

## **Capítulo 10. DEL DESASTRE NACE UN LAGO DEGRADADO: EL LAGO FORMADO POR UN MACRODESLIZAMIENTO EN CUENCA, ECUADOR**

**Alfonso Neira  
Lucía Cáceres Parreño**

### **INTRODUCCION**

El 29 de Marzo de 1993, se produjo, en la zona austral del Ecuador, un deslizamiento de tierra de aproximadamente 20 millones de metros cúbicos, represando los ríos Paute y Jadán ; la subida de los niveles de las aguas inundó la vegetación natural y tierras de cultivo, viviendas, instalaciones industriales, vías de comunicación y una central termoeléctrica.

Del informe de evaluación de daños, preparado por Defensa Civil (Cruz, 1993), se desprende que oficialmente existieron 35 personas fallecidas, la población directamente afectada fue de 6.420 personas, se destruyeron 2 canales de riego, 8 puentes, 40 km de carreteras y vías de acceso, 716 viviendas fueron completamente afectadas, 1.800 hectáreas del sector agropecuario se destruyeron totalmente, empresas agroindustriales, infraestructura vial y educativa, obras comunales y líneas vitales fueron afectadas seriamente.

Al Ecuador le significó cerca de 146.9 millones de dólares<sup>1</sup> en pérdidas al momento mismo de la tragedia (CREA y Universidad de Cuenca, 1993), sin considerar los costos de las obras de reconstrucción y rehabilitación de los sectores afectados.

Luego de 33 días de inundación, tuvo lugar el desagüe del embalse del río Paute, después de lo cual quedó un lago remanente de aproximada-

mente 6.8 millones de m<sup>3</sup> que ocupa el antiguo lecho del río, entre los sectores de El Descanso y La Josefina. Este nuevo lago recibe las aguas de los ríos Cuenca y Burgay, sobre las cuales se descargan las aguas residuales domésticas que producen alrededor de 447.000 personas, así como las aguas residuales generadas por unas 270 industrias de diferentes tipos que están localizadas dentro de las cuencas hidrográficas de los ríos Cuenca y Burgay.

Antes de producirse la tragedia, el agua para riego y otras necesidades de los moradores del área de influencia, era tomada a partir de dos canales de riego, ubicados 1 km aguas abajo del dique de La Josefina.

El agua se utilizaba principalmente para actividades agrícolas, pecuarias y consumo doméstico, en lugares en donde no existía servicio de agua potable.

La zona donde se produjo el deslizamiento es agrícola por excelencia y depende del agua de los ríos del área para su supervivencia. De allí la necesidad de hacer un estudio de la calidad del agua del lago de La Josefina para poder predecir sus efectos aguas abajo y para que no se convierta en un foco de contaminación y fuente de problemas para los moradores del área.

ETAPA, por encargo de la Presidencia de la República, ha emprendido un estudio de calidad del agua del lago, cuyos resultados se analizan en este documento. Sin embargo, lo deseable sería continuar con un monitoreo constante de todas las variables que influyen en la calidad del agua que ingresa en el lago.

## LOCALIZACION

El lago La Josefina ocupa el cauce que fue del río Cuenca antes del represamiento del agua. Está localizado entre la confluencia de los ríos Cuenca y Burgay y la de los ríos Cuenca y Jadán. El área total de la cuenca cubre una extensión de 2.155,3 km<sup>2</sup>.

La posición geográfica del lago La Josefina y su altitud son las siguientes:

Longitud	2° 50' 30" Sur
Latitud	78° 51' 40" Oeste
Altitud	2.325 msnm

La latitud del lago, cerca de la línea ecuatorial, al igual que su altitud, determinan el comportamiento de éste con respecto a la temperatura y la estratificación termal de la masa de agua.

