

EVALUACION DE DOS AÑOS DE EXPERIENCIAS DE CAMPO EN BIORREMEDIACION DE SUELOS

Saracino*, C.; Ercoli*, E.; Gálvez*, J.; Videla*, O.. *Inf. CAPGRESOS*

* ASTRA C.A.P.S.A.

• Laboratorio de Bioprocesos, Facultad de Ingeniería, UNCuyo.

Abstract

Algunos métodos biológicos de tratamiento proporcionan una alternativa de bajo costo para la degradación de residuos operativos de la industria petrolera. El desarrollo experimental realizado en el Yacimiento La Ventana, Mendoza, ha estado orientado al tratamiento ex-situ de suelos con concentraciones iniciales de hidrocarburos de hasta el 30% en peso. El proceso de degradación requiere el control de variables operacionales tales como nutrientes, humedad y oxígeno. En parcelas especialmente acondicionadas con el objeto de analizar las posibilidades de la técnica bajo las condiciones edáficas y climáticas de la región, de características semi-desérticas, se ha realizado el seguimiento y control del proceso a través de la medición de hidrocarburos totales, nitrógeno amoniacal y fósforo disponible. Se ha observado una reducción del contenido de hidrocarburos hasta valores muy bajos, al cabo de 18 meses de tratamiento. En todos los casos ha habido desarrollo de vegetación espontánea después del tratamiento.

Introducción

La degradación de hidrocarburos en suelo se basa en el uso de agentes microbianos con capacidad de ataque a cadenas hidrocarbonadas, especialmente las de alto peso molecular. Para que el proceso degradativo acontezca se requieren condiciones nutritivo-ambientales adecuadas y una concentración inicial mínima de microorganismos capaces de degradar hidrocarburos. No siempre el suelo los contiene y, por lo tanto, en algunas circunstancias es imprescindible incorporarlos.

Este trabajo constituye un resumen de los resultados obtenidos en experiencias de campo realizadas en el Yacimiento La Ventana, en donde han sido aplicadas técnicas biológicas de tratamiento sobre una superficie de aproximadamente 2000 metros cuadrados. El propósito del trabajo es presentar algunos de los resultados obtenidos para analizar el alcance y la viabilidad del uso de este tipo de técnicas en zonas semidesérticas, con precipitaciones anuales promedio inferiores a 300 mm, amplia variación térmica entre el día y la noche y marcadas diferencias entre las temperaturas medias de verano y las de invierno. Se ha experimentado

usando distintos tipos de residuos y suelos bajo diversas condiciones de laboreo, fertilización y riego. Se ha realizado un trabajo intensivo solamente al inicio del proceso, continuando luego con un mínimo de laboreo y riego por lluvias. Se han utilizado distintos tipos de fertilizantes, empleando en unos casos fertilización química y en otros, estiércol.

En todas las experiencias de biorremediación realizadas se han utilizado cultivos microbianos desarrollados a partir de especies autóctonas. Dichos cultivo contienen dos o más especies microbianas que actúan en simbiosis.

Los resultados obtenidos hasta el presente nos permiten realizar un análisis orientador sobre las reales posibilidades de aplicación de este tipo de técnicas en esta región y responder algunas interrogantes sobre el tema. En todos los casos se ha observado un desarrollo favorable del proceso.

Es importante destacar que en todos los casos al indicar concentración de hidrocarburos totales en suelo, se hace referencia al contenido de hidrocarburos extraídos con tolueno en extractor Soxhlet según norma ASTM D-473 (ASTM, 1980). A pesar de que esta técnica esta indicada para residuos petroleros en general, en el caso de residuos de hidrocarburos intemperizados (aquellos que han permanecido sin tratamiento durante años), es observable un error por defecto que en algunos casos pueden llegar al 50 %.

Con la finalidad de poder interpretar claramente los textos subsiguientes, se indican a continuación las palabras técnicas mas utilizadas y su significado.

Biodegradación: proceso natural por el cual microorganismos consumen hidrocarburos y producen dióxido de carbono, agua, biomasa y subproductos parcialmente oxidados.

Biorremediación: proceso de aceleración de la tasa de degradación natural de hidrocarburos por adición de fertilizantes para provisión de nitrógeno y fósforo.

Tratamiento in-situ: tratamiento que se realiza en el lugar donde ocurrió la contaminación, con el debido acondicionamiento de la zona.

Tratamiento ex-situ: tratamiento se realiza fuera del lugar donde ocurrió la contaminación.

Parcela: espacio físico destinado para el proceso degradativo.

Landfarming: técnica de tratamiento ex-situ, consistente en extender el contaminante en una superficie debidamente acondicionada y en la cual se suministran nutrientes y se dan condiciones de aireación y humedad apropiadas.

Tasa de degradación: cantidad de material contaminante degradado por unidad de superficie y de tiempo.

Inoculación: práctica de agregado de cultivos microbianos activos.

Desarrollo

Acondicionamiento del área. Se preparó una zona destinada específicamente a tratamientos ex-situ (landfarming), donde se ubicaron tres parcelas, una de ellas subdividida en tres partes, distribuidas según el esquema de la figura 1. Al iniciar el tratamiento se removió la superficie con arado hasta una profundidad de aproximadamente 25 cm, se agregaron fertilizantes químicos y/o orgánicos según correspondía, se inoculó con el cultivo microbiano y se procedió a arar nuevamente.

