

Título del trabajo:

**USO DE RESIDUOS ORGANICOS DE PETROLEO COMO ENMIENDA
EN SUELOS DE TIERRA DEL FUEGO**

Autoras: R.E. Mendoza, M.A. Taboada y O. Caso

**CEVEG (Centro de Ecofisiología Vegetal). Serrano 865.
1414. Buenos Aires**

Empresa: Total Austral S.A.

País: Argentina

Curriculum resumido:

Rodolfo E. Mendoza: Ingeniero Agrónomo (Facultad de Agronomía UBA), Investigador Independiente CONICET. Subdirector del CEVEG. Especialista en nutrición mineral de las plantas, particularmente en el tema de nutrición fosforada.

Miguel A. Taboada: Ingeniero Agrónomo, M Sc en Ciencias del Suelo (Facultad de Agronomía UBA), Investigador Asistente CONICET. Profesor Adjunto Cát. Fertilidad y Fertilizantes, Fac. Agronomía UBA. Especialista en fertilidad física de los suelos, particularmente en el tema de suelos afectados por sales.

Oswaldo Caso: Dr en Ciencias Biológicas (Facultad de Cs.Exactas y Naturales UBA), Investigador Superior CONICET. Especial. Director del CEVEG. Profesor Titular Fisiología Vegetal, Fac. Cs. Agrarias, Univ. del Salvador. Especialista en Fisiología Vegetal. Formó y dirige varios grupos de investigación en diversos temas de su especialidad (cultivo de tejidos, nutrición mineral y otros).

TRABAJO AUSPICIADO POR: TOTAL AUSTRAL S.A.

USO DE RESIDUOS ORGANICOS DE PETROLEO COMO ENMIENDA EN SUELOS DE TIERRA DEL FUEGO

R.E. Mendoza, M.A. Taboada y O. Caso

RESUMEN

En la Isla Grande de Tierra del Fuego existen grandes cantidades de residuos orgánicos procedentes de la extracción petrolera (ROP) que, actualmente, se hallan irracionalmente acumulados. Se evaluó en laboratorio el efecto del agregado de ROP sobre algunas propiedades de suelos de "matorral" (Haploborol) y de "murtillar" (Crioumbrept) del sector norte de la isla (Estancia Cullen), y sobre la germinación y la biomasa aérea de pasto ovinillo (*Dactylis glomerata* L.). La cobertura superficial del suelo por una capa de 2 cm de ROP (7,3 % de cadenas con $C \geq 8$) causó incrementos de 15% en su temperatura superficial, y disminuyó las pérdidas de agua por evaporación. Se observó en el suelo donde se aplicó ROP una disminución de 29,6 % en la biomasa aérea de pasto ovinillo. Cuando se mezcló hasta un 20 % en peso de ROP con el suelo, no resultaron afectados ni la microflora total ni los microorganismos celulolíticos. Sin embargo, disminuyó significativamente la cantidad de bacterias nitrificadoras. Se observaron ligeros aumentos de pH (entre 0,25 y 0,45 unidades) en ambos suelos, pero no se observaron cambios significativos en la retención hídrica a capacidad de campo. La energía y el poder germinativo de semillas de pasto ovinillo no fueron afectados significativamente por dosis de hasta 40 % en peso de ROP. Cuando se agregó N (urea) y P (superfosfato) sobre el suelo enmendado con hasta un 20 % de ROP, no hubo efecto sobre el rendimiento en materia seca de pasto ovinillo, pues dicho efecto fue ampliamente superado, o enmascarado, por el causado por el agregado de fertilizante.

USE OF OILY WASTE ORGANICS AS SOIL AMENDMENT IN TIERRA DEL FUEGO

ABSTRACT

In the Isla Grande of Tierra del Fuego great volumes of oily waste organics (OWO) from petroleum wells are irrationally accumulated. The use of these residues as soil amendment was evaluated in laboratory conditions, using soil samples of "matorral" (Haploborol) and "murtillar" (Crioumbrept) soils of the northern of the island (Cullen ranch). Surface cover by a 2 cm layer of OWO (7.3 % organic chains with $C \geq 8$) increased soil temperature by 15 % and decreased evaporation losses. The above ground biomass of orchard grass (*Dactylis glomerata* L.) decreased by 29 % from the uncovered to the covered soil. When up to 20 % w/w OWO was mixed to the soil, neither the total microflora nor the cellulolytic microbes were significantly affected. On the other hand, the amount of nitrifier bacteria decreased significantly. Slight increases in soil pH (between 0.25 and 0.45 unities), but no significant changes in water retention at field capacity were observed. Neither the initial nor the total germination of orchard grass seeds

was significantly affected by up to 40 % w/w of OWO. When N (urea) and P (superphosphate) were added to the soils amended with up to 20 % OWO, no significant effect on the dry-matter yield of orchard grass was detected, because of this effect largely overcame, or masked, by that caused by the addition of fertilizers.

