

# REMEDIACIÓN DE LOS IMPACTOS CAUSADOS POR EL DERRAME DE PETRÓLEO EN LA LAGUNA DE PAPALLACTA EN ECUADOR-SUR AMERICA<sup>1</sup>

TIEMPO DE EJECUCIÓN: NOVIEMBRE 2003-MAYO 2004

Iván A. Aveiga del Pino<sup>1,2</sup>, Luis Cabrera<sup>2</sup>, Iván Tapia<sup>2</sup>, Patricio Ponce<sup>2</sup>

## RESUMEN

Se limpió y remedió un área afectada aproximada de 7,2 ha (hectáreas) por un derrame con 22000 barriles de petróleo en la Laguna de Papallacta, producto de la rotura del oleoducto trans-ecuatoriano. Se descontaminaron riberas, sedimento, agua de ríos y de la Laguna de Papallacta. Los hidrocarburos presentes en el agua fueron extraídos por *skimming*, adsorción, absorción y filtrado. Los sedimentos contaminados del fondo de la laguna, fueron extraídos por succión, deshidratados y transportados a estaciones de *landfarming* para su biorremediación utilizando microorganismos endémicos. Los análisis iniciales de concentración de hidrocarburos totales en las riberas de los ríos y de la laguna oscilaban entre 40245 y 85879 miligramos/Litro (mg/L)<sup>MM1</sup>, 4500 mg/Kg en los sedimentos del fondo de la laguna y 89 mg/L en el agua de la laguna.

Los trabajos de remediación se subdividieron por conveniencia logística en 5 tramos. La limpieza y remediación incluyó el lecho de los ríos, rocas, riberas de la Laguna de Papallacta, material vegetal y agua contaminada.

La remediación redujo los niveles de hidrocarburos de petróleo en los suelos a menos de 1000 mg/L, en sedimentos de la laguna por debajo de 500 mg/L y en el agua de la laguna por debajo de 0,5 mg/L. Los valores de los hidrocarburos policíclicos aromáticos en agua y sedimento de la laguna alcanzaron valores menores a 1 mg/Kg-L<sup>MM2</sup>. Todos estos valores son los establecidos como límites permisibles para ecosistemas sensibles y agua para consumo humano. La recuperación del ecosistema, además, se estableció por la presencia de invertebrados bénticos en la laguna, que al inicio de la limpieza estaban ausentes. Entre los grupos registrados se incluyen bivalvos, caracoles, nemátodos y larvas de insectos.

La remediación se realizó sin utilizar productos químicos o biológicos en los procesos de limpieza en el área del derrame en la laguna.

## DISCUSIÓN

La Laguna de Papallacta está ubicada en la provincia del Napo, a unos 70 Km al Nororiente de la ciudad de Quito, sobre un valle glaciar entre los paralelos 00°22' 30.7" y 00°22' 56.2" de latitud sur y entre los meridianos 78°09' 17.4" y 78°10' 01.7" de longitud occidental, a una altura promedio de 3354 m sobre el nivel del mar. Está localizada en la Reserva Ecológica Cayambe-Coca y es

fuerza alterna de agua potable para Quito, capital de la República del Ecuador. La laguna se alimenta principalmente de los Ríos Sucus y Tambo, cuyas aguas están formadas por las corrientes naturales que bajan de las montañas que la rodean. El espejo de agua de la laguna tiene un área media aproximada de 35 ha, con una superficie en estiaje de alrededor de 31 ha y una superficie en la época lluviosa de 44 ha.

El 8 de abril del 2003 se produjo una rotura en la tubería del Sistema de Oleoducto Trans-Ecuatoriano (SOTE) en el Km 197 +181 (N9959600 y E812830) aproximadamente a 4 km. de la Laguna de Papallacta, en una zona de laderas y pendientes pronunciadas, con vegetación herbácea y arbustiva característica de los páramos andinos. El volumen de 22000 barriles de petróleo contaminó los ríos Sucus, Cachilarca y Tambo y la Laguna de Papallacta. La mayoría del petróleo fue recuperado por PETRO-ECUADOR, la empresa estatal.

