

ENSAYO DE GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE GRAMINEAS EN SUELOS BIORREMEDIADOS

Cruz, M.^{1,3}, Plaza, G.², Chihan, S.¹

¹Facultad de Ciencias Naturales. ² Facultad de Ingeniería. ³Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta - INENCO
Avda. Bolivia 5150. CP 4400. Salta. Argentina Fax: 0387 - 4255489 – Tel: 0387 - 4255424

Sinopsis

Se realiza un ensayo de germinación y crecimiento de especies vegetales para iniciar el proceso de revegetación de un predio sometido a tratamiento biológico.

Las experiencias se llevaron a cabo con muestras de suelos biorremediados provenientes de un pasivo ambiental de la actividad petrolera. Las mismas se desarrollaron bajo cubierta, en un invernadero, en condiciones de temperatura y humedad similares a las existentes en la zona de origen. Paralelamente se desarrolla la experiencia en campo. El ensayo de germinación y crecimiento se efectúa con las siguientes especies: *Bermuda grass*, *Ray grass* y *Festuca* sobre suelos bioremediados con dos concentraciones de hidrocarburo 0,57% y 1,35 % HTP/ST y un control, conformando así un diseño factorial con nueve tratamientos y tres repeticiones, con arreglo de dos factores y tres niveles cada uno. El ensayo se mantuvo durante 35 días.

Los resultados alcanzados en la experiencia de revegetación de suelos sometidos a un tratamiento de biorremediación muestran que la especie *Bermuda grass* contribuye a la disminución de hidrocarburos totales.

Se realiza un estudio en campo de las especies desarrolladas naturalmente en el predio, y se propone desarrollar un protocolo específico para las especies de las familias *Poaceae*, *Chenopodiaceae* y *Malvaceae* con el objeto de iniciar la clausura de sitios recuperados en la zona.

Introducción

El área de estudio se encuentra ubicada en el norte de la Provincia de Salta en el Departamento General San Martín en el paraje denominado San Pedrito, dentro de las Sierras Subandinas (Vera, 1987). Dentro de la misma, el sitio de estudio se ubica entre las Sierras del Alto Río Seco o San Antonio hacia el oeste y Sierra de Tartagal o de Aguaragüe hacia el Este.

Las Sierras Subandinas están cubiertas por distintas especies vegetales características de la denominada Selva Tucumano-Boliviana o Yungas. Dentro de las tres unidades ambientales principales (Selva Pedemontana, Selva Montana y Bosque Montano) en que se divide las Yungas, la zona de estudio se ubica en la Selva Montana.

La Selva Montana altitudinalmente por encima de las Selvas Pedemontanas se desarrolla en una franja desde el límite con Bolivia hasta la provincia de Tucumán. Es la zona con mayor exuberancia de las Yungas, coincidiendo con la máxima pluviosidad y biodiversidad. En un corte vertical de la cobertura vegetal arbórea se reconocen tres niveles:

- Estrato superior: predominan las especies de mayor porte, de 1m de diámetro, 30 m de altura, del tipo caducifolias.
- Estrato medio: con presencia de especies caducifolias y perennifolias, de menor porte que las presentes en el estrato superior.
- Estrato inferior: con árboles de menos de 10 m de altura, de hojas persistentes y frutos carnosos.

Los árboles de ésta región son de forma más irregular en relación a los de la Selva Pedemontana y buena parte de ellos conservan el follaje todo el año; son muy comunes las enredaderas (epífitas) (García López, 2002).

El interés de revertir sitios que constituyen pasivos ambientales dio lugar al desarrollo de aspectos metodológicos variados que garantizan la recuperación de características propias del ecosistema, Los pasivos ambientales constituyen un conjunto de daños ambientales producidos por la actividad sin tratamiento inmediato debido a:

- su actividad normal
- caso de accidente

La recuperación de un pasivo ambiental comprende el reestablecimiento de las características originales del suelo perdidas.

Esta situación es difícil de resolver ya que la estabilidad adquirida del contaminante por la permanencia en el suelo durante un período de tiempo prolongado dificulta un cambio y la restitución de las propiedades originales que dan lugar a la calidad del suelo. Sin embargo, el proceso de bioremediación comprende una alternativa interesante, simple, de bajo costo de inversión pero relativamente lento que debe ser complementado con el desarrollo de la cubierta vegetal para lograr el objetivo propuesto.

