

BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

Curci, E. °; Calleja, C.*; Videla, S. ¢ Gálvez, J. ¤ Ercoli, E. ¢

° U.E. Mendoza, YPF S.A.

* U.E. Loma La Lata, Neuquén, YPF S.A.

¤ Laboratorio de Bioprocesos. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo Argentina

RESUMEN

El presente trabajo describe el tratamiento de barros, lodos y sedimentos empetrolados mediante la técnica de landfarming. El proceso fue iniciado en agosto del 97. El área destinada se ubica al NO del Yacimiento Barrancas, Unidad Económica Mendoza, YPF S.A. El lugar elegido no se había utilizado previamente para tratar residuos operativos. Este trabajo es parte de un procedimiento dentro de un programa integral para el tratamiento de residuos en el yacimiento. Por la magnitud del volumen de los residuos tratados no puede considerarse como un piloto sino que nuestra escala de trabajo es suficiente para evaluar en condiciones de campo las características edafoclimáticas correspondientes al tratamiento de residuos generados en el yacimiento.

Para realizar el tratamiento se construyó una pileta de 80 x 26 x 1,20 metros que fue impermeabilizada con una geomembrana tricapa etil-vinil-acetato. Se tendió una línea de agua para proveer riego. Para facilitar el proceso degradativo se realizaron remociones periódicas con un tractor, lo que permitió una adecuada homogeneización y aireación. En forma mensual se controlaron los parámetros críticos que favorecen la degradación de los hidrocarburos, es decir, humedad del terreno, evolución de los nutrientes y pH del suelo. Se hizo un seguimiento de la relación C/N/P y en función de ello se dosificó el fertilizante. El avance del proceso fue medido por determinaciones analíticas de hidrocarburos totales, fósforo, nitrógeno y recuento de microorganismos aeróbicos degradadores de hidrocarburos. Complementariamente se realizaron controles de metales pesados. El ciclo degradativo se inició con una carga aproximada de 20 % de hidrocarburos y se realizó la recarga cuando la concentración de hidrocarburos alcanzó un nivel de concentración de 4 a 5 %.

INTRODUCCIÓN

A principios de 1997 en la *Unidad Económica Mendoza* de YPF S.A. se decidió encarar una política de tratamiento de residuos originados por la explotación petrolera en el *Yacimiento Barrancas* ubicado en la Provincia de Mendoza. Estos residuos están compuestos por barros, lodos y sedimentos empetrolados provenientes de la limpieza de tanques y suelos contaminados por derrames. Ante las distintas alternativas técnicas de tratamiento de residuos se eligió el procedimiento de tratamiento biológico en suelo, técnica comúnmente conocida como *landfarming*. La elección se debió a que la biorremediación presenta una serie de ventajas respecto a otras posibilidades de tratamiento. En primer lugar, si la técnica es aplicada correctamente, los residuos tratados por este método una vez degradados no originan productos riesgosos. También es importante destacar que una vez realizada la inversión inicial (preparación del área de tratamiento, acondicionamiento del terreno, colocación de la membrana impermeable y obras de ingeniería como cercado y preparación del sistema de riego) tiene un muy bajo costo operativo. Esta técnica es útil para el tratamiento de grandes volúmenes de suelo con concentraciones variables de hidrocarburos.

DESARROLLO

Procedimiento de campo

Para llevar a cabo este proyecto se procedió del siguiente modo:

- Selección del área de tratamiento: el área destinada se ubica en cercanías del pozo Barrancas 402, al NO del Yacimiento Barrancas, Unidad Económica Mendoza YPF S.A. El lugar elegido no se había utilizado previamente para tratar residuos operativos.
- Construcción de bordos perimetrales de contención cuyo objeto es evitar el ingreso de agua de origen pluvial o aluvial a la parcela de tratamiento e impedir el arrastre de suelo con hidrocarburos hacia otra zona.

- Delimitación del área de tratamiento con un alambrado de 1.4 m de altura para demarcar y evitar el ingreso de animales.
- Construcción de dos parcelas, una de 60 metros de largo por 26 m de ancho para realizar el tratamiento y otra de acopio del material contaminado de 20 m de largo por 26 de ancho.
- Impermeabilización de las dos parcelas utilizando membrana tricapa de etil-vinil-acetato de 750 μm de espesor, asentada sobre el suelo compactado recubierto con una capa de arcilla de 10 cm de espesor.
- Construcción del sistema de riego por aspersión.



