

1Rehabilitación con bioestimulación y gramíneas nativas de un derrame en la trampa Scraper Las Horquetas, Santa Cruz

G. Oliva¹, J. Luque², A. Cesa¹, D. Ferrante¹, J. Kofalt¹, H. Castro Dassen¹, E. Rivera¹, G. Humano¹ y E. D'Elia³.

¹INTA EEA Santa Cruz, ²INTA EEA Chubut y ³Petrobrás Energía Santa Cruz

Sinopsis

Se rehabilitaron 1.8 ha de suelo que en agosto de 2002 habían sufrido un derrame de petróleo de una trampa de scraper del oleoducto María Inés- Punta Loyola, 70 km al NW de Río Gallegos. Luego de las tareas de remoción, los suelos tenían un 5.6% de HT, los arbustos habían muerto en un 50.9% y la cobertura herbácea se redujo al 2,2%. Se realizaron cinco labores de biorremediación con laboreo y fertilización entre 2003 y 2004. Los niveles de HT descendieron a 0,48% en Abril de 2004. Se escarificaron las áreas compactadas y se sembró en surcos y al voleo con 18 Kg. de semilla de pastos nativos: Coirón Poa (*Poa duseii*), Coirón blanco (*Festuca pallens*) y Cebadilla patagónica (*Bromus setifolius*), asegurando 81.4 semillas viables/m², y 76 Kg. de Avena y Centeno como acompañantes. Para la implantación se regó por aspersión una lámina de 70 Mm. a partir del Río Coyle. En un año se logró una cobertura herbácea de 7,4% contra un testigo no impactado de 37,6%. Se detuvo la mortalidad de arbustos. El centeno mostró un buen rendimiento (8939 Kg./ha). La densidad de plántulas de las gramíneas sembradas fue de 27,4 pl/m² (surcos) y 22,3 pl/m² (voleo), contra 17,8 pl/m² establecidas en el área testigo. La riqueza específica fue de 18.4 contra 22 en el área testigo. Se lograron los objetivos de remediación de suelos sin afectar a los arbustos sobrevivientes, y la comunidad de pastos nativos alcanzó los objetivos de diversidad y densidad de plantas de gramíneas, aunque no los de cobertura, dado su lento crecimiento. Se demostró la viabilidad de la biorremediación a esta latitud y se realizó una primera experiencia de revegetación sin gramíneas perennes introducidas que complican el manejo posterior por atraer la hacienda y constituyen una alteración permanente del ambiente natural.

Introducción

En Agosto de 2002 un derrame afectó una zona de terraza alta del Río Coyle, en el área ecológica del Matorral de Mata Negra. El hidrocarburo se encauzó por pequeñas redes de drenaje cubiertas por la Mata Negra (*Junellia tridens*), un arbusto bajo de hojas escamosas que por ser freatofito busca el fondo de cañadones. El petróleo fue recogido por contratistas de Petrobrás SA (en ese momento Pecom Energía) mediante bombeo desde pozos sumidero y zanjias transversales. El fluido fue impulsado a mano, con escurridores sobre el suelo congelado, y posteriormente mediante hidrolavadoras a 20° C que permitieron fluidificar y recuperar una porción adicional. El impacto sobre la vegetación fue importante, ya que la cobertura herbácea del 25,6% en el área testigo se redujo a un 2,2% luego del derrame. El área tenía en ese momento un promedio de 36% de cobertura de arbustos, que murieron en un 50.9% por efecto tóxico de los hidrocarburos. El incidente fue evaluado mediante un Estudio de Impacto Ambiental de la UNPA de Octubre de 2002, en el cual se recomendaba la biorremediación por laboreo y revegetación con plantas nativas o introducidas, respetando la integridad de los arbustos.