Bioremediación

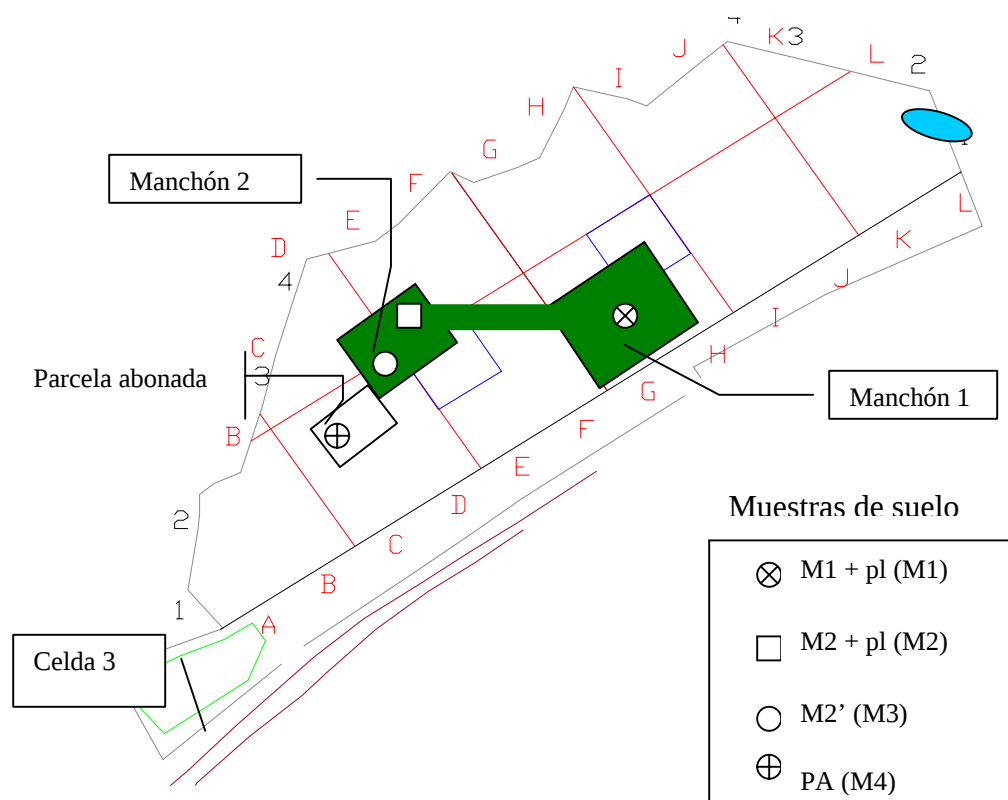
La biodegradación efectuada por poblaciones naturales nativas de microorganismos, representa uno de los mecanismos primarios por el que la contaminación con petróleo es eliminada del medio ambiente. La actividad enzimática microbiana es la responsable de dicha biodegradación de contaminantes y biorremediación de ambientes afectados por derrame de efluentes con hidrocarburos.

La EPA (Environmental Protection Agency de los E.E.U.U) define Biorremediación como la manipulación de sistemas biológicos para efectuar cambios en el ambiente. En un ambiente con suficiente disponibilidad de oxígeno, fósforo, nitrógeno, y otros nutrientes, los contaminantes del medio son utilizados como fuente de carbono para el crecimiento y multiplicación microbiana, siendo degradados a compuestos tales como dióxido de carbono y agua o modificándolos a formas menos tóxicas. Dado que el petróleo es una mezcla compleja, su degradación es favorecida por una interacción de diversas especies microbianas.

Para lograr una efectiva degradación es necesaria la presencia de microorganismos y otros organismos en asociaciones apropiadas y en condiciones adecuadas para la actividad biológica.

Desarrollo

El ensayo se desarrolla para un predio en bioremediación organizado como se muestra en mapa:



Metodología:

La recuperación de la flora en el sitio se plantea a partir de estudios en laboratorio y campo

Estudio en Laboratorio:

El ensayo se llevó a cabo en condiciones de temperaturas similares a las existentes en el campo. Se trabajó en un invernadero a 35 - 40 °C de temperatura aproximadamente, se regó cada 24 h durante 35 días.