Figura 1. Perimetrado del área de tratamiento.



Figura 2. Traslado de suelo no contaminado para el armado de la base de la parcela



Figura 3. Impermeabilización del sector de tratamiento



Figura 4. Construcción del sistema de riego.



Figura 5. Vista del sector de tratamiento

Control de parámetros técnicos

Riego

El riego se realizó mediante un sistema de aspersión. Durante los meses de Setiembre, Octubre y Noviembre se regó dos veces al día. En los meses de Enero, Febrero, Marzo y Abril no fue necesario el aporte de agua pues se produjeron lluvias intensas poco frecuentes en la zona. Durante los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto se regó dos veces al mes en coincidencia con las fechas de remoción por arado. Desde el mes de Setiembre el riego se mantuvo en forma semanal.

Fertilización

Durante el período de tratamiento consignado se incorporó fosfato diamónico (como fertilizante de uso agrícola) en dos etapas: la primera al comenzar la biodegradación, en donde se incorporaron 150 kg y luego en febrero de 1998 cuando la concentración de fósforo llegó al valor mínimo de 10 ppm.

Remoción por arado

La labranza periódica por medio del arado asegura en el suelo el mantenimiento de la cantidad de Oxígeno apropiada. En nuestro caso el arado se realizó en forma quincenal, con arado de rejas a una profundidad de 30 cm.

Toma de Muestras

Se extrajeron muestras mensualmente siguiendo un diseño estadístico que garantizara la representatividad de las mismas. El método utilizado está recomendado por CONCAWE report N° 3/80.

Resultados

El seguimiento del proceso se llevó a cabo midiendo en forma mensual concentración de hidrocarburos totales, fósforo, nitrógeno y cationes pesados. Además se realizó recuento de microorganismos aeróbicos degradadores de hidrocarburos.

Evolución de la concentración de Hidrocarburos Totales

Se determinó gravimétricamente luego de extracciones sucesivas con cloroformo-etanol-hexano.

Como puede observarse en la tabla 1, el tratamiento comienza con una disminución importante en la concentración de hidrocarburos del 25 % durante los tres primeros meses. Luego el proceso experimenta

una atenuación durante los meses de Enero, Febrero y Marzo, lo que se atribuye principalmente a las lluvias abundantes que se sucedieron en estos meses y que generaron zonas anaeróbicas en la celda de tratamiento, muy perjudiciales para la marcha del proceso biodegradativo. Es de destacar que las lluvias no son frecuentes en la zona por lo cual los drenajes diseñados no resultaron suficientes. Posteriormente, entre los meses de Junio y Setiembre, se produce otra meseta, esta vez atribuible a las bajas temperaturas del invierno. No obstante estos inconvenientes, la degradación global obtenida durante el período de tratamiento en estudio fue del 77 %, lo cual constituye un valor satisfactorio desde el punto de vista técnico.

Fecha de toma de muestras	Concentración de Hidrocarburos g/kg
23/09/97	200
02/10/97	196
02/11/97	174
29/12/97	150
29/01/98	144
03/03/98	141
23/04/98	121
05/06/98	101
02/07/98	83
04/08/98	80
05/09/98	85
03/10/98	70
10/11/98	53
20/12/98	49

Tabla 1. Evolución de la concentración de hidrocarburos en suelo.

Evolución de la concentración de Nitrógeno Total

La determinación de Nitrógeno se realizó de acuerdo a la técnica Kjeldhal

Fecha de toma de muestras	Concentración de Nitrógeno Total mg/kg
23/09/97	1896
02/10/97	s/d
02/11/97	s/d
29/12/97	s/d
29/01/98	1077
03/03/98	1370
23/04/98	s/d
05/06/98	904
02/07/98	402
04/08/98	603
05/09/98	603
03/10/98	603
10/11/98	603
20/12/98	904

Tabla 2. Evolución de la concentración de Nitrógeno Total.

La concentración de nitrógeno al inicio del proceso fue muy alta y disminuyó como consecuencia de la actividad microbiana con algunas fluctuaciones pero manteniendo una tendencia decreciente (figura 6).