Fotografía 1: Dique de contención final del derrame

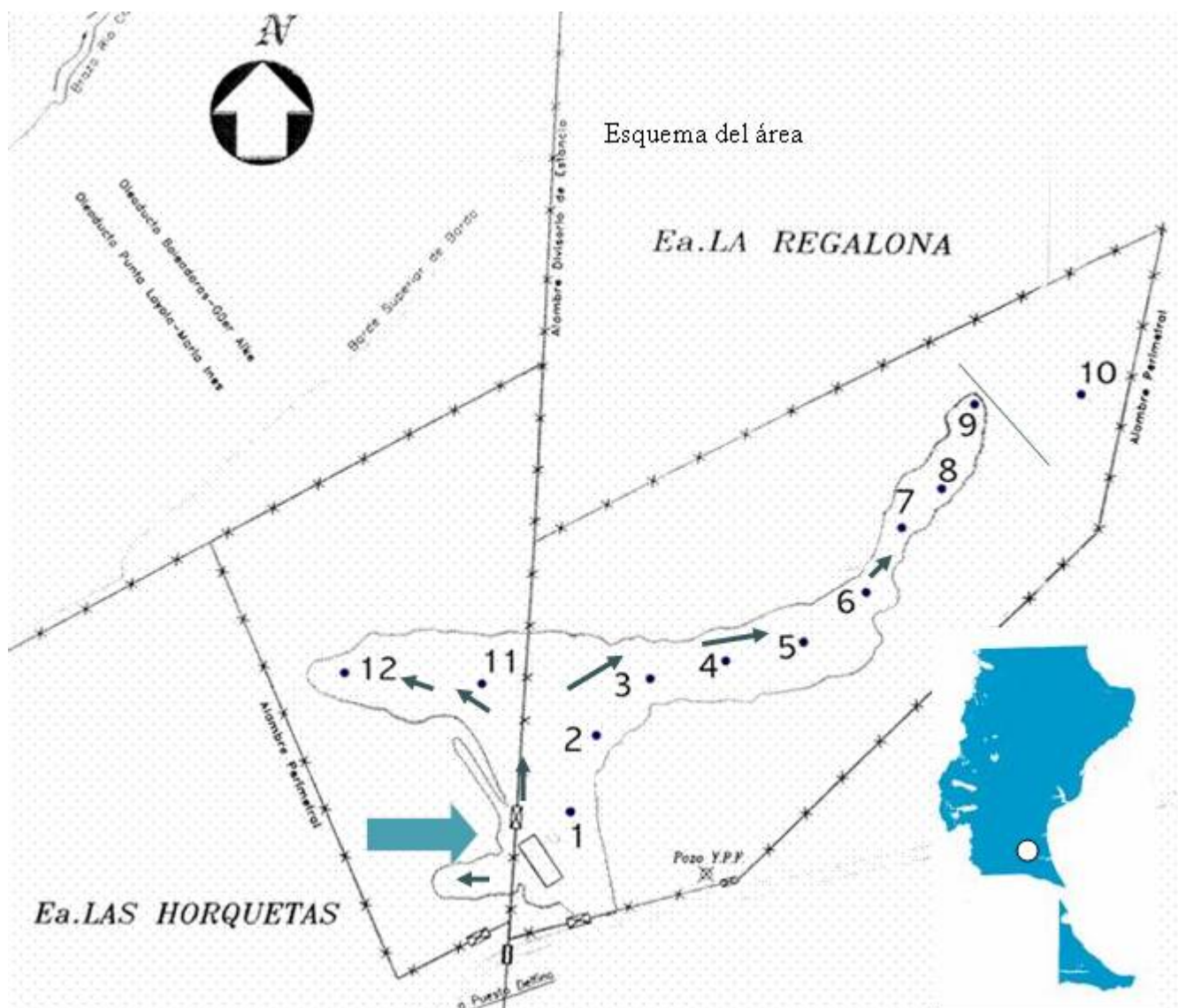


Figura 1: Esquema del derrame y ubicación de las estacas de muestreo (con números). La estaca 10 se mantuvo como testigo porque el derrame fue contenido por la trinchera final (línea)

Objetivos

Degradar in situ el hidrocarburo a menos de 1%.

Descompactar caminos y playas de maniobras y revegetarlas.

Frenar la erosión eólica e hídrica.

Regenerar una comunidad con al menos 25% de cobertura herbácea de especies perennes nativas con una diversidad similar a la de áreas testigo.

Conservar el 50% de arbustos vivos y estimular el reestablecimiento

Desarrollo

Biorremediación

En febrero y julio de 2003 y en marzo de 2004 se recogieron muestras compuestas del horizonte superficial distribuidas en 12 puntos que se marcaron con estacas permanentes. Las muestras se enviaron al Laboratorio Laqui (Bs As) para estimación de hidrocarburos totales por método gravimétrico de extracción SOXLEHET. Las estimaciones iniciales indicaron un contenido inicial de 5,6% promedio de hidrocarburos con un máximo de 12.47%.

Con el objetivo de reducir este contenido se realizaron labores de bioestimulación, agregando nutrientes para acelerar la degradación por hongos y bacterias naturales del suelo y roturando para aumentar las pérdidas por volatilización. Los laboreos se realizaron mediante una combinación de remoción manual de la zona de la corona de las matas y se cortaron ramas muertas empetroladas por medio de azadas, combinado con la remoción completa en la zona entre las matas por medio de dos motocultivadores de 5Hp (en áreas cubiertas) y 8hp (entre matas). Las áreas no cubiertas por arbustos fueron removidas utilizando un vibrocultivador y un cincel con un tractor de 45 hp. Se realizaron cinco labores completas de bioestimulación, con cincelado, vibrocultivador y motocultivadores de mano entre los arbustos, agregando en cada ocasión 80kg/ha de fosfato diamónico y 100 Kg./ha de urea en Marzo, Mayo, Septiembre y Diciembre de 2003 y en Marzo de 2004.