Se recolectaron 7 muestras con diferentes concentraciones de hidrocarburo del horizonte superficial (0-40 cm.) del landfarming tomadas el 25-11-2004. Las muestras se separaron en dos grupos según la similitud en sus concentraciones, a cada mezcla se le agregó suelo bioremediado, en laboratorio, proveniente del mismo landfarming.

Mezcla	Celdas	Concentraciones
A	E2	1.06
	F 3-4	0.81
	GH 1-2	0.79
	E2 (de biotratamiento)	< 1
B	IJ 3-4	2.53
	KL 1-2	2.44
	CD 3-4	1.23
	H2	1.38
	H2 (de biotratamiento)	< 1

Tabla 1: Características de las muestras

Las concentraciones de las muestras ensayadas fueron: **A** = 0.57 % HTP/ST y **B** = 1.35 % HTP/ST.

El suelo homogeneizado se distribuyó en recipientes plásticos de 17,3 x 32,3 cm (559,87 cm²) y en cada uno se dispuso 3 kg. de muestra.

Las semillas de las especies vegetales utilizadas fueron proporcionadas por la empresa responsable del sitio, siendo las mismas aplicadas en campo¹:

- **Festuca:** Se caracteriza por presentar un sistema radicular muy desarrollado, plantas muy rústicas, resistentes a sequías y adaptabilidad a distintos tipos de suelos. Es una gramínea perenne, hojas anchas, menos brillantes en la cara inferior, con nervaduras bien diferenciadas, de ciclo invernal (mesotérmica), que forma matas, tolera considerablemente la sequía. La época de siembra es en otoño e invierno.
- **Ray Grass (*Lolium multiflorum*):** Es una variedad de porte erecto, hojas sin lígulas, prefoliación arrollada en forma de cartucho. Gramínea anual de ciclo invernal, crece en suelos fértiles con buen drenaje. La época de siembra es en otoño.
- **Bermuda Grass (*Cynodon dactylon*):** Es una especie perenne, de crecimiento rastrero muy vigoroso, con textura media a fina y alta resistencia al pisoteo y sequías. Tiene un período de implantación y emergencia largo. Por ser una especie de climas cálidos (megatérmicas), durante el invierno entra en reposo hasta la próxima primavera, amarilleándose sus hojas. El alto ritmo de crecimiento durante el verano obliga a cortes frecuentes. Es muy importante un programa de fertilización mensual para mantener el césped con buena apariencia durante el verano. La densidad de siembra es de 400 a 750 gr/100 puede sembrarse en densidades menores, pero siempre en detrimento del tiempo de implantación. La época de siembra es en primavera-verano.

Se realizó un ensayo de análisis de semilla según normas ISTA modificadas

Diseño Experimental:

Se realizó un diseño factorial con nueve tratamientos y tres repeticiones, con arreglo de dos factores y tres niveles cada uno:

1. Concentración de petróleo: C = 0 (control), A = 0.57 % HTP /ST y B = 1,35 % HTP/ST.
2. Especies vegetales: Ray Grass, Bermuda Grass y Festuca, con una densidad de siembra de 17,5 kg/ha. (según lo recomendado por la empresa abastecedora de semillas)

Las variables evaluadas al final del experimento fueron: número de semillas germinadas, peso seco (g), biomasa vegetal (kg/ha), longitud de raíz (cm), porte (cm) y degradación de petróleo en %HTP/ST al inicio y final.

Estudio en campo:

1. Se sembró una mezcla de semillas de Festuca, Ray grass y Bermuda grass, para comparar los resultados de laboratorio manejando una densidad de siembra de 60 kg/ha. La siembra al voleo se desarrolló en condiciones de elevada humedad del suelo.
2. Se realizó el relevamiento de la vegetación existente tanto dentro del landfarming como de los alrededores del mismo.

La vegetación relevada en el predio es la que se estableció naturalmente luego de pasada la época estival, tiempo en el cual no se realizaron laboreos agrícolas.

¹ Información extraída de la pagina web de la empresa abastecedora de las semillas implantadas.

El estudio dentro del sitio bioremediado se realiza sobre dos parcelas con vegetación (manchones 1 y 2) que quedaron después del laboreo agrícola realizado un día previo al muestreo.

Dentro de cada parcela se estudia las especies presentes, frecuencia, abundancia, cobertura mediante transectas, altura promedio y distancia entre la misma especie dentro del landfarming y fuera del mismo.

