

SANEAMIENTO Y RECUPERACIÓN DE MÁRGENES DE LA LAGUNA “MORENO”

Autores: Ing. Agr. Jorge Luque¹, Ing. Agr. Viviana Nakamatsu¹, Ing. Carlos Lisoni², Ing. Agr. Nicolás Ciano¹, e Ing. Agr. María Estela Amari¹.

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Chubut. C.C. Nro. 88. (9100) Trelew, Argentina. T.E. 54 – 2965 – 446658 o 422. E-mail: pastizales@chubut.inta.gov.ar

² Repsol-YPF, Cañadón Seco. (9113) Santa Cruz, Argentina

RESUMEN

La laguna Moreno se encuentra al NE de la ciudad de Pico Truncado. Es una cuenca cerrada deprimida salinizada que recibe aportes hídricos de numerosas vertientes. El área ocupa 100,9 ha de los cuales 44% son márgenes, que presentaban altos niveles de contaminación con hidrocarburos y aguas de purga vertidos por varios años, y otros residuos. En 1996 el estudio de impacto ambiental brindó información sobre espesores y profundidades de hidrocarburos en sus márgenes, y determinó zonas factibles de ser recuperadas. Se comenzó con la limpieza de residuos de envases industriales, de saneado por medios mecánicos, la construcción de terraplenes y disposición de conglomerados asfálticos en caminos. En 1997 se iniciaron los laboreos para favorecer la biodegradación, la revegetación (siembra y/o plantación de leñosas) y el riego. Se concluye que el control y la mitigación de los hidrocarburos se realizó satisfactoriamente. Los resultados del estudio de revegetación permiten separar claramente dos situaciones en la laguna: a) hay 11,6 ha con suelos de textura gruesa con buenos resultados de siembra y plantación de cortina forestal, y b) el resto con suelos de textura más fina y salinos-alcalinos, sólo algunas especies arbustivas tuvieron un comportamiento adecuado.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del lugar

Se ubica en las proximidades de la ciudad de Pico Truncado. Topográficamente corresponde a un área cóncava, cuyo ecosistema pertenece a una cuenca cerrada deprimida salinizada que abarca 44,0 ha de márgenes y 56,9 ha de espejo de agua, haciendo un total de 100,9 ha.

El clima es árido frío, con precipitaciones estimadas de 250 mm. El material originario son rodados patagónicos, con áreas afectadas por erosión. El aporte hídrico de la laguna se debe a numerosas vertientes, ubicadas especialmente en la margen Norte y a la escorrentía natural.

La vegetación natural que rodea a esta área es una estepa subarborescente de *Chuquiraga áurea* (n.v. “chirriadora”), *Brachioclados caespitosum* (n.v. “leña de piedra”), *Atriplex sagittifolia* (n.v. “zampa crespa”), y *Stipa humilis* y *S. speciosa* var. *major* (n.v. “coirones”).

Por observaciones efectuadas a campo el suelo se hallaba seriamente degradado por la actividad petrolera, afectado por salinidad y sodicidad con presencia de abundantes costras salinas. Relieve pronunciado en las laderas, drenaje muy restringido en el bajo, fuerte escurrimiento y sectores con erosión hídrica laminar y por surcos. El petróleo se presentaba en distintos estados (líquido, pastoso y endurecido), mezclado en varios sitios con gravas.

La contaminación con petróleo abarcaba las laderas y las márgenes de la laguna, depositándose en las áreas deprimidas de la misma. A ello se suma la presencia de distintos residuos en el terreno (vidrios, hierros y tambores de lata para transporte de combustible).

Debido a un intento anterior de recuperación parcial del lugar se realizaron importantes movimientos de tierra principalmente decapitación y en menor medida relleno con material proveniente de laderas contiguas u otros sitios. Por lo tanto, se diferencian los siguientes sectores:

- ❑ Sector de la salina propiamente dicha (centro de la laguna): se encuentra cubierto por una gruesa capa de sal y completamente saturado en agua.
- ❑ Sector del margen de la laguna donde se observa en superficie una capa de petróleo y signos de salinización.
- ❑ Márgenes de la laguna con perfiles de suelos descabezados.
- ❑ Sector con una capa de material de relleno extraído de sitios contiguos.