Cosecha:

Se cosecharon tres pastos nativos: Coirón poa (*Poa dusenii*), una gramínea baja de muy buena calidad forrajera proveniente de banquinas de la Ruta 3 Piedra Buena y Moy Aike el 27/12/02; Coirón blanco (*Festuca pallescens*), una gramínea mediana muy común en la Patagonia; y Cebadilla patagónica (*Bromus setifolius*), una gramínea mediana de grandes semillas apropiadas para el establecimiento en zonas de revegetación. Estas últimas dos especies fueron cosechadas el 18/02/03 en banquinas de la Ruta 40, en el paraje Los Escarchados. La cosecha fue realizada por un equipo de 10 personas y fue secada y trillada a mano. Se realizaron análisis de germinación en cajas de Petri, a temperatura ambiente y durante un mes. La cosecha de semilla y los resultados de análisis de calidad indicaron lo siguiente:

	Cosecha total (Kg.)	Semillas llenas (%)	Germinación (%)	Semillas por Kg. (miles)	Semillas viables por Kg. (miles)
<i>Bromus setifolius</i>	5.50	63	75	102	48.7
<i>Festuca pallescens</i>	9.50	27	48	110	14.0
<i>Poa dusenii</i> (Moy Aike)	7.50	60	25	720	108.0
<i>Poa dusenii</i> (Piedrabuena)	0.88	83	37	1055	325.3

Tabla 1: cosecha, y estimaciones de semillas llenas, germinación y análisis de peso, y de semillas germinables por Kg. cosechado

Siembra

Se realizaron surcos en las áreas accesibles con tractor usando un surcador con tres zapatas y una tolva de siembra con placas cribadas de aluminio, en las cuales se practicaron orificios de un diámetro apropiado para lograr la tasa de pasaje de semillas. Con la tolva se sembró una mezcla de *Poa duseii* (0.75 g/ metro lineal de surco) y *Festuca pallescens* (0.95 g/metro lineal de surco). Para movilizar la semilla dentro de la tolva se utilizaron cepillos de goma que se hacían girar manualmente a medida que avanzaba la máquina. Las semillas se dispusieron en el fondo de los surcos, distanciados 65 cm. entre sí, a través de tubos de PVC y se taparon mediante cadenas de arrastre. Dada la diferencia en el tamaño de las tres semillas utilizadas se optó por distribuir la más grande, *Bromus setifolius*, en forma manual junto con la de avena y centeno, antes del pasaje de la máquina sembradora, quedando éstas en la parte alta de los surcos. Las densidades de siembra fueron de

	Total sembrado (Kg.)	Densidad de siembra Kg. semilla / ha	Densidad de siembra Semillas viables / m2
<i>Bromus setifolius</i>	3.9	2.6	12.7
<i>Festuca pallescens</i>	7.7	5.2	7.2
<i>Poa duseii</i>	7.0	4.7	61.4
Total	18.7	12.5	81.4

Tabla 2: Densidad de siembra para semillas nativas

Junto con las especies nativas se introdujo Avena (30 Kg.) y Centeno (46 Kg.), cereales anuales que fijarían el suelo y darían protección a las plántulas de especies nativas durante la etapa de implantación

Riego

Para asegurar el establecimiento de las plántulas, que se sembraron a fines del verano de 2003, se realizó un riego de implantación. El agua se extrajo de un brazo secundario del río Coyle. Para esto se utilizó una bomba de tornillo eléctrica, trifásica, de 30 HP, alimentada por un generador diesel de 25 KVA ubicado sobre la meseta, a metros del área sembrada. El agua se condujo hacia el sitio de riego por medio de una tubería construida con caños de PRFV (polietileno reforzado con fibra de vidrio) de 3" de aproximadamente 900 m de longitud y que superaba los 40 m de desnivel. En el extremo de la tubería de conducción antes mencionada, se montó un cabezal de riego compuesto básicamente de un filtro de anillas de 2" con un grado de filtración de 120 mesh que soporta un caudal máximo de 25 m³/h. Se optó por la instalación de un sistema de riego por aspersión móvil, ya que se adapta bien a terrenos quebrados evitando la nivelación. Además permitió regar eficientemente tanto en siembras al voleo como en surcos y fundamentalmente, permite un ahorro significativo de agua comparado con otros métodos de riego debido a su alta eficiencia de aplicación, del orden del 75%. La tubería utilizada en el sistema de riego es de PVC de diámetros de 2 y 3", clase 6 (presión nominal de trabajo de hasta 6 Kg./cm²), roscada, portátil, lo que permite el movimiento de tubos y aspersores dentro del predio.

