

Trabajo 34 Tomo 2

LAS TÉCNICAS AMBIENTALES EN LA SÍSMICA 3D ACTUAL VS. LA APERTURA TRADICIONAL DE LÍNEAS SÍSMICAS RESULTADOS COMPARATIVOS

24 CONGRESO

YPF S.A. GERENCIA DE GEOFISICA, SEDE CENTRAL. Buenos Aires y Gerencias Regionales de Exploración.

GEOLOGOS ASOCIADOS S.A. (GEA) División Medio Ambiente

Los Autores

Los resultados expuestos en la presente publicación deben ser considerados como el resultado de un trabajo en equipo, comandado por las claras directivas respecto a los métodos de protección ambiental implementadas por la Gerencia de Geofísica de YPF SA. en sus contratos ambientales y operativos.

Los estrictos controles efectuados durante las operaciones de campo también resultaron del esfuerzo compartido, en especial aquellas decisiones vinculadas con la no aperturas de picadas, inclusive en las situaciones que esa situación alteró de alguna manera las trazas de los preploteos de la operación.

Por lo anterior este trabajo se presenta en forma institucional, sin una efectiva mención de autores particulares, cosa que consideraríamos injusta dada la gran cantidad de personal interviniente en los logros expuestos.

Agradecimientos

Agradecemos a los Ingenieros Luis Concina y Roberto Dau, del Departamento de Geofísica, División Exploración de YPF S.A. Buenos Aires, quienes mantuvieron un permanente compromiso con los temas ambientales,

Esta situación nos ayudó a establecer las líneas directrices del presente trabajo, basado en la información de los Estudios de Impacto Ambiental (EIAPs) y Monitoreos Ambientales de Operaciones Sísmicas.

La colección y análisis de los ejemplos presentados fue efectuado por el sector Medio Ambiente de GEOLOGOS ASOCIADOS S.A., en especial los Licenciados Marcelo Sorba y Horacio Nacucchio entre algunos meses y dos años después de terminadas las operaciones.

Los resultados de campo mostrados especialmente en anexo fotográfico reflejan las

recomendaciones elaboradas por GEA en sus EIAPs como los conceptos y prioridades de la política ambiental para operaciones sísmicas de YPF S.A. y fueron posibles por el aporte substancial y controles de campo de los Ingenieros Raúl Violoni, Mario Beglegia, Raúl Oyarzábal y Víctor Peláyes, de YPF S.A. en su papel de inspectores de las operaciones.

Por otra parte agradecemos especialmente al Lic. Elías Dajczgewand, responsable de la política de Medio Ambiente de YPF S.A. Buenos Aires por su autorización y estímulo para la presentación de este trabajo.

Resumen

La actividad de exploración de hidrocarburos se desarrolla en nuestro país principalmente en ambiente desértico, en terrenos de pendientes importantes en Mendoza y oeste de Neuquén y llanos a mesetiformes en la porción extraandina de la Patagonia.

El recurso suelo y biomasa asociada ha sido tradicionalmente el más impactado por los antiguos métodos de prospecciones geofísicas, con resultados negativos de difícil reversibilidad.

Los agentes erosivos preponderantes como el agua y el viento se han visto potenciados en sus efectos por la denudación del terreno producida mediante las aperturas de las antiguas líneas sísmicas mediante equipo vial, acelerando o potenciando carcamientos por erosión hídrica y pérdida de suelos por deflación, además de la consecuente degradación paisajística.

La sísmica 3D encarada últimamente por YPF S.A. en sus áreas ha tenido como premisa no producir apertura de picadas, trabajando los vibros a campo traviesa y subordinando la traza de la línea a las reales posibilidades de transitar por el campo.

Se reseñan en este trabajo casi cuatro años de observaciones de varios ejemplos de tratamiento del terreno para registración según las técnicas antiguas, ya en desuso, y las formas de erosión resultante versus los resultados obtenidos por las técnicas actuales, privilegiando un tratamiento racional del ecosistema.

Introducción

El presente trabajo pretende exponer la experiencia lograda a lo largo de cuatro años en los cuales Exploración de YPF S.A., a través de contratos con GEOLOGOS ASOCIADOS S.A. (GEA), ha efectuado tareas de Evaluación de Estudios de Impacto Ambiental Previo a Registraciones Sísmicas de Exploración y los monitoreos medioambientales posteriores a las mismas. En todos los casos se trata de programas de

sísmica 3D en las cuales la operadora implementó las técnicas modernas de tratamiento del terreno, llamadas de "picada" ecológica.

En realidad la técnica ha consistido en no abrir la picada tradicional, mediante equipo vial con pala mecánica, sino proceder al tránsito y a las tareas de emisión y registración circulando con los vibros a campo traviesa, produciendo sobre la masa vegetal de la traza de la Línea Sísmica solo una acción de pisada. Solamente cuando lo escarpado del terreno imposibilita la tarea y pone en peligro la vida humana o equipos destacados en la operación, se utiliza equipo vial para repasar accesos y efectuar pequeños cortes de terreno.

Entorno Geográfico

Las cuencas petroleras de las cuales se han extraído los ejemplos son: Cuenca Cuyana, localizándose esta en posiciones del centro oeste de la provincia de Mendoza, desde el norte de la ciudad capital hasta la localidad de Alvear, Cuenca Neuquina, desde el sur oeste de la provincia de Mendoza y Norte de la Provincia de Neuquén y Cuenca del Golfo, rodeando el Golfo San Jorge, al sureste de la Provincia de Chubut y noreste de la Provincia de Santa Cruz.

Todas estas regiones indicadas están sometidas a procesos geomórficos del ciclo árido, comprendiendo grandes superficies "a la sombra" orográfica de la Cordillera de los Andes. Esta cadena impide el paso de la humedad de las masas de aire provenientes del Pacífico, obligando a las mismas al ascenso y precipitación de la humedad, en mucha mayor proporción en la vertiente pacífica del continente.

Las características de mayor importancia de este tipo de desiertos son la escasez de precipitaciones, de vegetación y la amplitud térmica. Hay abundancia de pequeñas cuencas centripetas que desaguan a bajos sin salida, localmente llamados "salinas o barreales".

Ambiente Geomorfológico

En clara consonancia con la proporción dominante de terrenos áridos en nuestro territorio nacional, puede decirse que la mayor concentración de actividad petrolera en Argentina se produce en ambiente de Desierto de Latitudes Medias o Desierto Orográfico.

Los fenómenos de meteorización mas importantes en este ambiente son los mecánicos, predominando sobre los químicos. Las precipitaciones locales son, en general de carácter torrencial en verano, produciéndose por la tarde. Las precipitaciones invernales suelen estar asociadas a temporales de varios días de duración, correspondiendo a fenómenos de sudestada por masas de aire húmedo atlánticas.

Los grandes ríos que cruzan estos desiertos son alóctonos, alimentados por deshielos o precipitaciones mayores en sus nacientes. En general llegan al mar aunque, por su carácter influente, pueden pertenecer a cuencas interiores, insumiéndose antes de llegar a la costa o desaguar en grandes lagos.