### Hidrología

La precipitación anual en el área tributaria del lago es de 985 mm. Los meses de mayor pluviosidad son marzo y abril, con precipitaciones medias mensuales del orden de 100 a 200 mm, mientras que los meses de estiaje son julio y agosto, con precipitaciones medias mensuales entre 50 y 60 mm.

Los caudales de aporte al lago por escorrentía son de alrededor de 33.6 m<sup>3</sup>/s, como valor medio, los mayores caudales se presentan entre los meses de marzo y mayo, que corresponden al periodo lluvioso en la región austral, con valores superiores a 35 m<sup>3</sup>/s, y los menores en diciembre, enero y agosto, con valores inferiores a 30 m<sup>3</sup>/s, que corresponden al período de estiaje.

El volumen total anual desde el área tributaria es del orden de 1.013 millones de metros cúbicos, el mismo que se constituye en la fuente principal si la comparamos con el aporte debido a la precipitación directa sobre el embalse. Así mismo, la evaporación que se produce en la superficie del lago, del orden de 0.39 millones de metros cúbicos por año, es pequeña frente al aporte total. No se ha estimado la influencia de las aguas subterráneas sobre la hidrología del lago, pero puede asumirse que el caudal de ingreso es similar al de salida y que, desde este punto de vista, el lago se comporta como un río que no recibe afluentes con caudal significativo dentro del tramo en estudio.

### Uso de suelos en el área tributaria

Las cuencas de los ríos Yanuncay, Tomebamba y Machángara presentan altos porcentajes del área de sus cuencas cubiertas por páramos. La cuenca del río Tarqui posee una importante fracción cubierta por pastos y matorrales en comparación con las otras subcuencas, en las cuales los matorrales han sido destruidos en gran escala. En todas las subcuencas se encuentra una mínima cubierta forestal, siempre menor al 5% del área total. Las cuencas de los ríos Burgay y Cuenca tienen la mayor extensión de tierra destinada a la agricultura. Las áreas erosionadas no son muy

significativas en ninguna de las cuencas tributarias, siendo el río Cuenca, en su tramo de aporte directo, el que presenta mayor porcentaje.

#### Identificación de fuentes puntuales y no puntuales de contaminación

Las descargas puntuales de alcantarillado constituyen una fuente muy importante de contaminantes que van a parar a los ríos afluentes del lago La Josefina. Un total de 205 descargas han sido identificadas, entre alcantarillado combinado, sanitario, pluvial, industrial y domiciliario.

Aproximadamente 447.000 personas contribuyen con sus desechos domésticos, tanto en el área urbana como en la rural. Existen además 270 industrias localizadas dentro del área tributaria del lago, especialmente en la ciudad de Cuenca y sus alrededores. Las industrias son de diversos tipos, alimentos, confecciones, cuero, madera, papel, productos químicos, caucho, plástico y minerales no metálicos, entre otras. Esta diversidad se traduce en una gran variedad de contaminantes, como carga orgánica, sólidos suspendidos, contaminación biológica, nutrientes como fósforo y nitrógeno, metales pesados y compuestos orgánicos.

Cerca de 156.000 m<sup>3</sup> de aguas residuales se descargan diariamente hacia los ríos tributarios del lago. La gran cantidad de sólidos provenientes de las fuentes puntuales que se descargan hacia los cuerpos de agua, constituye uno de los principales problemas para el embalse. Un indicador de la gran cantidad de sólidos que proceden de las cuencas hidrográficas es el volumen depositado durante el primer año de existencia de este embalse, según DOSNI/INECEL, entre los meses de mayo de 1993 y 1994, se depositaron 560.000 m<sup>3</sup> de sedimentos.

Este fenómeno se evidencia a simple vista observando cómo el tramo inicial del lago en la zona de El Descanso presenta enormes bancos de arena. Conforme vaya reduciéndose el volumen del lago debido a los sedimentos, el tiempo hidráulico de retención también irá disminuyendo, afectando la calidad del agua.