El diseño hidráulico consistió en una tubería principal para la distribución de agua de 3" de diámetro que permaneció fija y una tubería secundaria móvil de 2" en la que se colocaron los aspersores mediante el uso de acoples rápidos. Los aspersores utilizados fueron plásticos, de media presión, diseñados para uso en agricultura, que erogaron un caudal de 0.9 m³/h a una presión de trabajo de 3 Kg./cm² cubriendo un radio de 12 m. Se colocaron aspersores de giro parcial para el caso de los bordes de la siembra y de giro completo para regar en el interior de la misma permitiendo regar solo el área sembrada. La boquilla de los aspersores fue ubicada a 0.3 m del suelo, por lo que en las áreas con arbustos fue necesario elevarlos por medio de un niple de

polipropileno a fin de evitar que éstas interceptaran el chorro y acortaran el radio de riego. Con esto se logró mantener la uniformidad de aplicación de agua.



Fotografía 2: Aspersores de giro parcial (arriba) y completo (abajo) colocados en el borde de la siembra

El área de riego (aprox. 1.5 ha) se cubrió con siete sectores que contaron con 25 aspersores cubriendo un área aproximada de 2600 m². El tiempo de riego de cada sector fue de 90 minutos, con lo que se logró aplicar una lámina bruta de 9 mm y una lámina neta de 6.75 mm, mojando un perfil de suelo mayor al explorado por las raíces de las plantas.

El primer riego se realizó el 25 de marzo del 2004 y se realizaron siete riegos completos en el otoño de 2004 (marzo a mayo), con una lámina total neta de 36 mm.

Evaluación de siembra

En Marzo del 2003 y en Febrero de 2005 se evaluó la cobertura vegetal total, cobertura de matas de *Junellia tridens*, supervivencia de matas y diversidad. En el 2005 se evaluó también la densidad de plántulas de las gramíneas sembradas en surcos y en siembra al voleo entre las matas. Para los censos en el área surcada se utilizaron 20 marcos de 0.50*0.20 m (0.10 m²), que se dispusieron al azar longitudinalmente en los surcos en 10 sitios. Para el área de siembra al voleo se utilizaron 40 marcos similares en 11 sitios, realizándose una evaluación similar en el área testigo (estaca 10). En cada caso se registró: Cobertura de especies perennes, de centeno/avena, una lista de especies presentes y el número de individuos (densidad), incluyendo las malezas. Para la evaluación de cobertura y supervivencia de matas se realizaron 12 líneas de Canfield (método de intercepción lineal) de 2500 cm., en las cuales se registró inicio y final de cada mata interceptada y estado (vivo / muerto / rebrotado)

El rendimiento de este cereal fue evaluado considerando la topografía del terreno y las diferencias en la forma de siembra. Se tomaron 16 muestras distribuidas para capturar la mayor heterogeneidad del sitio. Existen sólo 3 muestras en el área sembrada al voleo, mientras que las restantes se encuentran en áreas sembradas en surcos. Las muestras fueron tomadas con un marco de 1 m de largo, considerando como ancho el camellón (35 cm.). Para el área sembrada en surcos, se dispusieron sobre el camellón, en forma lineal, dos marcos por cada muestra. Para el área sembrada al voleo, la muestra fue obtenida ubicando en forma lineal dos marcos de 0.2 m².

Mercurio	mg/kg	0.2 mg/kg ddrvo	<0.2	0	0	0.8	2	20
Plomo	mg/kg	4 mg/kg	14.18	18	10	375	500	1000

Tabla 4: análisis de contenido de metales pesados en relación con los límites establecidos como Niveles guía de calidad de suelos para usos agrícola, residencial e industrial por el Decreto Reglamentario 83/93 de la Ley 24.051.

Implantación de gramíneas

Se observa en el gráfico que las zonas laboreadas y sembradas recuperaron y superaron la densidad de plantas de las tres especies seleccionadas en el área no afectada. La siembra en surcos logró mejor implantación, en especial de *Poa dusenii*. No se registraron plántulas de *Bromus setifolius*, que fueron sembradas junto con el Centeno en los camellones

Tabla 5: resultados de la siembra al voleo. Se analiza la cobertura de las gramíneas anuales cultivadas, la cobertura perenne, la diversidad y la densidad de establecimiento de las principales gramíneas cultivadas (plantas/ m²). El sitio 10 no fue impactado y se usó como testigo