A excepción de la traza de los ríos alóctonos, el resto de la red de avenamiento en estas zonas es en general bien desarrollada, con profusión de cauces secos salvo durante los esporádicos fenómenos de “crecidas” por lluvias torrenciales. Estas son de un gran caudal, poder erosivo y de corta duración.

A partir de la disponibilidad de sedimento suelto producido por la denudación de las rocas por la fuerte meteorización mecánica, la crecida transporta una gran cantidad de material, transformando a la misma en flujos densos, turbulentos, de alta energía, capacidad de transporte y remoción de materiales.

Una característica especial del desierto patagónico, en especial del centro-sur del mismo, lo constituye la presencia casi permanente de fuertes vientos del oeste. Esta característica está dada por el escaso ancho del continente a partir de las latitudes al sur de la Provincia de Buenos Aires. En las Cuencas Cuyana y Neuquina los vientos no son permanentes aunque se destaca por similares efectos el viento descendente, fuerte, cálido y seco de primavera y verano llamado localmente Zonda.

Los agentes geomórficos de mayor importancia son el agua, mediante la acción de las “crecidas” o avenidas y el eólico. En la zona de la Cuenca del Golfo, ubicada en ambiente geográfico de la Patagonia extraandina, fuera de la acción de los ríos alóctonos, el agente erosivo de mayor importancia en el modelado del relieve es el viento, seguido de la acción esporádica de las escorrentías de agua durante los períodos lluviosos.

En la Cuenca Neuquina, ubicada en ambiente geográfico andino y extraandino en el área del engolfamiento, la acción del agente eólico es también de gran importancia, aunque en segundo lugar respecto a la acción de las escorrentías de agua. Estas, paradójicamente respecto a la condición desértica de la zona, son el agente erosivo de mayor importancia, fundamentalmente durante las cortas y violentas tormentas de verano de carácter torrencial.

Depósitos residuales “armaduras y pavimentos de erosión”

Los depósitos eólicos que se observan en estas áreas pueden ser divididos en dos grandes tipos: los residuales y las formas agradacionales tales como las dunas. Un tercer tipo de depósito eólico, el loess, es de origen discutido y se dispone en regiones fuera del alcance de este trabajo.

Los depósitos residuales son originados por la acción deflatoria del viento, que remueve los depósitos finos dejando clastos gruesos y pulidos. En general tapizan grandes extensiones aplanadas en la cuenca del golfo y sector del engolfamiento de la Cuenca Neuquina y zonas de laderas en el oeste de Mendoza y Neuquén.

El nombre dado en la literatura a estos depósitos gruesos es el de "armadura del desierto". Este evoca de alguna manera la protección que estos pavimentos ejercen sobre el material fino debajo de los mismos, tanto sea en laderas como en superficies subhorizontales. La presencia de los mismos garantiza protección a la erosión, al menos en tiempos históricos. En estos casos la pendiente de equilibrio que se conforma en las laderas de los cerros puede ser mayor que si solo existieran capas de material fino o francamente arcillosas, expuestas a la meteorización y erosión.

En esta característica radica la gran importancia ambiental de estos depósitos residuales, definiendo las pendientes de equilibrio de las laderas, otorgando una protección a la deflación a los materiales finos subyacentes a la armadura y generando, entre los clastos que lo componen, las condiciones necesarias para el crecimiento de la cubierta vegetal.

Las dunas, de nombres variados según su morfología, se forman por la acción de transporte del viento de material fino y posterior agradación del mismo. Estas geofor-
mas son en general móviles y no estables en tiempos históricos.

Del análisis de las características anteriores se puede decir que las cuencas petroleras mencionadas y los yacimientos y áreas de exploración se desarrollan en terrenos en los cuales su pendiente, vegetación y susceptibilidad a la erosión hídrica o eólica está en estado de un delicado equilibrio con la característica del suelo de la zona y las condiciones climáticas imperantes.

La técnica antigua de Picada Sísmica

La acción de apertura de picadas tradicionalmente seguida por la industria del petróleo hasta principios de la década de los 90, consistía en remover los primeros 20 o 30 cm. de suelo con equipos viales para nivelar el terreno, erradicando por completo la masa vegetal agresiva para el transporte de equipos, tanto la porción aérea como la masa radicular.

De esta manera se facilitaba el tránsito y la velocidad de la operación en detrimento de los resguardos ambientales. Esta modalidad de trabajo produjo efectos aún visibles en las líneas de vieja data:

- Erradicación del pavimento de erosión y remoción de los materiales gruesos, por lo tanto: exposición de los finos a la deflación (erosión eólica)
- Erradicación de la masa vegetal, tanto sea su porción aérea como la masa radicular, por lo tanto desestructuración del suelo remanente
- Posterior erosión del suelo por acción del viento y agua

Esta forma de trabajo potenciaba el desarrollo operativo de las tareas en desmedro de los cuidados ambientales, ya que la superficie así preparada no ofrecía ningún obstáculo al paso de los equipos, pero tornaba casi imposible la regeneración del paisaje a las condiciones originales ya que se removían todos los componentes del suelo.

Efectos de la erosión eólica

El resultado final es que la línea, abierta de esta manera, se apreciaba hasta el día de hoy a 20 o 30 cm de profundidad del terreno natural por una gran erosión eólica o deflación del suelo de mayor contenido orgánico relativo y con escasas o costosas posibilidades de recuperación en escalas temporales de una o dos generaciones; esta situación es mas marcada aún en las laderas de pendiente mayor a 5°.

En la **Figura N° 1** puede apreciarse como actúa el viento, incrementando su velocidad, por efecto venturi, en los filos y sectores de alta pendiente, desnudando el suelo removido con mas energía. En el cambio de pendiente y por erosión hídrica retrocedente es más frecuente observar avances de carcavamientos sobre la picada. **Figura N°2.**

La **Fotografía N° 1**, correspondiente a la cuenca Neuquina, es de una vieja picada abierta de esta manera. Se puede apreciar que la línea se está aprovechando para circulación, incidiendo ésta situación en la escasa revegetación que detenta. Por otra parte la pérdida de suelo por erosión es patente, apreciándose este detalle sobre todo en la "muesca" que se observa en la línea del horizonte de la colina. Nótese en el primer plano que la escasa revegetación solo se da en la zona central menos huellada de la picada, ya que es aprovechada por los particulares de la zona para su movimiento. Prácticamente reúne las condiciones de un camino bien mantenido.

La **Fotografía N° 2** ejemplifica la situación de pérdida de nivel (material) por deflación en la Cuenca del Golfo, en una zona de baja pendiente. Como dijimos, el agente erosivo principal en el centro-sur patagónico es el viento.

Efectos de la erosión hídrica

En terreno llano, de bajas pendientes, del orden de 1 a 3 ° ocurre un fenómeno vinculado con la erosión hídrica. El flujo de agua que debiera ser un escurrimiento laminar en condiciones naturales, después de la apertura de una picada tradicional se transforma en un flujo encauzado inducido.