Como consecuencia de las numerosas problemáticas y de desconocer la intensidad de las mismas se realizaron varias propuestas de trabajos secuenciales que en parte se realizaron a través del Convenio y otras se referían específicamente a tareas que realizó sólo la empresa. Las propuestas tuvieron diferentes objetivos que se detallan a continuación

1.2. Objetivos

- a) Determinar el nivel de impacto ambiental por contaminación de petróleo sobre laderas y márgenes de la laguna Moreno y recomendar cuales áreas tienen posibilidades de ser saneadas.
- b) Sanear la laguna y sus márgenes a través de la limpieza de los residuos industriales, recuperación de hidrocarburos sobrenadantes y tratamiento de petróleo extraído de las márgenes de la laguna.
- c) Establecer una unidad demostrativa en áreas factibles de recuperar
- d) Establecer ensayos de revegetación en áreas de recuperación parcial.

2. DESARROLLO

2.1. Estudio de impacto ambiental y factibilidad de recuperación de la laguna Moreno

2.1.1. Fotointerpretación

La evaluación del impacto ambiental se inició mediante interpretación de fotografías aéreas color escala 1:13.000 (1993), de propiedad de YPF S.A. Se delimitaron diferentes patrones y de acuerdo a esto se determinó la densidad de muestreo sobre las márgenes y laderas de la laguna.

2.1.2. Relevamiento

El trabajo de campo se realizó en abril de 1996 y consistió en tomar un punto de evaluación cada 100 metros aproximadamente, en la margen de la laguna, totalizando una cantidad de 36 sitios de observación donde se realizaron pozos con hoyadora mecánica. En cada uno de ellos se efectuaron las siguientes tareas:

- a) Evaluaciones descriptivas de:
 - * Características edáficas: topografía, perfiles, textura, estructura, consistencia.
 - * Niveles de contaminación: contenido y estado del petróleo, ubicación en el perfil.
 - * Presencia de costra salina y/o capa de relleno.
 - * Características generales de la vegetación natural.
- b) Muestreos de perfiles del suelo.
- c) Muestreos del agua de la napa freática.
- e) Muestreos de aguas de las vertientes que bordean a la laguna en su margen Norte.

2.1.3. Análisis en laboratorio

Se acondicionaron las muestras de suelo y agua, realizándose los siguientes análisis:

En suelos:

- a. pH potenciométricamente en suspensión suelo:agua 1:2
- b. Sales totales en extracto de saturación por conductometría.
- c. Calcio más Magnesio por titulación con EDTA.
- d. Sodio por fotometría de llama
- e. Textura al tacto.
- f. PSI y RAS por formulaciones de los datos obtenidos en c. y d.

En aguas :

- a. pH potenciométricamente.
- b. Sales totales, por conductometría.
- c. Relación Absorción Sodio (RAS).

2.1.4. Formación de la base de datos y análisis

Se procedió a determinar las propiedades negativas y positivas para la recuperación de los sitios. Para la confección de la base de datos, se las calificó con un puntaje de “0” cuando estaban ausentes y de “1” si estaban presentes. Mediante la sumatoria de las mismas se obtuvo un puntaje de las características negativas y positivas para cada sitio de muestreo.

2.1.5. Clasificación

A partir de las propiedades que se han considerado prioritarias, se realizó una clasificación de las áreas en función de su factibilidad de recuperación

2.2. Saneamiento Laguna Moreno

2.2.1. Traslado de residuos

Antes de iniciar cualquier tipo de saneamiento se realizó la limpieza de todos los residuos (vidrios, latas, tambores, etc.) que se encontraban en el lugar.

2.2.2. Recuperación de hidrocarburos sobrenadantes

Las tareas de recuperación se iniciaron a fines de Diciembre de 1997 donde el objetivo fundamental era eliminar el hidrocarburo sobrenadante y el saneado del petróleo depositado en las márgenes. Se siguieron los siguientes pasos:

Subdivisión de la laguna en distintas secciones con sendas del ancho de una mano de calle, a fin de facilitar las tareas de recuperación del hidrocarburo.

Se utilizaron distintas metodologías de extracción del petróleo, una de ellas fue mediante una retroexcavadora dotada de orugas para extraer el hidrocarburo de las zonas delimitadas y cargarlo en camiones estancos para su traslado al repositorio en la cantera.

Otra metodología fue extraer el petróleo mediante palas de tipo almeja que llevados a una cantera, se procedía a su mezclado con áridos limpios para luego estabilizarlos.

2.2.2. Tratamiento de petróleo en las márgenes de la laguna

Tomando como base el estudio de impacto ambiental y la cartografía donde evidenciaba los niveles de contaminación en las márgenes de la laguna se iniciaron a fines de 1997 los trabajos de saneamiento.

