



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS y
NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

TESINA PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADO EN GEOLOGÍA

**“PROPUESTAS DE RESTAURACION DE LAS AREAS SANEADAS EN
PROXIMIDADES DE LA BATERIA 3 DEL YACIMIENTO
HIDROCARBURIFERO 25 DE MAYO-MEDANITO SE, COLONIA 25 DE MAYO,
LA PAMPA”**

Cobo, Luciana

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2020

PREFACIO

Esta tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Licenciado en Geología, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica.

El trabajo de tesina se llevó a cabo en la cátedra de Geología Ambiental, dependiente del Departamento de Geología, FCEyN-UNLPam, durante el período comprendido entre Noviembre del 2018 y Mayo del 2020, bajo la dirección del MSc Miguel A. Fantini y codirección de la Dra. Adriana E. Mehl.

(Firma del/la Tesinista)

(Fecha)

.....

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales por permitir formarme profesionalmente.
- A mi Director MSc Miguel A. Fantini y codirectora Dra. Adriana E. Mehl por sus correcciones, paciencia, predisposición y acompañamiento todo este tiempo.
- A la Subsecretaria de Ambiente que me brindó la información necesaria y el financiamiento para la realización de mi tesis.
- A las jurados, Dra. Florencia Lorenzo y MSc. Vanina Rodríguez por su tiempo dedicado a corregir esta tesina.
- A Claudia Montoya y el laboratorio de Sedimentología del INCITAP (CONICET-UNLPam) y FCEyN-UNLPam, por realizar las tareas de laboratorio.
- A Joaquín, con quien compartí este proyecto de tesina y toda la carrera, haciendo que todo sea más ameno.
- A todos los Docentes que a lo largo de estos años me transmitieron sus conocimientos, experiencias y me formaron en esta profesión.
- A mis hermanos, mi cuñado Nehuen y a Walter de la Subsecretaria por su ayuda técnica.
- A toda mi Familia y a Kevin por el apoyo incondicional durante toda la carrera y desarrollo de esta tesina.
- A mis amigas de toda la vida y a los/as amigos/as que me dio esta hermosa profesión, por el aguante de siempre. En especial a Amparo una gran amiga y ahora colega, por su predisposición y apoyo constante en todos estos años de estudio.

Dedicado a mí maestra de la vida, mi abuela Delia.

(Firma del/la Tesinista)

(Fecha)

.....

RESUMEN

La siguiente tesina se realizó en la Batería 3 del Yacimiento petrolero “25 de Mayo-Medanito SE” (37°59'33.10"S - 67°52'32.89"O), a 30 km al sureste de la localidad de Colonia 25 de Mayo - Departamento de Puelén - La Pampa-, una región árida ubicada en el ámbito de la Diagonal Árida Sudamericana. El área de estudio presentaba gran cantidad de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos; que fueron remediados. Debido a la magnitud del área saneada y su proximidad al río Colorado, este es uno de los sitios más sensibles ambientalmente dentro del yacimiento.

Se plantearon como objetivos del presente trabajo de tesina, el relevamiento y la caracterización de las tareas de remediación en el área, y sugerir, de ser necesario, técnicas de restauración. Se estudiaron las áreas afectadas por hidrocarburo de cinco pozos de la Batería 3, mediante la extracción de muestras de suelo original y saneado, y su análisis de laboratorio (análisis granulométrico, análisis de contenido de carbonato de calcio -CO₃Ca-, carbono inorgánico -CI-, carbono orgánico total -COT- y materia orgánica -MO-), para determinar las condiciones de cada sitio muestreado.