Durante la época invernal se producen, principalmente en la Patagonia extraandina de la Cuenca del Golfo precipitaciones continuadas que producen en el suelo un estado de saturación de agua al comenzar el período lluvioso y escurrimiento de tipo laminar cuando continúan luego de la saturación.

En condiciones naturales el agua se ve retardada en su movimiento por la tortuosidad del terreno natural y la masa vegetal. En éste caso grandes cantidades de agua son evacuadas por flujo de tipo laminar en grandes superficies de terreno llano. **Figura N° 3.**

Cuando una picada abierta de la forma anteriormente descripta se encuentra más o menos paralela a la pendiente de la meseta, ya posee características de una superficie con suelo desprotegido y desestructurado, al carecer de una masa vegetal que lo sostenga y retarde el movimiento del agua. Por otra parte, la línea tiene menos nivel (por la erosión eólica) que el terreno natural. Hidráulicamente podríamos decir que posee un coeficiente de rugosidad menor que el terreno natural.

En estas condiciones es inevitable que la picada capture agua por desnivel otorgándole mayor velocidad de evacuación, transformando un flujo laminar en encauzado. La línea comienza a funcionar como un arroyo rectilíneo. El carcavamiento por erosión hídrica es la resultante lógica al generarse en el flujo hidráulico turbulencias con fuerzas que superan las de cohesión del suelo. **Figura N° 4.**

La **Fotografía N° 3**, obtenida en una picada sísmica antigua de la Cuenca del Golfo denota la acción descripta. Puede observarse en ella los signos de erosión hídrica causados por la captura diferencial de agua en una inundación laminar producida en época invernal. Durante la crecida la picada actuó como un cauce rectilíneo. El flujo de agua encauzado en la línea se descargó sobre la locación de un pozo generando la necesidad de un importante movimiento de tierra para proteger la misma.

La **Fotografía N° 4**, obtenida en la Cuenca Cuyana, permite apreciar nuevamente el fenómeno de carcavamiento inducido, en este caso potenciado por dos situaciones: la primera es la apertura de picada arrasando suelo y vegetación, la segunda es la coincidencia de la traza con la pendiente local del terreno, concurrente al cauce que se observa en el tramo medio de la foto.

La erosión hídrica sobre la picada denudada comienza el fenómeno de carcavamiento que progresa por erosión retrocedente hacia arriba en ambos márgenes del cauce. Actualmente el cruce de cauces con cortes en forma perpendicular a los mismos es una práctica totalmente desechada, admitiéndose solamente cruces diagonales y sin disturbar el suelo, buscando de esta forma las pendientes apropiadas para el paso de los equipos.

Nótese que con pendientes similares, arriba y a la derecha de la foto, la erosión y carcavamiento natural termina en el talud, no progresando en la zona no disturbada. Este hecho se debe a la protección y estructuración del suelo por la masa vegetal, aérea y radicular.

La **Fotografía N° 5** muestra un estadio mas avanzado de una situación semejante a la anterior, en la cuenca Neuquina. En este caso la friabilidad del terreno ha hecho mas pronunciado este fenómeno, tanto en la profundidad de la cárcava como en su velocidad de avance. Nótese que en este caso de terreno poco cohesionado no es necesario estar en presencia de pendientes elevadas, alcanzando a disparar el fenómeno la erradicación de la masa vegetal y del suelo (superior) estructurado.

Resultados de la erosión sobre picadas sísmicas antiguas

Por lo anterior estamos en condiciones de definir los dos procesos que producen las aperturas de líneas tal como se efectuaban hasta principios de la década del 90 sobre la traza de la línea.

- **Erosión de suelos por acción del agente eólico**
- **Carcavamiento y erosión hidráulica por acción de las escorrentías de agua**

Como resultado final de esta situación se produce la pérdida de capacidad de regeneración del suelo y cubierta vegetal y degradación del paisaje.

Revegetación natural en picadas sísmicas antiguas

Hemos observado revegetación natural, en picadas viejas tratadas de la manera convencional anterior a la aplicación de técnicas conservacionistas aunque en casos excepcionales. La misma se da cuando concurren condiciones favorables como ser la existencia de una capa freática cercana a la superficie, mayor humedad relativa del área y ubicación de la zona en posiciones mas cercanas a la divisoria de aguas cordillerana, en las cuales las precipitaciones son mayores.

En general éstas condiciones se dan en escasos ambientes, llanuras de inundación de ríos alóctonos, cercanías de grandes lagos o conos aluviales de gran magnitud y poca pendiente.

La Fotografía N° 6, está tomada en una línea Sísmica de vieja data, cuya picada fue abierta en una zona pedemontana, de baja pendiente, en la Cuenca Neuquina Sur Mendocina. En este caso el área corresponde a un cono aluvial con la presencia de un nivel freático localizado aproximadamente a 2 metros de profundidad que, en temporada de lluvias llega a aflorar. Consistentemente con esta situación los terrenos contienen gran cantidad de humedad.

Debido a la presencia de humedad suficiente, se aprecia regeneración vegetal, aunque solo del estrato herbáceo. No hay regeneración de ejemplares de "cortadera", probablemente debido a un menor grado de competencia colonizadora de la misma. El terreno, además es fuertemente salino en función de la intensa evaporación que la zona detenta. En función del mayor contenido de humedad, aptitud del suelo y escaso tránsito que esta picada registra el grado de revegetación es del 100 % para el estrato herbáceo.

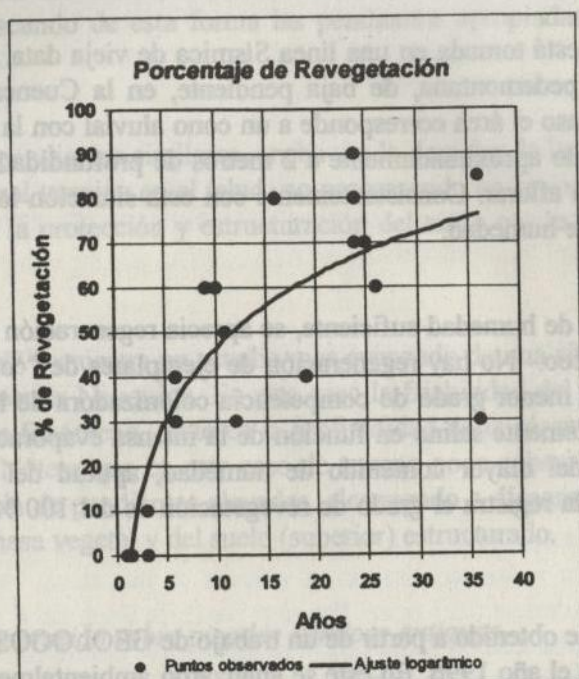
El cuadro que sigue fue obtenido a partir de un trabajo de GEOLOGOS ASOCIADOS SA. efectuado durante el año 1996. En éste se analizaron ambientalmente áreas petroleras con líneas sísmicas, pozos y caminos de accesos muy antiguos en la Cuenca del Golfo San Jorge. Algunos sectores analizados se encontraban en niveles aterrizados de ríos importantes, mostrando por ende mayor grado de recuperación.