Por las limitantes indicadas en el estudio, las áreas con falta de sustentabilidad para maquinarias agrícolas, se contrataron retroexcavadoras con orugas anchas lo que permitió que pudieran trabajar en toda la zona cenagosa sin mayores complicaciones.

La tarea primordial fue ubicar las capas de petróleo depositadas a distintas profundidades, extraerlas y transportarlas por medio de camiones volcadores para su tratamiento. Luego se niveló la zona por medio de equipos motoniveladores y se corrugaba para evitar erosión hídrica y/o eólica siguiendo las curvas de nivel.

Con los hidrocarburos extraídos de esta operación se construyeron caminos en la zona de accesos a pozos, baterías y se ejecutaron rellenos de seguridad.

Se realizaron monitoreos de muestras colectadas sobre el camino y al costado del camino a 2 profundidades para analizar las concentraciones de metales pesados lixiviables, hidrocarburos totales y hidrocarburos totales lixiviables.

En las áreas donde había piso suficiente, el tratamiento de los hidrocarburos superficiales (<30 cm), en estado líquido y pastoso, se hizo biodegradación “in situ” con o sin agregado de nutrientes y laboreos con cincel. En cambio en áreas con piso, pero los hidrocarburos superficiales estaban secos o en estado sólido se los roturaba con rastra de disco o cincel para cuartearlos y mezclarlos someramente con el suelo superficial.

2.3. Establecimiento de una Unidad Demostrativa en áreas factibles de ser recuperadas

Se realizó en el sector NE de la laguna. Dicha área era una vega o mallín dulce muy deteriorado por contaminación con petróleo y agua de purga. Se caracteriza por tener un suelo y vegetación azonal (pradera de juncos y hierbas tiernas), con drenaje impedido y numerosos menucos bayos que aportan agua de mediana calidad. Para restablecer las funciones de este tipo particular de ecosistema de alta potencialidad se siguió el siguiente plan de acción:

2.3.1. Relevamiento topográfico para establecer las distintas cotas del terreno, determinar el movimiento del agua de escorrentía, en especial de los menucos y caudal de los mismos.

2.3.2. Laboreo del suelo en los sitios con petróleo para favorecer la biodegradación. Se realizó el mismo cada 25-30 días desde enero a abril del 97. Se hizo un área con aplicación de fertilizantes y otra sin aplicación.

2.3.3. Clausura del área con alambre tejido para evitar el ingreso de animales que perjudiquen la revegetación.

2.3.4. Encauzamiento del agua de los menucos hacia una pileta de contención de las mismas para utilizarse como riego complementario.

2.3.5. Instalación de riego.

2.3.6. Siembra: Se realizaron con y sin aplicación de nutrientes, utilizando diferentes especies de gramíneas y leguminosas que están adaptadas a bajas temperaturas, a la sequía y anegamiento, y muy tolerantes a suelos salinos y principalmente sódicos.

2.3.7. Plantación de cortinas forestales. A los costados de las regueras se plantaron estacas de Tamarisco, y plantines de Pino radiata y Olivo de Bohemia para atenuar el efecto del viento tanto en el área con o sin aplicación de nutrientes, mencionado en el punto anterior.

2.3.8. Riego mensual en las cortinas forestales desde setiembre a abril.

2.4. Ensayo de revegetación en áreas factibles de ser recuperadas parcialmente

Se llevó a cabo en el sector Sur de la laguna, cercano a la desembocadura del afluente cloacal y comprende un área con suelos sódicos no salinos (20%) y el resto son salinos-sódicos. Ambas áreas se caracterizan por tener pendientes más pronunciadas que en el sector Norte y Este de la laguna, con el nivel de la napa freática mayor a 60 cm. Los suelos son pocos desarrollados y jóvenes (Entisoles) con régimen árido y la vegetación es la típica de esta zona que corresponde a una estepa subarborescente de Chuquiraga aurea (n.v. chirriadora) y coirones. En ambas áreas se compararon el comportamiento de establecimiento de especies arbustivas y arbórea, para lo cual se realizó el siguiente plan de acción:

2.4.1. Subsolado cortando la pendiente.

2.4.2. Construcción de bordos de retención del agua de escorrentía perpendicular al sentido de la pendiente.

2.4.3. Clausura del área con alambre tejido para evitar el ingreso de animales que perjudiquen la revegetación.

2.4.4. Plantación de especies arbustivas. Entre las especies arbustivas se utilizaron entre otras, especies nativas o naturalizadas denominadas “pioneras” o “colonizadoras” de áreas de escasa o nula vegetación natural, con el objetivo de aumentar la cobertura vegetal, y favorecer la revegetación natural.