INTRODUCCION

La explotación de pozos de petróleo y la actividad industrial derivada originan residuos potencialmente contaminantes sobre el medio ambiente, lo cual genera la necesidad de hallar metodologías adecuadas para su eliminación posterior (Barbee et al., 1992; Gomes et al., 1991; Hoepfel et al., 1991; Rasiah et al., 1992a). Los residuos orgánicos de petróleo (ROP) contienen cantidades variables de hidrocarburos aromáticos (con gran poder mutagénico) y alifáticos, diferentes metales pesados (Cr, Ni, Pb, Zn y V) y agua, según el origen y la antigüedad del residuo en cuestión (Barbee et al., 1992; Gomes et al., 1991). Probablemente debido a su facilidad y bajo costo, uno de los métodos más conocidos para eliminar ROP es la práctica del "land farming" (Gomes et al., 1991; Rasiah et al., 1992a). Esta práctica se basa en la incorporación de ROP al suelo, con el objeto de lograr su degradación biológica al cabo de un cierto tiempo (Rasiah et al., 1991; 1992a; b). De acuerdo con Mingelgrin y Gerstl (1983), la inactivación de los residuos adicionados es causada en parte por la adsorción de las sustancias lipofílicas en los componentes del suelo. Se ha demostrado que cantidades substanciales biodegradables de ROP son protegidas físicamente dentro de los agregados del suelo mediante uniones puente de H^+ con las arcillas (Rasiah et al., 1992a). Cabe destacar que, en general, la mayor parte de los trabajos sobre "land farming" han sido realizados en áreas templadas y cálidas, donde se asegura una rápida degradación del residuo.

Paralelamente con el objetivo primario, que es la eliminación de ROP a bajo costo, en años recientes ha crecido en consideración la posibilidad de que el "land farming" sea utilizado para mejorar algunas propiedades del suelo. Por ejemplo, para lograr incrementos de materia orgánica en suelos muy pobres en ella (Rasiah et al., 1992). La cobertura superficial por "mulches" asfálticos, y otros derivados de la extracción petrolera, ha sido utilizada en ciertos ambientes desérticos, para conservar la humedad, disminuir o eliminar el riesgo de erosión e incrementar la temperatura del suelo (Unger y Stewart, 1983). Sin embargo, el uso indiscriminado de estos residuos acarrea serios peligros. Además de los efectos mutagénicos sobre animales y plantas (Barbee et al., 1992), el derrame de petróleo sobre tierras agrícolas puede causar daños directos a los cultivos y al medio ambiente edáfico, con consecuencias negativas sobre los futuros cultivos (Ellis y Adams, 1961; McGrath, 1992). Estos efectos no son permanentes debido a que el suelo tiene capacidad para degradar residuos de petróleo (Mingelgrin y Gerstl, 1983; Rasiah et al., 1991; 1992a; b). Existen resultados contradictorios en lo concerniente al efecto de ROP sobre

la actividad biológica del suelo, pues aparentemente, ello depende del grupo funcional de que se trate (Ilangoan y Vivekanandan, 1992; Janke et al., 1992). La germinación de semillas, la emergencia de plántulas y la producción de biomasa también pueden ser afectados negativamente por la persistencia de ROP en el suelo (Ilangoan y Vivekanandan, 1992; McGrath, 1992).

En la Isla Grande de Tierra del Fuego existen grandes cantidades de residuos procedentes de la extracción petrolera, que actualmente se hallan irracionalmente acumulados en piletones abiertos. Ello acarrea innumerables inconvenientes a los productores (caída de animales dentro de los piletones, manchado de la lana, inutilización de grandes superficies, etc), y riesgo de contaminación sobre suelos y aguas. Los suelos de la región, en general muy ácidos y con alto nivel de materia orgánica poco humificada, son muy distintos a los suelos de otras partes del mundo, en los cuales se llevaron a cabo experiencias de "land farming". Una alta proporción de estos suelos se encuentra afectada por erosión eólica grave, debido al sobrepastoreo ovino y los fuertes vientos predominantes (Godagnone e Irisarri, 1990). Pese a estos antecedentes, no se conocen datos locales debidamente documentados que hagan referencia al uso del ROP como mejorador de los suelos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar, bajo condiciones de laboratorio, el efecto del agregado de ROP sobre algunas propiedades de dos suelos representativos, y sobre la germinación y la biomasa aérea de plantas de pasto ovinillo (*Dactylis glomerata* L.).

MATERIALES Y METODOS

Se trabajó con muestras superficiales de suelos de "matorral" (Haploborol) y de "murtillar" (Crioumbrepte), que son representativos del sector norte de la Isla Grande de Tierra del Fuego (Estancia Cullen) (Godagnone e Irisarri, 1990). Algunas propiedades de estos suelos son mostradas por las Tablas 1 y 2. El Haploborol, suelo con materia orgánica bien humificada y bien provisto de bases de cambio, se halla cubierto, predominantemente, por un matorral de "mata negra" (*Chilietrichum diffusum*). En el Crioumbrepte, suelo muy ácido y con niveles muy altos de materia orgánica pero poco humificada, predomina la "murtilla" (*Empetrum rubrum*).

El residuo de petróleo (ROP) se recolectó de un piletón que contenía una mezcla de residuos orgánicos de la explotación petrolera (Tabla 2). Con el objeto de determinar la presencia de compuestos orgánicos con n° de C ≥ 8 , el ROP fue molido y tamizado a 0.5 mm y sometido a extracciones con éter de petróleo por destilación a 65 °C.

Experimento 1:

Se sembró pasto ovinillo (*Dactylis glomerata* L.) en macetas que contenían al suelo Haploborol tamizado a 2 mm. En una de las macetas se agregó una capa continua de 2 cm de ROP a 1,5 cm de profundidad, mientras que la restante se mantuvo como testigo. Durante el período de crecimiento de pasto ovinillo se realizaron mediciones de temperatura

superficial y de porcentaje de saturación hídrica a 4 cm de profundidad. Al cabo de 117 días, se cosechó la biomasa aérea de pasto ovillo y se determinó la materia seca.