Los análisis muestran suelos saneados con contenidos de hidrocarburos totales en general inferiores a 20000 mg/kg (valor límite establecido en el Decreto Provincial 298/05). La cobertura vegetal nativa no se ha recuperado en forma natural desde que los suelos saneados fueron repuestos en los años 2013-2014 y 2017-2018, debido al bajo a nulo contenido de materia orgánica del suelo original y de los suelos repuestos. Se concluye que se deben aplicar medidas de restauración para estas áreas afectadas; y se propone aplicar técnicas de restauración aptas para ambientes semiáridos. Para lograrlo, se plantea la implementación de distintos tipos de escarificado y fertilización, combinados con técnicas de enriquecimiento vegetal y de facilitación (creación manual de estructuras que pueden aumentar la disponibilidad de agua y actuar como trampa de semillas).

Se sugieren estos procedimientos, ya que se busca recuperar el suelo afectado por los derrames de hidrocarburos y restituir la vegetación autóctona para mejorar las condiciones ambientales del lugar. Se espera que, una vez aplicadas las técnicas de restauración propuestas, se desarrolle en el área, con el pasar de los años, una cobertura vegetal similar al paisaje de referencia, recuperando así el ecosistema disturbado por la actividad petrolera.

Palabras claves: actividad petrolera, contaminación por hidrocarburos, suelo saneado, restauración ambiental, vegetación autóctona.

ABSTRACT

The present study was conducted at the “Batería N°3”, in the oil field “25 de Mayo-Medanito SE” (37°59’33.10” S – 67°52’32.89”O), 30 km to the southeast of Colonia 25 de Mayo - Puelén - La Pampa-, an arid region located in the South American Arid Diagonal. Due to the magnitude of the sanitized area and its closeness to Colorado river, this is one of the most environmentally sensitive sites within the oil field.

The study area presented a big proportion of soils contaminated by oil spills that were remedied. For this reason, the aim was to survey and characterize the remediation work in the area and suggest, if necessary, restoration techniques. The area of five Batería N°3-wells affected by oil spills was studied through the extraction of original soil and sanitized soil samples and then laboratory analyses (including granulometric analysis, calcium carbonate content analysis -CO₃Ca-, inorganic carbon -IC-, total organic carbon -TOC- and organic material -OM-) which permitted to know the condition of each tested soil sample.

The analyses conducted show sanitized soils with *Total Petroleum Hydrocarbons* content lower than 20.000 mg/kg (limit value established in Provincial Decree 298/05). Autochthonous vegetal cover has not yet recovered in the areas with sanitized soils since 2013-2014 and 2017-2018, due to the low or null organic matter content of both the original and the remediated soils. According to the analyses conducted it is concluded that restoration actions must be implemented in the affected areas and restoration techniques suitable for semiarid environments were proposed, as different types of scarification and fertilization, combined with techniques of plant enrichment and facilitation (handmade structures that can increase water availability and act as a seed trap).

This proposal is aimed to improve environmental conditions in the area by recovering the affected soils and the autochthonous vegetation. It is expected in the next few years a plant cover similar to the original landscape, meaning the recovering of the disturbed ecosystem by the oil industry.

Key words: oil activity, oil pollution, sanitized soils, environmental restoration, autochthonous vegetation.

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN	8
1.1 Antecedentes	8
1.2 Formulación del Problema	10
1.3 Justificación de la tesina	10
1.4 Objetivos	11
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS	12
2.1. El Petróleo	12
2.2. Fases en el proceso de explotación del petróleo y su influencia en el ambiente	13
2.3 La contaminación por hidrocarburo y sus efectos	14
2.4 Pasivos Ambientales	16
2.5 Remediación de pasivos ambientales	16
2.5.1 Técnicas de remediación de suelo utilizadas en el área de estudio	19
2.6 Restauración Ecológica	22
CAPÍTULO 3 – MATERIALES Y MÉTODOS	24
CAPÍTULO 4 – DESCRIPCIÓN GENERAL DEL AMBIENTE	29
4.1 Ubicación	29
4.2 Geología	31
4.3 Geomorfología	35
4.4 Hidrogeología	37
4.4.1 Agua Superficial	37
4.4.2 Agua Subterránea	38
4.5 Suelo	38
4.6 Clima	39
4.7 Vegetación	40
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS	44
5.1. Característica del suelo en el área de Batería 3	44
5.2 Caracterización de saneamientos en Batería 3 (37° 59'33.41" S – 67°52'33.43")	48
5.3. Datos de pozos estudiados en el área de la Batería 3	52
5.3.1 Pozo LP-0274 (38° 0'9.22"S - 67°52'22.59"O)	52
5.3.2 Pozo LP-0383 (37°59'45.12" S - 67°52'50.27" O)	58