Entre los contaminantes provenientes de las fuentes no puntuales se encuentran principalmente los nutrientes y los sólidos originados en la erosión superficial. Cabe señalar que, debido a la autodepuración natural que tiene lugar en los cursos de agua, sólo una fracción de las cargas contaminantes llega hasta el lago en su forma original. Por este motivo se optó por la medición directa de las concentraciones de ciertos contaminantes en la entrada del lago.

### Estudios en el lago

A pesar de que las causas de la eutrofización casi siempre dependen de factores externos localizados en su área tributaria, las características del lago pueden modificar significativamente los efectos de estos factores. Lagos diferentes, inclusive con la misma carga de nutrientes, pueden responder de manera distinta. Estas diferencias dependen del ciclo interno de los nutrientes y de las propiedades específicas del vaso lacustre, como son la morfología y la hidrodinámica del lago.

Con la finalidad de evaluar estos parámetros, se determinaron las condiciones climáticas en el lago, se realizó un levantamiento batimétrico del vaso del embalse, se calcularon las tasas de flujo y los tiempos de retención y se midieron las variaciones que presentan algunos parámetros de la calidad del agua, tanto longitudinal como verticalmente, en la masa acuífera.

### Morfología del vaso

Para determinar la morfología del vaso del lago y su volumen se efectuó el levantamiento de perfiles perpendiculares a la dirección de la corriente.

A finales del año 1994, el lago contaba con un volumen de 5'554.000 m<sup>3</sup>. Se presume que este volumen se está reduciendo rápidamente debido a la cantidad de sedimentos que ingresan al lago. La longitud aproximada de éste es de 3.400 m y los anchos varían entre 43 m y 400 m.

La forma bastante alargada determina su régimen hidráulico, haciendo que el flujo se asemeje al de tipo "pistón" más que al de tipo "mezcla completa". Esta condición deberá tomarse en cuenta cuando se trate de modelar la hidráulica y la calidad del agua del lago, por cuanto el régimen hidráulico tiene influencia sobre la dispersión y la distribución de las concentraciones de los compuestos presentes en el agua.

El perfil longitudinal del fondo del lago presenta una variación que va desde unos centímetros en su cabeza hasta 20 m cerca del desagüe. Esta configuración da lugar a que al comienzo del mismo se presenten buenas condiciones de mezcla, mientras que al final se produce una estratificación en la masa de agua.

### Tasas de flujo y tiempo de retención

En base a los datos de aportes de agua y al volumen del lago se determinó que el tiempo de retención de éste, calculado en base al caudal

medio anual, es de apenas 1.9 días. Por tratarse de un valor muy bajo, se realizó el cálculo de los tiempos de retención para los caudales medios mensuales.

#### Estudios de estratificación termal

Con el propósito de determinar el comportamiento de la masa de agua del lago, desde el punto de vista de la temperatura, se evaluaron los perfiles verticales de ésta en los tres puntos seleccionados para la extracción de muestras: a la entrada, en la mitad y a la salida del lago. Este trabajo se efectuó bajo diferentes condiciones climáticas, en los meses de junio, julio y septiembre de 1994, y en enero de 1995.

En todos los casos se observó que en el punto de entrada del lago no se produce estratificación termal y existe una buena mezcla en la masa de agua. En los puntos medios y de salida se da siempre un gradiente de temperatura de hasta 2.2 °C/m, cerca del espejo de agua, y se produce una variación termal no muy marcada entre la superficie y el fondo del lago. Como consecuencia de este hecho, no existe una buena mezcla de la masa de agua y se originan variaciones en las concentraciones de otros parámetros de calidad con respecto a la profundidad

#### Parámetros de calidad del agua

Las mediciones de campo y la toma de muestras de agua se realizaron mensualmente, a lo largo del año 1994. En cada ocasión se extrajeron nueve muestras en tres puntos del lago, ubicados en su cabecera, en la parte media y a la salida del mismo. En cada uno de los tres puntos indicados se tomaron tres muestras; en la superficie, a media profundidad y cerca del fondo. Los análisis de laboratorio se hicieron siguiendo los Métodos normalizados (American Public Health Association, 1992). Los parámetros estudiados fueron los siguientes: temperatura, turbiedad, pH, oxígeno disuelto, demandas química y bioquímica de oxígeno, nitrógeno, fósforo, coliformes totales y fecales y sólidos.