Experimento 2:

Se llevó a cabo un ensayo de incubación con muestras de ambos suelos (125 g), que fueron luego sometidas a diferentes análisis microbiológicos, físicos y químicos al cabo de períodos predeterminados de incubación. En dicho ensayo se pusieron a prueba las siguientes variables:

- a) dos temperaturas: 3 °C (heladera) y 30 °C (estufa)
- b) tres períodos: 0, 18, 39 y 75 días
- c) tres dosis de ROP: 0, 8 y 20 %, sobre peso de suelo seco
- d) dos niveles de fertilización: no fertilizado; 150 mg kg⁻¹ de N (urea) y 200 mg kg⁻¹ de P (superfosfato triple), respectivamente.

Se empleó la temperatura para acelerar los cambios biológicos que se podrían producirse en situaciones de campo. Como testigos se dejaron muestras de suelo sin incubar. La totalidad de las muestras se mantuvo con una humedad del 70 % de la capacidad de campo y se ventilaron 2 veces por semana para favorecer la actividad microbiana. Al cabo de cada período mencionado, las muestras se prepararon para su análisis microbiológico. En 20 g de cada muestra, se determinó la microflora total, los celulolíticos, y los nitrificadores, de acuerdo con metodologías estandar (Alexander, 1980).

Experimento 3:

El remanente de las muestras de suelo incubadas del ensayo anterior fueron luego utilizadas para un ensayo de crecimiento de pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) en cámara de cultivo. Se sembró pasto ovillo en macetas de 500 cm³ y se cultivaron 5 plantas durante 41 días. El ensayo se mantuvo en condiciones controladas de disponibilidad de agua, temperatura (20-25 °C) y largo de día (18 hs de luz), y se determinó la materia seca aérea. Una vez concluido el ensayo, se determinó en el suelo pH en agua (suspensión 1:2,5), y la humedad retenida en -33,3 de succión mátrica (olla de presión).

Experimento 4:

Se evaluó el efecto del ROP (0, 10, 20 y 40 % en peso) sobre la energía germinativa (EG), a los 7 días, y el poder germinativo (PG), a los 21 días, de semillas de pasto ovillo, las que se dejaron germinar utilizando al suelo Crioumbrepte como sustrato. El ensayo se realizó en cajas de Petri que contenía una capa de suelo del murtillar enmendado de 1 cm de espesor y con un 25 % de humedad y tres repeticiones por tratamiento. Se realizó un tratamiento Control donde las semillas se posaron sobre papel de filtro humedecido por una capa de 1 cm de algodón. Las cajas se taparon, pero diariamente se ventilaron para su oxigenación.

RESULTADOS Y DISCUSION

La destilación con éter del ROP utilizado indicó que éste contenía 7,3 % de compuestos con C ≥ 8, los cuales se relacionan directamente con la cantidad de petróleo

existente en el residuo.

a) Efecto del ROP aplicado en cobertura:

La Figura 1 muestra la relación entre las temperaturas superficiales (4 cm de profundidad) de los suelos testigo y el cubierto por una capa de ROP a 2 cm de profundidad, previo a la siembra del pasto ovillo. La ubicación de los puntos por encima de la línea de igualdad (relación 1:1) demuestra que la cobertura del suelo con ROP causó aumentos de temperatura. Estos aumentos fueron del 15 %, según lo indica la pendiente de la función lineal ajustada entre ambas temperaturas. Paralelamente, se hizo el seguimiento del contenido hídrico a partir de una situación inicial con el suelo saturado (Figura 2). A diferencia del suelo testigo, que sufrió pérdidas de agua por evaporación, el suelo cubierto con ROP no sufrió dichas pérdidas, y por ende, permaneció siempre cercano a la saturación. Estos resultados -aumento de temperatura y conservación del agua edáfica- son comparables a los obtenidos con otro tipo de "mulches"; por ejemplo, la cobertura superficial del suelo con asfalto (Unger y Stewart, 1983). Las diferencias en saturación hídrica entre tratamientos fueron independientes de las diferencias observadas en temperatura ($R^2 = 0,10$). La biomasa aérea cosechada de pasto ovillo disminuyó de 152,3 a 108,3 g m⁻² por la cobertura del suelo con ROP. Por otra parte, las plantas crecidas sobre el suelo con ROP se encontraban menos macolladas, con una tonalidad verde más clara y con síntomas de amarillamiento en las hojas basales.

b) efecto del ROP incorporado y mezclado en los suelos:

La microflora total inicial (0 días de incubación) fue un orden de magnitud más alta en el Haploborol (2×10^6 microorg./g.suelo) que en el Crioumbrepte ($1,6 \times 10^6$ microorg./g.suelo) (Figura 3). Se observaron en ambos suelos aumentos exponenciales en la cantidad total de microorganismos con la cantidad de días de incubación; si bien dicha tendencia pareció revertirse en el Haploborol a los 75 días. Con la temperatura más baja (3 °C) se intentó simular las condiciones climáticas imperantes en el área de estudio. La temperatura a la que estuvieron sometidas las muestras no afectó a la microflora total (Figura 3). No se observaron efectos claros sobre la microflora total, atribuibles al enmendado del suelo con ROP en cualquiera de las dos dosis utilizadas. En cambio, el principal efecto sobre la microflora total fue causado por la fertilización con N y P. Las muestras no fertilizadas tuvieron un orden de magnitud menor de colonias (entre $2,3 \times 10^7$ y 6×10^8 microorg./g. suelo) que las fertilizadas (Figura 3). Rasiyah et al. (1991; 1992b) hallaron que la tasa de mineralización de los residuos de petróleo es acelerada significativamente por el agregado de distintas formas de N y P como fertilizante. La cantidad inicial de bacterias celulolíticas fue en ambos suelos muy pequeña (< 100 microorg./g.), e inexistente en el residuo de petróleo. No se observaron efectos claros sobre este grupo funcional, por parte de gran parte de las variables estudiadas (período y temperatura de conservación y/o incubación, y enmendado con ROP). A diferencia de la microflora total, la cantidad de bacterias celulolíticas fue afectada negativamente por el agregado de N y P. En los tratamientos

no fertilizados, dicha cantidad varió entre $4,2 \times 10^2$ y $3,0 \times 10^3$ microorg./g suelo. La cantidad inicial de microorganismos nitrificadores fue también muy baja (< 100 microorg./g.) en ambos suelos, pero hubo aumentos exponenciales (con un "plateau" a los 39 días) con el período de incubación (Figura 4). El aumento de temperatura de 3 a 30 °C causó aumentos de varios órdenes de magnitud en la cantidad de nitrificadores. La fertilización con N y P también afectó positivamente a los nitrificadores, ya que en las muestras no fertilizadas la cantidad de éstos fue de $2,0-3,8 \times 10^4$ microorg./g suelo. A diferencia de los otros grupos funcionales estudiados, la incorporación de ROP causó descensos significativos en la cantidad de nitrificadores en ambos suelos, preferentemente luego de los 39 días de incubación (Figura 4). En forma análoga, Janke et al. (1992) encontraron descensos en la nitrificación atribuibles a efectos tóxicos causados por residuos de hidrocarburos. No se observó interacción entre el efecto de ROP y el de la temperatura de incubación.

La incorporación de ROP aumentó significativamente (entre 0,25 y 0,45 unidades) el pH del suelo (Tabla 3). Ello coincide con resultados obtenidos por Loehr et al. (1992). En el presente caso, el aumento de pH fue verificado a ambas temperaturas en el suelo de matorral, y sólo tuvo lugar en las muestras incubadas a 30 °C en el suelo de murtillar. Este suelo se caracteriza por tener una fuerte acidez (Tabla 1), y el aumento de pH debido al ROP puede resultar positivo. La retención de humedad en -33,3 kPa de succión mátrica (entre 27,9 y 29,2 % g/g) no resultó afectada por el enmendado del suelo con ROP al 20%.

c) Efecto del ROP sobre el crecimiento de pasto ovillo:

En la Tabla 4 puede observarse que ni la energía (EG) ni el poder germinativos (PG) de las semillas de pasto ovillo fueron afectados por dosis de ROP de hasta un 40 % en peso. Contrariamente, Ilangovan y Vivekanandan (1992) encontraron descensos significativos en la germinación de semillas y la emergencia de plántulas (entre otros bioindicadores), como resultado de la persistencia de hidrocarburos en el suelo. A diferencia del ROP, fue el sustrato utilizado (suelo de murtillar) el que afectó negativamente a los parámetros germinativos. Ello surge de los valores significativamente más altos de EG y PG de las semillas que germinaron sobre papel de filtro (Tabla 4).

La biomasa aérea de pasto ovillo no mostró efectos claros atribuibles al enmendado del suelo con ROP. Ello se muestra, a modo de ejemplo, para el caso de plantas que crecieron sobre el suelo previamente incubado a 30 °C (Figura 4). Sólo las muestras incubadas durante 75 días mostraron descensos en materia seca, similares a los hallados por otros autores (Chander y Brookes, 1992; Ellis y Adams, 1961; Ilangovan y Vivekanandan, 1992; McGrath, 1992). Por el contrario, el principal efecto sobre la biomasa aérea de pasto ovillo se debió al agregado de N y P como fertilizante (Figura 5). Como puede observarse para el caso del suelo de murtillar, la fertilización causó incrementos en biomasa cosechada, cuyo orden de magnitud superó ampliamente a cualquier posible diferencia atribuible al ROP. La falta de efectos claros depresivos

por parte del ROP incorporado al suelo (Figura 4) difiere de lo hallado cuando el pasto ovillo creció en un suelo en el que el ROP se aplicó como capa continua a 2 cm. Puede pensarse que el efecto negativo hallado en este caso, se debe a que las raíces debieron atravesar una capa de 2 cm con alta concentración de compuestos fitotóxicos (Barbee et al., 1992; Gomes et al., 1991).

