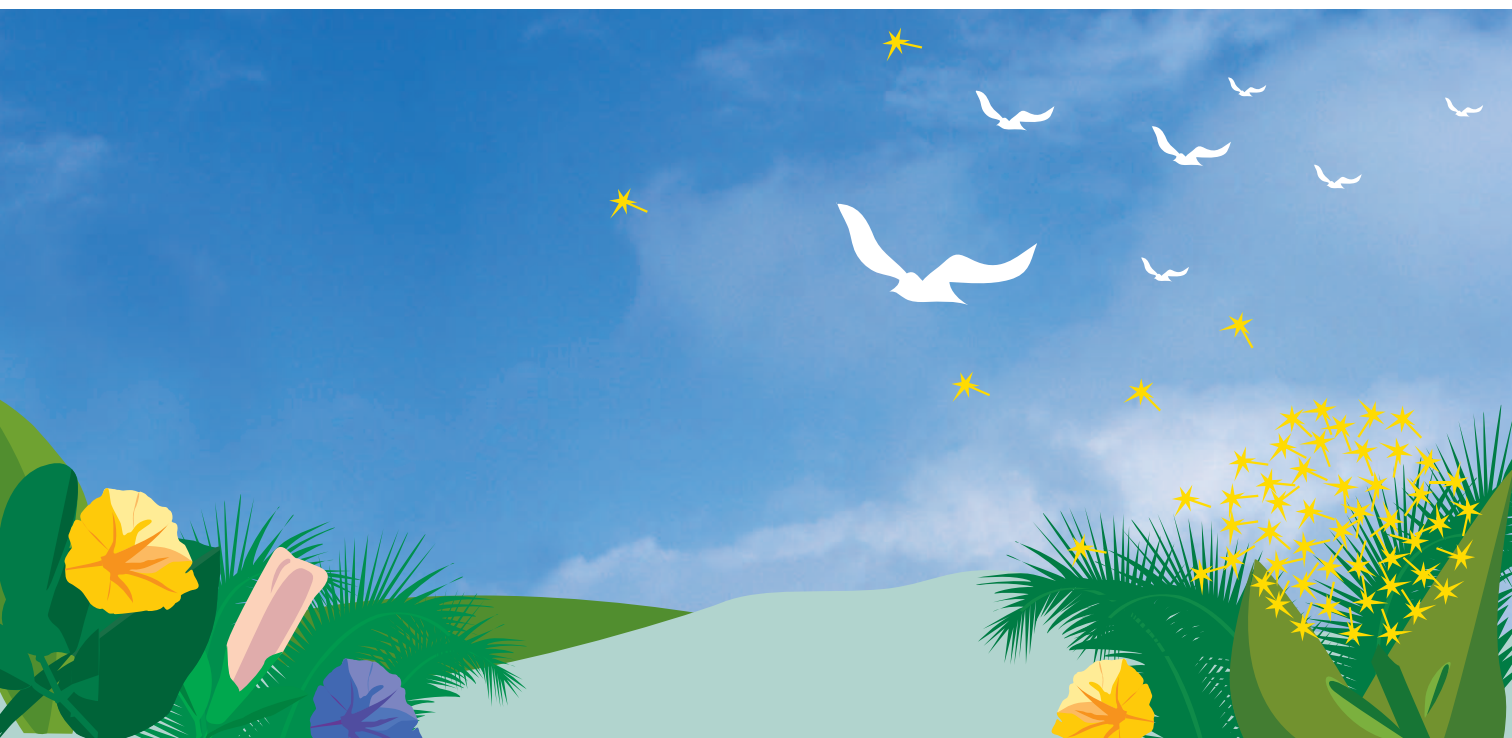


Degradación de suelo y vegetación por explotación hidrocarburífera en la Cuenca del golfo San Jorge (Santa Cruz) y posibilidades de rehabilitación

Por *H. Castro Dassen, P. Rial, G. Oliva, L. González, P. Paredes, G. Humano, E. Rivera, E. Quargnolo* (EEA Santa Cruz. Convenio INTA-UNPA-provincia de Santa Cruz);
J. Fenoglio, G. Pachado, E. Dardis (Dirección Provincial de Energía, provincia de Santa Cruz) y
M. E. Fernández Clark (Subsecretaría de Medio Ambiente, provincia de Santa Cruz)



En el siguiente trabajo presentado durante las 6° Jornadas de Preservación de Agua, Aire y Suelo se evaluó el impacto paisajístico de la industria petrolera en dos áreas del norte de Santa Cruz: El Cordón y Los Perales. La revegetación con especies introducidas no sería necesaria para la regeneración de la cobertura y tendería a hacer permanente la modificación en el paisaje. Se sugiere escarificar áreas afectadas, moderar la pendiente en taludes e introducir especies nativas.

La Patagonia sufre un acelerado proceso de desertificación, cuya causa principal se atribuye al manejo ganadero tradicional que, por sobrepastoreo, ha ocasionado pérdida de biodiversidad, reducción de la productividad y erosión. Paralelamente a la ganadería, y a partir del año 1940, se desarrolló la industria hidrocarburífera centrada en dos cuencas (golfo San Jorge y Austral). Esta actividad aporta significativamente al PBI de Santa Cruz, pero afecta el suelo y la vegetación por la apertura de caminos, líneas sísmicas, locaciones, etc. utilizados en las distintas etapas del proceso productivo. Esta infraestructura requiere una modificación del suelo y la vegetación por decapitación y el relleno necesario para nivelar y asegurar la transitabilidad de los caminos internos y origina áreas de préstamo en forma de canteras. Las superficies desnudas resultantes, en general, carecen de las características básicas del suelo en cuanto a textura, estructura y nutrientes, y el tráfico de maquinarias produce sustratos compactados, que

difícilmente se revegetan y constituyen áreas de erosión potencial. A lo largo de la historia de la explotación se han sumado intervenciones que generaron una red de caminos redundantes y locaciones abandonadas que en general no se han recuperado o integrado al paisaje, aunque existen algunos intentos de abandono programado con tareas de escarificación y revegetación.

La evolución de la normativa ambiental de los últimos años y el interés de las compañías en adoptar técnicas menos agresivas con el entorno natural llevaron a plantear un proyecto interinstitucional entre el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), la Secretaría de Energía y la Subsecretaría de Medio Ambiente de Santa Cruz que permita evaluar la situación en una primera etapa, de modo de consensuar con las empresas concesionarias mecanismos para reducir el impacto y rehabilitar paulatinamente el paisaje buscando metodologías de acción para mitigar el impacto de la actividad hidrocarburífera e

implementar medidas de rehabilitación del pasivo ambiental actual, para obtener la mayor recuperación posible de vegetación y suelos al final de los contratos de concesión.

Desarrollo

Descripción general del ambiente

El área conocida como meseta central (Oliva *et al.* 2001) es una extensa y diversa región en el centro-norte de Santa Cruz que, en general, se presenta como una estepa de subarbustos rastreros, de muy baja cobertura vegetal (20% o 30%), con arbustos de porte mayor que siguen las líneas de escorrentía y grandes áreas cubiertas de pavimento de erosión en un relieve plano, de planicies aluviales de rodados patagónicos y mesetas sedimentarias. En particular, el área norte de Santa Cruz está dominada por niveles aterrazados del río Deseado (Rial 2001), con una altura entre 100 y 400msnm.