A partir de un relevamiento exhaustivo de acciones, picadas de líneas, caminos y locaciones de pozos, se optó por elegir para la graficación de porcentuales de revegetación (regeneración) líneas abiertas en fechas conocidas y luego no circuladas, por ser inaccesibles o por estar cerradas al tránsito desde fechas conocidas. Esta precaución es importante ya que la circulación de vehículos atenta contra la regeneración vegetal y por ende del suelo y puede introducir errores de apreciación en los porcentuales de cobertura vegetal asignados.

Se tomó como 100 % de regeneración aquel valor de cobertura vegetal natural del área no perturbada por operaciones. Si, por ejemplo, los valores de cobertura vegetal son naturalmente de un 40 %, un porcentual de 20 % de cubierta vegetal en la línea, locación o acceso es tomado como una regeneración del 50 %.

Para las tres áreas analizadas en conjunto se obtuvo la curva logarítmica de mejor ajuste a los datos reales. Las conclusiones obtenidas son representativas para evaluar

una regeneración natural, no asistida pero tampoco afectada por tránsito vehicular sobre las mismas.



Es de hacer notar que la apreciación anterior es válida para zonas de bajas pendientes, donde las mismas inciden en laboreos menores. El contenido en humedad de los suelos es también favorable en esta cuenca para una regeneración mejor que las observadas en la cuenca Neuquina.

La técnica de Protección Ambiental aplicada a la prospección sísmica método actual en programas exploratorios 3D

La tecnología actualmente en uso por Exploración de YPF S.A. para sus prospecciones geofísicas combina las amplias posibilidades técnicas de la sísmica 3D con vibros como fuente de energía y la elección de los puntos de emisión condicionados al debido respeto a los recursos y geoformas más inestables de las zonas a prospectar.

Esa combinación surge por una parte del avance de la técnica de operación, el interés puesto desde la órbita estatal (Resolución de la Secretaría de Estado de Energía N° 105/92), y por la responsabilidad puesta de manifiesto por las operadoras petroleras en aprovechar la oferta ambiental sin sobrepasarla.

Posteriormente a la promulgación de las primeras normas ambientales por parte del

Estado, las operadoras avanzan inclusive sobre los límites de las mismas con objetivos ambiciosos, aplicándose en los trabajos de campo las pautas emergentes de la Subcomisión de Geofísica del IAPG y criterios conservacionistas propios.

El primer Estudio de Impacto Ambiental Previo a Operaciones Sísmicas de Exploración efectuado por YPF S.A. fue encomendado a GEA para un Programa Sísmico en el área de Cerro Puricelli y Lago Musters, en el invierno de 1995, efectuándose además una Determinación del Estado de Base Ambiental, Evaluación de Impacto Ambiental de las Operaciones, medidas de mitigación de los efectos de las operaciones y un Plan de Contingencias. Se efectuó también el Monitoreo de las obras y tareas.

A partir del inicio sistemático de EIAP para prospectos sísmicos y Monitoreos de los resultados ambientales en el campo, se comenzaron a obtener las primeras conclusiones.

- Las acciones de la actividad Tránsito de Vibros y otros equipos son potencialmente impactantes sobre los recursos flora, fauna y suelo en forma concurrente. Pueden minimizarse los impactos generales si se minimiza la apertura de accesos y picadas alterando el suelo y pendientes lo menos posible.
- En segundo término, acciones en especial vinculadas con el tránsito de los equipos, pueden impactar sobre las geoformas y movilizar algunas de ellas (dunas) u obstaculizar la función de otras (cauces) por mala praxis o falta de mitigación en apertura de accesos en zonas de topografía dificultosa para el pasaje de equipos.
- Los terrenos escarpados son más susceptibles a sufrir impactos ambientales mensurables, además de otorgar mayores posibilidades de apreciación visual que los terrenos mesetiformes o de bajas pendientes.
- Los Planes de Prevención de impactos ambientales, dirigidos a las particularidades de una operación sísmica, son más sencillos de implementar, menos costosos y ofrecen mejores resultados ambientales que las medidas de reparación posteriores.

Desde esa oportunidad, las recomendaciones efectuadas en los EIAP con que trabajó YPF S.A. fueron aceptadas como parte de la política ambiental durante la operación:

- Respetar el recurso suelo no removiéndolo mediante tránsito innecesario
- No erradicar cubierta vegetal, solo pisar lo necesario de la porción aérea sin afectar con pala la masa radicular
- Elegir los puntos de vibrado de tal forma de efectuar la emisión sin afectar arbustos o matas de gran tamaño. La exacta ubicación de los puntos a vibrar no es condición "sine qua non" de la técnica.
- No movilizar la "armadura" de clastos gruesos o pavimento del desierto que protegen el suelo de la erosión
- Por lo anterior, no abrir picadas, operar en las líneas de emisión solo pisando (o vibrando) sin disturbar el suelo mas que por compactación

- Cerrar al tránsito las líneas una vez finalizada las tareas
- No abrir accesos, utilizar las líneas viejas, ya afectadas, como tales

Por otra parte el tendido de geófonos en las líneas de recepción se efectúa a pie, mediante helicópteros o, excepcionalmente con cuatriciclos, técnica que no impacta mayormente los recursos suelo y biomasa asociada.

Es de destacar que los EIAP se trabajaron con una fuerte interacción entre Operadora Petrolera, Consultora Ambiental y Compañía Geofísica. Efectuados los programas con estas técnicas se pudieron apreciar las mejoras siguientes:

Revegetación natural en líneas de programas 3D

En el mes de septiembre de 1997, nueve meses después de una operación sísmica 3D, ejemplares de jarilla, arbusto predominante en la zona, pisados y quebrados en varias de sus ramas principales por vibros durante la registración del Programa de Señal Picada, en la Cuenca Neuquina, Río Negro, mostraron rebrotes de 15 a 40 cm. Durante las operaciones la masa radicular, tanto de gramíneas como jarillas, no fue afectada. Los ejemplares de jarilla poseen un aspecto naturalmente vigoroso. En la **Fotografía N° 7**, la referencia de tamaño está dada por la lapicera al centro de la fotografía.

Similares resultados se obtuvieron en el Programa Costa Neuquén, registrado a mediados de 1996. En ellas se aprecian ejemplares de jarilla quebrados y aplastados por el paso de los vibros. Al mes de septiembre de 1997 los brotes poseen 30 cm. de altura. En la **Fotografía N° 8**, la referencia de tamaño es un estuche de GPS de 15 cm.

En estos casos se demuestra que la porción radicular de los arbustos conserva el vigor necesario para el rebrote natural en la temporada de crecimiento ya que no fue disturbada o erradicada con pala mecánica.

En el mes de octubre de 1997, en las líneas de emisión del Programa Sierra de Chachahuén, la vegetación subarbusiva muestra un aspecto en franca recuperación solo seis meses después de registrado el programa. El estrato de gramíneas no muestra alteración alguna. La vegetación subarbusiva y arbustiva situada en la zona de pasaje de los vibros se encontró en franca recuperación y con rebrotes de 30 cm. a solo 9 meses después de las operaciones.