CONCLUSIONES

- 1) El ROP aplicado en cobertura a 2 cm de profundidad sobre el suelo causó aumentos de temperatura y disminuyó las pérdidas de agua por evaporación. En contrapartida, afectó negativamente al crecimiento de pasto ovillo.
- 2) El ROP incorporado y mezclado con el suelo causó efectos poco claros sobre la microflora total y las bacterias celulolíticas, pero disminuyó significativamente la cantidad de bacterias nitrificadoras.
- 3) El ROP incorporado causó leves aumentos de pH, pero no afectó la retención de humedad en capacidad de campo.
- 4) El agregado de hasta un 40 % de ROP al suelo en peso, no afectó ni la energía ni el poder germinativos de semillas de pasto ovillo.
- 5) No existieron efectos claros por parte del ROP incorporado sobre la biomasa aérea de pasto ovillo.
- 6) El agregado de N y P como fertilizante causó incrementos altamente significativos sobre dicha biomasa. Este efecto supera ampliamente en magnitud al causado por el agregado de ROP.
- 7) Los resultados obtenidos en este trabajo no permiten ni calificar ni descalificar a la práctica del "land farming", como positiva para el mejoramiento de las propiedades de los suelos estudiados.

AGRADECIMIENTOS

- al Ing.Agr. Enrique Rodríguez Cáceres, del Instituto de Microbiología de INTA Castelar, por la realización de los análisis microbiológicos.
- al Ing.Agr. Daniel Rodríguez, quien colaboró en la etapa inicial de este proyecto.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Alexander, M. 1980. Introducción a la Microbiología del Suelo. Libros y Editoriales S.A. México, 483 p.
- 2) Barbee, G.C.; K.C. Brown y K.C. Donnelly. 1992. Fate of mutagenic chemicals in soil amended with petroleum and wood preserving sludges. Waste Manage.Res., 10: 73-85
- 3) Ellis, R. y R.S. Adams. 1961. Contamination of soils by petroleum hydrocarbons. Adv. Agron., 13: 197-216.
- 4) Godagnone, R.E. y J.A. Irisarri. 1990. Mapa de Suelos del Territorio Nacional de Tierra del Fuego. Escala

- 1:500.000. Tomo II, p. 615-641. En: G. Moscatelli (Coord. Gral.). "Atlas de Suelos de la República Argentina. Escala 1:500.000 y 1: 1.000.000. SAG y P-INTA-Proyecto PNUD ARG/85/019, Buenos Aires".
- 5) Gomes, D.C.; R.C. de A.Cunha y E. Gloeden. 1991. Evaluation of a refinery land treatment unit using unsaturated-zone monitoring data. *Wat.Sci.Tech.*, 24: 217-227.
 - 6) Hattori, H. 1992. Influence of heavy metals on soil microbial activities. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 38: 93-100.
 - 7) Hoeppe, R.E.; R.H. Hinchey y M.F. Arthur. 1991. Bioventing soils contaminated with petroleum hydrocarbons. *J. Ind. Microbiol.*, 8: 141-146.
 - 8) Ilangovan, K. y M. Vivekanandan. 1992. Effect of oil pollution on soil respiration and growth of *Vigna mungo* (L.) Hepper. *Sci. Total Environ.*, 116: 187-194.
 - 9) Janke, S.; H. Schamber; y C. Kunze. 1992. Beeinflussung der bodenbiologischen aktivitat durch heizol. *Angew. Bot.*, 66:42-45.
 - 10) Loehr, R.C.; J.H. Martin; y E.F. Neuhauser. 1992. Land treatment of an aged oily sludge organic loss and change in soil characteristics. *Water Res.*, 26: 805-815.
 - 11) Lorenz, S.E.; S.P. Mc Grath; K.E. Giller. 1992. Assessment of free-living nitrogen fixation activity as a biological indicator of heavy metal toxicity in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 24: 601-606.
 - 12) McGrath, D. 1992. A note on the effects of diesel oil spillage on grass growth. *Irish J.Agric.Food Res.*, 31: 77-80.
 - 13) Mingelgrin, U. y Z. Gerstl. 1983. Re-evaluation of partitioning as a mechanism of non-ionic chemicals adsorption in soils. *J. Environ. Qual.*, 12: 1-11.
 - 14) Rasiyah, V.; R.P. Voroney; y R.G. Kachanosky. 1991. Effect of amendment on C mineralization of an oily waste. *Water Air Soil Poll.*, 59: 249-259.
 - 15) Rasiyah, V.; R.P. Voroney; y R.G. Kachanosky. 1992a. Bioavailability of stabilized oily waste organics in ultrasonified soil aggregates. *Water Air Soil Poll.*, 63: 179-186.
 - 16) Rasiyah, V.; R.P. Voroney; y R.G. Kachanosky. 1992b. Biodegradation of an oily waste as influenced by nitrogen forms and sources. *Water Air Soil Poll.*, 65: 143-151.
 - 17) Unger, P.W. B.A. Stewart. 1983. Soil management for efficient water use: an overview. p. 419-460. En: H.M. Taylor; W.R. Jordan; y T.R. Sinclair (Ed.). "Limitations to efficient water use in crop production". ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin.

Tabla 1. Análisis granulométrico de muestras superficiales.

Suelo	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura
Haploborol	48,80	28,20	23,00	F/FaA(%)
Crioumbrepte	46,70	33,70	19,60	F(##)

(#)= franco a franco-arcillo-arenoso; (##)= franco

Tabla 2. Propiedades químicas y físicas de muestras superficiales de los suelos y del residuo orgánico de petróleo (ROP) utilizados en el ensayo.