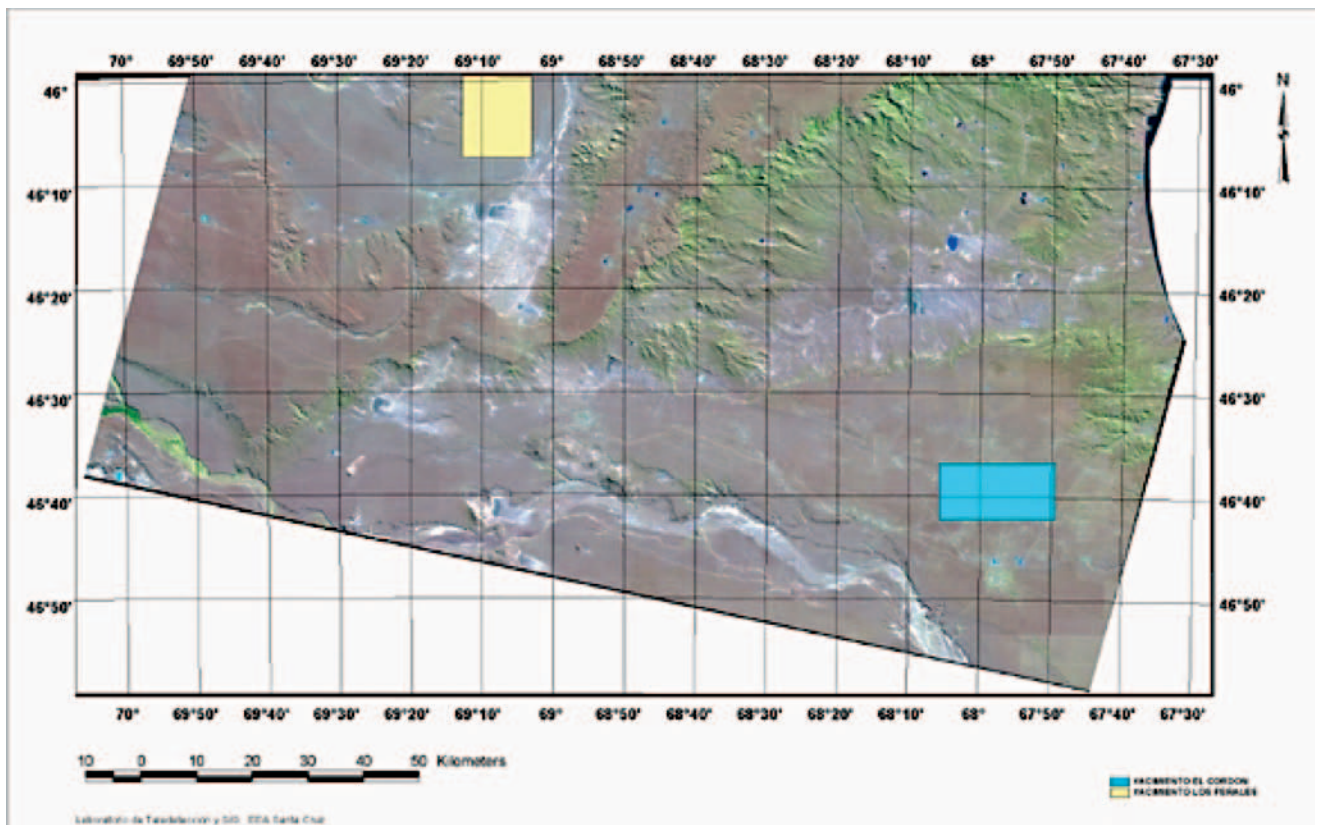


Figura 1. Imagen Landsat TM con ubicación de las áreas yacimiento El Cordon, Pico Truncado y yacimiento Los Perales, Las Heras

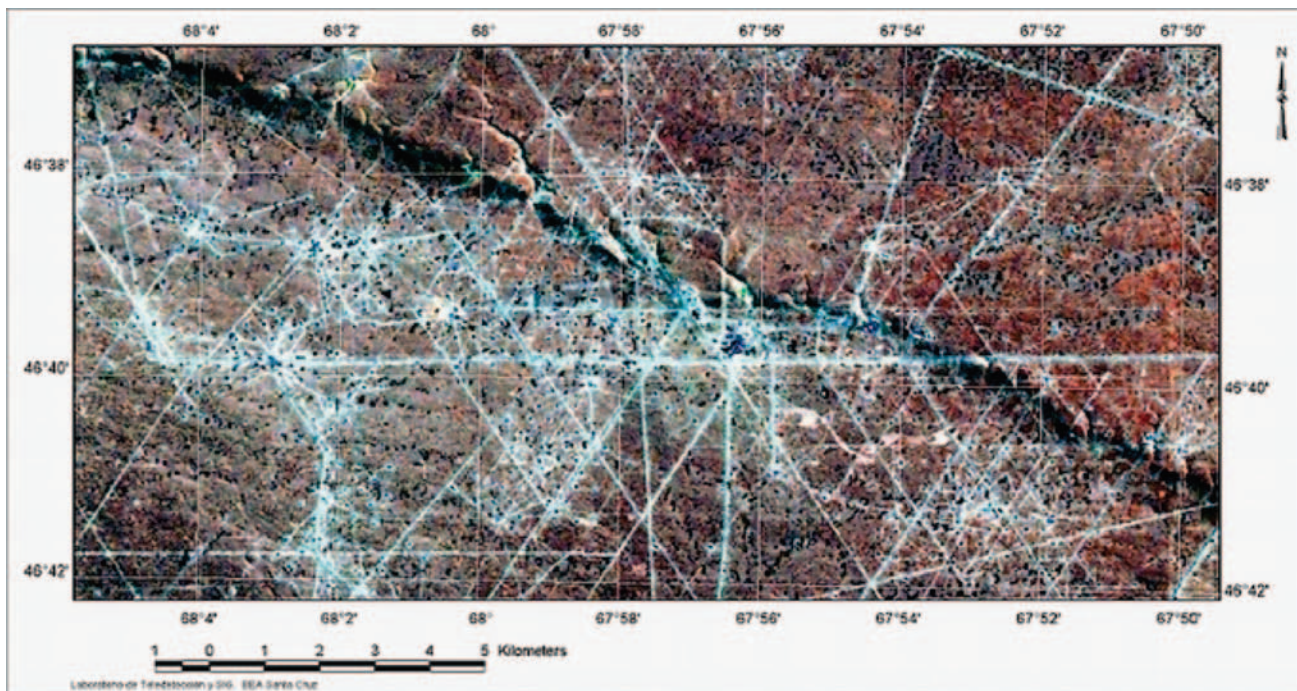


Figura 2. Recorte de imagen Landsat TM del yacimiento El Córdón, Pico Truncado. Año 1986.

Clima

El clima predominante es el frío árido de meseta, con promedios térmicos de 8 a 10° C de sudoeste a nordeste. En general, las precipitaciones están por debajo de los 150mm, aunque una delgada franja costera recibe lluvias algo superiores a los 200mm anuales. La distribución muestra una concentración invernal.

Suelos

En general son aridisoles de textura franco-arenosa a franco-arcillosa, con bajos contenidos de materia orgánica. Muchos de ellos están profundamente degradados por el sobrepastoreo y algunos presentan problemas de salinidad. En estos casos, los horizontes arcillosos subsuperficiales quedan expuestos y se cubren de pequeños guijarros por efectos del congelamiento y descongelamiento. Estas superficies constituyen los "pavimentos de erosión".

Vegetación

La colapiche (*Nassauvia glomerulosa*), un pequeño subarbusto, es dominante y característico en las

estepas subarbutivas que cubren la mayor parte del área. En la etapa final de la degradación son llamadas "eriales" (Movia *et al.* 1987).