Para alcanzar en menor tiempo el primero de estos objetivos, y dado que la limitante para el crecimiento son los escasos recursos nutricionales de estos suelos (principalmente Nitrógeno), se aplicó al momento de la plantación un fertilizante nitrogenado de liberación lenta, para que no se volatilice o lixivie por las condiciones ambientales adversas de la región, y esté disponible para la planta cuando se presenten para la misma las condiciones de humedad adecuadas para la absorción.

Las especies arbustivas ensayadas fueron:

- * *Grindelia chilensis* (n.v. Botón de Oro)
- * *Senecio filaginoides* (n.v. Charcao o Mata Mora)
- * *Colliguaya integerrima* (n.v. Duraznillo)
- * *Suaeda divaricata* (n.v. Jume)
- * *Atriplex lampa* (n.v. Zampa)
- * *Atriplex sagittifolia* (n.v. Zampa crespá)
- * *Atriplex semibaccata* (n.v. Salpú)
- * *Atriplex numularia* (n.v. Zampa australiana)

La distribución de las plantas fue bajo el sistema normal con una densidad de 1.000 plantas/ha. La separación entre hileras y entre plantas dentro de la hilera fue de 3 m.

En todos los casos, además de la fertilización base se le aplicó a cada planta un riego de plantación de 1 litro de agua.

2.4.5. Plantación de especies arbóreas. En los sitios más bajos y más cercanos al borde de la laguna, se plantó estacas de *Tamarix gallica* (n.v. Tamarisco). La plantación se realizó en el fondo de un surco a una distancia de plantación de 1 m. Se plantaron aproximadamente 2.000 estacas.

3. RESULTADOS

3.1. Estudio de impacto ambiental y factibilidad de recuperación de la laguna Moreno

3.1.1. Características edáficas

El material originario de estos suelos está constituido por: a) Arcillas, particularmente expansivas, b) Arenas, preferentemente gruesas que proviene fundamentalmente de material de relleno traído de otras zonas para cubrir derrames de petróleo; y c) Mantos de rodados, es común observar abundantes gravas preferentemente en superficie, y subsuperficialmente, hasta la profundidad del reconocimiento (50-70 cm), mezclados con capas arcillosas. En general son de gran tamaño, especialmente las ubicadas entre 5 y 10 cm de diámetro de profundidad.

Los suelos son clasificados como 1) Salino sódicos, y 2) Sódicos no salinos. Pertenecen taxonómicamente a los Haplaquents que son suelos permanentemente o estacionalmente húmedos (saturados), formados por sucesivas deposiciones no consolidadas, con condiciones de reducción debido al deficiente drenaje.

3.1.2. Calidad de las aguas superficiales

Su origen son las numerosas vertientes ubicadas en las márgenes Norte, Noreste y Noroeste. Son denominadas localmente “menucos bayos” cuyo nombre proviene de la presencia de arcillas expansivas color claro, de donde surge naturalmente el agua. Son de pH alcalino, de moderado contenido salino pero de mediana a alta peligrosidad sódica si fuesen utilizadas para riego (Cuadro N° 1). Pero teniendo en cuenta el medio en que se encuentran son de buena calidad, ya que tanto el suelo como la napa freática son altamente sódico alcalino.

Sin embargo, en la margen Oeste desagua en la laguna un pequeño cauce cuyas aguas son salinas, alcalinas y de muy alto RAS. Su origen son los residuos cloacales de un barrio cercano, de la ciudad de Pico Truncado.