Suelo	pH H2O	pH KCl	C org (%)	N org (%)	C/N	P extr (ppm)
Haploborol	6,80	5,90	5,53	0,584	9,47	4,40
Crioumbrepte	5,30	4,20	9,60	0,521	18,43	1,70
ROP	6,50	-	3,89	0,268	14,51	-

Suelo	CIC	Ca	Mg	K	Na	PSI (%)	CE (dS/m)
		meq/100 g					
Haploborol	25,8	16,0	8,5	2,7	2,5	9,7	1,2
Crioumbrepte	23,2	6,8	5,0	1,3	1,1	6,8	0,4
ROP	8,71	6,1	4,0	0,3	0,7	8,0	1,5

Tabla 3: pH en agua (1:2,5) de muestras de suelo con 0 y 20% en peso de residuos orgánicos de petróleo.

Temp	3 °C				30°C			
	ROP %g/g		0		20		0	
	x	sd	x	sd	x	sd	x	sd
Haploborol	6,4	0,1	6,7	0,1	5,9	0,1	6,4	0,2
Crioumbrepte	5,6	0,1	5,3	0,2	4,8	0,1	5,0	0

Tabla 4. Efecto del agregado de residuos orgánicos de petróleo (ROP) sobre la energía (EG) y el poder germinativo (PG) de semillas de pasto ovillo, que germinaron sobre papel de filtro (control) y sobre suelo (Crioumbrepte).

Dosis de ROP (%)	EG (%)		PG (%)	
	x	sd	x	sd
Control	56.6	3.2	76.0	2.0
0	44.0	2.2	63.4	4.2
10	46.0	4.0	68.0	3.4
20	50.0	8.7	68.6	12.8
40	48.0	7.2	61.4	9.4

Leyendas de las figuras:

Figura 1: efecto del agregado de una capa superficial de residuo de petróleo (ROP) sobre la temperatura superficial del Haploborol. La línea punteada indica la teórica igualdad de temperaturas (relación 1:1).

Figura 2: efecto de la cobertura superficial con residuo de petróleo (ROP) sobre el porciento de saturación hídrica entre riegos del Haploborol.

Figura 3: variación de la microflora total del Haploborol y el Crioumbrepte (fertilizados con N y P), en función de distintos períodos y temperaturas de incubación, y del agregado de 20% en peso de residuo de petróleo (ROP).

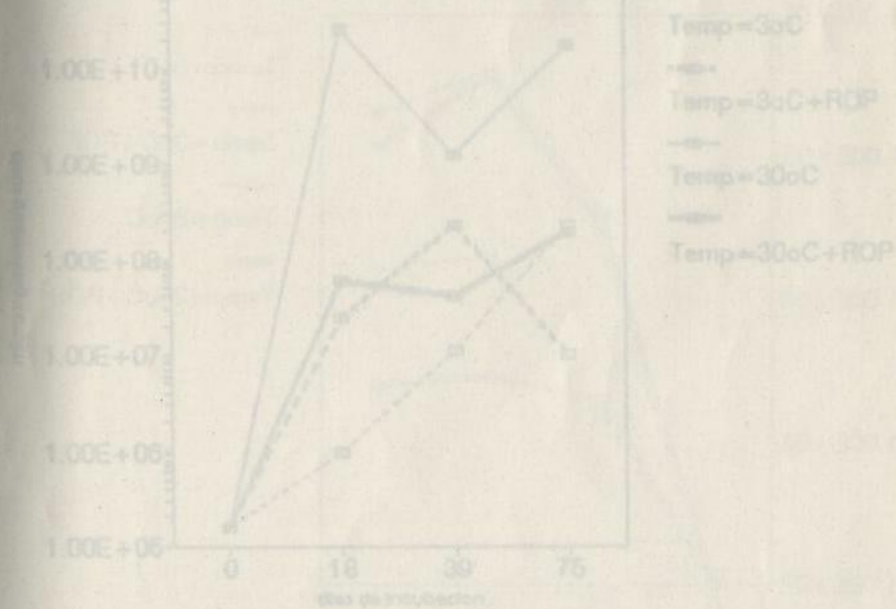
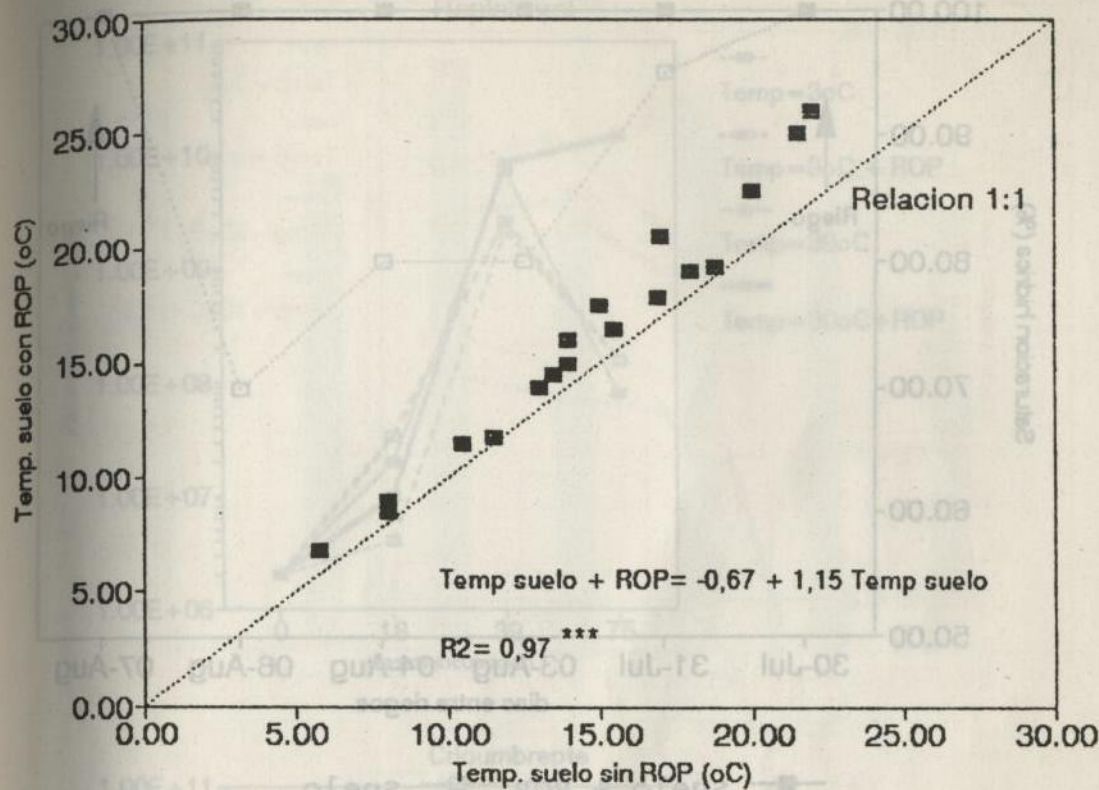
Figura 4: variación de la cantidad de nitrificadores del Haploborol y el Crioumbrepte (fertilizados con N y P), en función de distintos períodos y temperaturas de incubación, y del agregado de 20% en peso de residuo de petróleo (ROP).