Evolución de la concentración de Fósforo disponible

El fósforo disponible se determinó mediante digestión con Dióxido de Carbono según el método Arizona y posterior determinación del fosfato de acuerdo a la Norma Standard Methods 4500 P (17^{ma} edición).

Fecha de toma de muestras	Concentración de Fósforo mg/kg
23/09/97	8
02/10/97	14
02/11/97	30
29/12/97	18
29/01/98	10
03/03/98	11
23/04/98	15
05/06/98	37
02/07/98	37
04/08/98	34
05/09/98	37
03/10/98	20
10/11/98	12
20/12/98	11

Tabla 3. Evolución de la concentración de Fósforo.

Según se observa en la tabla 3, la concentración de fósforo inicial fue baja por lo cual se suplementó con fosfato diamónico, luego sufrió un proceso de liberación lenta hasta tomar el valor más alto de 30 ppm cayendo nuevamente en el mes de febrero. Se fertilizó en el mes de marzo (figura 7).

Evolución de la concentración de Metales Pesados

Se realizó un proceso de lixiviación según la técnica EPA 1310 (Extraction Procedure -EPA-Toxicity Test Method and Structural Integrity Test). Sobre el lixiviado se determinaron metales pesados según:

Cadmio (A. Atómica-EPA 7130), Cromo (A. Atómica-EPA 7190), Cobre (A. Atómica-EPA 7210), Plomo (A. Atómica-EPA 7420), Mercurio (A. Atómica vapor frío-EPA 7471 A), Níquel (A. Atómica-EPA 7520), Cinc (A. Atómica-EPA 7950), Arsénico (espectrofotometría visible), Plata (A. Atómica-EPA 7760)

Fecha	Pb (mg/l)	Cu (mg/l)	Cd (mg/l)	Ni (mg/l)	Cr (mg/l)	Zn (mg/l)	Ag (mg/l)	As (μg/l)	Hg (μg/l)
23/09/97	< 0,3	< 0,2	< 0,05	< 0,5	< 0,2	0,2	< 0,2	< 50	< 10
29/01/98	< 0,3	< 0,2	< 0,05	< 0,5	< 0,2	0,2	< 0,2	< 50	< 10
05/06/98	< 0,3	< 0,2	< 0,05	< 0,5	< 0,2	0,2	< 0,2	< 50	< 10
03/10/98	< 0,3	< 0,2	< 0,05	< 0,5	< 0,2	0,2	< 0,2	< 50	< 10
20/12/98	< 0,3	< 0,2	< 0,05	< 0,5	< 0,2	0,2	< 0,2	< 50	< 10

Tabla 4. Evolución de la concentración de Metales Pesados

Los valores obtenidos en las determinaciones de metales pesados son inferiores a los límites exigidos por las leyes nacionales y provinciales, por lo que desde el punto de vista ambiental no serían considerados como residuos peligrosos por el contenido de metales pesados presentes.

Evolución de la concentración de microorganismos

Se determinó la concentración de microorganismos degradadores de hidrocarburo por recuento en placa.

Fecha de toma de muestras	Microorganismos Degradadores de Hidrocarburos UFC/g de suelo
23/09/97	1×10^6
02/10/97	2×10^5
02/11/97	s/d
29/12/97	8×10^6
29/01/98	2.5×10^7
03/03/98	7.4×10^{11}
23/04/98	s/d
05/06/98	8×10^8
02/07/98	2×10^8
04/08/98	1×10^8
05/09/98	9×10^9
10/11/98	2×10^8
20/12/98	4×10^8

Tabla 5. Evolución de la concentración microbiana.

La población microbiana fue baja al iniciar el tratamiento, se mantuvo en ese nivel hasta Enero, posteriormente subió cuatro órdenes de magnitud debido a la disminución de las lluvias, lo que permitió una mejor aireación del terreno. Posteriormente disminuyó debido a las bajas temperaturas de invierno (figura 8).

Análisis de costos

Cuando se decidió encarar el problema de tratamiento de residuos empetrolados se tuvieron en cuenta fundamentalmente dos aspectos: el ambiental y el económico. Las alternativas estudiadas fueron: empetrolado de caminos, tratamiento térmico y biorremediación. Desde el punto de vista ambiental se consideró más adecuada la biorremediación ya que una vez impermeabilizada la celda de tratamiento con membrana no existen riesgos de migración subsuperficial. El empetrolado de caminos tiene el inconveniente que se traslada productos contaminantes hacia áreas no contaminadas. Para este tipo de prácticas se deben realizar cuidadosos estudios de impacto ambiental en cada caso. El tratamiento térmico genera un residuo que no permite la reforestación. También se pueden generar gases tóxicos.