Lo mismo puede decirse de los arbustos que fueron directamente vibrados por las planchas de los vibros, los cuales se encontraron totalmente quebrados y con rebrotes de 15 cm. Es de destacar que esta zona es de menor humedad general que las dos anteriores.

El Programa de Registración Sísmica Octógono Fiscal fue efectuado a mediados de

1996. A la fecha de toma de la **Fotografía N° 9**, octubre de 1997, se aprecian rebrotes en jarillas de 20 cm. El estrato herbáceo sobre la línea de emisión se observa sin alteración alguna.

El Programa Loma Campana fue registrado a principios de 1996, al norte de la localidad de Añelo, en la Cuenca Neuquina. 18 meses después de las operaciones muestran las líneas apenas insinuadas, sobre todo por la menor altura de las especies arbustivas pisadas, jarilla, alpataco y matasebo.

Debe mencionarse que en los ejemplares de alpataco vibrados o pisados poseen un grado menor de recuperación, medido en función del tamaño de los rebrotes. Por tal motivo a partir del Monitoreo de los resultados en ese programa se comenzó a recomendar y efectuar en el campo rodeos de los ejemplares de alpataco para evitar su pisado. La técnica de procesamiento de los datos sísmicos de un programa 3D permite un alto grado de elasticidad en la elección del punto a vibrar. Esta ventaja está siendo apropiadamente usada para estos y otros casos.

Un caso semejante es el del programa Costa Neuquén, registrado para la misma época que el programa anterior. En este caso, los procesos regenerativos se han visto favorecido por la presencia mayor de humedad en el suelo. Los Monitoreos efectuados a las líneas las muestran apenas insinuadas por la altura de los arbustos de jarilla pisados. Sin embargo estos arbustos están totalmente rebrotados, lo cual hace pensar que en el corto plazo las trazas de las líneas de emisión serán prácticamente irreconocibles.

Hemos notado además que la acción de pisada de los vibros no perturba la estructura física del suelo, la armadura de los clastos gruesos o pavimento del desierto. El mismo después de las operaciones continúa con su capacidad de resistir la acción deflatoria del viento.

La **Fotografía N° 10**, de una línea perteneciente a un programa 2D de aproximadamente 20 años de antigüedad, efectuada con equipo vial y explosivos como fuente de energía, permite establecer visualmente la comparación con una operación de vibros reciente, mostrada en la **Fotografía N° 11**.

En ésta última se aprecian las mejoras en el tema de protección ambiental logradas en los últimos tiempos. Se trata de una línea de emisión del Programa Cañadón de la Escondida efectuado en los meses de junio y julio del año 1996 en la cuenca del Golfo, provincia de Santa Cruz. La fecha de toma es Octubre de 1997.

La traza de la Línea de Emisión, circulada y vibrada por equipo pesado, presenta notable regeneración vegetal a solo 15 meses de terminadas las operaciones, no observándose erosión diferencial. Nótese que la pendiente al fondo de la imagen es de aproximadamente 20 grados, no afectando el paso de los vibros. En el primer plano de la mencionada fotografía puede verse el suelo sin disturbar, en el cual la "armadura"

de clastos gruesos residuales de la acción eólica, continúa estando presente luego de las operaciones.

Esta "armadura", conjuntamente con la estructuración del suelo por entramado de raíces y la porción aérea de la vegetación provee la capacidad de resistencia a la erosión eólica e hídrica necesaria para el restablecimiento de las condiciones naturales. En cuanto a la regeneración de ejemplares arbustivos directamente vibrados se puede concluir que las posibilidades de regeneración son efectivas en una temporada.

Las líneas de emisión, recorridas a pié, helicóptero o cuatriciclos para el tendido de geófonos, no registran impactos ambientales mensurables.

Conclusiones

Hemos observado entonces que los principales efectos que la acción de apertura de picadas sísmicas convencionales producía podría resumirse en los siguientes:

- **Erosión Hídrica (carcavamiento)**
- **Erosión Eólica (deflación de finos)**

y los resultados finales de tales procesos:

- **Degradación visual del Paisaje**
- **Pérdida de capacidad de regeneración vegetal o regeneración parcial en casos muy especiales**

Definitivamente la causa del origen de los fenómenos erosivos que se ejemplificaron en todos los casos puede atribuirse a la remoción del sistema compuesto por el recurso suelo y biomasa asociada.

Desestabilizado el mismo la acción de los agentes erosivos es inmediatamente potenciada en el área removida causando prácticamente la imposibilidad, en términos temporales relativamente cortos, de regeneración de la cubierta vegetal, conduciendo a la pérdida de suelo y degradación visual del paisaje.

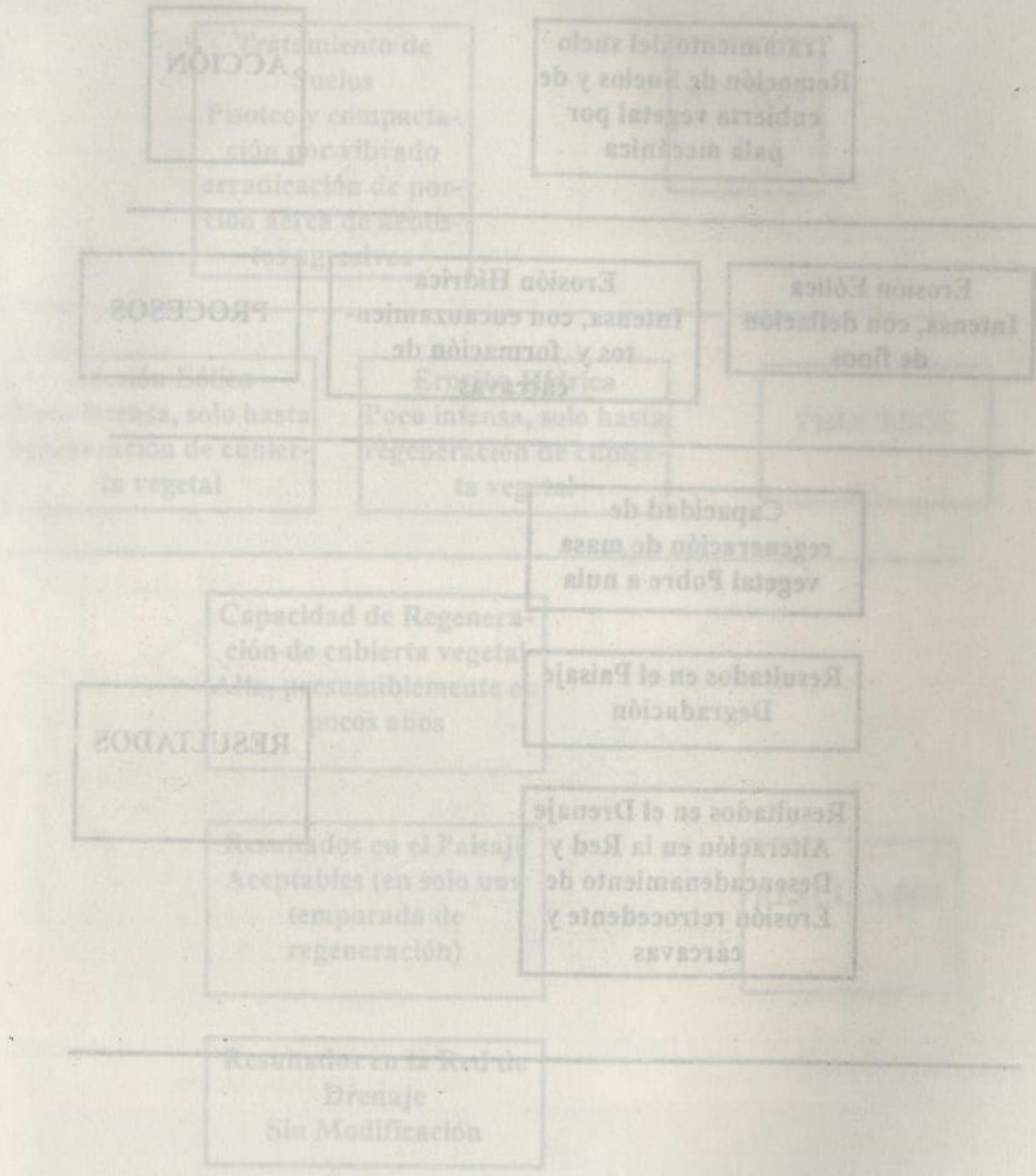
El recurso suelo y biomasa asociada es, entonces, el principal a proteger durante una operación sísmica.