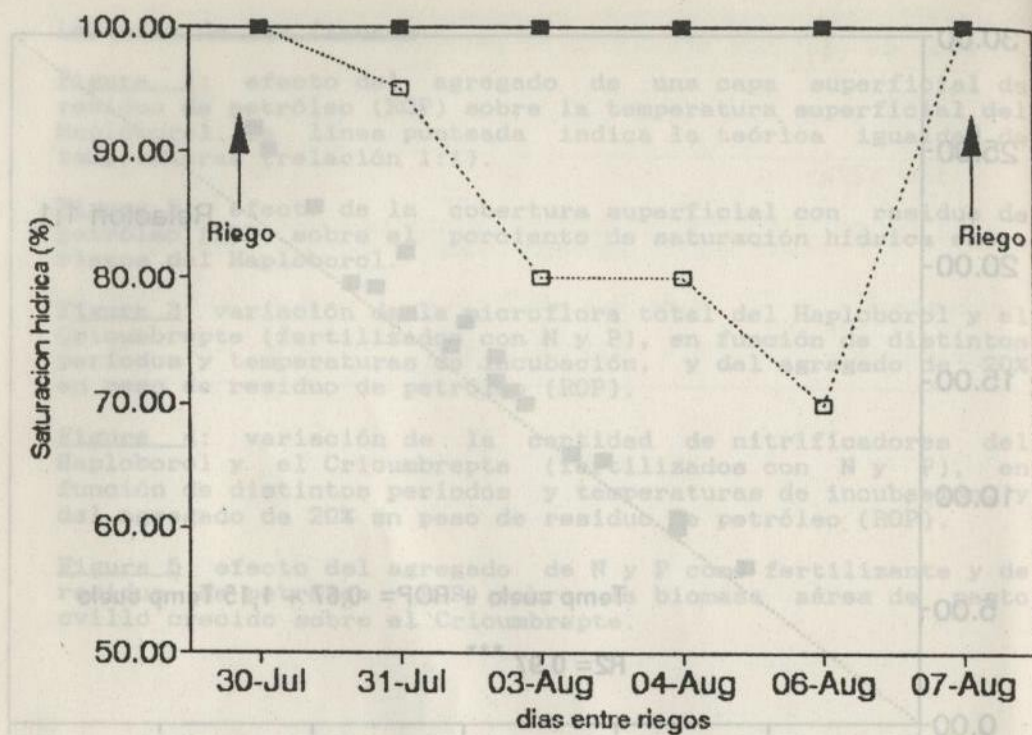
Figura 5: efecto del agregado de N y P como fertilizante y de residuo de petróleo (ROP) sobre la biomasa aérea de pasto ovillo crecido sobre el Crioumbrepte.

Tabla 2. Propiedades químicas y físicas de estratos superficiales de los suelos del residuo de petróleo (ROP) utilizado en el experimento.