Los resultados, con sus comentarios respectivos, se presentan a continuación, poniendo especial énfasis en aquellos parámetros asociados con los criterios de calidad establecidos en el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en lo Relativo al Recurso Agua (Registro Oficial N 204, 1989).

### Oxígeno Disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno

El oxígeno disuelto se presenta en condiciones aceptables, esto es, sobre los 4 mg/l en el inicio del lago, sin embargo, en los otros puntos la concentración de oxígeno disuelto baja gradualmente conforme aumenta la profundidad de la masa de agua, hasta llegar a condiciones anóxicas, como se detectó en el punto medio del lago durante el trabajo efectuado en el mes de septiembre. Esta condición se estima normal, debido a la reaeración superficial que se produce en todo el cuerpo de agua que se encuentra en contacto con la atmósfera y a la carencia de mezcla de la masa de agua que se produce por la estratificación termal.

El valor máximo de Demanda Bioquímica de Oxígeno fue alrededor de 8.3 mg/l, en la campaña de diciembre, en el punto de entrada. Existe una remoción de la DBO<sub>5</sub> a lo largo del lago, debido a que éste actúa como una laguna de estabilización aerobia.

### Nitrógeno y Fósforo

En lo que respecta a las diferentes formas del nitrógeno, se determinaron las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, amoniacal, orgánico, nitritos y nitratos. En todos los casos se obtuvieron concentraciones altas de éste; la de nitrógeno total está sobre los 0.20 mg/l.

La concentración de fósforo generalmente no supera el valor de 1.5 mg/l.

El nitrógeno y el fósforo no provienen solamente de las descargas de aguas servidas provenientes de las ciudades, sino también de actividades agrícolas que utilizan abonos nitrogenados y fosfatados en toda la cuenca aportante.

### Sólidos

La presencia de sólidos flotantes es el impacto visual más destacado en el lago La Josefina, como consecuencia de la deficiente recolección de basura en las ciudades de Cuenca y Azogues. Este hecho afecta seriamente la estética de la masa de agua.

Existe una mayor concentración de sólidos totales en la entrada del lago y por procesos de sedimentación se reducen a lo largo del mismo.

### Coliformes

Los coliformes fecales y totales presentan concentraciones muy elevadas, los valores se encuentran muy por encima de los límites de calidad

fijados para consumo humano y para riego. (Registro Oficial N 204, 1989)

Un fenómeno que merece recalcar es la mortalidad bacteriana que se produce en el lago. Las altas concentraciones de  $3.5E+05$  y  $1.6E+05$  (NMP/100ml), determinadas para los coliformes fecales y totales en la cabecera del lago, se reducen significativamente a  $1.7E+04$  y  $1.1E+04$  (NMP/100ml) a la salida del mismo, esto debido principalmente a que el lago actúa como una laguna de oxidación primaria.

#### Aceites y grasas

Un valor máximo de 627 mg/l, registrado en el mes de abril de 1994, demuestra que aún continúan en el lago restos de los hidrocarburos derramados como consecuencia del deslave y también como producto de la actividad industrial que descarga sus efluentes en los ríos aportantes al embalse. Aún más, valores promedio superiores a 100 mg/l son demasiado altos para un cuerpo superficial en donde deben estar prácticamente ausentes.

#### Especies acuáticas

Personal docente y estudiantes de la Escuela de Biología de la Universidad del Azuay, realizaron cuatro visitas al lago con el propósito de efectuar mediciones y extraer muestras para ser analizadas en laboratorio. Estas visitas tuvieron lugar en los meses de junio, julio y septiembre de 1994 y enero de 1995 (Turcotte et al. 1995).