La contaminación del agua de la laguna produjo varios procesos. Al inicio del derrame se formaron dos fases, la de agua y la del petróleo, con una pequeña fracción de hidrocarburos disueltos en el agua. Posteriormente, continuaron los flujos de hidrocarburos desde el sitio del derrame por los ríos Sucus y Tambo que desembocan en la laguna. Al inicio del derrame se formó una capa irregular de petróleo de 0,1cm hasta 70 cm de espesor que no se diseminó y se acumuló en una área aproximada de 6,5 ha de la laguna (Figura 1). El petróleo remanente en la laguna, que no pudo ser recuperado, se semi-oxidó por efecto de las condiciones medioambientales y se precipitó.<sup>MM3</sup>

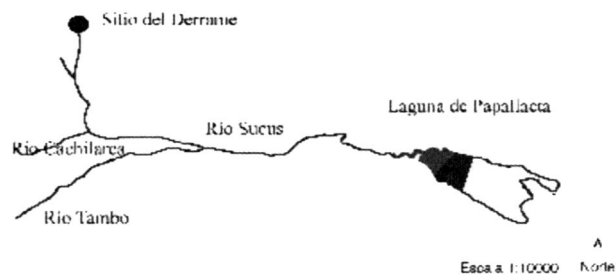


FIGURA 1. MAPA DE LA LAGUNA DE PAPALLACTA QUE MUESTRA LOS RÍOS AFLUENTES Y LAS ZONAS AFECTADAS POR EL DERRAME DE PETRÓLEO. LA ZONA PUNTEADA MUESTRA EL ÁREA MAYORMENTE

<sup>1</sup> ECUAVITAL—Av. Naciones Unidas y República El Salvador. Edificio Citiplaza, Oficina 702. Quito-Ecuador.

<sup>2</sup> BIOX—Av. Naciones Unidas y República El Salvador. Edificio Citiplaza, Oficina 702. Quito-Ecuador.

CONTAMINADA Y LA AZUL EN MENOR INTENSIDAD.<sup>MM9</sup>

Ecuavital S.A. fue designada por empresa estatal ecuatoriana de petróleos PETROECUADOR para realizar los trabajos de remediación que empezaron el 6 de noviembre del 2003 y concluyeron el 4 de mayo del 2004. Cabe indicar que hubo un intento de encapsular el petróleo por parte de otra empresa.

Los análisis iniciales de concentración de hidrocarburos totales en los tramos y en las riberas oscilaban entre 40245 y 85879 mg/L, 4500 mg/L en los sedimentos del fondo de la laguna y 89 mg/L en el agua de la laguna.

## METODOLOGÍA

### Suelos

Se descontaminaron las siguientes zonas:

1. La zona circundante a la ruptura de oleoducto (Km 197 + 181)
- 2) Los cauces, riberas y lechos de los ríos Sucus, Tambo y Cachilarca, hasta la desembocadura en la Laguna de Papallacta.
3. Las riberas de la Laguna de Papallacta y los sedimentos contaminados del lecho.

El material contaminado fue extraído manual y mecánicamente, acopiado, estabilizado, aislado y transportado hacia las unidades de tratamiento biológico, en una zona no sensible y alejada de la laguna. Las unidades de transporte fueron recubiertas con geomembrana S- 500 para evitar la fuga de lixiviados.

### Vegetación

La vegetación impregnada con más del 60% con petróleo fue extraída e incinerada en una zona ubicada a 60 Km de Papallacta. El proceso fue certificado por la empresa a cargo y fiscalizado por PETROECUADOR, para que se cumplan las normas establecidas. La vegetación impregnada con menos del 60% de petróleo fue pulverizada e introducida en las unidades de tratamiento biológico para su integración al sistema degradativo y oxidativo bacteriano. En las plataformas de landfarming se inocularon bacterias endémicas, nutrientes y polímeros vegetales.