3.1.3. Tipos de disturbios predominantes

- a) Decapitación. Se observaron suelos decapitados en el 47 % de los sitios relevados. Se hallan en la mayoría de los casos en el borde externo de la costa de la laguna que van desde leve decapitación (10 a 20 cm) a decapitación severa (80 y 100 cm). La superficie afectada es de 15,7 ha y la zona más extensa es la margen Sur y Sudeste.
- b) Relleno. Afecta una superficie de 18 ha. El espesor del relleno varía entre 10 a 30 cm., excepto uno de ellos donde supera los 80 cm. El material de aporte es variable pero predominantemente de textura arenosa, con fuertes problemas de sodicidad.
- c) Petróleo. La contaminación de las márgenes se debe a los hidrocarburos volcados en la laguna y que fueron retransportados por el agua y el viento. La superficie contaminada es de 41,4 ha. El petróleo en las márgenes se halla en forma:
 - ❑ Superficial, donde el espesor de la capa de petróleo no supera los 5 cm. Se halla preferentemente en la margen Sur y en menor medida en el Noroeste, abarcando una superficie aproximada de 20,5 hectáreas. Es muy poco el petróleo que se halla mineralizado, sólo el 22,2 %. El petróleo en este estado no representa un factor de contaminación actual ya que sus propiedades negativas, especialmente los elementos más tóxicos ya se han volatilizado.
 - ❑ Superficial-Subsuperficial, se encuentra distribuido en 19,9 ha, que representa el 45 % de la superficie total de las márgenes de la laguna. En todos los casos el estado en que se encontró el petróleo es pastoso y con diferentes espesores. En 12,1 ha se encuentra entre 0 y 20 cm de profundidad, ya sea puro o mezclados con el suelo. El resto (7,8 ha) se encuentra a mayor profundidad, generalmente mezclado con el suelo, llegando a un máximo de 55 cm de profundidad. Esto dificulta los procesos de biodegradación del hidrocarburo debido a la menor posibilidad de mezclado y aireación en las capas profundas con la utilización de herramientas agrícolas.
 - ❑ Subsuperficial, se lo halló en una sola muestra ocupando una superficie de 1 ha. Tiene una capa delgada de petróleo que se encuentra cubierto por 5 a 10 cm de material de relleno de textura arcillosa.
- d) pH, salinización y sodificación de los suelos. Es la limitante mayor por su magnitud y su extensión.

- ❑ pH: En todos los casos analizados el pH es extremadamente alcalino, oscilando entre 9 y 10. Estos valores se hallan muy correlacionados con el alto contenido de sodio y su condición de “sódico no salino” de la mayoría de los sitios. Esta extrema alcalinidad, ha producido la degradación estructural del suelo, particularmente en las capas superficiales.
- ❑ Sales Totales Solubles: En 12,6 ha se hallaron sitios con moderados a leves problemas de salinidad, 13,3 ha con fuertes problemas, y 16,9 ha con muy fuertes problemas, presentándose en tres pozos de observación contenidos extraordinariamente elevados, superando valores de 100 dS/m.
- ❑ Porcentaje de Sodio Intercambiable (P.S.I.): Sólo 1,4 ha tiene fuerte problema, mientras que el resto (casi 97% de las márgenes) tiene una alta sodicidad con más de 40 de P.S.I., lo que se constituye en una seria limitación para una recuperación con revegetación. Dicha limitación se vuelve restrictiva en aquellas áreas con muy alta peligrosidad sódica (>60 PSI), que ocupa una superficie de 27,3 ha. Esta alta sodicidad estaría relacionado con la presencia de petróleo, ya que las capas de suelo más profundas desciende el nivel de PSI. El fenómeno se manifiesta mediante eflorescencias salinas, dispersión de la estructura, encostramiento, erosión hídrica y pérdida prácticamente total de la cobertura vegetal.
- ❑ Erosión hídrica: En la costa de la laguna se ha observado erosión laminar, que consiste en un desgaste de la capa superficial del suelo. Se da en distintos grados, a lo largo de toda la costa de la laguna, aunque es mayor en las márgenes Este y Norte.
- ❑ Napa freática salina alcalina: En casi 26 ha la napa estaba presente a una profundidad menor 80 cm de la superficie, llegando a estar en superficie en tres de las observaciones. Es una importante fuente de sales y de alcalinidad, contribuyendo de sustancial modo a la degradación de los suelos y de la vegetación del sitio. En sus propiedades químicas, la mayoría de las muestras son alcalinas con muy fuertes problemas de salinidad y de muy alta peligrosidad sódica (Cuadro N° 1). Las márgenes Sur y Sudeste fueron las áreas donde la napa se halla a más profundidad.

3.1.4. Clasificación de las áreas en función de la factibilidad de su saneamiento

- ❑ Áreas no factibles de ser recuperadas: Abarcan una superficie de 18,9 ha, cuyas principales limitaciones son:
 - ✓ Falta de piso o sustentabilidad para el tránsito de maquinaria agrícola.
 - ✓ Poseen una capa de petróleo entre 20 a 55 cm de espesor.
 - ✓ Severas limitaciones por salinidad y sodicidad.
 - ✓ Napa freática en superficie.
 - ✓ Relleno de 30 cm de espesor con material franco limoso que tiene severas limitaciones de salinidad y sodicidad.
 - ✓ Descabezamiento del perfil en diferentes profundidades llegando hasta 100 cm.
- ❑ Áreas de recuperación parcial: Dichas áreas ocupan una superficie de 13,5 ha, detallándose a continuación las causas por lo cual no es posible revegetar.
 - ✓ La limitación a los tratamientos de biodegradación es la presencia de petróleo hasta más de 40 cm.