Asimismo se analizan factores determinantes de la presencia de vegetación en esos manchones, tomándose muestras de suelo de esos sitios.

Se caracteriza la vegetación de los alrededores del landfarming mediante la recolección de especies más abundantes. Las especies recolectadas se las destina para la elaboración de un herbario del landfarming.

En todo el predio de estudio se realiza la observación de especies faunísticas.

Resultados experimentales:

La caracterización físico – química de las mezclas ensayadas se muestra en tabla 2.

Parámetro	Mezcla A		Mezcla B	
pH	7.63		7.59	
Conductividad (mS/cm)	18.8		23.4	
STD (g/l)	0.85		1.05	
N (ppm N-NO ₃ ⁻) (kg/ha)	3	6.8	4	9
NH ₃ (ppm) (kg/ha)	13	28	14	32
P (ppm) (kg/ha)	37	85	54	123
K (ppm) (kg/ha)	270	617	251	264
%HTP /ST	0.57		1.35	

Tabla 2: Caracterización de las muestras ensayadas

Los suelos con una conductividad superior a 4mS/cm se consideran salinos y afectan la estructura del suelo

Resultados de laboratorio

En la siguiente tabla es posible observar el número de semillas germinadas al final del ensayo, según normas ISTA modificadas

Especie Concentr.	Bermuda Grass		Ray Grass		Festuca	
	Repetición	N° sem. germ.	Repetición	N° sem. germ.	Repetición	N° sem. germ.
A	1	292	1	0	1	4
	2	271	2	2	2	1
	3	291	3	1	3	0
B	1	223	1	0	1	0
	2	221	2	4	2	3

	3	297	3	0	3	0
Control	1	271	1	8	1	4
	2	364	2	4	2	4
	3	249	3	3	3	1

Tabla 3: Número de semillas germinadas

A continuación se expresan los resultados obtenidos en los tratamientos que incluían la especie Bermuda grass, debido a que en los tratamientos con las otras especies NO SE registraron datos relevantes para el análisis de las variables evaluadas.

	A 0,57 %HTP % sem germ	B 1,35 %HTP % sem germ	C Control % sem germ
Repeticion 1	11.86	9.06	11.01
Repeticion 2	11.01	8.98	14.78
Repeticion 3	11.82	12.06	10.11
Promedio	11.56	10.03	11.97

Tabla 4. Porcentaje de semillas germinadas de bermuda grass

Se observa un bajo porcentaje de semillas germinadas tanto en el control como en los tratamientos con hidrocarburo, lo que indica que el lote de semillas proporcionadas posee bajo poder germinativo (confirmado por el análisis de semilla), posiblemente por un período prolongado de almacenamiento.

	A (0,57 %HTP)		B (1,35 %HTP)		C (Control)	
	Raiz (cm)	Porte (cm)	Raiz (cm)	Porte (cm)	Raiz (cm)	Porte (cm)
Repeticion 1	3.50	1.11	2.97	1.20	8.42	17.28
Repeticion 2	3.85	0.86	3.28	1.27	4.36	9.50
Repeticion 3	3.72	0.97	3.32	1.10	9.27	20.58
<i>Promedio</i>	3.69	0.98	3.19	1.19	7.35	15.79

Tabla 5 Longitud de raíz y porte

Se evidenciaron diferencias significativas para la longitud del porte entre los tratamientos con hidrocarburo y el control, registrándose valores mayores en este último. En lo referente a la longitud de raíz, mediante la observación del material, se puede inferir que existirían diferencias entre el control y los tratamientos con hidrocarburo presentando estos últimos un menor volumen radicular.

	A	B	C
	Prod(Kg/Ha)	Prod(Kg/Ha)	Prod(Kg/Ha)
Repeticion 1	25.0344	13.9407	1861.1374
Repeticion 2	20.8138	11.842	617.6434
Repeticion 3	21.3801	23.8716	2058.285
<i>Promedio</i>	22.4094	16.5514	1512.3553

Tabla 6. Productividad , biomasa vegetal (peso seco)

Se observa diferencia entre la producción del control y los tratamientos con niveles de petróleo, esto se explica por el menor desarrollo de los vegetales en las concentraciones A y B, indicando así una inhibición del crecimiento debido a la presencia de hidrocarburo. Si bien existe una disminución de la producción de biomasa en el tratamiento con mayor concentración de hidrocarburo, esta no es una diferencia significativa con la producción obtenida en el tratamiento con menor concentración.

