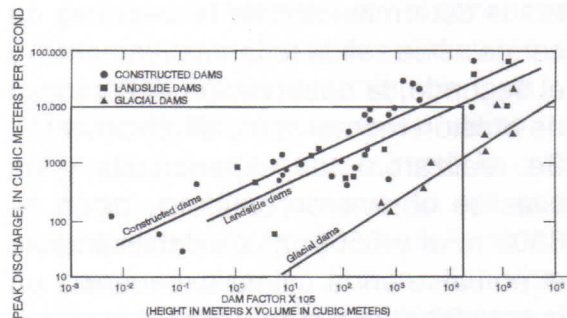


Fig. 7. Caudal Pico de Descarga vs Altura x Volumen Almacenado

Un equipo de técnicos de alto nivel de la EPN (Escuela Politécnica Nacional) y de INECEL, trabajaron con modelos físicos y matemáticos sobre el problema del caudal pico que se produciría una vez que las aguas comienzan a verter sobre el canal. Los resultados obtenidos en un modelo Físico a una escala 1:200, asumiéndose hipótesis en dos tipos de escenarios en los cuales consideraban el caso optimista y el caso pesimista, se obtuvieron valores de 8000 m<sup>3</sup>/s y 16000 m<sup>3</sup>/s respectivamente y de no conseguir disminuir la cota de la 2375 m.s.n.m., es decir si no se construía el canal, el caudal pico generado podría alcanzar los 30000 m<sup>3</sup>/s.

El CEDEGE (Comisión de Desarrollo de la Cuenca del Guayas) con el apoyo de la Compañía Oderbrech, construyó un modelo Físico a una escala 1:150 en el local del campamento de El Chongón; para la representación del dique, consideraron un diámetro medio equivalente a 15 cmts. en un 15% de finos plásticos, lo que les llevó a preparar un material compuesto por arena de un d<sub>50</sub>=1.0 mm y una combinación finos. Para que la representación del modelo fuese lo más cercano a la realidad, vertieron la



arena a manera de un deslave a base de la topografía de la Josefina. El modelo tenía dos objetivos: el primero era la determinación de Hidrograma de caudales de salida (cuantitativamente) y el segundo, la observación del proceso de erosión regresiva (cualitativamente). Se realizaron dos experiencias y en ellas se obtuvieron caudales picos de 8300 m<sup>3</sup>/s y 6500 m<sup>3</sup>/s estabilizándose el embalse en la última experiencia en la cota 2329 m.s.n.m. Cabe mencionar que los técnicos de CEDEGE consideraron los modelos matemáticos como inaplicables en este caso.

La Universidad de Cuenca, a través de la Facultad de Ingeniería y el Instituto de Investigación de Ciencias Técnicas, conjuntamente con los técnicos de las misiones Italiana y Americana, trabajaron fundamentalmente en dos modelos matemáticos: el de Erosión y en el DAMBREAK; a continuación una breve descripción de estos:

- El modelo de Erosión, dirigido por el profesor Luigi Natale, Director del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la Universidad de Pavía, se construyó en la Universidad de Cuenca, en el mismo que se realizaron muchas pruebas de sensibilidad de los parámetros involucrados. El modelo considera el fenómeno del vaciado del lago, al descenso de la cresta por erosión y fue específicamente construido para describir el comportamiento del dique formado en los ríos Cuenca y Jadán. La ecuación de erosión de la cresta de la presa es descrita por la ecuación de ENGELUND-HANSEN. En este modelo se considera que el dique está formado por dos capas; los primeros 25 mts. de espesor con

un  $d_{50}=10$  cmts. y 10% de porosidad y la segunda capa tiene un  $d_{50}=70$  cmts. y 50% de espacios vacíos que se mantiene constante hasta el fondo; el ancho inicial del canal es de 8 mts. y la longitud de la cresta de 230 m; el caudal de entrada al lago es de 100 m<sup>3</sup>/s y el desborde comienza en la cota 2358 m.s.n.m. El resultado fue un caudal pico de 2698 m<sup>3</sup>/s, y la cota final de la cresta es la 2311 m.s.n.m.