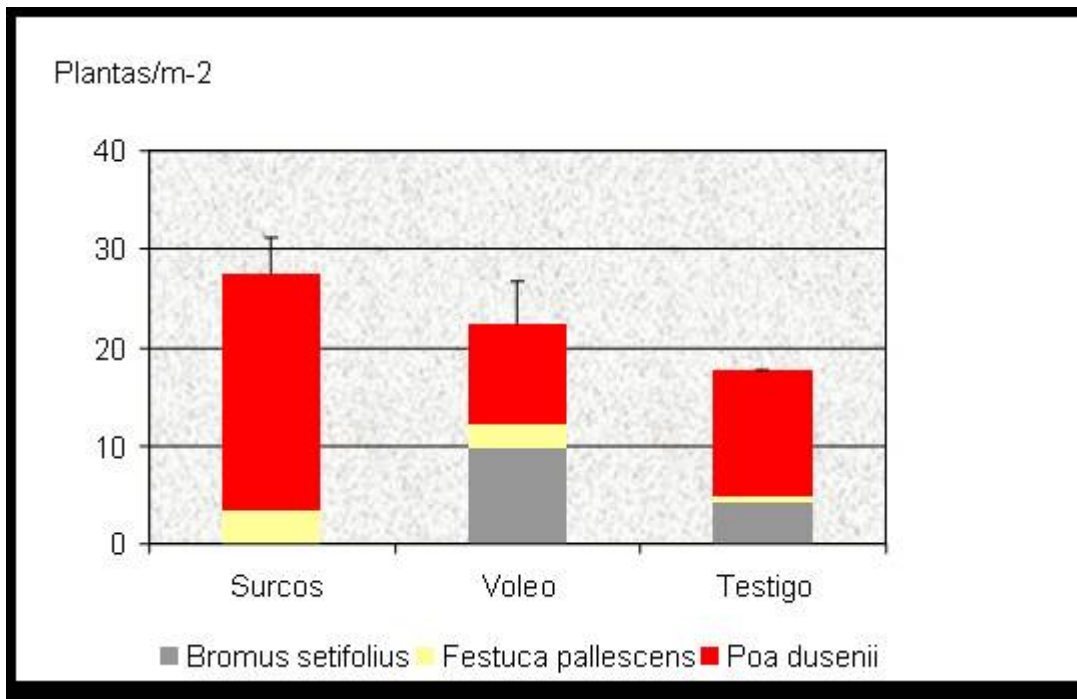


Figura 2: Evaluación de densidad de plántulas de las tres especies nativas implantadas en siembra en surcos, al voleo y en la zona no laboreada ni sembrada (testigo). Las barras representan errores estándar de la media para las zonas de surcos ($n=10$) y voleo ($n=11$).

Se observa en la Figura 2 que las zonas laboreadas y sembradas recuperaron y superaron la densidad de plantas de las tres especies seleccionadas en el área no afectada. La siembra en surcos logró mejor implantación, en especial de *Poa dusenii*. En la siembra al voleo la especie mejor implantada fue *Bromus setifolius*. La implantación de 27,4 pl/m² (surcos) y 22,3 pl/m² en zonas de siembra al voleo fue satisfactoria, considerando que la siembra se realizó a una densidad de 81.4 semillas germinables / m².



Fotografía 4: Marco utilizado para el muestreo y muestra de plántulas de pastos nativos

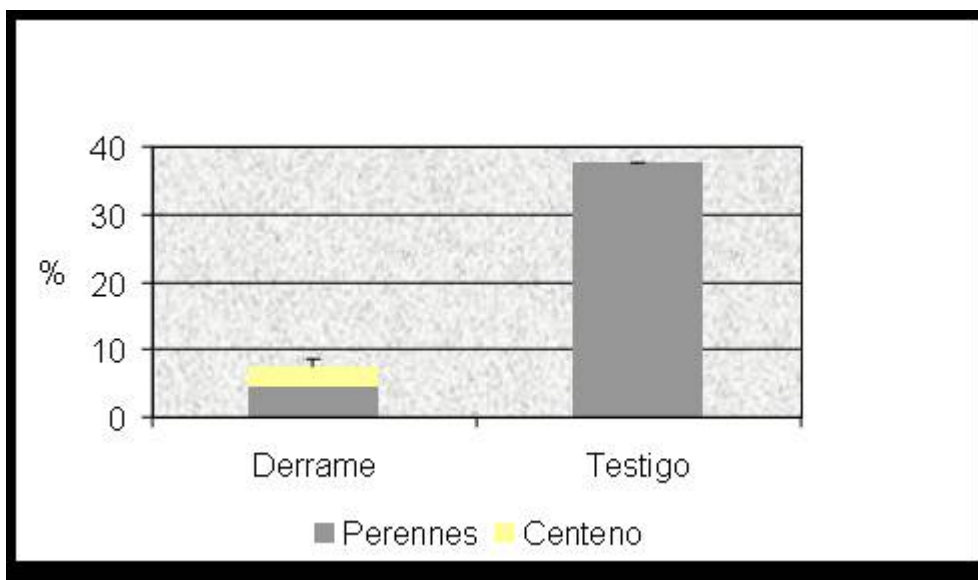


Figura 3: Comparación de la cobertura de plantas herbáceas en la zona afectada por el derrame y el área testigo (Febrero 2005). Las barras corresponden al error Standard (n=11)

Se observa en la Figura 3 que la cobertura vegetal en el área afectada por el derrame, que fue roturada completamente cinco veces durante el 2003/2004, continuaba siendo baja en Febrero de 2005. Las gramíneas nativas perennes son de crecimiento lento en estos ambientes. Se observan en la foto también las plantas de centeno que fue sembrado como cultivo protector.