Los coirones amargos (*Stipa speciosa*) y el coirón pluma (*Stipa neaei*) son todavía importantes en áreas poco degradadas. En zonas de acumulación de arenas se intercalan otros coirones amargos, indicadores de degradación (*Stipa humilis* y *Stipa chrysophylla*) y el coirón enano (*Stipa ibari*). El coirón blanco (*Festuca pallens*) subsiste en mesetas sedimentarias y en zonas de mallines. El coirón poa (*Poa dusenii*) y *Carex argentina* son especies forrajeras importantes. También es frecuente observar arbustos bajos de mata negra (*Junellia tridens*) en las mesetas sedimentarias y siguiendo las redes de drenaje subterráneo de la estepa. Existen también arbustos de malaspina (*Retanilla patagonica*), mata amarilla (*Anarthrophyllum rigidum*), molle (*Schinus polygamus*) y calafate (*Berberis heterophylla*). Entre los subarbutos, la manca perro (*Nassauvia ulicina*), la uña de gato (*Chquiraga aurea*) y el solupe (*Ephedra frustillata*) son comunes en zonas degradadas con suelos arcillosos y abundantes pavimentos de erosión.

Situación ambiental

Los procesos de desertificación en el ambiente se pueden consultar en Bertiller (Bertiller 1993, Nakamatsu *et al.* 1993). Oliva y colaboradores (1995) cartografiaron la severidad del proceso en 2,5 millones de hectáreas en la zona comprendida entre San Julián y Gobernador Gregores, y Del Valle y colaboradores (1998) lo extendieron a toda la Patagonia. Según estos estudios, aproximadamente un tercio del área en cuestión muestra problemas de desertificación grave o muy grave. En el área de explotación petrolera en general no existe una elevada presión ganadera actual, pero los signos del proceso de desertificación se observan por la presencia de extensos pavimentos de erosión y arbustos en montículo. Las gramíneas medianas originales del área han desaparecido en gran medida, y en sitios de acumulación de arena se concentran los coirones amargos (*Stipa humilis* y *Stipa chrysophylla*). La actividad hidrocarbúfera generó impactos por contaminación de suelos debido a derrames de hidrocarburos y de aguas de formación (Ciano *et al.* 2000; Luque *et al.* 2000a, b), que no se analizan en este trabajo. Sin embargo, existe un impac-

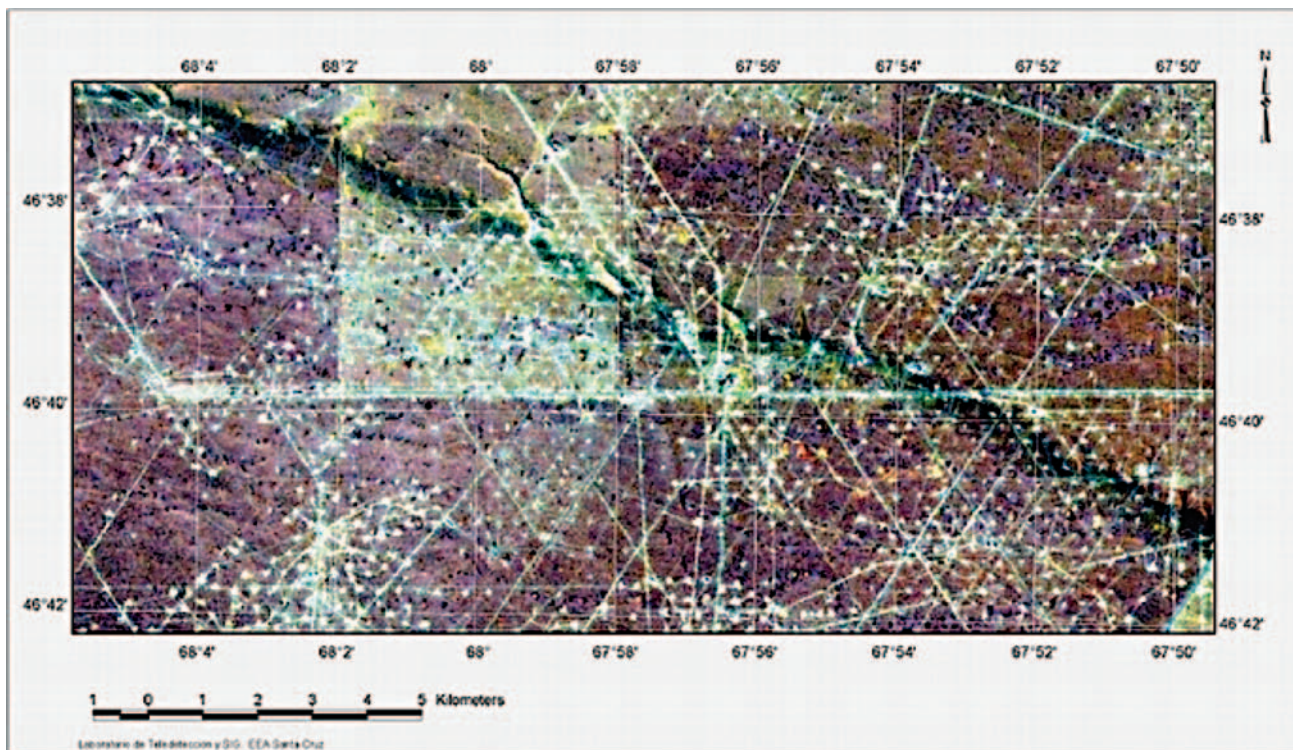


Figura 3. Recorte de imagen Landsat TM del yacimiento El Cordón, Pico Truncado. Año 2003.

to que ha sido poco evaluado y se relaciona con las tareas de decapitación, relleno y compactación asociadas a la apertura de caminos, locaciones y picadas sísmicas (prospecciones geofísicas en la etapa de exploración).

Caminos

La técnica tradicional de apertura de estos caminos consiste en remover los primeros 20 o 30cm de suelo con equipos viales a fin de nivelar el terreno, eliminar completamente la cubierta vegetal, parte de la biomasa radicular y las semillas presentes. La remoción del material grueso (pavimento de erosión) deja expuesto el material de grano más fino que se pierde por acción del viento (erosión eólica o deflación). Este material removido se acumula luego en los sitios de intercepción (montículos asociados a arbustos). El tránsito de vehículos y maquinaria pesada provoca una fuerte compactación del suelo, modifica la estructura natural y encausa el agua de escorrentía, que genera agrietamientos, surcos y cárcavas en terrenos con pendiente.