- ✓ Napa casi en superficie.
- ✓ Sodicidad severa.
- ✓ Arcillas muy expansivas en los primeros 30 cm del perfil del suelo.
- ✓ Salinización extremadamente severa y sodicidad elevada.

Los tratamientos de saneamiento se hallan detallados en el Cuadro N° 2.

- Áreas factibles de ser recuperadas: Ocupan una superficie aproximada de 11,6 ha y en todos los casos se presentan problemas severos de sodicidad. En el cuadro N° 3 se encuentran los tratamientos recomendados.

3.1.5. Reflexiones

* El alto nivel de sodicidad y salinidad en el suelo y en la napa freática son los principales problemas de este ecosistema lacustre, que anteriormente fue un mallín dulce. La causa no sólo fue el hidrocarburo derramado, sino también el continuo aporte del agua superficial de residuos cloacales y principalmente de agua subterránea profunda que siguen contaminando la napa freática. El origen de estas aguas subterráneas no ha sido determinado y es necesario determinar las fuentes de aporte.

* Para la recuperación integral de la laguna, se deben controlar las fuentes de contaminación y el flujo de ingreso de los mismos.

- * Las líneas de trabajo aconsejadas fueron:
 - el control de las fuentes de contaminación
 - la eliminación del petróleo por medios químicos, biológicos y/o mecánicos
 - la limpieza de todo tipo de residuos.

3.2. Saneamiento de la Laguna Moreno

El traslado de residuos y la recuperación de hidrocarburos sobrenadantes fue casi totalmente completada. Se recuperaron aproximadamente 40 m³ de hidrocarburos, encontrándose que el agua de la laguna sólo contiene 1 ppm de %HT a 15,3 °C y con un pH de 7,6, en los muestreos realizados recientemente.

Se construyeron 17 km de caminos en la zona de accesos a pozos y baterías, con conglomerados asfálticos obtenidos de los hidrocarburos extraídos de las márgenes de la laguna. Los análisis realizados sobre las muestras de conglomerados en los caminos y a los costados de los mismos indican concentraciones de metales pesados, hidrocarburos totales y lixiviables dentro de los límites aceptables (Ver cuadro N° 4).

3.3. Establecimiento de una Unidad Demostrativa en áreas factibles de ser recuperadas

Se logró establecer una <unidad Demostrativa de 10 ha de mallín mediante procesos de biodegradación "in situ", laboreos, encauzamiento del agua de las vertientes, construcción de piletas de contención de agua y riego complementario de las cortinas forestales, revegetación a través de siembra y plantación de especies arbóreas adaptadas a condiciones salino sódicas.

En el cuadro 5 se presentan los porcentajes de establecimiento de especies arbóreas plantadas bajo dos tratamientos de fertilización (0 y 60 unidades de nitrógeno y fósforo), con riegos complementarios mensuales desde setiembre a marzo de cada temporada. Los datos provienen de registros realizados en diciembre de 1999.

Los porcentajes de establecimiento fueron muy buenos para el Olivo de Bohemia, presentando las plantas muy buen desarrollo de ramas y vigor a pesar del intenso ramoneo que realizaron las liebres. Su comportamiento es similar en ambos tratamientos. Contrariamente el Pino radiata se secó completamente al año de plantación, por lo cual es evidente la poca tolerancia de esta especie a las condiciones de salinidad y sodicidad que se presentaron en el terreno.

La plantación de Tamarisco sólo se realizó hasta el momento en el área fertilizada y los resultados obtenidos son satisfactorios.

Con respecto a las siembras de especies forrajeras de gramíneas y leguminosas se puede observar en el cuadro 6.

El Agropiron elongatum registró los mayores valores en ambos sectores, ratificando su buen comportamiento como especie introducida en mallines degradados. El New Hi sólo se encuentra en el área no fertilizado.

Si bien las leguminosas ensayadas son tolerantes a salinidad, la siembra de las mismas fracasó debido a la falta de tolerancia a los niveles de salinidad y sodicidad que presentaba el terreno.

3.4. Ensayo de revegetación en áreas factibles de ser recuperadas parcialmente

En estos ambientes áridos, el fracaso de las plantaciones tienen un elevadísimo riesgo, no sólo por las escasas precipitaciones, sino por las altas concentraciones de sales en el suelo, en especial las sódicas.