Seguimiento del proceso

Parcela 1. La concentración de Hidrocarburos Totales en esta parcela al comienzo del proceso fue de 6 %. La parcela se laboreó cada 2 meses, y se agregaron nutrientes al comienzo, al mes y luego cada 5 meses. Fue necesario hacer sólo un agregado de nitrógeno después de la preparación inicial del suelo debido a que la cantidad del mismo existente en el suelo superó la necesaria según la relación C:N estipulada. Solo se adicionó una pequeña cantidad de fósforo para alcanzar la relación C:P prefijada. Según se observa en el gráfico 1, se obtiene una reducción en la concentración de hidrocarburo en suelo del orden del 44 % en un periodo de 5,5 meses (desde 66,8 g/kg a 37,2 g/kg). Se observó una disminución inicial del orden del 15 % en los primeros 10 días, después de incorporar el hidrocarburo al suelo. Esta disminución se atribuye a la evaporación de las fracciones más livianas. Además se observó el crecimiento espontáneo de vegetales autóctonos (jarilla) en la parcela a fines del tercer mes. En este punto la concentración de hidrocarburo era inferior al 5 %. Estos vegetales continuaron su evolución espontánea hasta la fecha.

Parcela 2a. El contenido de Hidrocarburos Totales en esta parcela al iniciar el tratamiento fue del 10 %. Se inoculó con un cultivo de microorganismos autóctonos de la zona de La Ventana, adaptado previamente en laboratorio. La densidad de cultivo fue de 1.5×10^6 U.F.C./ml. La parcela se laboreó cada 2 meses, y se agregaron nutrientes al comienzo, al mes y luego cada 5 meses. Según se observa en el gráfico 2, se logró una reducción en la concentración de Hidrocarburos Totales en suelo del orden del 47 %, pasando la concentración de 103,5 g/kg a 55,2 g/kg. Se observó una disminución inicial del orden del 19 % en los primeros 38 días, después de incorporar el hidrocarburo al suelo. Esta disminución se debería a la evaporación de los hidrocarburos livianos. No se observó crecimiento espontáneo de vegetales autóctonos en la parcela.

Parcela 2 b. El contenido de Hidrocarburos Totales al iniciar el tratamiento fue del 10 %. En este ensayo piloto se analizó el efecto del agregado de estiércol de cabra. La inoculación de la parcela se hizo con un cultivo autóctono proveniente de La Ventana. La concentración del cultivo de 1.5×10^{10} U.F.C./ml. La parcela se laboreó cada 2 meses, y se agregaron nutrientes al comienzo, al mes y luego cada 5 meses. Como se observa en el gráfico 3 se logró una reducción en la concentración de Hidrocarburos Totales en suelo del orden del 51,7 %, pasando la concentración de 103,5 g/kg a 50 g/kg. Se observa una disminución inicial del orden del 19 % en los primeros 38 días, después de incorporar el hidrocarburo al suelo. Además se observa el crecimiento espontáneo de vegetales autóctonos (algarrobos), a partir del tercer mes. Estos vegetales han continuado desarrollándose hasta la fecha.

Parcela 3. En esta parcela se trataron fondos de tanque. Se analizó el comportamiento de un cultivo microbiano mixto de bacterias y hongos con capacidad de ataque a residuos en muy alta concentración (aproximadamente 30 %). Se inoculó con un cultivo cuya concentración fue de 6.0×10^{12} U.F.C./ml. El hecho observado más destacable es la formación de colonias en la parte inferior de los trozos de hidrocarburo, directamente sobre el mismo. La posibilidad de atacar residuos con alto contenido de hidrocarburos reviste gran importancia por lo cual se estudia particularmente este caso.

Análisis comparativo de resultados

De los diversos ensayos realizados emergen algunos análisis comparativos que a continuación se discuten. La comparación se realiza considerando los meses donde las condiciones climáticas fueron más adecuadas para el proceso degradativo (Noviembre a Abril).

Efecto de la concentración inicial del contaminante. Comparando concentraciones iniciales de Hidrocarburos Totales en dos rangos diferentes (6 y 10 %, respectivamente) la degradación porcentual en los diversos casos es similar. Del gráfico 4 se desprende que trabajando bajo las condiciones climáticas imperantes y realizando un mínimo de labores se observa un importante fenómeno degradativo-evaporativo. A bajas concentraciones se obtuvo una degradación del 44 % y a altas concentraciones, 55 %. La tasa de degradación equivale a 21.6 ton/(ha.mes) y 42 ton/(ha.mes) respectivamente. Los suelos con concentraciones iniciales del orden del 10 % (p/p) son susceptibles de ser biodegradados bajo las condiciones edáficas y climáticas de la región. Sería posible usar concentraciones de hidrocarburo iniciales mayores.

Efecto del tipo de cultivo inoculado. Par el análisis se utilizan dos cultivos microbianos: BP 045 y BP 047, denominación interna del Laboratorio, de cultivos desarrollados a partir de especies microbianas de la región. El cultivo BP047 se formuló en base a cepas obtenidas en la zona de La Ventana. El otro proviene de cepas de otra zona de la región. El cultivo BP 047 se utilizó sobre una parcela con una concentración de hidrocarburo de partida mayor en un 40-45 % que el cultivo BP 045. Según el gráfico 5 se observó mayor eficiencia en la degradación cuando se usó el cultivo autóctono de La Ventana BP047. En el primer caso se logró una degradación de 35.3 ton/(ha.mes) frente a 21.6 ton/(ha.mes). Además se observó la ausencia de una fase de latencia en el cultivo BP047.

Efecto del tipo de fertilización. En este caso se comparó el efecto del agregado de fertilizante químico únicamente y de fertilizante químico más orgánico para el mismo cultivo (BP 047), bajo las mismas condiciones ambientales y de laboreo. Se analizan los resultados de la parcela 2a donde se agregó fertilizante químico (sulfato de amonio y 18-46-00) y parcela 2b donde se incorporó el mismo fertilizante químico y estiércol de cabra. Según se observa en el gráfico 6, el agregado de fertilizante orgánico (estiércol) favorece levemente el proceso degradativo y notablemente el desarrollo de diversas especies vegetales lo cual reviste gran importancia dado el efecto depurativo que ejercen los mismos en las etapas finales de la remediación.