- DAMBREAK: Este software simula el rompimiento de una presa, generando un caudal pico, el mismo que es transitado hacia aguas abajo. La preparación de los datos para el modelo estuvo a cargo del Ingeniero Hidráulico Maurice James del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Este técnico puso en operación al modelo y en lo que constituye la información topográfica (secciones transversales) se obtuvieron de la cartografía en escala 1:5000, proporcionado por el INECCEL; en total se analizaron 34 secciones transversales, con intervalos de aproximadamente 1 Km. en las zonas pobladas (20 Km.) y en intervalos de cada 5 Km. hacia aguas abajo del puente de Chicti. Para obtener los resultados, se planteó dos escenarios, los que consideraban la rotura de la presa en 72 y 15 horas; en cada caso el vertido comienza en la cota 2360 m.s.n.m. lo cual dio caudales picos de aproximadamente 2000 y 5700 m<sup>3</sup>/s respectivamente. Por considerarse como más probable el caudal obtenido con el modelo de erosión, se hizo transitar el caudal de 2698 m<sup>3</sup>/s, conjuntamente con el caudal de 5700m<sup>3</sup>/s a lo largo del cauce del Paute, obteniéndose en



diversos puntos considerados claves los niveles de inundación. Además con fines de obtener los niveles considerados como catastróficos, se generó un caudal equivalente a 18000 m<sup>3</sup>/s y se transitó en el cauce, obteniéndose las cotas de inundación hasta la central Hidroeléctrica. Estos datos fueron utilizados para la elaboración del mapa de "Amenazas de Inundación" en sus niveles de máximo, alto y bajo riesgo, con los que se operó para la fase de salvamento de las personas hacia aguas abajo de la Josefina (fig. 6)

En este período, es decir antes del desenlace del 1° de mayo, el periodismo sensacionalista jugó un papel importante, ya que en función de la información que se daba a conocer al público, se creó un estado de incertidumbre en la población, sobre todo en las personas que estaban siendo afectadas por el proceso de inundación hacia aguas arriba de la Josefina y los pobladores del Valle de Paute que esperaban con real preocupación los efectos del desenlace final. Prueba de esto son los siguientes hechos.

- Confusión en lo que constituye las cotas del deslizamiento, las del canal construido, las del lago en el río Cuenca, las del puente de Challuabamba, etc.
- Una precipitación en la declaratoria de alerta roja, originado por la noticia del caudal de 30000 m<sup>3</sup>/s o más lo que conllevó a que como no ocurría el desenlace final, lo pobladores especialmente del Cantón Paute y de aguas abajo de la Josefina que estaban instalados en campamentos comienzan a desmotivarse produciendo situaciones de indisciplina que podría haber sido fatal.

- Una falsa información en el sentido que había sido utilizado misiles para romper la masa pétreo que impedía el desarrollo de la erosión regresiva y el consecuente desenlace. En este sentido se creó muchos cuestionamientos en las razones de porque no se utilizó estos medios desde que se inició la crisis y nunca se dijo que eso no era posible y que no se utilizó misiles, sino una carga explosiva hueca denominada "low" (antitanque) que no produce onda expansiva, etc.

#### b) Después del 1° de mayo

Una vez ocurrido el desagüe final, la especulación llegó a sus máximos límites y se hablaron de caudales que tenían rangos entre los 5000 a los 20000 m<sup>3</sup>/s pero casi nadie sustentaba sus valores en bases firmes, por lo que todo constituía suposiciones y especulaciones. La Escuela Politécnica Nacional (EPN) con las bases ya expuestas y de la observación realizada en el desagüe final estimó un caudal pico de 14000 m<sup>3</sup>/s; a su vez, INECEL cuantificó un caudal de 11000 m<sup>3</sup>/s a la entrada del embalse de Amaluza con un paso por los vertederos y el desagüe de fondo de 5000 m<sup>3</sup>/s, lo que significa una laminación en el embalse al 45% del caudal de entrada al mismo, es decir el 220% del caudal pasado por la represa. De todas maneras cada uno creía tener la razón y en adelante se trata de exponer algunos considerandos cuantitativos que pueden conducir a un conocimiento cabal y completo de lo que realmente ocurrió.