	7
5.3.3 Pozo LP-564 (37°59'32.22'' S - 67°52'41.98''O)	64
5.3.4 Pozo LP-565 (37°59'32.58"S - 67°53'1.11"O)	69
5.3.5 Pozo LP-566 (37°59'51.01"S - 67°52'35.3"O)	74
CAPÍTULO 6 – DISCUSIÓN	83
6.1 Propuestas de restauración ecológica en las áreas saneadas	84
CAPÍTULO 7 – CONCLUSIÓN	87
BIBLIOGRAFÍA	88
GLOSARIO	96

CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La actividad petrolera en la provincia de La Pampa se inició en el año 1923 cuando el geólogo Ricardo Wichmann realizó prospecciones de manifestaciones de petróleo en los departamentos de Chicalcó y Puelén (Wichmann, 1928). A partir de 1960, el Departamento Geofísico de Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF) exploró el área perforando cuatro pozos de sondeo, de los cuales tres fueron productivos. Así, a partir del hallazgo de hidrocarburos en Colonia Chica, el 30 de abril de 1968, la Provincia de La Pampa pasó a integrar el grupo de provincias argentinas productoras de petróleo. Las primeras actividades de explotación en el área se efectuaron en los yacimientos Jagüel de los Machos, por parte de YPF, y 25 de Mayo-Medanito SE, a cargo de la Compañía Pérez Companc.

A principios de la década del 90' se encontraban en explotación más de doscientos pozos petroleros, y la producción se transportaba al complejo "Medanito" en Río Negro, y desde allí, para su procesamiento, a Plaza Huincul, en Neuquén. El incremento de la actividad llevó a que el Gobierno de la provincia de La Pampa creara en el año 2007 un cuerpo de inspectores dependiente de la Dirección de Hidrocarburos y Biocombustibles de la Subsecretaría de Hidrocarburos y Minería, con sede en la localidad de 25 de Mayo, para recorrer las distintas instalaciones, controlar medidores en Baterías y Plantas de Tratamiento, y reportar fallas operativas, incidentes ambientales, etc.

En la provincia de La Pampa, las técnicas de locación húmeda utilizadas hasta fines de 1970 para la perforación de pozos petroleros, generaron importantes cantidades de residuos, que se disponían en piletas excavadas en el suelo (pileta natural) en las adyacencias de las locaciones. Una vez finalizada la perforación, se cubrían las piletas con el sedimento acopiado en los bordes de las mismas y luego sobre este crecía la vegetación nativa, dejando ocultos los pasivos. Estas prácticas impidieron aplicar sistemas de contención y monitoreo para controlar la movilidad de los contaminantes que podían afectar a los suelos, y a los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Además, los pasivos asociados a derrames de petróleo causados por pérdidas en boca de pozo, líneas de conducción o instalaciones de almacenamiento tuvieron una importancia significativa porque no fueron saneados correctamente, generando un impacto negativo que es necesario remediar.

La actual normativa ambiental (Ley Nacional N° 25.675) y las nuevas prácticas en las tareas de perforación y operación en la industria petrolera, lograron que los

procedimientos de exploración-explotación se ajusten a los requerimientos del delicado equilibrio entre el ambiente, la actividad del hombre y su entorno social, cumpliendo con rigurosos estándares ambientales.