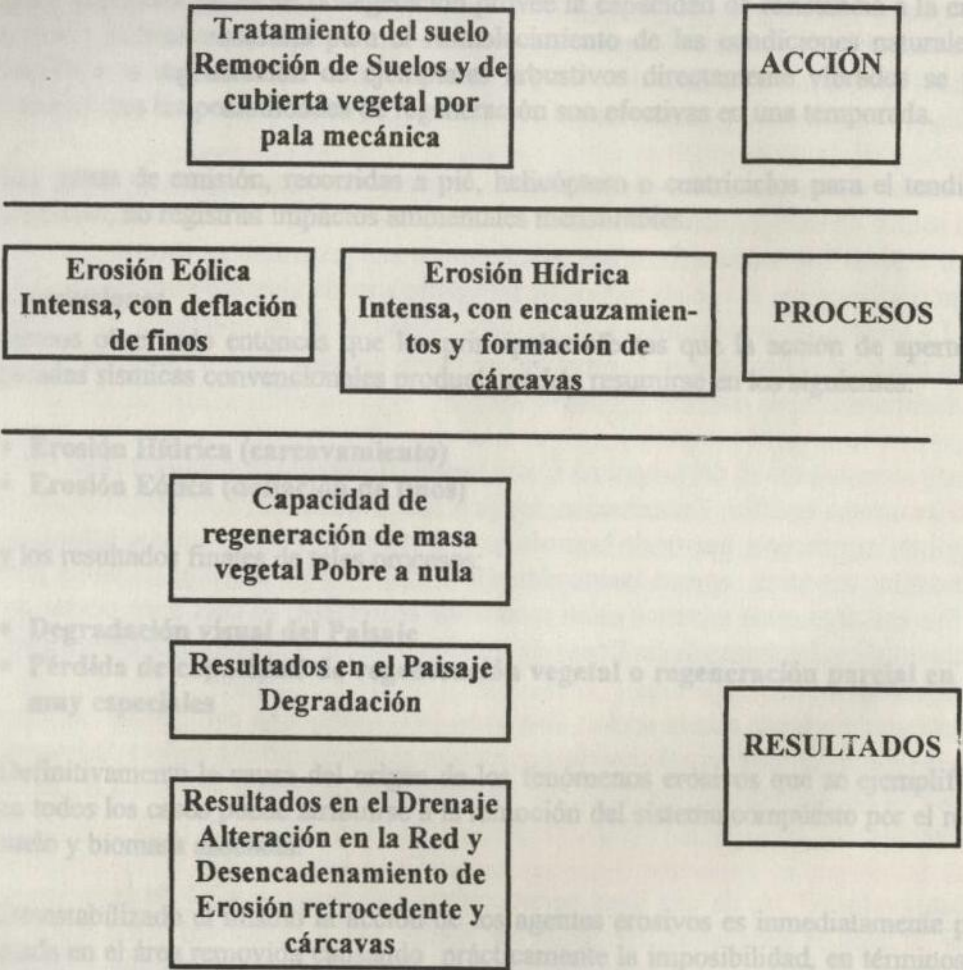
La técnica 3D con vibros como fuente de energía, aunada a criterios conservacionistas del recurso permite los resultados presentados en esta trabajo.

Los cuadros siguientes resumen las observaciones expresadas en los conceptos anteriores.

Bibliografía

Se utilizó como bibliografía los EIAPs de los ejemplos citados en el texto en su calidad de Informes inéditos preparados por Geólogos Asociados S.A. para YPF S.A.





**Tratamiento de
Suelos
Pisoteo y compacta-
ción por vibrado
erradicación de por-
ción aérea de arbus-
tos agresivos**

ACCIÓN

**Erosión Eólica
Poco intensa, solo hasta
regeneración de cubier-
ta vegetal**

**Erosión Hídrica
Poco intensa, solo hasta
regeneración de cubier-
ta vegetal**

PROCESOS

**Capacidad de Regenera-
ción de cubierta vegetal
Alta, presumiblemente en
pocos años**

**Resultados en el Paisaje
Aceptables (en solo una
temporada de
regeneración)**

RESULTADOS

**Resultados en la Red de
Drenaje
Sin Modificación**

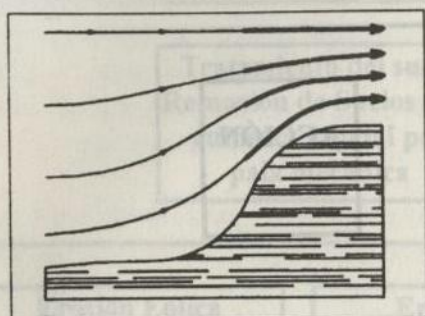


Figura N° 1

Incremento de velocidad del viento en los filos por efecto venturi.

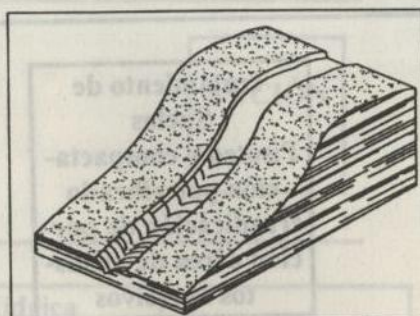


Figura N° 2

Erosión eólica en el filo y carcavamiento en la zona de menor pendiente.