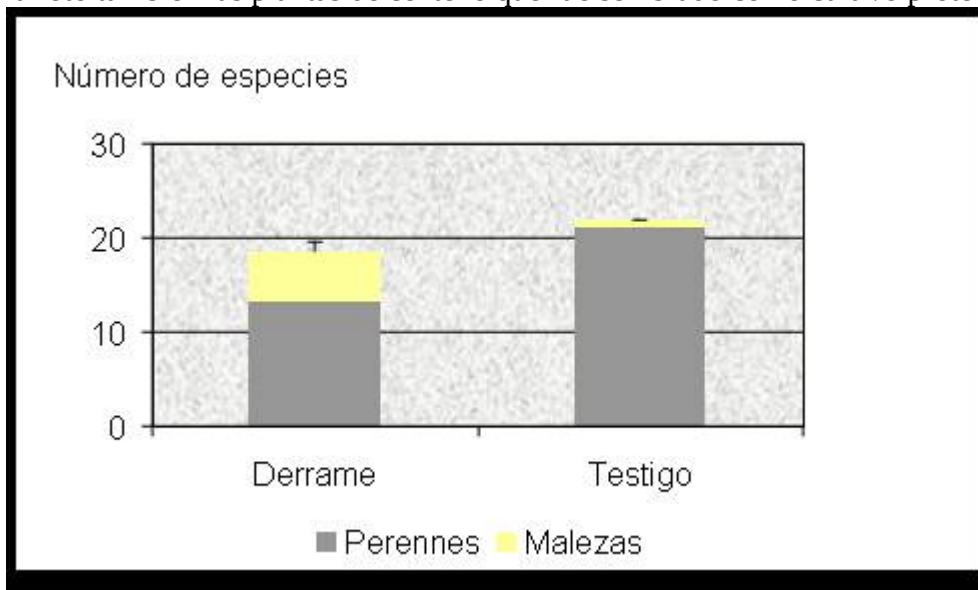
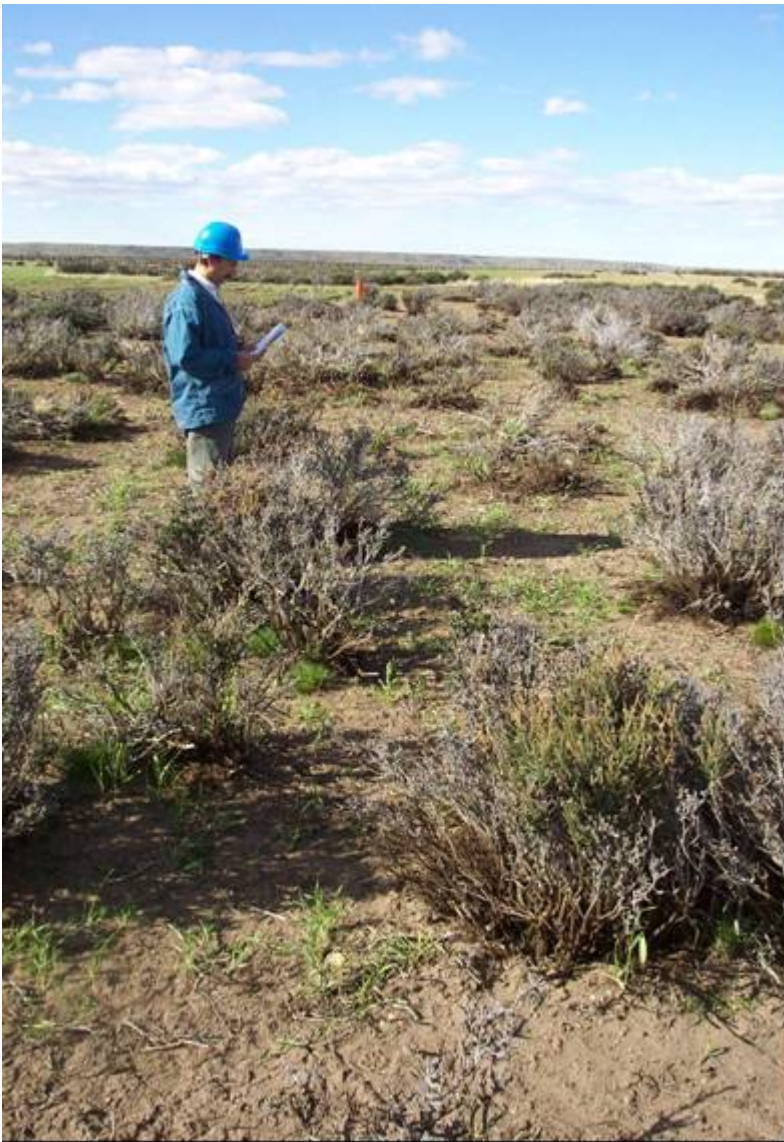