El grupo técnico de la Universidad, continuó monitoreando los niveles del lago y los caudales de entrada al embalse; durante el día 1° de mayo se realizaron mediciones desde la 7H00 cada 5 minutos hasta las 12H40 y se disponía de la información cada

hora de la estación Tomebamba en Monay del día anterior, esto permitió a través de la correlación conocer el caudal de entrada al embalse y mediante el balance hídrico en el lago poder determinar los caudales evacuados por el canal de vertido. Durante el descenso del nivel de agua en el embalse, se produjeron fluctuaciones debido a la formación de oleaje, lo que dificultó la estimación correcta de niveles, por esa razón se obtuvo un hidrograma de desembalse con muchas oscilaciones. Pese a esta dificultad, se estimó una posible envolvente como se muestra en la (fig. 4) estimándose el caudal pico de 8400 m<sup>3</sup>/s, que se produjo a las 9H30.

Para corroborar o desmentir la aseveración descrita anteriormente, se propuso un levantamiento Hidráulico de la huella de inundación y se eligió un sitio que reúne las características adecuadas desde el punto de vista hidráulico y que consiste en un cañón más o menos uniforme de material rocoso homogéneo y que no presenta muchas sinuosidades ni playas; el sitio se ubicó hacia aguas abajo en donde se emplazaba el puente de Chicti. El equipo topográfico trabajó en algunas secciones transversales, levantando Las mismas hasta la huella de inundación. En cuanto al coeficiente de rugosidad de Manning, se estimó el valor más probable para este tipo de material de 0.045. A continuación se describe los datos de las secciones más representativas:

Longitud del tramo	810.71m
Cambio de elevación de la superficie de agua	4.28 m
Coefficiente de Rugosidad	0.045 m
Area de la sección aguas arriba	1443.06 m <sup>2</sup>
Perímetro de la sección aguas arriba	58.08 m
Area de la sección, aguas abajo	1168.70 m <sup>2</sup>
Perímetro de la sección aguas abajo:	123.53 m

Utilizando la ecuación de Manning y por un

proceso de prueba-error, se obtuvieron los siguientes resultados:

Velocidad en la sección aguas arriba:	5.465 m/s
Velocidad en la sección aguas abajo:	6.748 m/s
Pendiente de la línea de energía:	0.0038222
Caudal:	7886.124 m <sup>3</sup> /s

Además, se probó con otros coeficientes de rugosidad como es el caso de 0.040 que dio un Caudal de 8900m<sup>3</sup>/s y con 0.050 que generó un caudal de 7100 m<sup>3</sup>/s.

De los resultados obtenidos y con las consideraciones señaladas se concluyo que el caudal aproximado de 7900 m<sup>3</sup>/s, era el más real con un margen de error del orden del 10% y en consecuencia corrobora en alguna manera a la posible envolvente del hidrograma de desembalse que señala 8400 m<sup>3</sup>/s como el caudal pico de la creciente.

Se corrió el modelo DAMBREAK para transitar un hidrograma con un pico de 8500 m<sup>3</sup>/s que es equivalente al hidrograma de desembalse con un 5% de error en exceso; el resultado de esta experiencia fue una atenuación del pico a 8160m<sup>3</sup>/s en Chicti y 8100m<sup>3</sup>/s en Chalacay (cerca del embalse Amaluza), el valor obtenido en Chicti corrobora el levantamiento hidráulico realizado en ese sector.

En cuanto al estado en que quedó el deslizamiento, luego de la evacuación de las aguas, a más de lo ya descrito en la última parte del numeral 1, se puede indicar que sus perfiles longitudinales sufrieron cambios radicales como muestra la (fig. 5), con lo que se puede indicar que el descenso total sumada la construcción del canal y la erosión producida en la solera del mismo es de 55 mts. y todo el material que arrastró el desagüe en el deslave (que fueron algunos cientos de

miles de  $m^3$ ), asoló el cauce hasta más allá de Chicticay y depositó ese material rocoso de diversos diámetros a lo largo del río Cuenca y Paute en algunas decenas de Km. El dique remanente es de 40 m. de alto, con un volumen embalsado de alrededor de 25 millones de  $m^3$  de agua conforme lo muestra la esquematización de la fig. 8.