Locaciones

Son las áreas específicas de explotación que consisten en superficies niveladas y decapitadas que se utilizan para

la instalación de las plataformas de exploración y de bombeo. Pueden presentar equipos de bombeo de tipo cigüeña, de almacenamiento (baterías)

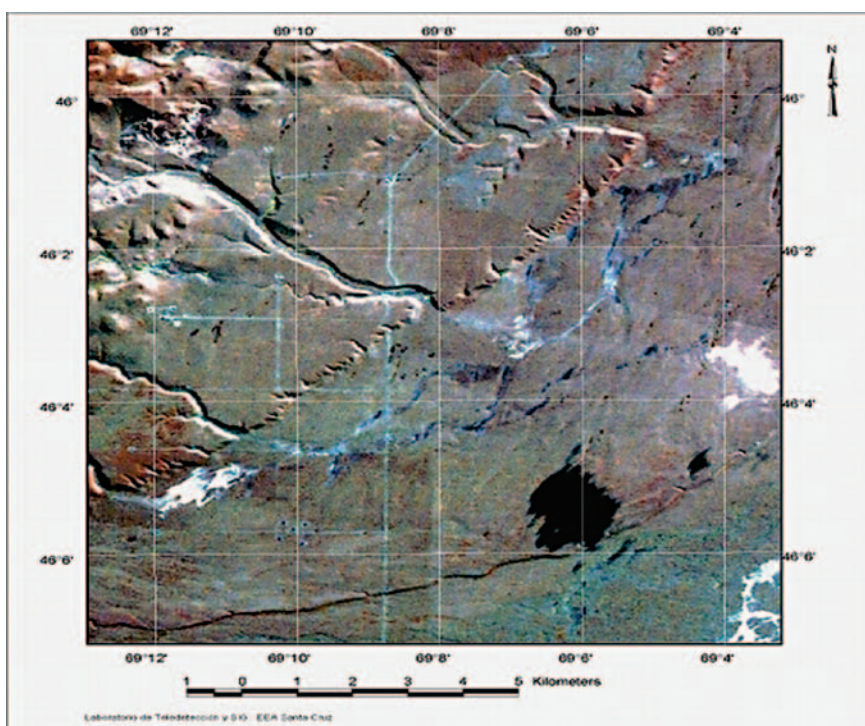


Figura 4. Recorte de imagen Landsat TM del yacimiento Los Perales, Las Heras. Año 1986.

o estar abandonadas con las bocas de pozo clausuradas. En general, presentan una gran compactación y muchas han sufrido contaminación por derrames de todo tipo (que no fueron motivo de análisis de este trabajo).

Canteras

Otro de los impactos ambientales característicos de la actividad es la apertura de canteras para la extracción de áridos, que son requeridos en grandes volúmenes para la construcción y el mantenimiento de locaciones, caminos e instalaciones. En esta actividad el impacto es menor en extensión comparado con la apertura de caminos, porque es una afectación puntual, pero la modificación del paisaje, el suelo y la vegetación es significativa, dado que se extrae una gran cantidad de material hasta dejar un relieve quebrado (taludes verticales que pueden tener varios metros) con suelos poco desarrollados (paleosuelos) expuestos en el fondo, sin rastros de vegetación. Un aspecto adicional que cabe destacar es que muy frecuentemente estos sitios se utilizan tras el abandono como basurales, y en ellos se deposita todo tipo de residuos.

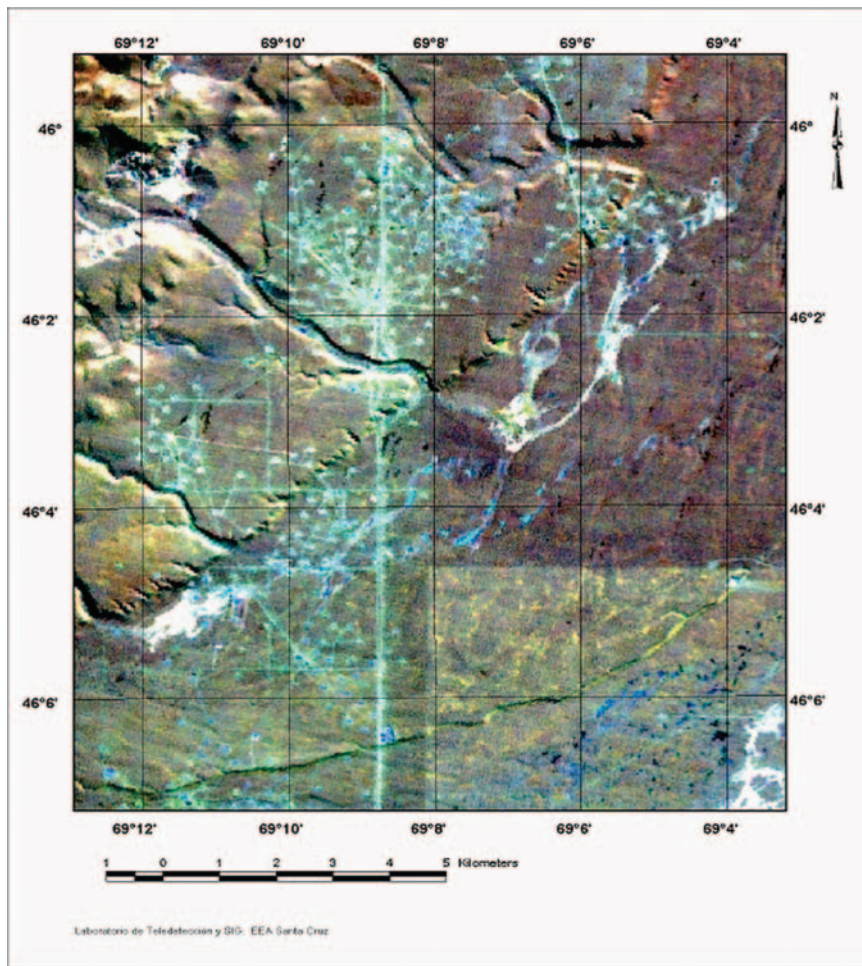


Figura 5. Recorte de imagen Landsat TM del yacimiento Los Perales, Las Heras. Año 2003.

Áreas de rehabilitación observadas

Para recuperar los suelos modificados se han utilizado técnicas de laboreo con el objetivo de aumentar la superficie de suelo expuesta a los agentes atmosféricos, facilitar el intercambio gaseoso, incrementar la eficiencia de utilización del agua de las plantas por una mayor infiltración, reducir el escurrimiento superficial y aumentar la capacidad de penetración de las raíces en el suelo.

Una de las prácticas de laboreo que han aplicado las empresas que operan en el golfo San Jorge es el escarificado o subsolado lineal. Se realiza con una herramienta cortante (subsolador) que provoca la disgregación del suelo y el mezclado de los materiales, pero sin invertir el orden de las capas o los horizontes de suelo.

Estos cortes perpendiculares a la

pendiente del terreno y a los vientos predominantes, de unos 20 a 30cm de profundidad, se practican en condiciones de suelo seco para un mejor agrietamiento y mullido del sustrato. El microrrelieve generado por los surcos atrapa partículas de suelo y semillas y, de este modo, crea un mayor número de "micrositios" favorables para la germinación y el desarrollo de las especies circundantes al área (banco de semillas). Se han realizado algunas pruebas exitosas de revegetación por convenios INTA-YPF (Ciano *et al.* 2000.), en donde se utilizaron arbustos de *Atriplex lampa*, *Grindelia chilensis*, *Colliguaja integerrima* y *Atriplex sagittifolia* (arbustivas nativas); *Tamarix gallica* y *Eleagnus angustifolia* (arbóreas introducidas naturalizadas); *Atriplex semibaccata* (arbustivas introducidas naturalizadas); *Atriplex num-*

mularia (arbustiva introducida no naturalizada); *Melaleuca spp* y *Eucalyptus camandulensis* (arbóreas introducidas). La implantación de estos materiales ha sido aceptable. Los arbustos se han producido en invernáculos y se han plantado a mano, en general en surcos en áreas de derrames recuperadas. Se considera que las técnicas utilizadas tienen potencial para recuperar estas áreas, y que se debe ampliar el espectro de especies nativas involucradas en el proceso (Ciano *et al.* 2001).

También se han realizado experiencias de siembra de gramíneas en áreas afectadas por derrames que han tenido éxito (Utrilla *et al.* 1999). La revegetación natural se siguió durante algunos años luego de trabajos de bioestimulación (fertilización y laboreo) y fue lenta (Oliva *et al.* 1999).