Figura 4: Comparación de la diversidad (numero de especies registradas en 40 marcos con una superficie total de 4 m²) en la zona afectada por el derrame y el área testigo (Febrero 2005)

La Figura 4 muestra que la comunidad desarrollada en el área revegetada (18,5 especies registradas en promedio en 40 marcos de 0.1 m²) presenta una diversidad similar al área no afectada (22 especies en un área similar). Algunas de estas plantas son malezas como Cardo, *Lepidium perfoliatum*, *Taraxacum officinale*, *Capsella bursa-pastoris* y *Matricaria sp*, que probablemente ingresaron luego del disturbio del derrame, seguido por los laboreos y la fertilización. Se espera que estas especies desaparezcan y que un conjunto de especies menos frecuentes de la comunidad se vayan estableciendo desde área adyacentes.



Fotografía 3: Aspecto de la zona del arbustal en primavera de 2004.



Fotografía 4: Aspecto del área (Octubre de 2004) que fue cincelada, surcada y sembrada en la periferia del derrame. En los camellones se observan las plántulas de Avena, Centeno y Bromus setifolius, y en los surcos se desarrollan las gramíneas nativas *Poa duseinii* y *Festuca pallescens*

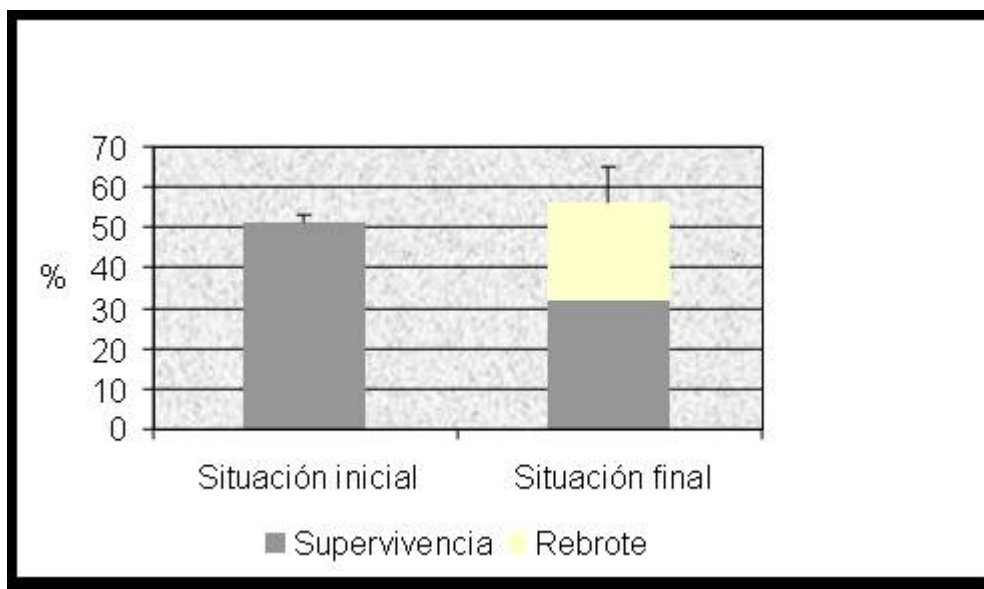


Figura 5: Comparación del porcentaje de arbustos vivos de *Junellia tridens* luego del derrame (inicial, marzo del 2003) y al cabo de las tareas de remediación (final, febrero 2005). El área amarilla corresponde a arbustos afectados por el petróleo pero rebrotados. Las barras corresponden al error estándar (n=11)

En la Figura 5 se observa que el área mostró un 36,5% de cobertura de arbustos de *Junellia*. Luego del derrame el 50,9% de ellos estaba aparentemente muerto por el efecto tóxico de los hidrocarburos, mientras que todos los del área testigo estaban vivos. En el gráfico puede observarse que las tareas de remediación no provocaron mortalidad adicional. Una porción de estos individuos rebrotaron, con lo cual la tasa de supervivencia final fue del 55,9%. De acuerdo a la densidad observada de renovales por semilla (0.5 plantulas/m²), puede esperarse que la población de arbustos se vaya restableciendo en el área de derrame, aunque éste se trate de un proceso muy lento.