Del reporte de resultados se desprende que el zooplancton es prácticamente inexistente en el lago La Josefina. En la campaña del mes de enero de 1995 se encontraron únicamente dos individuos de *Oligochaeta*, número inferior a los encontrados anteriormente. Esto se debe a que el caudal que fluye a través del lago es mucho menor y la turbulencia no es lo suficientemente alta como para arrastrar a estos organismos bentónicos.

En cuanto a los estudios del fitoplancton, se registró la predominancia de algas de la familia *Chroococcaceae* en todas las campañas realizadas. También fue notoria la presencia de la familia *Diatomaceae*. Durante el periodo total de los estudios se observaron variaciones en sus números, probablemente a causa de la inestabilidad de este ecosistema de reciente formación.



En los bentos del centro del lago existe un importante predominio de Oligochaeta sobre Chironomidae, únicos grupos encontrados. En los bentos de las orillas a la altura del centro del lago se encontró la clase bivalva del Phylum Mollusca. En su cabecera se detectó la dominancia de Chironomidae. Los macroinvertebrados registrados de las clases Oligoqueta, Gastrópoda y Bivalva son característicos de ecosistemas contaminados con materia orgánica.

No se registraron anfibios en las orillas del lago, presumiblemente por las características del terreno o la acumulación de desechos sólidos que han impedido la colonización por parte de este grupo zoológico.

En una sola ocasión se pudo observar, cerca del desagüe del lago, la presencia de un grupo de patos silvestres, coincidiendo con la presencia de macrófitos flotantes.

No se detectó la presencia de peces. La pequeña población de algas y la ausencia de zooplancton, que constituye la alimentación de los peces, hace imposible su presencia en este ecosistema. La especie típica de la región, la trucha arcoiris, no habita en este ecosistema debido a las concentraciones de sólidos en suspensión y a la contaminación química por nitritos, fósforo y amoníaco.

### Estado trófico

El estado trófico es uno de los aspectos fundamentales que deben considerarse en un lago para establecer la calidad del agua. En la bibliografía existen algunos modelos que permiten establecer el estado trófico de un embalse, pero casi en su totalidad han sido desarrollados para zonas templadas, sin que sean aplicables para el presente caso.

Un modelo que podría emplearse es el desarrollado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (CEPIS, 1990), formulado para lagos tropicales. Se definen como tales los que presentan una temperatura del agua mínima de 10°C, durante condiciones normales, y un promedio anual mínimo de 15°C. Desde este punto de vista, el lago La Josefina puede clasificarse como un lago cálido tropical.

Sin embargo, por la baja concentración de Clorofila (0.8 - 1.6 mg/m<sup>3</sup>), por el tiempo de retención hidráulico corto, que no permite el florecimiento del fitoplancton, y por la alta concentración de sólidos suspendidos, que impiden la penetración de la luz solar, no es posible aplicar ninguno de los modelos matemáticos existentes para predecir el estado trófico futuro del lago.

## RESUMIENDO

No se dispone de un registro de usuarios del agua del río Paute. La única información que se obtuvo es que el agua que se utilizaba antes de la formación del embalse era tomada a través de dos canales de riego, los cuales se inician aproximadamente 1 km aguas abajo del dique de La Josefina.

De acuerdo con los criterios de calidad del agua, establecidos para los usos identificados en el tramo de interés aguas abajo de La Josefina, así como el rango de los valores medidos para cada uno de los parámetros en el punto de extracción de las muestras, localizado en la superficie del agua, cerca del canal de desagüe, se puede concluir lo siguiente:

- La Josefina es un lago joven que acaba de formarse, como consecuencia existe un gran cantidad de materia orgánica en proceso de descomposición que afecta la calidad del agua.
- El agua que sale del embalse y corre por el río Paute no es apta para consumo humano, agrícola ni pecuario. Debido a las altas concentraciones de bacterias coliformes, tanto fecales como totales, y a la presencia de materia flotante, como grasas y aceites.