Trabajos de laboratorio y de campo

El área de estudio se encuentra cubierta por la imagen Landsat TM 229-92. Las escenas utilizadas corresponden al 10 de febrero de 1986 y al 23 de abril de 2003. Las imágenes fueron georreferenciadas con puntos de control originados en lecturas de GPS en el campo o extraídos de las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar, escala 1:100.000, que a continuación se detallan: 4769-3 estancia La Ítala, 4769-4 estancia Las Catalinas, 4769-5 estancia La Nueva Oriental, 4769-6 Punta Maqueda, 4769-9 cerro Setenta, 4769-10 Las Heras, 4769-11 estancia Mantecón, 4769-12 Caleta Olivia, 4769-16 cerro Ochenta y Uno, 4769-17 estación Koluel Kaike, 4769-18 Pico Truncado, 4766-13 estación Tehuelches, 4769-22 cerro Cocodrilo, 4769-23 Zanjón del Pescado, 4769-24 Aguada del Bozal.

En total se utilizaron 47 puntos que presentan un error cuadrático medio (RMS) menor a un píxel (0,970). Se obtuvo una imagen georreferenciada (proyección: *Transverse Mercator*, meridiano central:

69° 00' 00" de longitud oeste, tamaño de píxel: 25 x 25 metros, falso este: 2.500.000, factor de escala al meridiano central: 1, falso norte: 10002288.299, latitud al origen de proyección: 00° 00' 00"). Se eligió la proyección *Transverse Mercator* porque sus parámetros permiten medir sobre la imagen longitudes en metros y superficies en metros cuadrados. Del total de la escena 229-92 se recortó un sector de trabajo limitado al norte por el paralelo 46° de latitud sur (límite con la provincia de Chubut) y al sur por el límite inferior de la imagen. Dentro del sector se eligieron dos áreas piloto para el trabajo con imágenes (figura 1). El área yacimiento El Cordón-Pico Truncado está ubicada entre los paralelos de 46° 36' 51" y 46° 42' 08" de latitud sur, y los meridianos 68° 05' 50" y 67° 49' 27" de longitud oeste; tiene una superficie de 20.796ha. Para su elección se priorizó un sector donde se vincularan por lo menos dos empresas de las que operan en el lugar (Repsol YPF y Vintage Oil). Esta área

Locaciones	Cantidad	Superficie (ha)	Superficie (%)
1986	769	769	3,69
2003	1336	1336	6,42
Caminos	Longitud (km)	Superficie (ha)	Superficie (%)
1986	389	530	2,55
2003	690	831	3,99
Total afectado (caminos y locaciones)		Superficie (ha)	Superficie (%)
1986		1300	6,24
2003		2167	10,41
Incremento		51 ha/año	0,24 %/año

Tabla 1. Superficie afectada por locaciones y caminos en el área yacimiento El Cordón, Pico Truncado

Locaciones	Cantidad	Superficie (ha)	Superficie (%)
1986	25	25	0,13
2003	334	334	1,83
Caminos	Longitud (km)	Superficie (ha)	Superficie (%)
1986	44	60	0,33
2003	102	119	0,65
Total afectado		Superficie (ha)	Superficie (%)
1986		86	0,46
2003		453	2,48
Incremento		22 ha/año	0,12 %/año

Tabla 2. Superficie afectada por locaciones y caminos en el área yacimiento Los Perales, Las Heras

fue cubierta con muestreos de campo (figuras 2 y 3).

El área yacimiento Los Perales-Las Heras se localiza entre los paralelos 45° 59' 21" y 46° 7' 15" de latitud sur, y los meridianos 69° 12' 53" y 69° 3' 15" de longitud oeste; tiene una superficie de 18.231ha y se eligió por ser un lugar de explotación reciente (Repsol YPF) (figuras 4 y 5).

Al utilizar como base el mapa de suelos de la provincia de Santa Cruz (Salazar Lea Plaza y Godagnone, 1990), se delimitaron las unidades fisiográficas comprendidas en el recorte del sector de trabajo de la imagen Landsat TM 229-92. Con la información del mapa de suelos se asignaron las unidades identificadas a un tipo de suelo y perfil. La delimitación se realizó por interpretación visual sobre la imagen, en formato vectorial. La base de datos contiene como información:

tipo de suelo, nomenclatura, unidad de paisaje y superficie. En el área yacimiento El Cordón-Pico Truncado los suelos son Natrargides típicos. El área yacimiento Los Perales-Las Heras presenta Torripsamientos taptoárgicos, Calciortides típicos, Haploxeroles áridicos y Paleortides xerólicos. Para ubicar las locaciones sobre la imagen satelital correspondiente al área yacimiento El Cordón-Pico Truncado, Vintage y Repsol entregaron los archivos Excel con las ubicaciones respectivas. Fueron transformados a archivos de puntos vectoriales y las coordenadas en proyección *Transverse Mercator* transferidas a valores de latitud-longitud. Al superponerlos a la imagen coincidieron con el área disturbada de cada locación. En el área yacimiento Los Perales-Las Heras, operada por la empresa Repsol YPF, las locaciones se digitalizaron desde pantalla.

Índices descriptivos de intensidad de uso (año 2003)	El Cordón, Pico Truncado	Los Perales, Las Heras
Densidad de locaciones (locaciones/100 ha)	6,42	1,83
Longitud de caminos por locación (km/locación)	0,52	0,31
Superficie total afectada por locación (ha/locación)	1,62	1,36

Tabla 3. Índices descriptivos de intensidad de uso para ambas áreas (año 2003).

Al utilizar los archivos vectoriales de locaciones (puntos), mediante el programa Arcview 3.0, se utilizó un *script* (buffer.avx) que permitió generar y medir áreas afectadas por locaciones, se consideró una superficie de influencia de una hectárea para cada una.

Se reconocieron los caminos sobre las imágenes y se diferenciaron en primarios y secundarios según el ancho de los mismos. Una vez finalizada la digitalización se calcularon las longitudes de caminos primarios y secundarios de ambas áreas. Con los archivos vectoriales de caminos (líneas), mediante el programa Arcview 3.0, se empleó un *script* (buffer.avx) que permitió generar y medir las áreas afectadas que dependen del tipo de camino, 20m de influencia para primarios y 10m para secundarios.

El trabajo de campo se realizó sobre el área yacimiento El Cordón-Pico Truncado. Para determinar los sitios de observación se trazó una cuadrícula sobre la imagen que delimitó 520 celdas de aproximadamente 38ha. Se estratificó el área en cuatro unidades de paisaje y se escogieron veintitrés celdas que respetaban las superficies relativas de las unidades (dos niveles de terrazas, cañadones y mallines). En estas celdas se muestrearon ocho caminos, cinco canteras y diez locaciones en octubre de 2003. En cada sitio se analizó un área disturbada y un testigo adyacente. Se realizó una evaluación de vegetación por medio de veinticinco marcos de 0,20m² en los que se estimó cobertura vegetal total y se enumeraron las especies presentes. Se tomaron muestras compuestas de suelos superficiales (0 a 10cm) y se analizaron química y físicamente en el Laboratorio de Suelos del Consejo Agrario provincial. Se evaluó el estado de desertificación en el área

no disturbada con la metodología de FAO modificada para el mapa de desertificación de la Patagonia (Eiden 1995). Se realizaron lecturas de compactación con un penetrómetro de anillos en seis sitios, cada una de ellas con quince observaciones en disturbado y testigo.