### Riberas y Lechos de Ríos

Para limpiar el material rocoso de las riberas contaminadas que no podía ser removido de los ríos Sucus, Cachilarca y Tambo se utilizó agua a 140(C con bombas de presión (200 psi). Para remover el petróleo en los lechos de los ríos se usó presión de agua (150 psi) a temperatura ambiente para que el hidrocarburo se desorbiera a la superficie donde fue recuperado. En casos de impregnación aguda de petróleo en material pétreo, se lavó utilizando compuestos terpénicos en un sistema cerrado (Proceso Industrial Protegido).

### Tratamiento del Agua de Ríos

Para la descontaminación de las aguas de los ríos Sucus, Cachilarca y Tambo se utilizaron dos procesos simultáneos: 1) Contención (recuperación) y 2) Filtrado. Cada 200 metros, aproximadamente, se instalaron barreras estáticas con núcleos de material oleofílico natural y detrás de éstas, barreras de plástico de 45 cm de alto. Esta metodología permitió aumentar el tiempo de permanencia del contaminante en el núcleo oleofílico para captar y recuperar el petróleo y evitó que los hidrocarburos producto de la remoción mecánica pudieran eluir por el cauce

del río hacia la laguna. Además, luego de las barreras se instalaron sistemas de filtrado con unidades oleofílicas de material vegetal (celulosa) para atrapar los hidrocarburos que podrían escapar de las barreras.

Para garantizar el proceso de limpieza, inmediatamente luego de las barreras se instalaron módulos de filtrado por adsorción con capacidad para atrapar en su superficie hasta 100 ppm. de hidrocarburos (película tornasol sobre el agua), para atrapar las trazas de hidrocarburos remanentes que podrían escapar de las barreras, asegurando de esta forma la calidad del tratamiento del agua de los ríos Sucus, Cachilarca y Tambo, hasta su desembocadura en la Laguna de Papallacta.

### Tratamiento del Agua de la Laguna

Se diseñaron unidades de adsorción superficial por contacto para atrapar los hidrocarburos presentes en la superficie del agua. Además se utilizaron filtros tipo "T" que tienen material poroso para remover los hidrocarburos. Estos filtros fueron conectados a dos skimmers de tornillo (Termita) y a dos skimmers Minimax con dos bombas de diafragma con un flujo de 30 m<sup>3</sup>/hora. Adicionalmente, se usaron filtros tipo I, similares a los filtros "T". Estos se instalaron longitudinalmente en la ribera de la laguna. Estos filtros fueron conectados a dos Skimmers Minimax con bombas de diafragma, con un caudal de 32 m<sup>3</sup>/hora.

### Análisis de Muestras

Las muestras fueron tomadas y analizadas por un laboratorio independiente calificado por PETROECUADOR. Los análisis de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) en suelos fueron realizados utilizando la metodología EPA 8440, y para agua la metodología EPA 418.1. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) se analizaron con la metodología EPA 550.1 para agua y por CLAR (Cromatografía Líquida de Alta Resolución) con fluorescencia para suelos.

### Monitoreo Biológico

Desde el inicio de las actividades de limpieza, se realizaron muestreos mensuales, del lecho de la laguna para registrar la recuperación de la fauna béntica.

## RESULTADOS

Los análisis de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) del agua de los ríos y de los suelos adyacentes mostraron un decrecimiento, conforme avanzaban los trabajos de limpieza y remediación. Las mediciones de los hidrocarburos totales de petróleo (HTP) en el agua de los ríos se redujeron de 934 y 1532 mg/L<sup>MM4</sup>, luego de la remoción de los sedimentos y la desorción de los hidrocarburos (30 de noviembre y 4 diciembre), hasta 0.02 y 0.01 mg/L en dos sitios de muestreo (Figura 2). Un tercer sitio de muestreo, luego de la remediación, registró valores menores a 10,4 mg/L. La cantidad de hidrocarburos (HTP) en los suelos se redujeron de 34321<sup>MM5</sup> a 89 mg/Kg (Figura 3). Estos resultados indican una reducción bajo los límites permisibles luego de seis meses de iniciadas las operaciones de limpieza con muestras tomadas en varios sitios (Figura 4). Los valores permitidos estuvieron acordes al Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarbúferas en el Ecuador (RAOHE) y al Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS).