Tratamiento de un derrame in-situ

Este ensayo se implementó para degradar un derrame in situ. El suelo afectado fue desplazado hasta un área sin vegetación contigua al pozo para ser mezclado con tierra y disminuir su concentración a aproximadamente 30 % en Hidrocarburos Totales. El valor de concentración inicial no es preciso debido a las características del experimento, ya que a las concentraciones indicadas no resulta factible un mezclado homogéneo. El tratamiento se realizó en un área de aproximadamente 50 m² el cual se removió con arado. Dada la alta concentración de hidrocarburo en la parcela se utilizó el cultivo BP022, denominación interna del Laboratorio, apto para degradación de suelos altamente contaminados. Una vez preparada la parcela fue inoculada con un cultivo de densidad 2.0 e+10 U.F.C./ml. Realizada la inoculación, se removió nuevamente la tierra dado que la distribución del contaminante no había sido uniforme. Por último, se cubrió con una lámina de PVC la mitad del área. No se removió la tierra durante el transcurso del verano y los riegos se limitaron a aprovechar las precipitaciones pluviales de la zona. Durante el transcurso del verano se observó la aparición de colonias en la parte inferior de los trozos de hidrocarburo tanto en la zona cubierta como en la porción descubierta. Se observó un notable fenómeno degradativo, con intensa actividad microbiana. Este experimento reviste particular importancia, pues con el se intenta

demostrar que es posible atacar hidrocarburos en muy altas concentraciones en procedimientos de campo. Este aspecto de la biodegradación de hidrocarburos en suelo esta aun en estudio.

Conclusiones

- El trabajo realizado marca un punto de partida para responder sobre bases experimentales algunos de los interrogantes que plantea el uso de técnicas de degradación en suelo en zonas semidesérticas.
- Las técnicas de biodegradación constituyen una solución compatible con la evolución que tiene la legislación en la Provincia de Mendoza.
- En Argentina en general, y en la región estudiada en particular, se dispone de grandes áreas que pueden ser destinadas a tratamiento de residuos de hidrocarburos.
- Es una técnica ecológicamente aceptable ya que se basa en la estimulación de microorganismos naturales, no modificados genéticamente, que no representan ningún riesgo para el entorno.
- A pesar de las grandes diferencias de temperatura registradas en Mendoza, donde en el suelo contaminado con hidrocarburos la temperatura llega a 70 °C en verano ó -2°C en invierno, el proceso degradativo ha evolucionado favorablemente en todos los casos, aunque más lentamente en el periodo invernal.
- Dado que los suelos son básicamente alcalinos, no ha sido necesario corregir pH. Además no se han encontrado factores de inhibición al desarrollo de microorganismos.

Bibliografía

- A.S.T.M., Annual Book of A.S.T.M. Standars. Part 23, pag 271-273 (1980).
- Arendt, F., y otros tres editores, Contaminated Soil'93, Volume I -II. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands (1993).
- Carretero, E.H., Dalmasso, A. D. (Editores), Mendoza Ambiental, Inca Editorial, Mendoza, Argentina (1995).
- Dibble, J.T. , R. Bartha, Effect of Environmental Parameters on the Biodegradation of Oil Sludge. Applied and Environmental Microbiology, p.729-739 (1979).
- Ercoli, E. Y otros, Tratamiento Biológico ex-situ de residuos semisólidos de oleoductos. 1º Encuentro Latinoamericano para la Calidad en la Industria Petrolera: 311-318 (1995).
- Ercoli, E. y otros, Tratamiento Biológico de Lodos de Refinería. 2º Simposio de Producción de Hidrocarburos: 497- 506 (1995).

- U.S. Congress, Office of Technology Assessment, Bioremediation for Marine Oil Spills, Background Paper, OTA-BP-O-70, Washington, DC: U.S. Government Printing Office, (1991).