	A	B
%HTP inicial	0.57	1.35
%HTP final	0.41	0.96
Diferencia	0.16	0.39
% Degrad	27.86	29.02

Tabla 7. Degradación de hidrocarburo en % HTP /ST

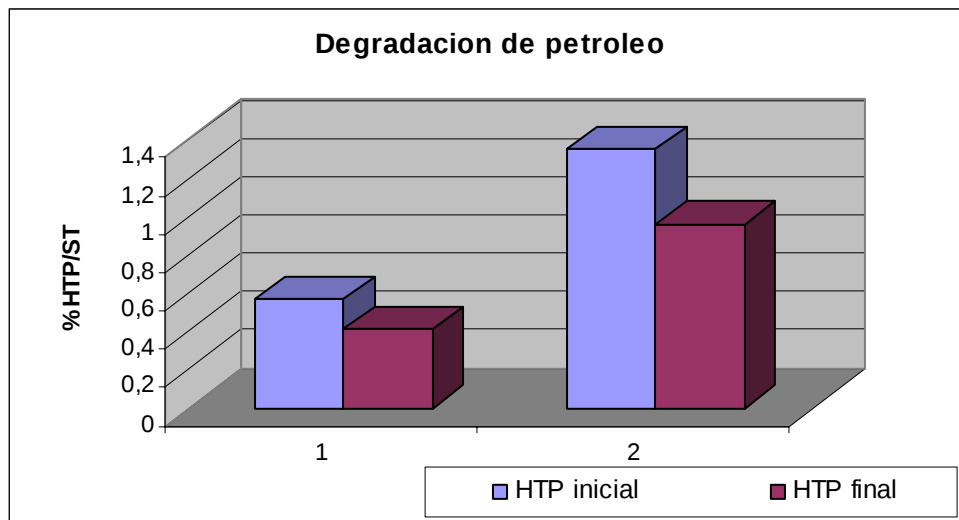


Figura 1. Degradación de hidrocarburo en tratamientos con Bermuda grass. (1 = Concentración A; 2= Concentración B)

A pesar del escaso número de semillas germinadas y desarrollo de las plantas en los suelos contaminados, se observó una disminución en la concentración de petróleo cercana al 30% en ambos casos, debido a la acción combinada de plantas y bacterias provenientes de la bioremediación.

Resultados de campo:

1. En distintos sectores del predio se observan especies vegetales que se recogieron y fueron identificadas como plantas propias del lugar (de crecimiento espontáneo) cuyo estudio es interesante encarar. No se observaron plantas de las especies sembradas, Ray Grass, Bermuda Grass ni Festuca.
2. Además del relevamiento de plantas, se desarrollan los análisis físico-químicos de las muestras de suelo correspondiente:

Muestra	ST (%)	Humedad (%)	Cenizas (%)	SV (%)	HTP/ (%ST)	pH	CE (mS/cm)	STD
M1	93,46	6,54	96,47	3,53	0,30	7.92	3.46	0.23
M2	88,98	11,02	96,59	3,41	0,14	8.17	1.15	0.08
M3	85,20	14,80	96,63	3,37	0,085	8.29	1.31	0.09
M4	86,40	13,60	96,35	3,65	0,52	7.67	6.62	0.45

Tabla 8: Caracterización de los sectores relevados

Asimismo, en la siguiente tabla figura la descripción de las especies vegetales observadas, en las parcelas del interior del landfarming

Manchón	Especies		Observaciones
	Familia	Nombre Científico	
M 1	Cyperaceae	<i>Cyperus rotundis L</i>	Es la más abundante, con una altura promedio entre los 35-40 cm. Tiene una cobertura del sitio entre el 90 y 95%. La distancia a un individuo exterior al manchón es de 9 m Es la segunda más abundante.
		<i>Cyperus odoratus L</i>	
	Poaceae	<i>Eleusine trystachia</i> <i>Panicum stoloniferum</i>	
	Chenopodiaceae	<i>Chenopodium murale L.</i>	
	Malvaceae	<i>Malvastrum coromandelianum</i>	Único individuo en el manchón
M 2	Cyperaceae	<i>Cyperus odoratus L.</i>	Es la mas abundante, con un 70 % de cobertura.con una altura promedio de 45 cm
		<i>Cyperus entrerrianus</i>	