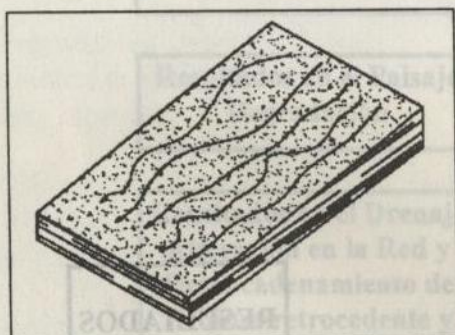


Figura N° 3

Evacuación de agua por flujo laminar en una zona de baja pendiente.

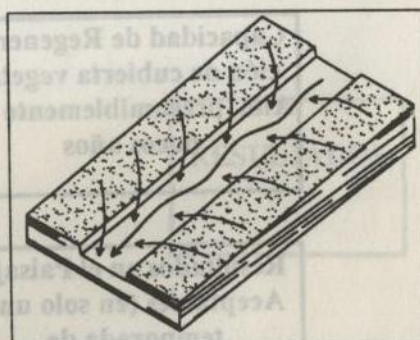
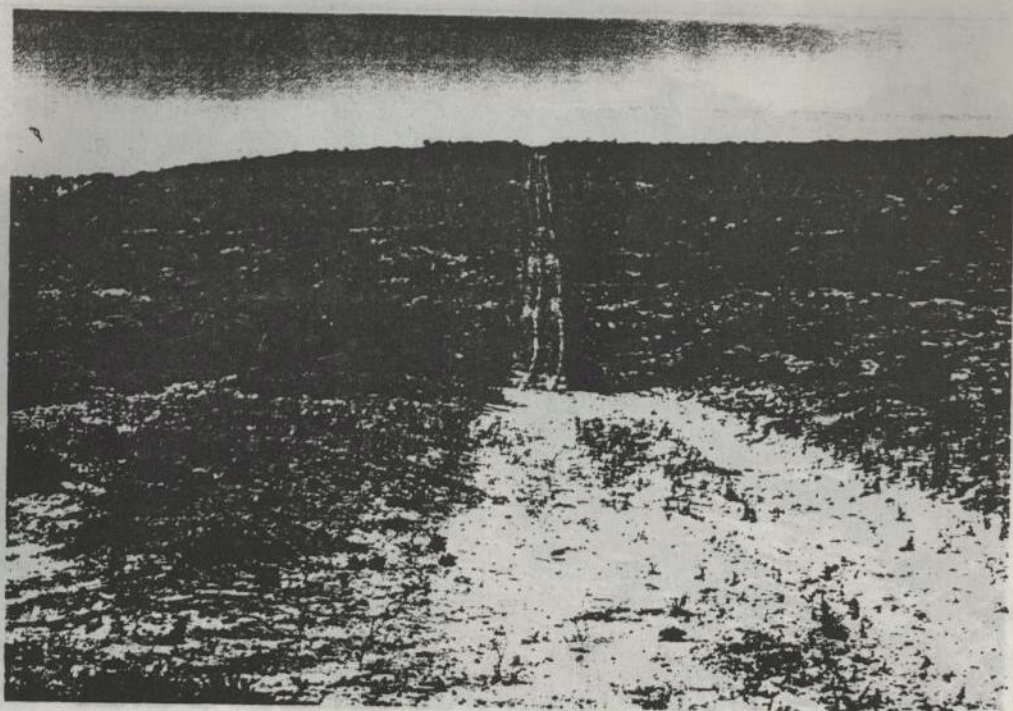


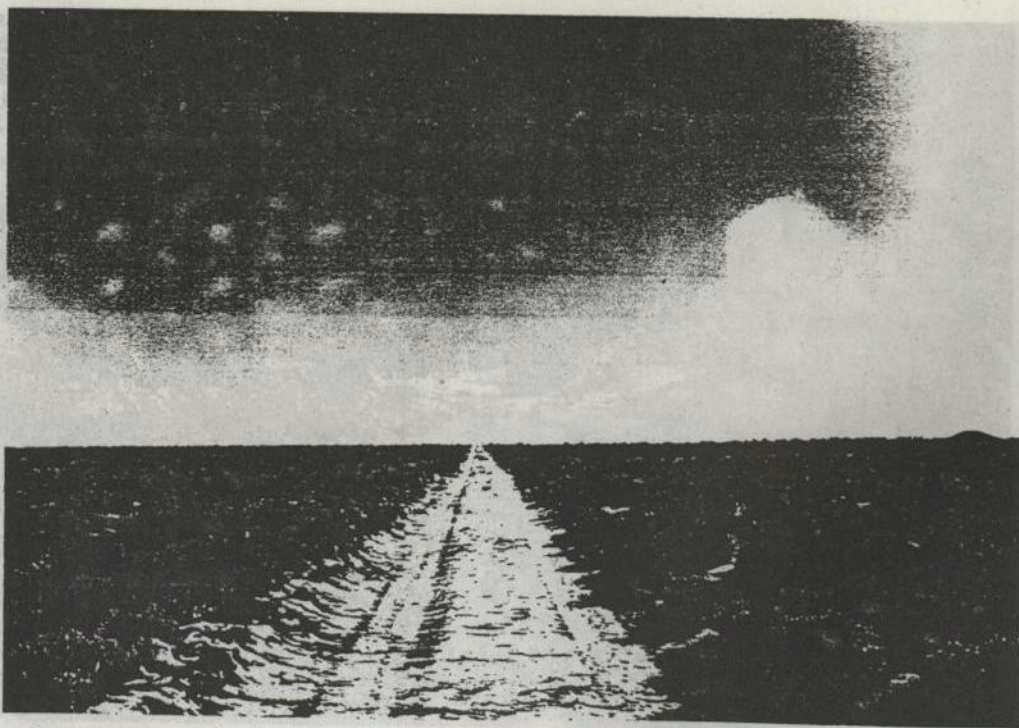
Figura N° 4

Flujo de agua encauzado y turbulento inducido por denudación.