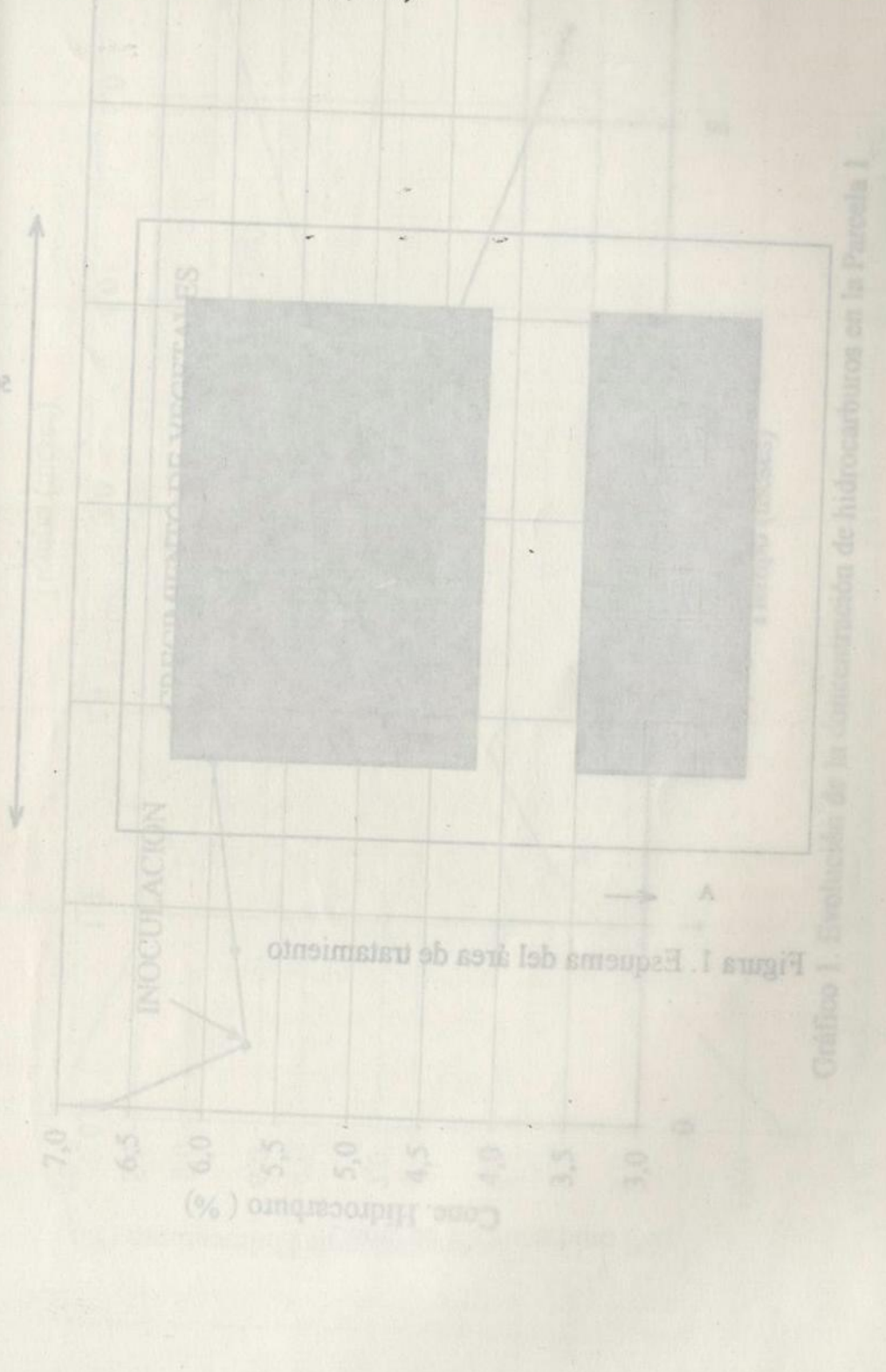


Figura 1. Esquema del área de tratamiento

Gráfico 1. Evolución de la concentración de hidrocarburos en la Parcela 1

Conclusiones

- El trabajo realizado marca un punto de partida para responder sobre bases experimentales algunos de los interrogantes que plantea el uso de técnicas de degradación en suelos en casos de contaminación.
- Las técnicas de biodegradación constituyen una solución compatible con la legislación que tiene la Provincia de Mendoza.

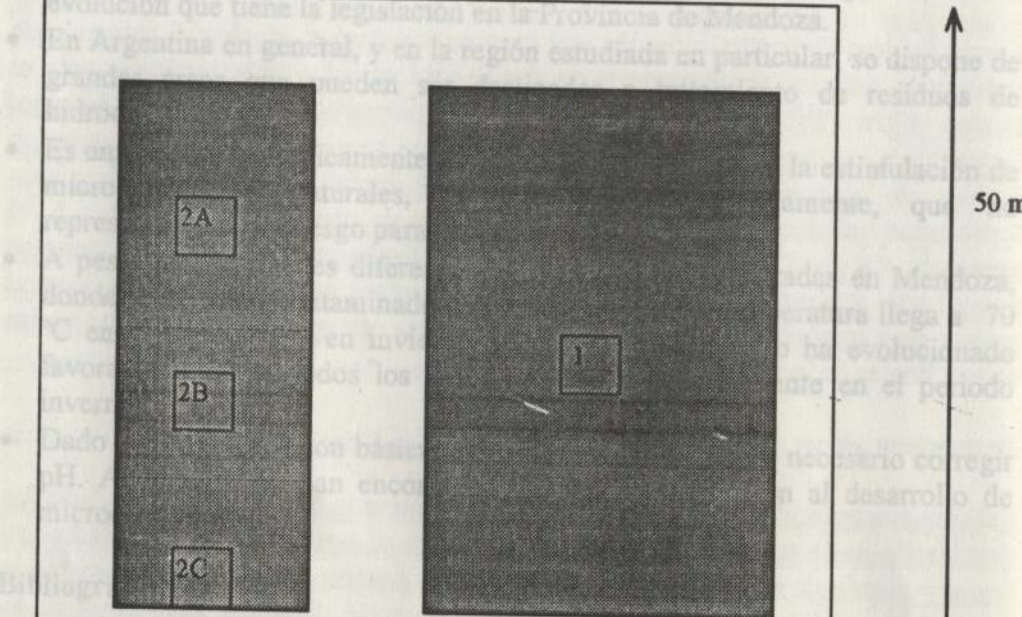


Figura 1. Esquema del área de tratamiento

A.S.T.M., Annual Book of A.S.T.M. Standards, Part 23, pag 271-273 (1990).
 Arce, P., y otros tres autores, Contaminación del Suelo, Volume I-II, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands (1993).
 Carretero, S. H., Dalmasso, A. D. (Editores), Mendoza Ambiental, Inca
 Diabla, J. L., R. Barina, Effect of Environmental Parameters on the Biodegradation of Oil Sludge, Applied and Environmental Microbiology, p.729-739 (1979).
 Ercoli, E. Y otros, Tratamiento Biológico ex-situ de residuos semisólidos de oleoductos, 1º Encuentro Latinoamericano para la Calidad en la Industria Petrolera: 311-318 (1995).
 Ercoli, E. y otros, Tratamiento Biológico de Lodos de Refinería, 2º Simposio de Producción de Hidrocarburos: 497- 506 (1995).