		<i>Boeck</i> <i>Cyperus surinamensis</i> <i>Cyperus rotundis L.</i>	
	Poaceae	<i>Panicum stonoliferum</i> <i>Panicum maximum</i> <i>Setaria verticillata</i>	
	Malvaceae	<i>Malvastrum coromandelianum</i>	Mas abundante que en M1
	Onagraceae	<i>Sp.</i>	Especie no muy abundante, con semilla

Tabla 9: Descripción de las especies vegetales observadas, en las parcelas del interior del landfarming*

Se observa similitud de especies en ambos manchones, aunque el de mayor diversidad es el M2, esto quizás a la menor distancia que existe entre el manchón y vegetación de los alrededores menor a los 1,5 m. A su vez, también se puede deber a las características físico-químicas del suelo del M2 que permite el asentamiento de mayor cantidad de especies, éste presenta menor conductividad y menor concentración de hidrocarburo. Además es notable la presencia de mayor cantidad insectos como lo indican el mayor número de hormigueros observados en el M2, incluso la muestra M3 (correspondiente al Manchón 2) tenía gran cantidad de huevos y hormigas aun vivas, indicando la buena restitución del sitio. Confirmado a través de bajo porcentaje de HTP determinado.

El factor determinante, en el caso del Manchón 1, para la presencia de vegetación puede ser la depresión existente en el sector que pudo determinar un aumento de la humedad. La depresión puede ser causa de los movimientos de tierra debido al laboreo de los suelos ya que no se hizo una nivelación del terreno antes de iniciar las actividades.

En la parcela abonada (con incorporación de estiércol) no se observa vegetación alguna, el factor determinante en este caso puede ser la alta conductividad eléctrica del suelo observada en el campo a través de la presencia de salitres en la superficie del suelo y confirmada con la determinación en laboratorio. Asimismo el nivel de hidrocarburo determinado fue superior a todas las otras muestras.

Si bien es beneficioso el asentamiento de vegetación naturalmente en el sitio estudiado indicando un efectivo trabajo de bioremediación, las especies mas abundantes corresponden a la familia de las Cyperaceae. Siendo éstas, reconocidas como maleza o plaga en la zona y por sus características de invasoras es que se regeneraron con facilidad en el landfarming (un claro de vegetación). Por este motivo es que no se recomienda que continúe su establecimiento en el predio, pudiendo ser incorporada como materia orgánica en el suelo.

Las especies autóctonas encontradas en los alrededores del landfarming son las detalladas a continuación:

Familia	Especie	Observaciones
Asteraceae	<i>Eupatorium sp.</i>	Son abundantes en todo el

* Todas las muestras de las especies enunciadas están herborizadas e identificadas.

	<i>Mikania cordifolia</i> <i>Tagetes minuta</i> L. <i>Tessaria</i> sp. <i>Tessaria integrifolia</i> <i>Ageratum conyzoides</i> <i>Gamochaeta</i> sp. otras	predio, algunas especies también se encuentran dentro del landfarming. Palo bobo, de porte forestal está presente también en la celda 3
Rubiaceae	<i>Psychotria carthaginensis</i>	Localizadas en el sector de las celdas G y H 4
Tiliaceae	<i>Triumfetta semitriloba</i> Jacq	
Lamiaceae	<i>Hyptis mutabilis</i>	
Convolvulaceae	<i>Ipomea</i> sp	Prolonga su cobertura hacia el landfarming en sitios con mayor humedad
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia berteniana</i>	Muy abundante
Malvaceae	<i>Malvastrum coromandelianum</i>	
Sapindaceae	<i>Cupania vernalis</i> <i>Thirronia mucromata</i>	Localizada en el sector de H 1
Urticaceae	<i>Phenox laevigatus</i>	Localizada en el sector de H 1
Chenopodiaceae	<i>Chenopodium murale</i> L	
Nyctaginaceae	<i>Petiveria alliaceae</i>	
Amaranthaceae	<i>Amaranthus hybridus</i> Subs. Quitensis <i>Chamissoa acuminata</i> Marte	Localizada en el sector de K y L
Celtadaceae	<i>Celtis tala</i>	Localizada en el sector de H 4
Fabaceae	<i>Acacia aroma</i> <i>Anadenanthera colubrina</i> var cebil	Se observaron renovales de ambas
Solanaceae	<i>Solanum lorentzii</i> Bitter	Sector de la estaca G, cercano al manchón 1