Fotografia N°: 1

Fotografia N°: 3

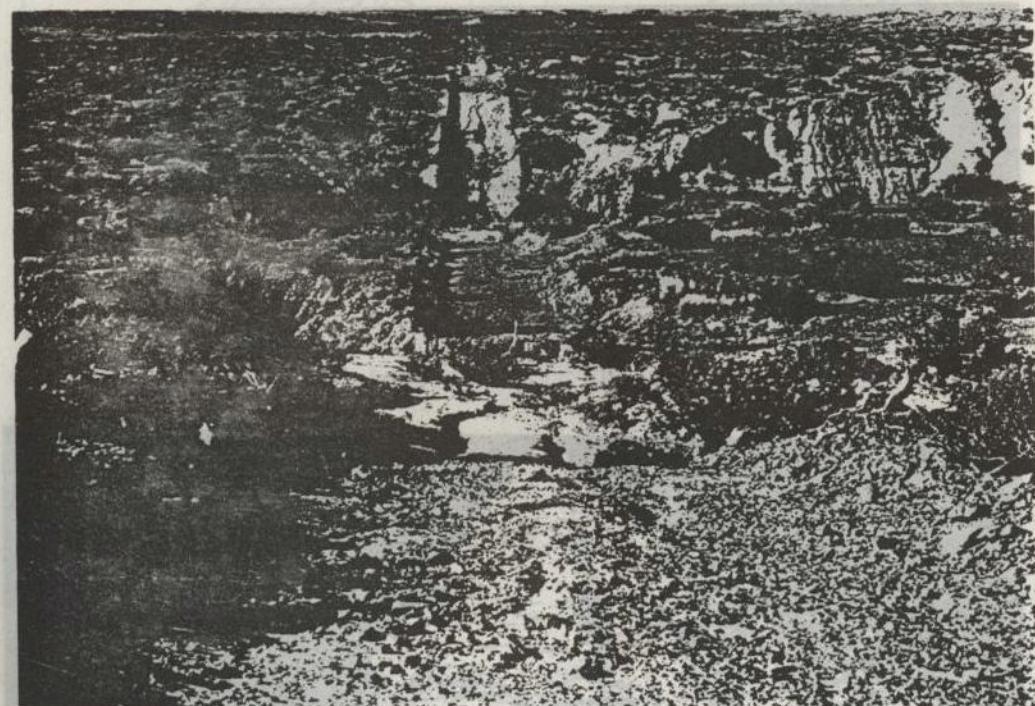


Fotografia N°: 2

Fotografia N°: 4



Fotografía N°: 3



Fotografía N°: 4



Fotografía N°: 5

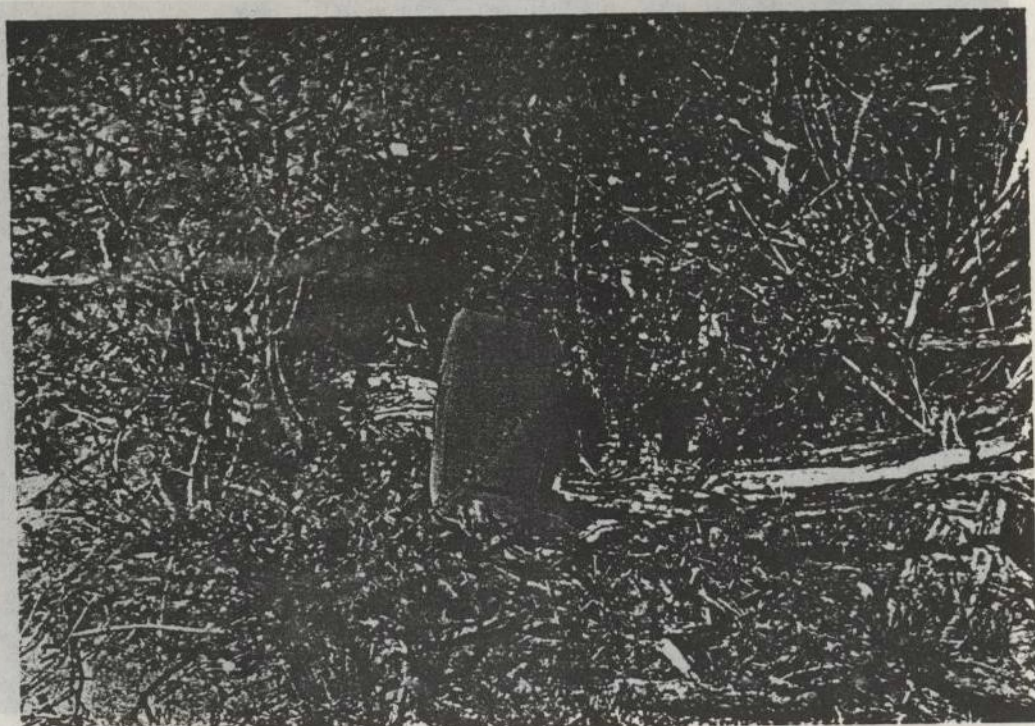


Fotografía N°: 6



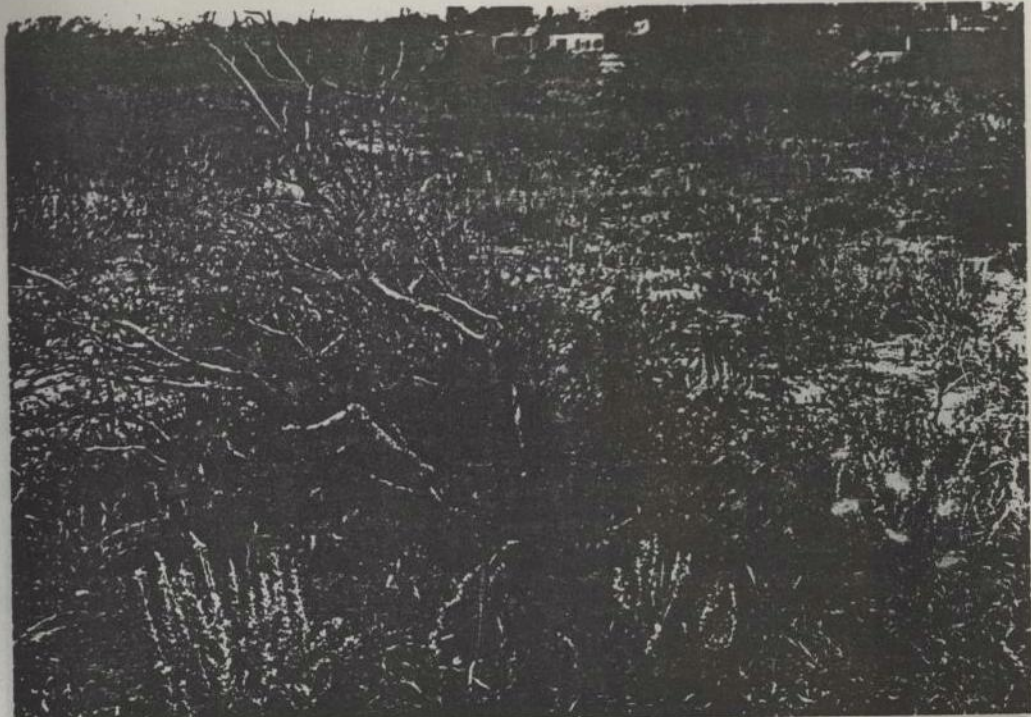
Fotografía N°: 7

Fotografía N°: 7



Fotografía N°: 8

Fotografía N°: 8



Fotografía N°: 9



Fotografía N°: 10. Línea Sísmica antigua, Fotografía tomada más de 20 años después de finalizadas las operaciones. Regeneración vegetal casi inexistente, fenómenos erosivos en progreso.



Fotografía N°: 11 Línea de Emisión actual. Fotografía tomada 15 meses después de finalizadas las operaciones. Visible regeneración de cubierta vegetal. No hay evidencias de procesos erosivos.

Fotografía N°: 10. Línea de Emisión actual, fotografía tomada más de 20 años después de finalizadas las operaciones. Regeneración vegetal casi inexistente, fenómenos erosivos en progreso.