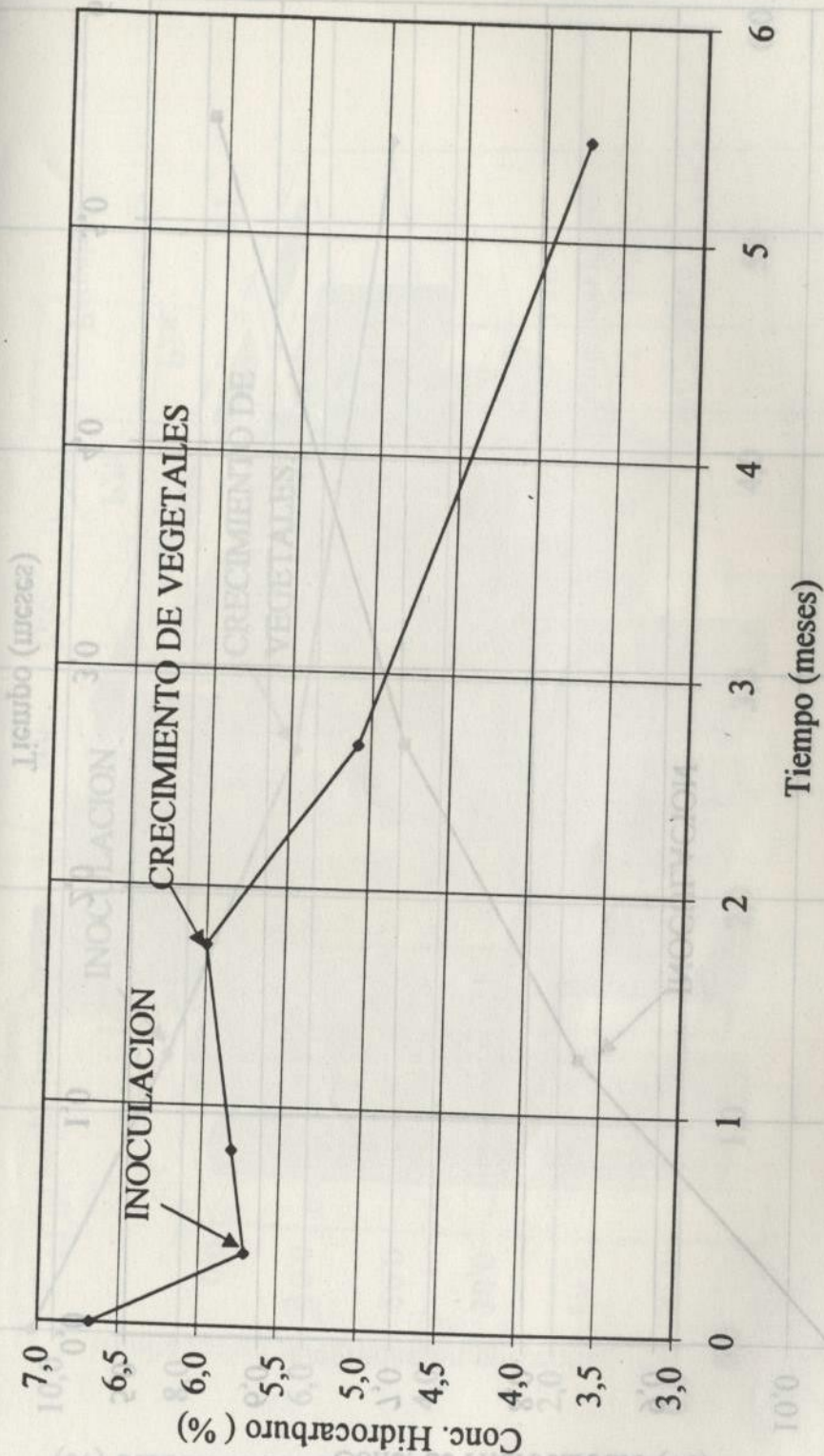


Gráfico 1. Evolución de la concentración de hidrocarburos en la Parcela 1

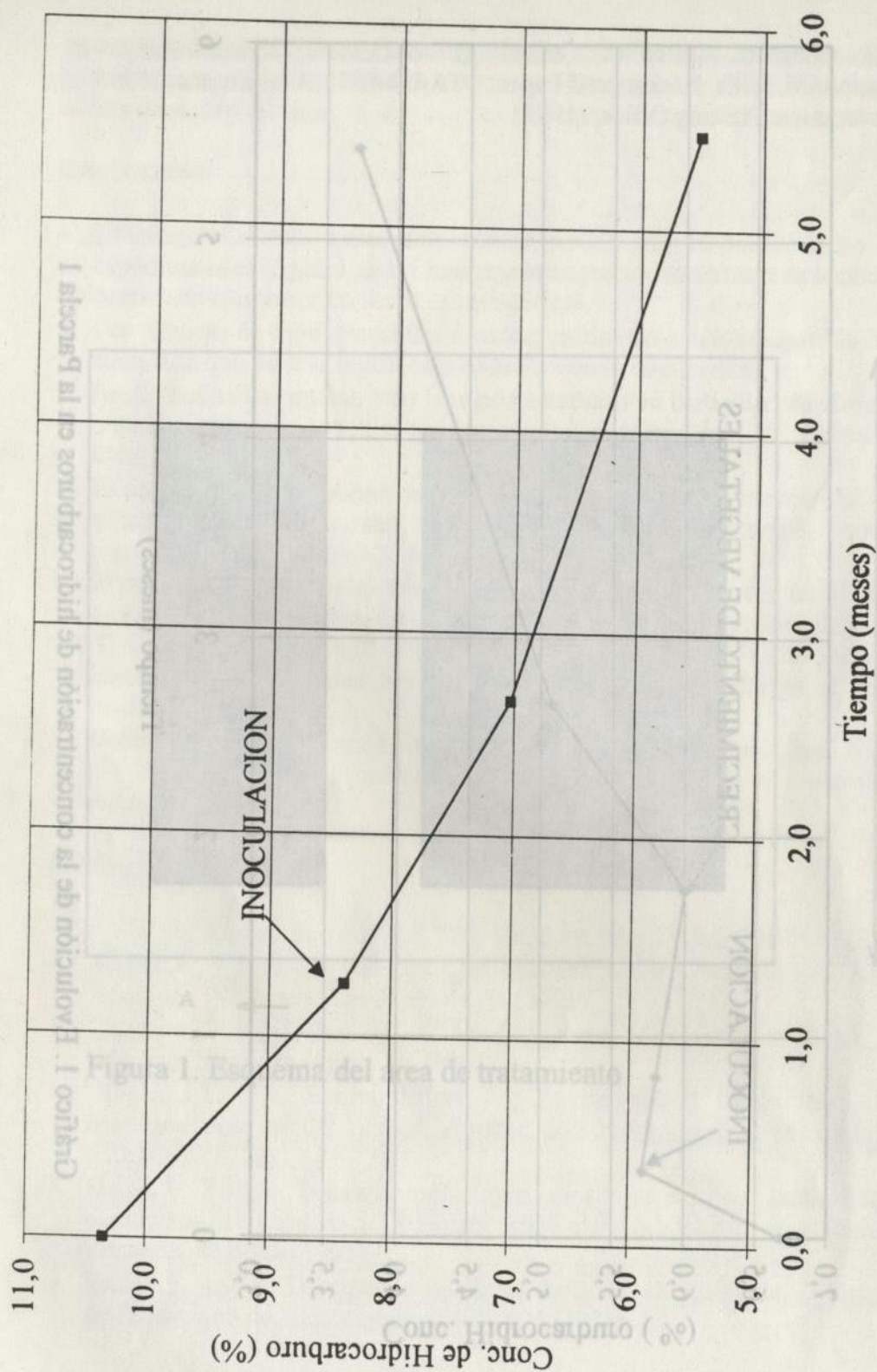