Phytolacaceae	<i>Divina humilis L.</i>	También en el sector de E 4
Portailacaceae	<i>Talinum paniculatum</i>	
Poaceae	<i>Panicum stonoliferum</i> <i>Panicum maximum</i> <i>Setaria verticillata</i> <i>Eleusine trystachia</i>	
Onagraceae		

Tabla 10: Especies autóctonas encontradas en los alrededores del landfarming*

El tártago es una especie muy abundante en todo el predio, sería interesante estudiar su evolución en muestras de suelo bioremediado

En la zona de estudio se observaron las siguientes especies correspondientes a la micro como macrofauna de la zona. Entre los insectos se observó: hormigas (abundantes en todo el sitio especialmente en el sector del manchón 2), y otros quirópteros, los arácnidos, arañas; entre los artrópodos langostas de distintas variedades; entre los anélidos, gusanos.

Las huellas de fauna de mayor tamaño correspondieron a anta o tapir, corzuela, ave zancuda (en el sector de estancamiento de agua - celdas IJ)

Conclusiones

Al nivel de laboratorio, la especie Bermuda grass es la única que emergió en los suelos empetrolados, con disminución de la concentración de petróleo, sin embargo su desarrollo resulta inhibido por la concentración de hidrocarburo-salinidad ensayada. La especie resiste las condiciones de elevadas temperaturas (característica de la zona del landfarming), registrándose en los controles un buen desarrollo de la misma, pero con bajo porcentaje de germinación como en todos los tratamientos aplicados.

Las especies Festuca y Ray grass son plantas de ciclo invernal, su utilización es aconsejada en épocas de bajas temperaturas por lo que no resultan adecuadas para las condiciones en las que se llevó a cabo el ensayo ni de siembra en el campo.

Del estudio en campo de las especies desarrolladas naturalmente en el predio, se propone desarrollar un protocolo específico para las especies de las familias *Poaceae*, *Chenopodiaceae* y *Malvaceae* con el objeto de iniciar la clausura de sitios recuperados en la zona.

Asimismo se propone:

1. Manejo del lugar (landfarming) con las especies que van surgiendo espontáneamente. Ir incorporando masa vegetal, respetando las especies arbóreas que van apareciendo.
2. Desarrollo de especies vegetales arbóreas de valor forestal tanto autóctonas como exóticas en condiciones de vivero en tierra bioremediada para ver su comportamiento y seleccionar las aptas para el lugar.

Referencias bibliográficas

- Brown, A y Grau. 1993. La Naturaleza y el Hombre en las Selvas de Montañas. Proyecto GTZ – Desarrollo Agroforestal en Comunidades Rurales del Noroeste Argentino. Salta
- Environmental Protection Agency, Protocolo de Fitoremediación
- García López, Edgardo. 2002. Estudio geológico aplicado en el trazado del acceso al pozo San Pedrito X-2. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Naturales. UNSa.
- Normas ISTA (International Seed Testing Association), 1999
- Novara, Lázaro J. 1997. *Guía Ilustrativa de claves. Aportes botánicos de Salta*. Herbario MCNS. Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta. Vol. 6, N° 4.
- Novara, Lázaro J. 1994. *Guía Ilustrativa de claves. Aportes botánicos de Salta*. Herbario MCNS. Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta. Vol. 4, N° 21.
- Novara, Lázaro J. 1994. *Guía Ilustrativa de claves. Aportes botánicos de Salta*. Herbario MCNS. Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta. Vol. 4, N° 11
- Novara, Lázaro J. 1997. Nómima preliminar de Familias, géneros y especies de Fanerógamas del Noroeste Argentino. Aportes Botánicos de Salta. Serie Didáctica. Guía Ilustrada de clases. Facultad de Ciencias Naturales. UNSa. Salta, Argentina
- Plaza, G. Lopez, R y Saca, E 2004. Bioremediación de Pasivos Ambientales a Escala Laboratorio. . Publicado en "Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente" Vol. N°8. ISSN 0329-5184.
- Vera, J.A. 1987. Estratigrafía y tectónica de la comarca comprendida entre las quebradas Zanja Honda y Galarza. Dpto. San Martín. Provincia de Salta. Tesis profesional. Escuela de Geología. Fac. de Ciencias Naturales. UNSa.