Si consideramos el punto de vista económico hay que analizar dos aspectos: el primero considerando la inversión inicial y el segundo el operativo. El empetrolado de caminos no necesita de una inversión inicial mientras que la incineración requiere ocho veces la inversión de un sistema de tratamiento por biorremediación. En función del gasto operativo el empetrolado cuesta entre 10 y 15 dólares el metro cúbico de residuo tratado. El tratamiento térmico, insume entre 45 y 50 dólares el metro cúbico de residuo. La técnica de biorremediación en nuestro caso costó aproximadamente 10 dólares el metro cúbico, valor que puede ser reducido aumentando la velocidad de degradación, lo cual es factible de lograrse. Conjugando todos los aspectos mencionados anteriormente se considera que la mejor opción es utilizar la técnica de biorremediación. El inconveniente que presenta esta técnica es el mayor tiempo de tratamiento frente a las otras alternativas.

CONCLUSIONES

La disminución de concentración de hidrocarburos totales en los residuos tratados desde un 20% a un 5% demuestra que el proceso se ha cumplido exitosamente, ya que el volumen tratado de 390 metros cúbicos de residuos que contenían inicialmente 124.8 toneladas de hidrocarburo se transformó en un residuo con 31.2 toneladas de hidrocarburos totales. Es decir que en este primer ciclo se han eliminado 93.6 toneladas de hidrocarburo.

Es de hacer notar que el tiempo del primer ciclo ha sido mayor que el previsto debido a que las inusuales precipitaciones del verano del año 1998 produjeron una acumulación de agua que provocó una rotación de microorganismos aerobios a anaerobios cuya capacidad degradativa es mucho menor. Por tal motivo fue necesario construir drenajes los que en caso de repetirse una situación similar minimizarán los efectos negativos de excesivas precipitaciones.

Los valores obtenidos en las determinaciones de metales pesados son muy inferiores a los límites máximos exigidos por las leyes nacionales y provinciales, por lo que desde el punto de vista ambiental no serían considerados como residuos peligrosos por el contenido de metales pesados presentes.

BIBLIOGRAFIA

- Aust, S.D. y J.A.Bumpus. Biodegradation of Halogenated Hydrocarbons. 1987.National Environmental Publications Information. EPA. Environmental Research Brief. 1.600M87012.
- Bonnier, P.E. et al. Sludge farming: a technique for the disposal of oily refinery wastes. Report no 3/80. CONCAWE, Den Haag, March, 1980
- Ercoli, E., Gálvez, José; Aranzadi, Ercilia. Degradación biológica en suelos contaminados con hidrocarburos. 2° Simposio de Producción de Hidrocarburos. Instituto Argentino del Petróleo. Mendoza – Argentina. Junio de 1995, Tomo 1 pag. 487-496.
- Errampalli D., Trevors J.T., Lee H., Leung K., Cassidy M., Knoke K., Marwood T., Shaw K., Blears M.and Chung E.1997. Biorremediation: A Perspective. Journ.of Soil Contamination, 6(3):207-218.
- Hueseman, M. Guidelines for Land-Treating Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Soils. Journal of Soil Contamination. 3(3): (1994)
- Radwan S.S., Sorkhoh N.A., El-Nemr I.M. and El-Desouky A.F. 1997. A feasibility study on seeding as a bioremediation practice for the oily Kuwaiti desert. Journ. of Applied Microbiology 83, 353-358.
- Rodrigues,E.G.C., Menezes,E.P., Santa Anna, L.m.M., Vital,R.L., Sebastian,G.V.. March 1996.Oil Degrading microorganisms. LABS 2. p.144.
- Walter M.V., Nelson E.C., Firmstone G., Clayton M.J. Simpson S. and Spaulding S. 1997. Surfactant Enhances Biodegradation of Hydrocarbons: Microcosm and Field Study. Journ. of Soil Contamination, 6(1): 61-77.
- Verstraete W., Top E., Vanneck P., De Rore H. and Genouw G. Lessons from the Soil. Centre for Environmental Studies, University of Ghent, Coupure L 653, 9000 Ghent, Belgium.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las autoridades de YPF y muy especialmente al gerente de la Unidad Económica Mendoza, Roberto Villa, por el apoyo y la colaboración prestada que permitió la realización de este trabajo.