Esta situación se torna muy preocupante ahora que está en marcha la rehabilitación de los dos canales de riego antes citados, desde los cuales se toma el agua para consumo humano con el consiguiente peligro para la salud.

- Apenas el 16% de la superficie del área tributaria del lago está compuesto por bosques y matorrales, el resto de la superficie está destinada a actividades agrícolas y pecuarias, dando como resultado un gran aporte de nutrientes y contaminantes que contribuyen a deteriorar la calidad del agua del lago.
- Los sedimentos acarreados por los ríos afluentes se están depositando en el vaso del lago, reduciendo gradualmente su volumen, su tiempo de retención hidráulica y afectando la calidad del agua.
- Las altas concentraciones de nitrógeno y fósforo harían suponer una alta productividad del lago (proliferación de algas), sin embargo, este fenómeno no se observa debido a los tiempos de retención muy cortos.
- La única forma de minimizar los efectos contaminantes de las aguas

del lago es teniendo un manejo técnico de toda la cuenca, controlando las descargas de aguas residuales industriales y domésticas a los ríos aportantes al lago.

- Aprovechando la vocación turística de los habitantes del Austro, inicialmente se pensó en convertir al lago en un sitio de recreación, sin embargo, los resultados del estudio de la calidad del agua demostraron que no es conveniente ni siquiera para estos fines.

### PARA CONCLUIR

El lago existe. Pero, más allá de reforzar el concepto de que un manejo adecuado de la cuenca es la única solución para mejorar sus condiciones actuales, hacemos incapié en que este lago se ha convertido en un desastre por la degradación de la que es objeto el agua de la cuenca del río Paute. Si las aguas negras de las ciudades Cuenca y Azogues, de sus áreas periurbanas, de los parques industriales y de los pueblos aledaños, hubieran mantenido mínimos estándares de calidad, su acumulación no hubiera generado el desastre que se vive ahora: aguas nocivas para el consumo humano, de pésimos olores, cubiertas de algas, que están siendo utilizadas directamente desde el lago para uso doméstico y que, aguas abajo, son utilizadas para el consumo directo y para el riego.

La información técnica aquí presentada es justificación suficiente para atacar las causas del problema: degradación ambiental aguas arriba.

### NOTAS

- 1 La cotización del dólar al momento del desastre era de 2000 sucres por dólar según datos del Banco Central del Ecuador.

### BIBLIOGRAFIA

- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 1992. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Lavel, S.A. Madrid.
- CEPIS/HPE/OPS. 1990. Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutroficación en Lagos Cálidos Tropicales. CEPIS. Lima.

- CREA (Centro de Reconversión Económica de Azuay, Cañar y Morona Santiago) y UNIVERSIDAD DE CUENCA. 1993. Evaluación preliminar del represamiento y desfogue del río Cuenca. Cuenca. 43 p.
- CRUZ, M. 1993. Evaluación de daños. Defensa Civil. Coloquio Científico El Deslizamiento La Josefina, EPN. Quito. 21 al 23 de julio.
- DOSNI / INECEL, 1994. Comunicación personal.
- ETAPA (Empresa Pública Municipal de Teléfonos, Agua Potable y Alcantarillado de Cuenca). 1985. Planes Maestros de Agua Potable y Alcantarillado del Área Metropolitana de la Ciudad de Cuenca. Diagnóstico y factibilidad. Impresión Cía. Ltda. Cuenca.
- Registro Oficial N° 204, Junio 5 de 1989. Reglamento Para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo Relativo al Recurso Agua.
- TURCOTTE, P., ZÁRATE, E., ARIAS, E., FREIRE, M. y BLACK, I. 1995. Universidad del Azuay. Informes del Estudio Biológico del Lago La Josefina.