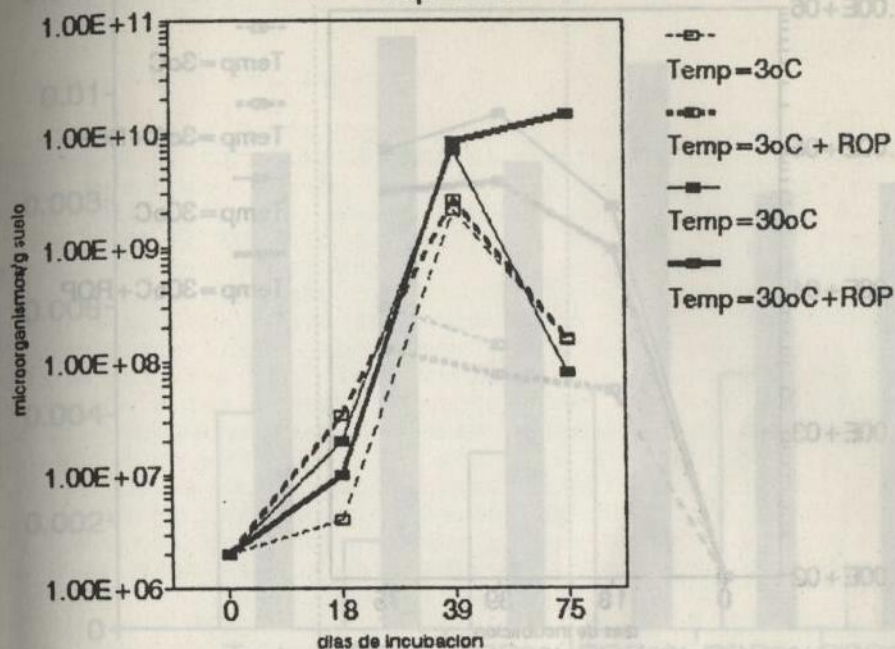
Suelo	pH	NO ₃ -N (%)	NO ₂ -N (%)	org. N (%)	C/N	P (%)
ROP	5.50	98.3	58.9	13.4	15.1	0.5

Suelo	pH (%)			EG (%)			Densidad (%)		
	Ca	Mg	K	Ca	Mg	K	ROP (%)	Control (%)	Control (%)
ROP	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0

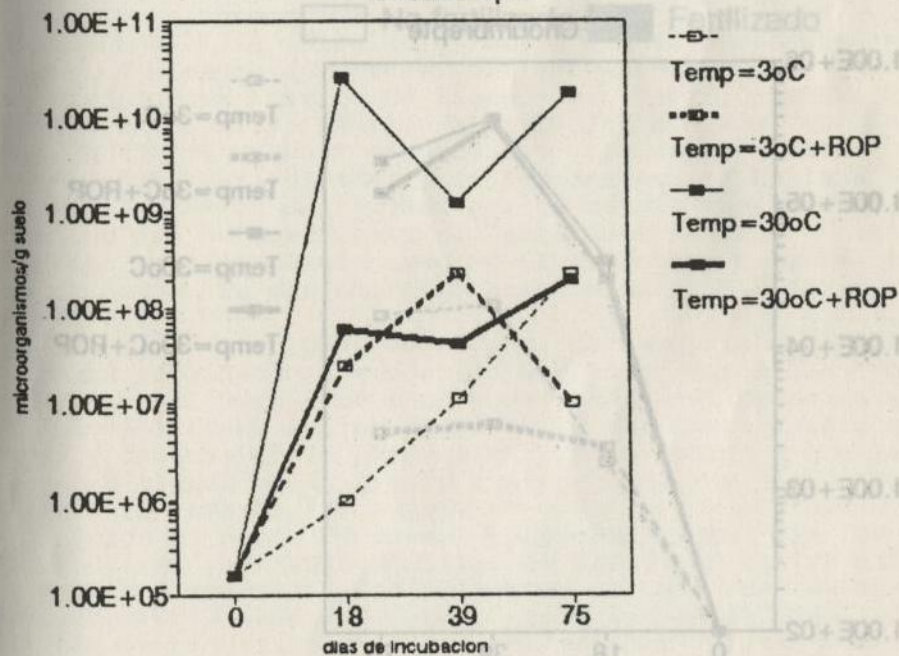




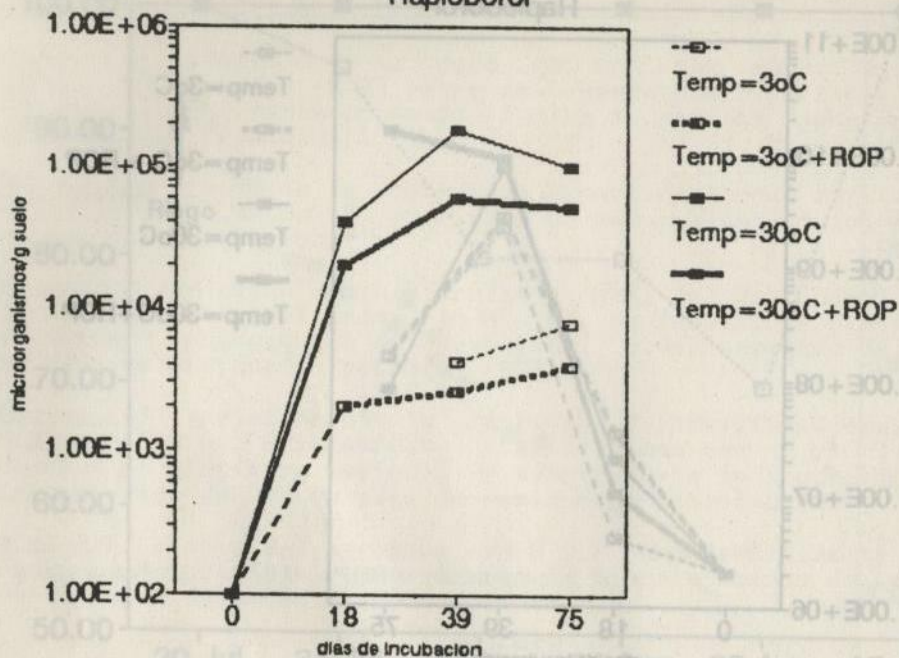
Haploborol



Crioumbrepte



Haploborol



Criumbrepte