Los valores obtenidos de establecimiento de especies leñosas pueden observarse en el cuadro 7. En general los valores de las especies leñosas plantadas fueron superiores en el sector de suelo sódico – no salino. Tuvieron un comportamiento satisfactorio algunas especies del género Atriplex como A. lampa (nativa) y A. numularia (introducida).

El comportamiento de Grindelia chilensis fue inferior al encontrado en otras plantaciones realizadas en la Cuenca del Golfo San Jorge. Similar comportamiento tuvo Senecio filaginoides.

Suaeda divaricata es una especie que se encuentra en salitrales, sin embargo no se logró las condiciones para que se establecieran.

Tamarix gallica tuvo un comportamiento poco satisfactorio a pesar que el valor de sodicidad es inferior a 70 PSI que es el límite máximo encontrado para su implantación.

4. CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados en la laguna Moreno, luego de tres años de iniciados los trabajos, son sumamente satisfactorios en función a la amplitud del área y fundamentalmente a la magnitud de los problemas encontrados.

Se alcanzó a restituir las funciones de la laguna, con un espejo de agua libre de hidrocarburos y que permite la vida y tránsito de numerosas especies acuáticas. Además en el sector del mallín se ha logrado un buen establecimiento de especies con un aumento de cobertura vegetal que disminuye el riesgo de erosión, Asimismo se encontraron especies arbustivas con promisorio comportamiento en suelos con graves problemas de sodicidad y/o salinidad, que son casi el 75 % de las márgenes de esta laguna.

5. BIBLIOGRAFÍA

Ciano, N; V. Nakamatsu; J. Luque; M. Amari; O. Mackeprang y C. Lisoni. ***Establecimiento de especies vegetales en suelos disturbados por la actividad petrolera***. Terceras Jornadas de Preservación de Agua, Aire y Suelo en la Industria Petrolera

Le Houerou, H.N. 1992. ***The role of Saltbushes (Atriplex spp.) in arid land rehabilitation in the Mediterranean Basin: a review***. Kluwer Academic Publishers. Agroforestry Systems 18; p. 107 - 148.

Lisoni, Carlos. 1998. Saneamiento y recuperación de márgenes laguna "Las Rosas". 3ras. Jornadas de Preservación de agua, aire y suelo en la industria del petróleo y del gas. 299-322.

Molina Sánchez, D.; J. Luque; R. Mac Karthy; M.E. Amari. 1994. ***Recuperación de suelos y vegetación afectados por derrames de petróleo***. II Simposium Ciencia y Técnica de la Patagonia Austral Argentina-Chile. Mayo 1994.

Nakamatsu, V; N. Ciano; J. Luque; C. Lisoni; J.M. Quinteros; O. Mackeprang. 1996. ***Adaptación de especies vegetales nativas a suelos contaminados con hidrocarburos***. Segundas Jornadas de Preservación de Agua, Aire y Suelo en la Industria Petrolera.

Cuadro N° 1. Propiedades químicas de agua provenientes de napas freáticas y de vertientes de las márgenes de la laguna Moreno.

	NAPA FREÁTICA			VERTIENTES		
	pH	Salinidad (dS/m)	Sodicidad R.A.S.	pH	Salinidad (dS/m)	Sodicidad R.A.S.
Promedio	8.4	51.6	803.2	8.3	1.6	8.9
Error Estándar	0.11	10.50	377.29	0.08	0.06	0.902.38
Valor Mínimo	7.7	4.4	70.7	8.0	1.3	5.7
Valor Máximo	9.2	146.9	5138.7	8.6	1.7	12.5
C.V. %	4.7	73.3	169.4	2.38	10.39	26.73

Cuadro N° 2. Sitios de la laguna Moreno donde es factible de realizar un tratamiento de recuperación parcial.