Para analizar estadísticamente los datos se puso a prueba la hipótesis de que los sitios disturbados fueran distintos de los testigos en variables de

suelo por medio de un análisis de variancia (ANOVA) de dos factores: disturbio x sitio. En aquellos casos en que el factor disturbio del ANOVA general resultó significativo ($p < 0,05$) se realizó un análisis de ANOVA de un factor con contrastes de Duncan para evaluar la significación de los distintos tipos de disturbios (caminos, locaciones, canteras). Los datos de cobertura y diversidad de la vegetación se trataron en forma similar. Los datos de frecuencia de registro de especie y de grupos de especies (formas de vida, especies consideradas malezas, perennes o introducidas, etc.) se evaluaron por medio de tablas de contingencia de 2 x 2 y mediante pruebas de *chi* cuadrado (χ^2) se determinó si la presencia de cada una de las especies o los grupos difería significativamente de lo observado en los testigos.

	Disturbado	Testigo	F	P
Fertilidad				
Nitrógeno total (%)	0,049	0,061	4,88	0,032
Potasio (cmol(+)/kg)	15,09	14,13	0,23	ns
Fósforo Olsen (mg/kg)	0,67	0,69	0,21	ns
Carbono orgánico (%)	0,51	0,57	0,04	ns
pH y resistencia				
pH 7,75	7,38	4,6	0,030	
Resistencia (ohm.cm)	1092	1616	3,12	ns
Muestras salinas				
% de muestras salinas	57,74	21,74		
Conductividad (dS/m)	4.955	2.564	2,92	ns
Bicarbonatos (mmol(+)/l)	3.854	5.886	5,80	0,027
Cloruros (mmol(+)/l)	15,90	14,93	0,01	ns
Sulfatos (mmol(+)/l)	28.655	1.367	8,31	0,010
Sodio (cmol(+)/kg)	9.764	3.452	0,94	ns
CaCO ₃ (%)	7.653	4.463	15,27	0,001
Textura				
% limo fino (2-20 μ)	7.264	7.717	0,03	ns
% limo grueso (20-50 μ)	1.495	1.596	0,03	ns
% arena muy fina (50-100 μ)	9.359	12.487	12,60	0,001
% arena fina (100-250 μ)	22.800	27.861	13,01	0,001
% arena media (0,25-0,5 μ)	21.768	21.578	0,02	ns
% arena gruesa (0,5-1mm)	7.745	7.448	0,58	ns
% arena muy gruesa (1-2mm)	3.041	2.461	1,97	ns
% arcilla (< 2 μ)	26.527	18.852	7,28	ns
% limo total	8.759	9.313	0,36	ns
% arena total	64.714	71.835	6,45	0,015
% gravas (> 2mm)	26.714	13.182	9,1	0,004

Tabla 4. Análisis del efecto de los disturbios en el suelo. Los valores F y P corresponden a pruebas del análisis de variancia.

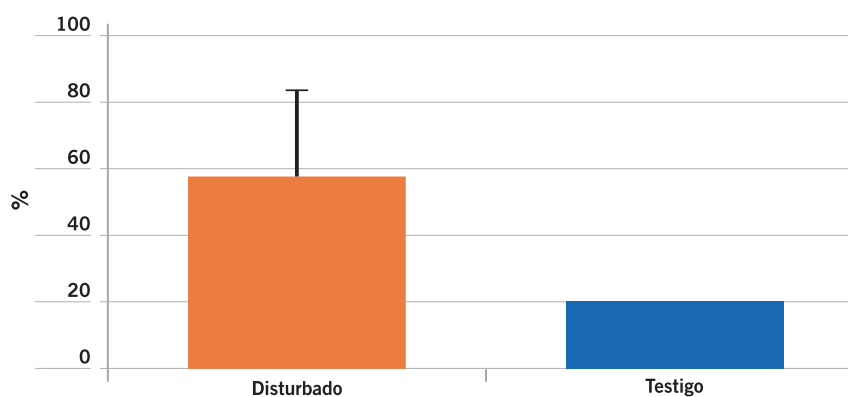


Figura 6. Valores de compactación medidos con el penetrómetro.

Resultados

Con la digitalización de locaciones y caminos primarios y secundarios sobre las imágenes de 1986 y 2003 y teniendo en cuenta las superficies de influencia se estimó la superficie afectada (ha y %), cada área y en cada fecha. Eso permitió conocer los incrementos de superficie y los índices descriptivos de intensidad de uso (tablas 1, 2 y 3).

En el área sin disturbar los contenidos de N, P y K fueron bajos, los pH cercanos a neutros y solamente un 20% mostró problemas de salinidad. Los sitios disturbados presentaban menos nitrógeno total, pH mayores y un 60% de ellos tenían conductividades > 2dSm/m, valores considerados salinos, y entre ellos se registró un enriquecimiento en carbonatos y sulfatos y un decrecimiento en bicarbonatos. Algunos sitios en particular presentaron suelos con pH muy elevado (8 a 9,5) y conductividades de hasta 15dS/m con problemas de alta concentración de sodio. La textura de los suelos fue predominantemente franco arenosa en los sitios testigo, mientras que en los disturbados fue franco arcillo arenosa o arcillosa franca. Las fracciones del suelo que se perdieron en los sitios disturbados fueron arena muy fina, fina y total. Se enriquecieron en gravas > 2mm y se registró un aumento no significativo en el contenido de arcillas. La compactación medida con penetrómetro fue significativamente mayor en los sitios dis-

turbados (tabla 4 y figura 6).

El análisis por tipo de disturbio demuestra que no existen diferencias significativas en los suelos resultantes, debido a la gran variabilidad, pero aun los valores promedio de los sitios

disturbados serían limitantes desde el punto de vista agronómico. Las conductividades promedio 5dS/m son serias limitantes para la revegetación. Entre los suelos salinos, las canteras muestran concentraciones significativamente mayores de carbonatos y sulfatos, aniones que podrían tener origen geológico, y una menor concentración de bicarbonatos. Las canteras tienen también una mayor concentración de gravas (tabla 5). La cobertura de vegetación fue similar en los sitios disturbados y testigos, aunque la riqueza específica fue significativamente menor en los disturbados. Las formas de vida que disminuyeron sustancialmente en sitios disturbados fueron coirones, pastos cortos y subarbustos, en general las plantas perennes nativas, y aumentaron significativamente las malezas. La frecuencia de anuales mostró un descenso en los

	Fertilidad	Caminos	Canteras	Locaciones	Testigos
Nitrógeno total (%)		0,055 ab	0,038 b	0,048 ab	0,061 a
Potasio (cmol(+)/kg)		0,675	0,320	0,478	0,565
Fósforo Olsen (mg/kg)		16,13	15,40	14,00	14,13
Carbono orgánico (%)		0,643	0,410	0,846	0,692
pH y resistencia					
pH		7,83 a	7,56 a	7,80 a	7,38 a
Resistencia (ohm.cm)		1148	1608	756	1616
Muestras salinas					
% de sitios salinos		50,0	60,0	60,0	21,7
Conductividad (dS/m)		4,90	4,26	5,28	2,56
Bicarbonatos (mmol(+)/l)	5,15 a		2,30 b	3,77 ab	5,89 a
Cloruros (mmol(+)/l)	36,20		1,17	9,73	14,93
Sulfatos (mmol(+)/l)	4,87 b		47,63 a	31,54 a	1,37 b
Sodio (cmol(+)/kg)	8,70		19,78	5,14	3,45
CaCO ₃ (%)	5,13 ab		8,50 a	9,57 a	4,46 b
Textura					
% limo fino (2-20μ)	5,0		7,6	9,1	7,7
% limo grueso (20-50μ)	1,6		2,4	0,9	1,6
% arena muy fina (50-100μ)	9,2 b		8,4 b	10,1 ab	12,5 a
% arena fina (100-250μ)	23,9 ab		21,4 b	22,6 b	27,9 a
% arena media (0,25-0,5mm)	20,9		26,5	19,9	21,6
% arena gruesa (0,5-1mm)	7,5		7,7	8,0	7,4
% arena muy gruesa (1-2mm)	2,4		4,1	3,0	2,5
% arcilla (< 2μ)	29,6		22,0	26,3	18,9
% limo total	6,6		10,0	10,0	9,3
% arena total	63,8 a		68,0 a	63,7 a	71,8 a
% gravas (> 2mm)	16,3 c		42,0 a	27,6 b	13,2 c

Tabla 5. Análisis de suelos por tipo de disturbio.