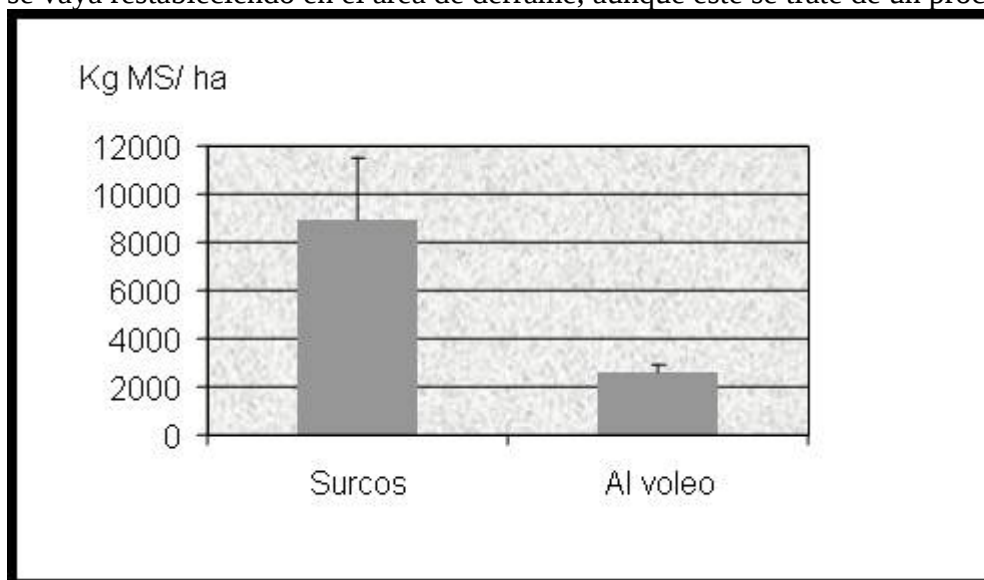


Figura 6: Estimación del rendimiento de centeno (enero de 2005) en siembra en surcos y siembra al voleo, en el área recuperada.

Como puede observarse en la Figura 6, el rendimiento de cereales con siembra en surcos (8939 kg/ha) fue mayor que con siembra al voleo (2577 kg/ha). Esta producción resulta muy elevada para un área de secano. Los riegos recibidos en la etapa de implantación en otoño y las lluvias primaverales pueden haber sido determinantes de los excelentes resultados en producción. Se espera que este cereal vaya desapareciendo del área por dificultades en el llenado de las semillas.



Fotografía 6: Vista de la plantas de centeno luego de la fructificación en abril de 2005. Se distinguen las dos situaciones de siembra: en surcos en el perímetro y al voleo entre las matas.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en la biorremediación in situ fueron satisfactorios, teniendo en cuenta que el contenido de hidrocarburos descendió desde un 5.6% al 0.48% a pesar de las bajas temperaturas que retrasan la degradación de hidrocarburos por parte de hongos y bacterias naturales del suelo. Este nivel final satisfizo el objetivo de obtener menos del 1% de hidrocarburos totales, sin contaminantes por sobre los niveles establecidos por la legislación. El laboreo manual aumentó los costos de remediación, pero permitió conservar y estimuló el rebrote de los arbustos que sobrevivieron al efecto tóxico del derrame, otro de los objetivos planteados. La descompactación de las playas de maniobras y caminos de acceso para la maquinaria pesada fue exitosa, y su posterior surcado permitió la infiltración de agua y la captura de semillas. La cosecha, trillado, preparación y siembra de semillas nativas a esta escala no tenía antecedentes en la Patagonia austral y se realizaron con esfuerzo y recursos compatibles con este tipo de programas de remediación. Al cabo de un año se obtuvo una densidad mayor de gramíneas nativas que en los sitios testigo, con una diversidad aceptable. No se llegó a la cobertura vegetal objetivo (25%), dado el lento crecimiento de estas especies, pero puede esperarse que en un lapso adecuado la comunidad regenerada vaya perdiendo cobertura de malezas y centeno y alcanzará parámetros comparables a los de comunidades no impactadas. En el proceso de implantación fue probablemente importante el aporte del riego en el otoño y las lluvias primaverales. La rehabilitación de esta área se realizó en síntesis sin recurrir a la introducción de gramíneas perennes palatables que plantean problemas de manejo por atraer a la hacienda y constituyen una modificación del ambiente natural.

Agradecimientos

Queremos reconocer la excelente labor de Daniel Barría, Leonardo Huertas y Victor Culun durante las tareas de biorremediación. Ariel Mazzoni, Julio Mora, Paula Paredes, Guillermo Clifton, Patricio Lovera, Francisco Torra y José Larrosa participaron en la cosecha de semilla. Ariel Mazzoni, Romina Lasagno y Victor Culun realizaron la trilla, limpieza y evaluación de poder germinativo. Mercedes Mascó, Cynthia Franchini y Rosa Kofalt realizaron el rescate de arbustos antes de la bioremediación. Eduardo Quargnolo facilitó equipamiento, colaboró en el diseño de la maquinaria para la siembra y supervisó trabajos en varias oportunidades. Patricia Aguirre y Lorena Bender intervinieron en la parte administrativa. Pedro Molina, de Petrobrás, intervino en las primeras etapas del trabajo.