Sitio N°	Cinzel	Subsolado r	Rastra Disco	OBSERVACIONES
10	Si (3)	Si (1)	Si (2)	(1) para mezclar en profundidad el petróleo (2) para dar vuelta el pan de tierra (3) biodegradación del petróleo
13	Si	No	No	Biodegradación del petróleo
14	Si	No	No	Trozar el petróleo y mezclarlo con el suelo
15	Si	No	No	Trozar y mezclar el petróleo con el suelo
18	Si	No	No	Biodegradación del petróleo
22	Si	No	No	Trozar el petróleo y mezclarlo con el suelo
23	Si	No	No	Trozar el petróleo y mezclarlo con el suelo
24	Si (2)	Si (1)	No	(1) por estar muy compactado (2) trozar el petróleo y mezclarlo con el suelo
29	Si	No	No	Biodegradación
32	Si (2)	Si (1)	No	(1) por estar compactado (2) trozar el petróleo y mezclarlo con el suelo
33	Si (2)	Si (1)	No	(1) por estar muy compactado (2) trozar el petróleo y mezclarlo con el suelo
34	Si (2)	Si (1)	No	(1) por estar compactado (2) trozar el petróleo y mezclarlo con el suelo
36	Si (2)	Si (1)	No	(1) por estar muy compactado (2) trozar el petróleo y mezclarlo con el suelo

Cuadro N° 3. Sitios de la laguna Moreno donde es factible de realizar un tratamiento de recuperación completa.

Sitio N°	Cinzel	Subsola- dor	Rastra Disco	Aporca- dor	Revege- tación	OBSERVACIONES
7	No	No	No	Si	Plantac.	Especies tolerantes a sodicidad
8*	Si	No	No	No	Plantac.	Especies tolerantes a sodicidad
9*	Si	No	No	No	Plantac.	Especies tolerantes a sodicidad
12	Si	No	Si	No	Plantac.	Especies tolerantes a sodicidad
16	Si	No	Si	No	Plantac.	Plantación mediante hoyado de especies tolerantes a salinidad y sodicidad.
19	Si	No	Si	No	Plantac.	Plantación mediante hoyado de especies tolerantes a salinidad y sodicidad.
25	Si	Si	Si	Si	Plantac.	Plantación en surco con especies tolerantes a sodicidad.
26	Si	Si	Si	Si	Plantac.	Plantación en surco con especies tolerantes a sodicidad
28	Si	Si	Si	Si	Plantac.	Plantación en surco con especies tolerantes a sodicidad

* Tienen un 75% de margen propiamente dicha que se puede recuperar y el resto es fondo de la laguna donde la recuperación es parcial.

Cuadro N° 4: Determinaciones de metales pesados lixiviables, plomo, cromo (EPA 3010-EPA serie 7000), mercurio (EPA 7470), arsénico (Std Methods colorimétrico), % HTP y HTP lixiviables (EPA 418.1) Y Test de lixiviación (EPA 1310 a).

Elementos	A1	A2	B1	B2
Plomo (mg/l)	0,14	0,14	0,35	0,15
Cromo (mg/l)	0,03	0,02	0,03	0,06
Mercurio (mg/l)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Arsénico (mg/l)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
HPT TOTAL (ppm)	8,5	148,5	14,9	8,6
HPT LIXIVIABLE (mg HCs/l cada 100 g muestra seca)	0,08	0,31	0,17	0,11

A1: Muestra sobre el camino (0-30 cm)

B1: Muestra del costado del camino (0-30 cm)

A2: Muestra sobre le camino (35 cm. de prof.)

B2: Muestra del costado del camino (40 cm prof.)

Cuadro N° 5: Porcentaje de establecimiento de especies arbóreas en los tratamientos con y sin aplicación de nutrientes

TRATAMIENTO	PORCENTAJE DE ESTABLECIMIENTO		
	Tamarix <i>gallica</i>	Eleagnus angustifolia	Pinus radiata
Sin fertilización	--	98,7	0
Con fertilización	69,6	84,7	0

Cuadro N° 6: Densidad y altura de plantas de especies sembradas con y sin aplicación de fertilizantes.

ESPECIES SEMBRADAS	SIN FERTILIZAR		FERTILIZADO	
	Densidad (pl./m)	Altura (cm)	Densidad (pl./m)	Altura (cm)
<i>Agropyron elongatum</i>	16	21	14	17
<i>New Hi</i>	2	6	0	0
<i>Melilotus officinalis</i>	0	0	0	0
<i>Lotus tenuis</i>	0	0	0	0

Cuadro N° 7: Porcentaje de establecimiento de especies arbustivas y arbórea en diferente calidad de suelo

ESPECIES	% ESTABLECIMIENTO EN SUELO	
	Sódico - no Salino	Salino – sódico
Atriplex lampa	93	65
Atriplex sagittifolia	47	35
Atriplex semibacata	40	0
Atriplex numularia	69	52
Grindelia chiloensis	50	11
Senecio filaginoides	56	32
Suaeda divaricata	0	2
Coliguaya integerrima	20	2
Tamarix gallica	48	0