Cobertura y riqueza	Disturbado	Testigo	F	P
Cobertura (%)	22,38	22,62	0,01	ns
Riqueza (especies por sitio)	12,09	18,78	56,31	<.0001
Formas de vida	Disturbado	Testigo	X²	P
Coirones	8,78	10,52	3,98	0,046
Pastos cortos	7,05	13,45	192	<.0001
Hierbas	4,98	4,76	0,67	ns
Arbustos	1,63	1,43	0,83	ns
Subarbustos	4,44	16,89	420	<.001
Anuales vs. perennes				
Perennes	5,16	8,84	316	<.001
Anuales	4,63	6,11	9,89	0,002
Nativas vs. introducidas				
Nativas	4,64	8,99	418	<.001
Introducidas	6,94	6,42	1,51	ns
Malezas vs. no malezas				
No malezas	4,79	9,36	475	<.001
Malezas	6,86	3,40	63	<.001

Tabla 6. Análisis del efecto del disturbio sobre la vegetación.

sitios disturbados (tabla 6).

Las especies de mayor frecuencia en la comunidad testigo disminuyen significativamente en los sitios disturba-

dos. Entre ellas, la importante forrajera *Poa duseinii*, base de la dieta de los ovinos. También se nota un descenso en los subarbustos *Nassauvia ulicina*

(manca perro), *Nassauvia glomerulosa* (cola de piche) y *Chuquiraga aurea* (uña de gato). Entre las especies que aumentan con el disturbio se destaca la *Stipa chrysophylla* (coirón amargo), que es una exitosa colonizadora de suelos sueltos de acumulación; además, la maleza *Erodium cicutarium* (alfilerillo) y el pasto anual *Hordeum sp.* Entre los arbustos, el único que se logró establecer exitosamente fue el *Senecio filaginoides* (mata mora) (figura 7).

Algunas especies, malezas introducidas en su mayor parte, se encontraron únicamente en los sitios disturbados. Estas áreas, y en especial los caminos, tienen una alta frecuencia de malezas, probablemente por el aporte de semillas de plantas cosmopolitas asociadas al movimiento de vehículos y personas. Existe, por otro lado, un conjunto de especies que se registraron en los sitios testigo pero que desaparecieron completamente en los sitios disturbados, la mayor parte de ellas son especies nativas perennes relativamente escasas en el paisaje (tabla 7).

El análisis por tipo de disturbio muestra que la cobertura de todos los sitios intervenidos se regenera a niveles cercanos al de los testigos, aunque

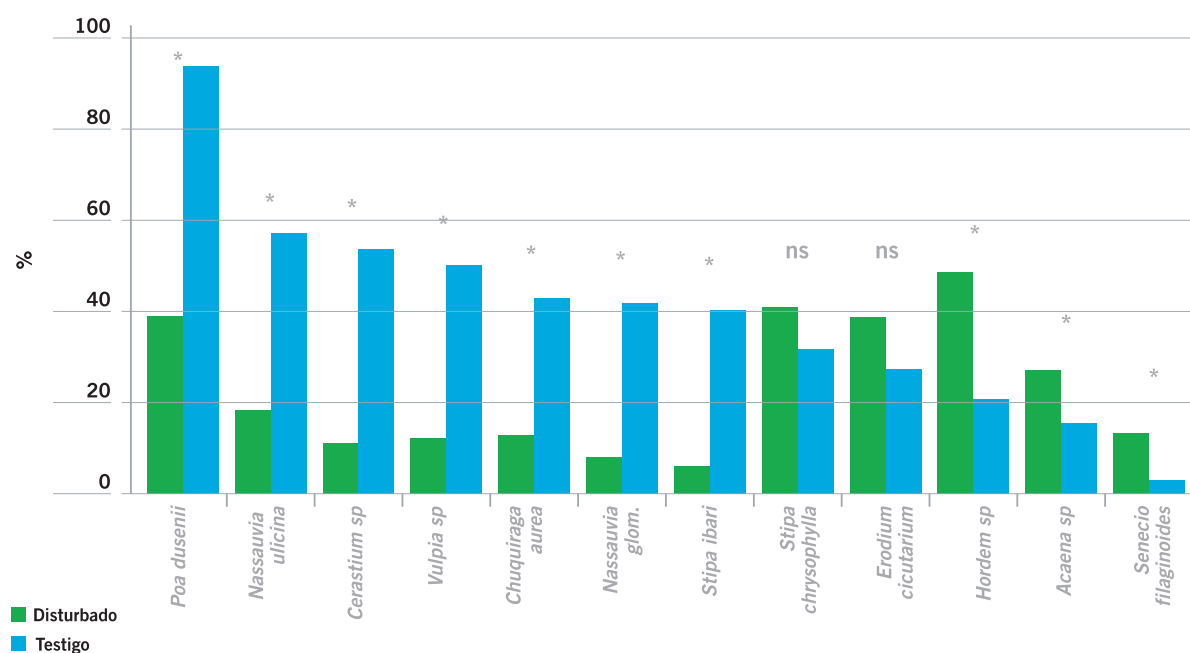


Figura 7. Frecuencia (porcentaje de marcos que registraron la especie) en sitios disturbado y testigo, para las 12 especies de mayor cobertura en la comunidad. * indica diferencias significativas (análisis de variancia).

Sitio	Especie	Forma de vida	Nombre común	Nativa	Anual	Maleza
Disturbado	<i>Acaena poeppigiana</i>	Hierba	Abrojo	SÍ	NO	NO
	<i>Adesmia sp</i>	Hierba	Adesmia	SÍ	NO	NO
	<i>Bromus setifolius</i>	Pasto corto	Cebadilla patagónica	SÍ	NO	NO
	<i>Erodium cicutarium</i>	Hierba	Alfilerillo	NO	SÍ	SÍ
	<i>Grindelia chilensis</i>	Hierba	Botón de oro	SÍ	NO	NO
	<i>Lepidium sp</i>	Hierba	<i>Lepidium</i>	NO	SÍ	SÍ
	<i>Marrubium sp</i>	Hierba	<i>Marrubium</i>	NO	SÍ	SÍ
	<i>Matricaria inodora</i>	Hierba	Manzanilla	NO	SÍ	SÍ
	<i>Taraxacum officinale</i>	Hierba	Diente de león	NO	NO	SÍ
Testigo	<i>Agrostis sp</i>	Pasto corto	Agrostis	SÍ	NO	NO
	<i>Arjona patagónica</i>	Hierba	Arjona	SÍ	NO	NO
	<i>Baccharis sp</i>	Subarbusto	Baccaris	SÍ	NO	NO
	<i>Brachyclados caespitosus</i>	Subarbusto	Brachiclado	SÍ	NO	NO
	<i>Maihuenia sp</i>	Cactácea	Cacto	SÍ	NO	NO
	<i>Chuquiraga avellandae</i>	Subarbusto	Quilembai	SÍ	NO	NO
	<i>Distichlis sp</i>	Pasto corto	Pelo de chancho	SÍ	NO	NO
	<i>Draba magellanica</i>	Hierba	Draba	SÍ	SÍ	NO
	<i>Elymus magellanicus</i>	Coirón	Elimo	SÍ	NO	NO
	<i>Festuca pallescens</i>	Coirón	Coirón blanco	SÍ	NO	NO
	<i>Hamadryas delphinii</i>	Hierba	Hamadria	SÍ	NO	NO
	<i>Juncus balticus</i>	Graminoide	Junco	SÍ	NO	NO
	<i>Junellia ligustrina</i>	Arbusto	Verbena	SÍ	NO	NO
	<i>Junellia tridens</i>	Arbusto	Mata negra	SÍ	NO	NO
	<i>Plantago lanceolata</i>	Hierba	Siete venas	NO	NO	NO
	<i>Poligonum sp</i>	Hierba	Sanguinaria	NO	NO	SÍ
	<i>Stipa chubutensis</i>	Coirón	Coirón amargo	SÍ	NO	NO
	<i>Sisyrinchium sp</i>	Hierba	Junquillo	SÍ	NO	NO
<i>Tetraglochin sp</i>	Subarbusto	Tetraglochin	SÍ	NO	NO	