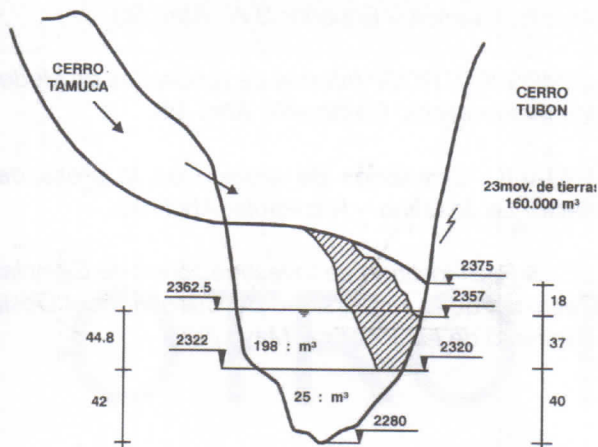


Fig. 8. Deslizamiento de la Josefina.

#### 4.- CONCLUSIONES

De acuerdo a lo expuesto en base a los criterios señalados, se puede concluir lo siguiente:

- Por la diversidad de criterios expuestos en el transcurso de la emergencia, muestra que no existe los suficientes conocimientos para poder predecir lo que sucedería en el desenlace de un evento de esta naturaleza, por lo que es necesario continuar investigando a base de la información obtenida en este siniestro.
- La experiencia vivida exigió un esfuerzo grande en la obtención de la información necesaria (hidrológica, hidrometeorológica, cartográfica, geológica, topográfica, etc.),

muchos de los cuales no existen, por disponer de una infraestructura de medición muy precaria y por el celo de algunas instituciones en entregar la información disponible; esto conlleva, a la necesidad de conformar un banco de datos a nivel regional para que todas las instituciones alimenten dicho banco para disponer de la información en cualquier momento y más todavía en situaciones de emergencia como el sucedido.

- El pico del caudal en el hidrograma de la creciente generada por el desagüe final de la Josefina fue inferior a los  $10000 m^3/s$ .
- Los modelos tanto físicos como matemáticos si están bien calibrados, son herramientas idóneas para el manejo científico de situaciones como esta.
- Los equipos técnicos bien concebidos, son el soporte adecuado para el asesoramiento en la toma de decisiones y en consecuencia son indispensables.
- Es necesario realizar un estudio de riesgo geológico a nivel de un plan general de infraestructura para una determinada región, especialmente donde existen asentamientos humanos considerable, lo que puede ocasionar molestias, ya que en la zona interandina por su formación geológica reciente de por sí es inestable, pero es necesario conocer las zonas de riesgo para evitarlas o afrontarlas con planteamientos técnicos que garanticen la estabilidad de las estructuras.
- En el lago remanente es necesario realizar un estudio en los niveles de inundación fluctuante, pues de la experiencia post-desembalse

se ha observado que cuando se producen crecientes a causa de las precipitaciones en las cuencas altas, la respuesta inmediata es la elevación de los niveles del lago de hasta 3 mts. lo que hace pensar que el futuro cuando estemos en la estación invernal el problema se agudizará y será más crítico.

**BIBLIOGRAFIA**

*CADIER E, Aspectos Técnicos de la Catástrofe de la Josefina (documento provisional) ORSTON, Junio /93.*

*CISNEROS F, Informe sobre acciones tomadas por la Universidad de Cuenca en relación al Deslizamiento de la Josefina, Abril/3.*

*CISNEROS, DE BIEVRE, Informe del grupo de la Universidad de Cuenca sobre el Caudal pico ocurrido en el desfogue de la Josefina, Junio /93.*

*GALARZA L, Propuesta para la organización de los grupos de apoyo y alcance de las actividades a realizar, Abril /93.*

*GRUPO HIDRAULICA, Facultad de Ingeniería: documentos, planos, hidrogramas, 1993.*

*JARAMILLO H, Informe de Evaluación Geológica General del embalse y Dique del Represamiento del Sector La Josefina, Abril /93.*

*JAMES M, Emergencia de la presa de Deslizamiento, Cuenca – Ecuador S.A., Abril /93.*

*JAMES Y OTROS, Informe de resultados de Modelos Matemáticos: Dambreak, Abril /93.*

*NATALIL, Simulación de erosión en la presa del sector La Josefina – Río Paute, Abril /93.*

*ZEAS R, El Instituto de Investigaciones de Ciencias Técnicas de la Universidad de Cuenca en el Deslizamiento de La Josefina, Mayo /93.*