Gráfico 2. Evolución de la concentración de hidrocarburos en la Parcela 2A

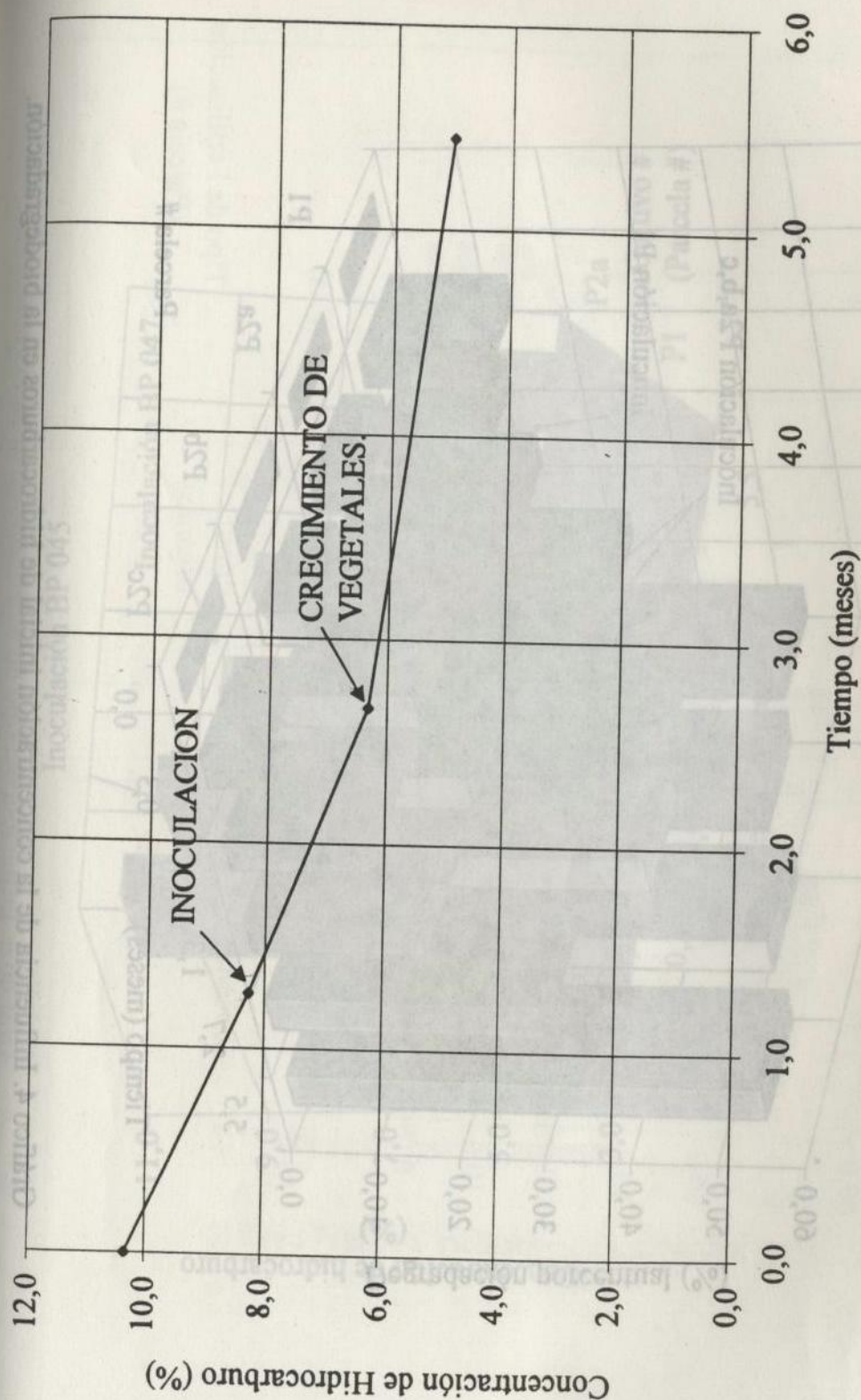


Gráfico 3. Evolución de la concentración de