Tabla 7. Especies exclusivas de cada sitio (disturbado y testigo).

con una riqueza (número de especies) menor. En los sitios disturbados se nota un descenso en los coirones, excepto en los caminos, que fueron exitosamente recolonizados por *Stipa chrysophylla* (coirón amargo), una especie que se establece bien en suelos de acumulación de arenas. Los caminos mostraron un mayor número de malezas y plantas introducidas. Los subarbustos, plantas de larga vida, disminuyeron en todos los disturbios y en especial en las canteras (tabla 8).

Conclusiones

Los cambios químicos observados en el suelo de los sitios disturbados se explican probablemente por el presta-

mo de material de subsuelo, que es más arcilloso y salino. Hay cambios físicos importantes que responden a la compactación sufrida. Las dos situaciones descritas dificultan el establecimiento de nativas con cierto valor forrajero y paisajístico.

A pesar de que el sustrato de los sitios disturbados es más pobre en nutrientes, los valores absolutos de nitrógeno, fósforo y potasio del testigo natural también son muy bajos. La salinización del suelo resulta un problema habitual en las áreas disturbadas; se han registrado puntualmente valores altos de pH (superiores a 8), que serían limitantes para el establecimiento de la vegetación. No se registraron signos evidentes de erosión (lenguas, dunas, nebkas) asociados a

caminos, canteras o locaciones. Estas superficies altamente compactadas parecen ser demasiado estables. Los cambios texturales observados respecto del testigo no parecen indicar que estén sujetos a pérdida de material fino por erosión eólica severa, en cuyo caso se esperaría una reducción en los contenidos de las partículas finas fácilmente transportables por el viento, como el limo. La compactación es un problema serio en todas estas superficies, y a eso se suma la ausencia de microtopografía u obstáculos que promuevan la captura de sedimentos y semillas aerotransportadas (que eviten la formación de suelos y bancos de semillas). No se observaron muchas diferencias en la compactación de acuerdo con el tiempo de

Cobertura y riqueza	Caminos	Canteras	Locaciones	Testigos
Cobertura (%)	28,33	18,00	18,77	22,62
Riqueza (especies por sitio)	13,33 b	11,00 b	11,40 b	18,78 a
Formas de vida				
Coirones	11,25	5,40	8,5	10,5 *
Pastos cortos	7,27	4,37	8,21	13,45 *
Hierbas	6,30	5,13	3,85	4,76 *
Arbustos	1,45	1,60	1,80	1,43 ns
Subarbustos	6,78	0,80	4,40	16,89 *
Perennes vs. anuales				
Perennes	6,33	3,49	5,07	8,84 *
Anuales	5,00	4,80	4,25	6,11 *
Nativas vs. introducidas				
Nativas	5,53	3,22	4,64	8,99 *
Introducidas	8,71	5,47	6,27	6,42 *
Malezas				
No malezas	5,66	3,12	4,92	9,36 *
Malezas	9,00	6,76	5,20	3,40 *

Tabla 8. Análisis del efecto de los tipos de disturbio en la frecuencia de la vegetación.

abandono, y la reducida actividad biológica en este sustrato no permite especular que en el mediano plazo la situación cambie en forma natural.

La revegetación natural se reduce a un número limitado de especies, en su mayor parte malezas y las plantas perennes nativas, especialmente coirones, pastos cortos y subarbustos que en general no colonizan estos espacios disturbados. Las comunidades resultantes no se integran nuevamente al paisaje y constituyen cicatrices permanentes. Existe un conjunto de especies de la comunidad natural que desaparece completamente en áreas disturbadas (en general, las especies de mayor valor forrajero), y otras que se encuentran exclusivamente en los sitios disturbados. Estas superficies alteradas y en especial los caminos constituyen corredores que permiten la entrada de malezas y plantas exóticas a los pastizales naturales.

La salinización y la compactación (dos de los principales problemas de las áreas disturbadas) se podrían contrarrestar al escarificar, surcar y/o corrugar, que estimularía la infiltración, ya que en la mayoría de estas

superficies domina la escorrentía superficial. Los valores altos de salinización no parecen justificar enmiendas durante la rehabilitación, excepto en algunos sitios puntuales (pH mayor que 8 con presencia de sodio). La fertilización en las tareas de rehabilitación se debería manejar con cuidado, para no estimular el ingreso de malezas.

La escarificación de todas las superficies disturbadas parece ser una medida adecuada e indispensable para implementar en el corto plazo. En el caso de pendientes pronunciadas, como las que se observan en los taludes de las canteras, se deberían reducir los ángulos y recurrir al surcado profundo en curvas de nivel para evitar la erosión hídrica.

Las experiencias de introducción de arbustos fuera de los mallines han tenido un éxito relativo, y no se registran siembras de gramíneas en estos ambientes xéricos. Por el contrario, en los mallines y cañadones las experiencias de revegetación con arbustos y con gramíneas han sido muy exitosas, excepto en el caso de suelos muy salinizados. Una de las prácticas reco-

mendadas y más adecuadas, como medida de restauración más que de rehabilitación, pareciera ser la plantación de arbustos nativos (*Lycium sp*, *Junellia tridens*, *Senecio filaginoides*, *Atriplex zampa*) y la siembra con gramíneas también nativas, como por ejemplo *Poa dusenii*. Algunas de estas especies requieren un programa inicial de experimentación.

El total de superficie afectado por caminos y locaciones (10,41% del total del área yacimiento El Cordón-Pico Truncado; 2,48% del total del área yacimiento Los Perales-Las Heras) es importante, si se considera que a ello hay que sumarle la superficie ocupada por canteras y bases de operaciones. En la planificación de nuevos caminos sería necesario diseñar una red mínima óptima vial, produciendo de esta manera el menor disturbio posible en el ambiente. Las conclusiones expuestas en esta etapa de diagnóstico confirman la necesidad de garantizar la continuidad del proyecto en el tiempo, a través de un convenio entre las partes involucradas. Para esto, a la brevedad se debe producir su discusión, formulación, ratificación e implementación a fin de lograr los resultados esperados, tomando un horizonte de tiempo similar al del final de las concesiones actuales.

Trabajar en las soluciones a los problemas planteados en el marco del convenio traerá aparejado, entre otros aspectos, la posibilidad de incentivar el desarrollo de PyMEs locales, que generarán nuevos puestos de trabajo. ■