Los valores de los HTP registrados inicialmente en el agua de la Laguna de Papallacta (6451 mg/L) y en el sedimento (6445 mg/L)<sup>MM6</sup> se redujeron al empezar la limpieza, sin embargo existe un incremento que es mayor en los sedimentos al realizar su desorción (Figura 5). Al concluir la limpieza, los valores de

los HTP fueron menores a lo establecido por las normas, <1000 mg/Kg er. suelos y <0.5 mg/L en agua (Figura 6).

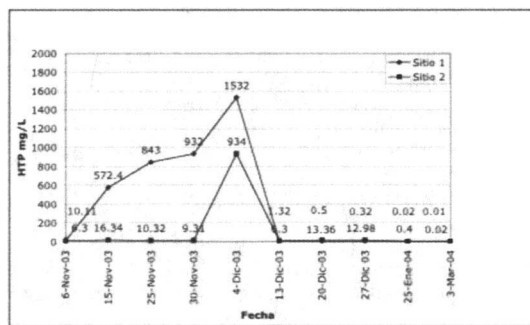


FIGURA 2. HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO (HTP) EN EL AGUA DE LOS RÍOS AFLUENTES DE LA LAGUNA DE PAPALLACTA DE DOS SITIOS DE MUESTREO. EXISTE UN INCREMENTO (NOV. Y DIC.) DEBIDO A LOS PROCESOS DE REMOCIÓN DE HIDROCARBUROS PRECIPITADOS. LA CANTIDAD DE HIDROCARBUROS CUMPLE CON LA NORMA REQUERIDA. LOS VALORES EN LA PRIMERA FILA CORRESPONDEN AL SITIO 1.

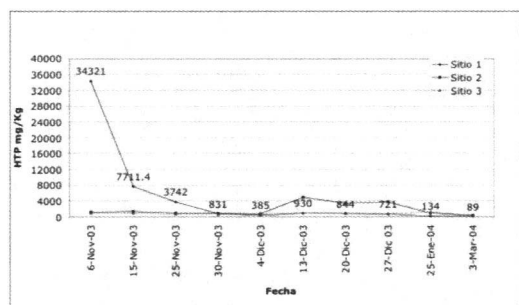


FIGURA 3. HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO (HTP) EN LOS SUELOS ADYACENTES A LOS RÍOS AFLUENTES DE LA LAGUNA DE PAPALLACTA DE TRES SITIOS DE MUESTREO. LOS VALORES DE LOS SITIOS 2 Y 3 SON BAJOS Y ALCANZARON PARÁMETROS QUE CUMPLIERON CON LA NORMA.

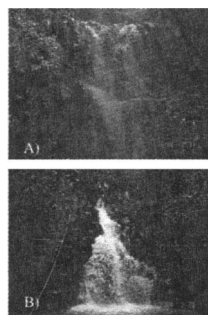


FIGURA 4. CASCADA EN EL RÍO SUCUS, CONTAMINADA (A) Y DESPUÉS DE LA REMEDIACIÓN (B).