También los autores desean agradecer a Oscar Segura (YPF) y a todo el personal que colaboró en las tareas de apoyo técnico.

FIGURA 6. CONCENTRACION DE NITROGENO

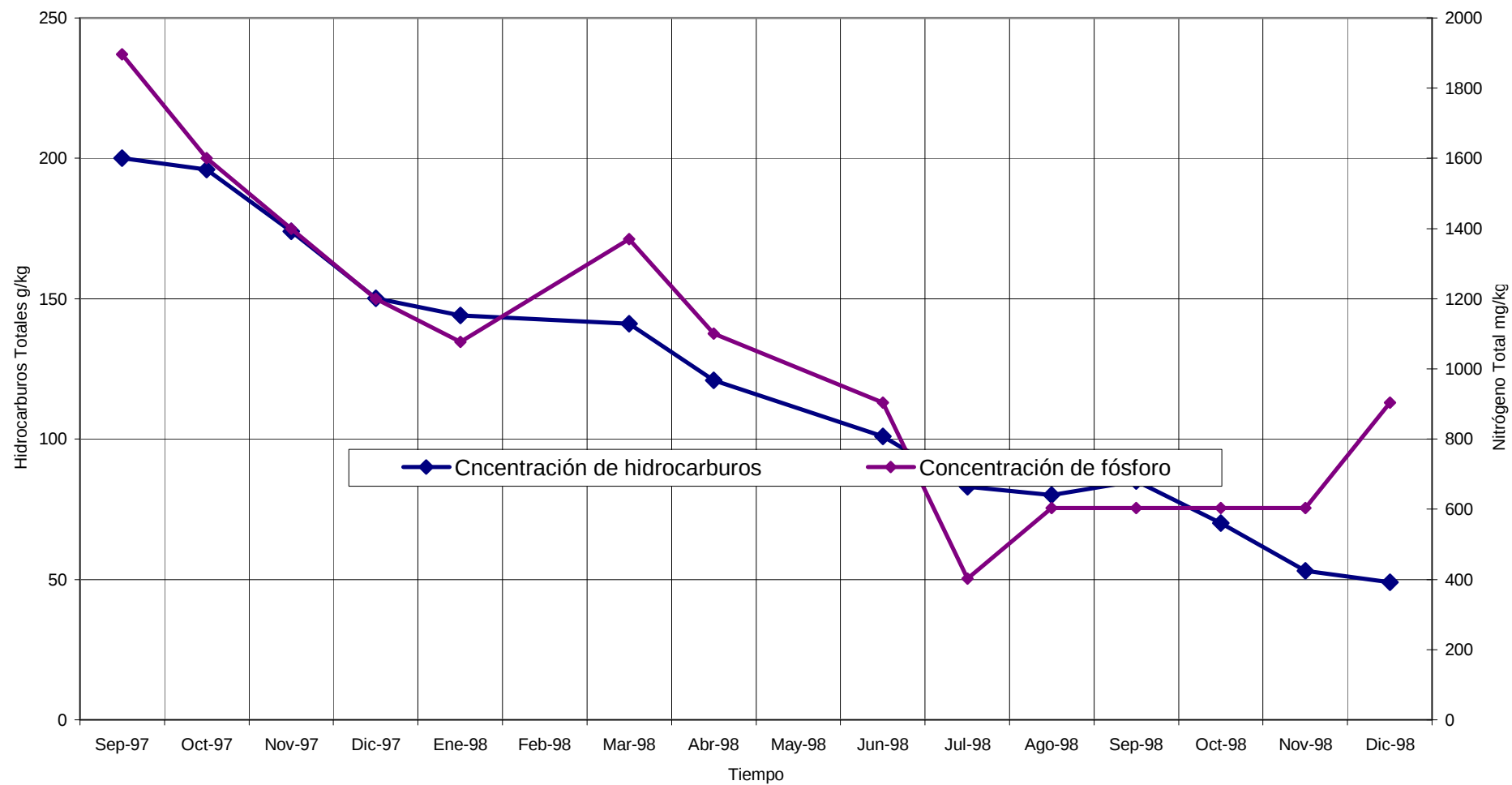


FIGURA7. CONCENTRACION DE FOSFORO

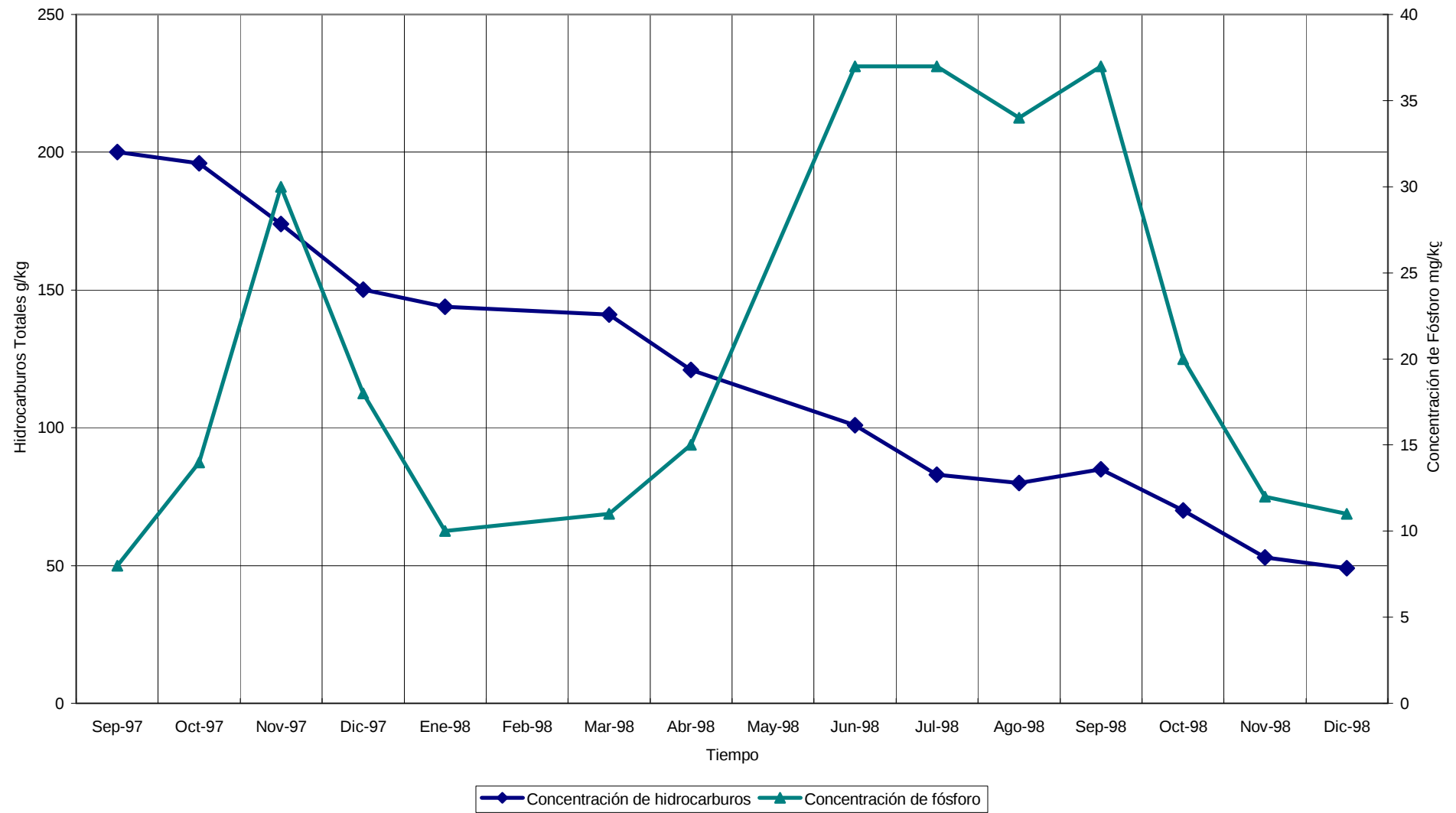


FIGURA 8. MICROORGANISMOS DEGRADADORES DE HIDROCARBUROS