hidrocarburos en la Parcela 2B

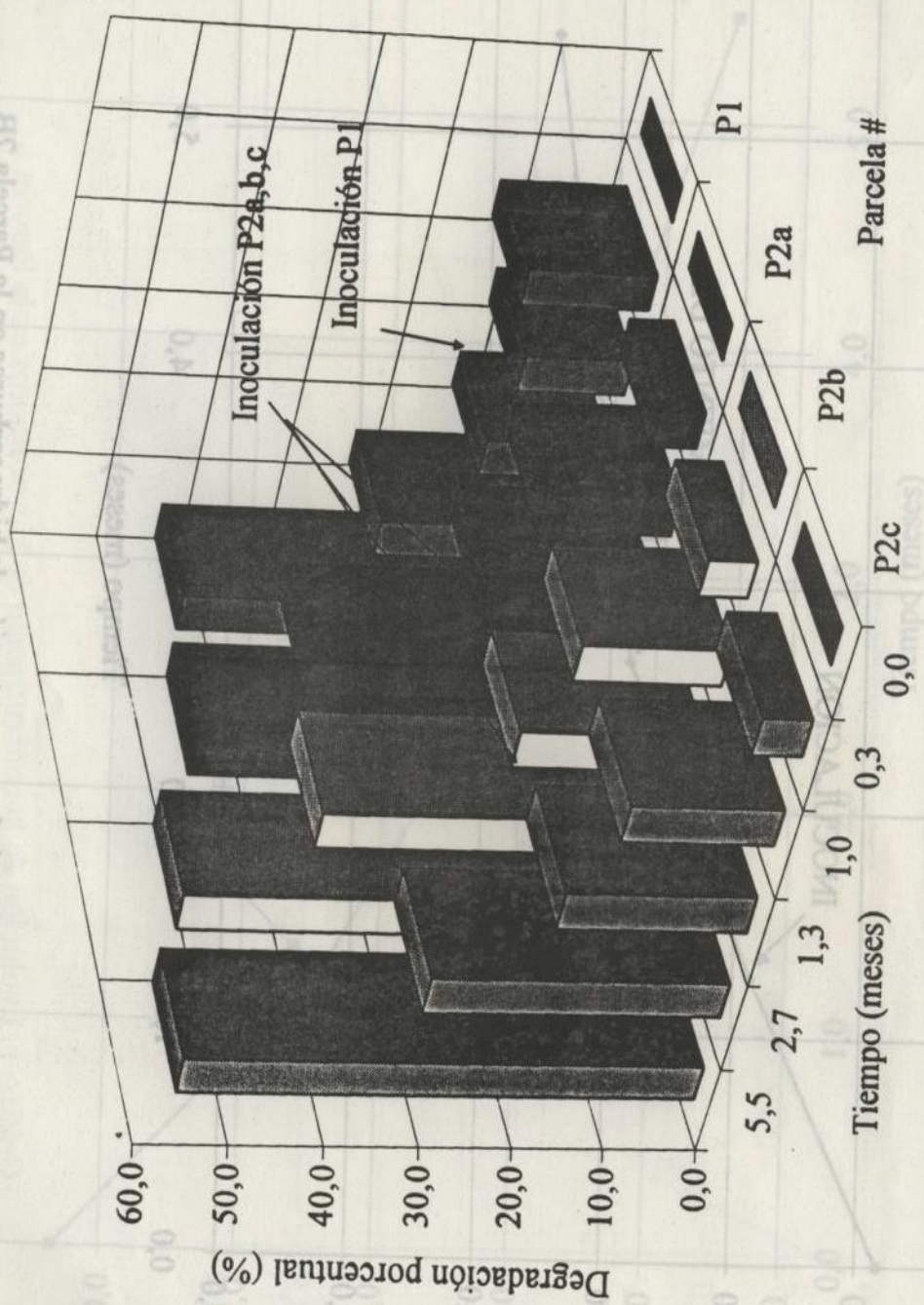


Gráfico 4. Influencia de la concentración inicial de hidrocarburos en la biodegradación.