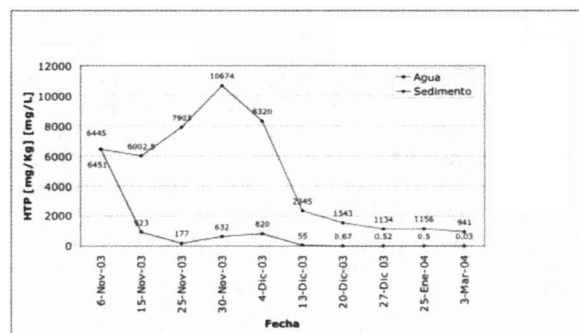


FIGURA 5. HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO (HTP) EN AGUA Y SEDIMENTO DE LA LAGUNA DE PAPALLACTA. EXISTE UN INCREMENTO (NOV. Y DIC.) DEBIDO A LOS PROCESOS DE REMOCIÓN DE HIDROCARBUROS PRECIPITADOS. LA CANTIDAD DE HIDROCARBUROS AL FINAL DE LA REMEDIACIÓN CUMPLIERON CON LA NORMA REQUERIDA.

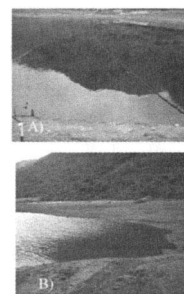


FIGURA 6. LAGUNA DE PAPALLACTA CONTAMINADA (A) Y DESPUÉS DE LA REMEDIACIÓN (B).

La cantidad de los HAPs registrados en agua y en el sedimento de la laguna al finalizar los trabajos de limpieza fue de <0,1 microgramos/Litro ((g/L) para el agua y <0.5 (g/Kg para sedimento. Estas cantidades están bajo la norma establecida que es de 0.3 (g/L para el agua y 0.1 miligramos/Kilogramo (mg/Kg) para suelos (RAOHE y TULAS).

La cantidad de hidrocarburos en las plataformas de tratamiento biológico registrada al inicio fue de hasta 17778 mg/Kg<sup>MM7</sup> en los suelos y sedimentos contaminados provenientes de los ríos y de la laguna. Luego de seis meses de aplicación de los procesos de biorremediación se obtuvieron valores de hasta 890 mg/Kg, cumpliendo con la norma establecida que es de 2500 mg/Kg<sup>MM8</sup>.

El monitoreo biológico realizado en la laguna, desde el inicio de las actividades de limpieza y biorremediación, mostraron una recuperación de las comunidades de invertebrados que al inicio estaban ausentes. Entre los organismos registrados desde el cuarto mes de limpieza estuvieron presentes gusanos nemátodos (Nematoda), caracoles (Gasteropoda), conchas bivalvas (Bivalva) y larvas de moscas (Diptera).

REFERENCIAS

Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador. Decreto No. 1215, publicado en el Registro Oficial No. 265 de 13 de Febrero de 2001.

Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria. Decreto Ejecutivo 3399, publicado en el Registro Oficial No.725 del 16 de Diciembre de 2002.

**BIOGRAFÍA**

Iván A. Aveiga del Pino nació en Latacunga en el año 1966. I. A. Aveiga es biólogo molecular, ha trabajado como investigador y profesor en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y en la Universidad San Francisco de Quito, Ecuador. Actualmente es miembro de dos compañías, Ecuavital y Biox, dedicadas a la investigación, limpieza y remediación de aguas y suelos contaminados con hidrocarburos. Aveiga tiene 8 años de experiencia en trabajo de campo y laboratorio y posee la propiedad intelectual bajo la figura de información no divulgada de procesos y productos relacionados con su trabajo.

**ENDNOTES**

- <sup>1</sup> El uso de nombres comerciales, firmas, o corporaciones en esta publicación son para información y conveniencia del lector. Su uso no constituye un endoso oficial o aprobación de Ecuavital de ningún producto o servicio para excluir otros que pueden ser apropiados.
- MM1 Ver cifras significativas
- MM2 1 mg/mL es excesivamente alto. Chequear valor.
- MM3 Ver comentarios realizado al primer borrador
- MM4 Ver cifras significativas
- MM5 Ver cifras significativas
- MM6 Ver cifras significativas
- MM7 Ver cifras significativas
- MM8 2500 mg/Kg es el límite para plataformas de tratamiento biológico y 1000 mg/Kg en sedimentos naturales?
- MM9 Los Proceedings son en blanco y negro. Marcar la diferente intensidad de contaminación de otra manera (es decir, no en colores)