Inoculación BP 045

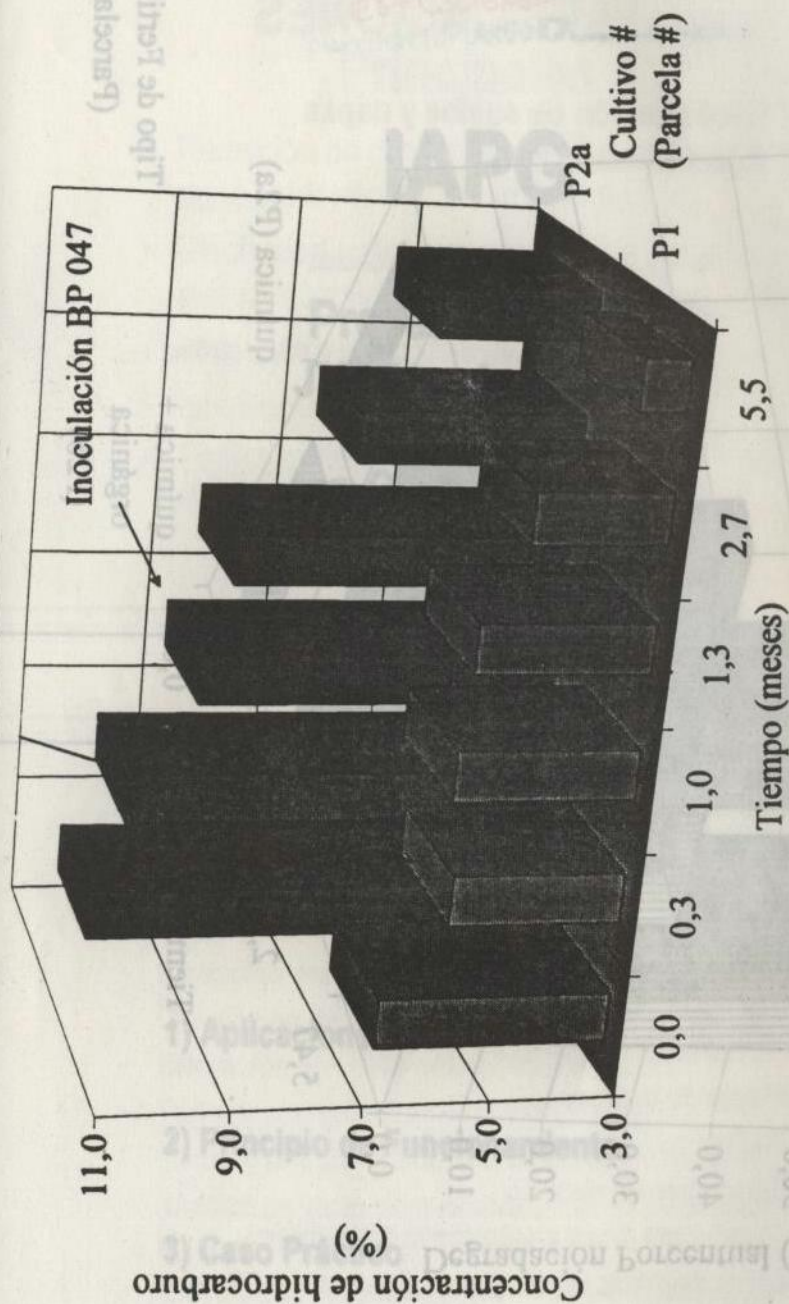


Gráfico 5. Influencia del inóculo en la biodegradación.

Gráfico 2. Influencia del inoculo en la biodegradación

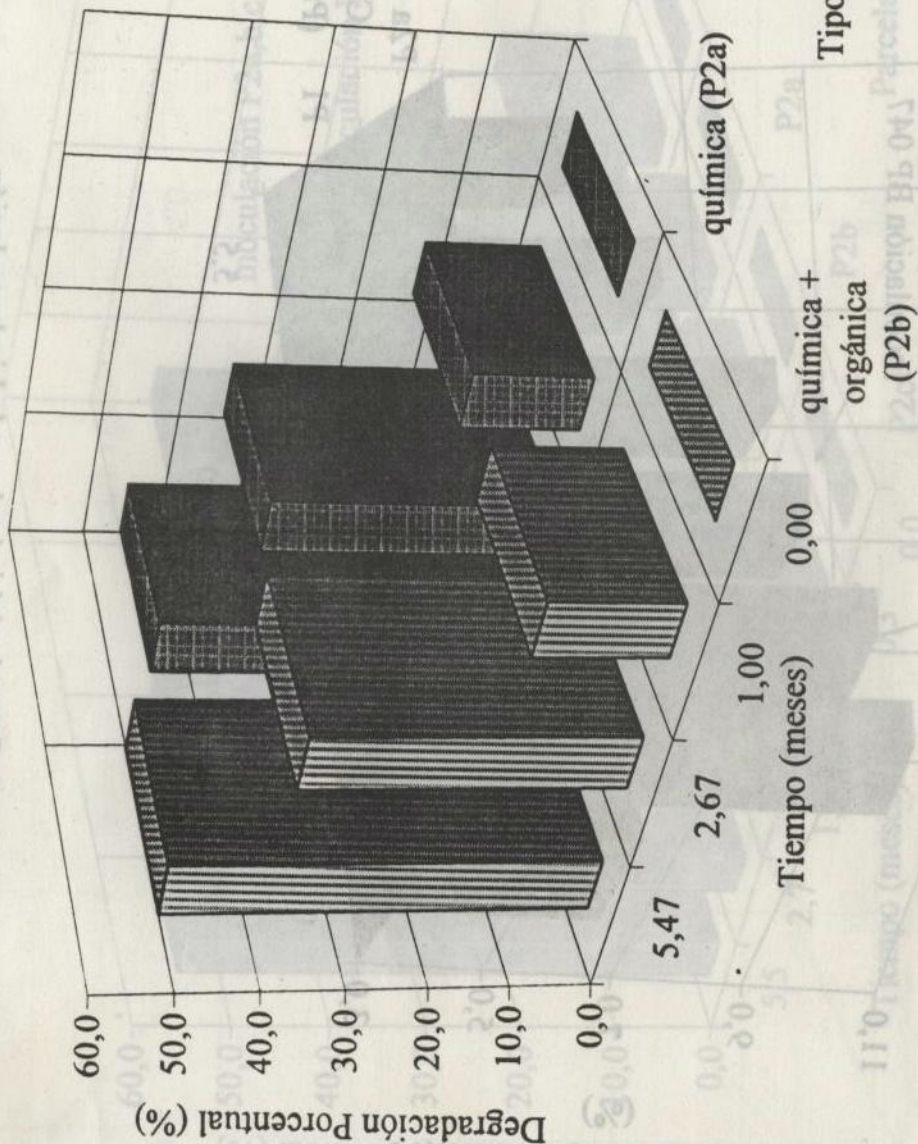


Gráfico 6. Influencia del tipo de fertilizante en la biodegradación.