El Decreto Provincial 458/05 establece los procedimientos o normas ambientales a cumplir por parte de las Empresas dedicadas a la actividad hidrocarburífera. El artículo 2° obliga a las empresas operadoras a realizar tareas de saneamiento tanto de derrames como de áreas afectadas con pasivos ambientales. En el marco del mencionado Decreto, la Subsecretaría de Ambiente del Gobierno de la provincia de La Pampa, solicitó, en el año 2016, a la empresa operadora Petrobras S.A., y a su continuadora Pampa Energía S.A, la presentación de un informe diagnóstico final de la situación ambiental del Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE, que fue auditado por el Área de Control Ambiental de la Actividad Hidrocarburífera, dependiente de este organismo gubernamental. Como resultado se obtuvo un detallado relevamiento de campo, que incluyó muestreos y análisis de suelos, y permitió cuantificar el nivel de impacto de los contaminantes presentes y las medidas correctivas a aplicar. Una vez determinada la magnitud de los impactos se procedió al saneamiento de 250 sitios relevados con presencia de suelos oleocontaminados que superaron el 2,00 % p/p sobre masa seca (porcentaje peso en peso) o su equivalente 20.000 mg/Kg (miligramos por kilogramo de masa seca) de Hidrocarburos Totales de Petróleo, valor establecido en el Decreto Provincial N° 298/06.

Luego del saneamiento, se efectuó el tratamiento *ex situ* de los suelos contaminados mediante el sistema de biopilas en el recinto de tratamiento habilitado por la Subsecretaría de Ambiente (coordenadas geográficas 38° 01' 18" S y 37° 50' 28" 0) que dispone la empresa operadora para tal actividad. Se efectuaron los muestreos de sitios saneados y de los suelos remediados, cuando los contenidos en hidrocarburos y metales fueron inferiores a los valores máximos establecidos en el Decreto N°458/05 y el Decreto N°2054 que Reglamenta Ley Provincial N° 1466 sobre Residuos Peligrosos, luego se procedió a su liberación para su relocalización en las áreas saneadas.

Las tareas de saneamiento y de nivelación han resuelto efectivamente el problema de la contaminación de suelos con hidrocarburos en el área. No obstante, han causado una importante afectación de la estructura de los suelos y de la vegetación autóctona que estos sustentan, particularmente por estar el área de intervención localizada en una región semiárida con escaso desarrollo edáfico, con la consecuente necesidad de tiempo prolongado para el crecimiento de la vegetación. Al respecto, Pérez *et al.* (2013) indican que las

actividades de pastoreo y la actividad petrolera impactaron fuertemente sobre la cobertura vegetal en la diagonal árida sudamericana. Ésta es una franja de escasas precipitaciones, a casi nulas en algunos sectores, que se extiende desde las costas del Norte de Perú hasta las costas patagónicas en Argentina. *“A la luz de estos hechos, y ante nuevas actividades que se van implementando en la región, se hace imprescindible avanzar en prácticas de manejo y recuperación que no sólo devuelvan la protección al suelo, sino que mantengan la productividad y la biodiversidad. El manejo inadecuado de los pastizales naturales en Patagonia ha provocado diversos grados de deterioro de la vegetación y el suelo. La degradación de estas áreas, naturalmente frágiles, conduce a procesos de desertificación con pérdida de especies vegetales valiosas, reemplazo por otras de menor valor forrajero, remoción y voladura de suelos y la disminución de la productividad del pastizal”*.

1.2 Formulación del Problema

Frente a la presencia de suelos contaminados con hidrocarburos en el área de la Batería 3 del Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE (Colonia 25 de Mayo, La Pampa) que no fueron saneados y de importantes áreas saneadas durante los años 2017-2018, se produjo la modificación de los suelos y la pérdida de la vegetación natural. Entonces, para conocer la actual situación del área se debe efectuar un relevamiento de campo que incluya, la valoración cualitativa de pasivos no saneados y muestras de suelos para determinar el contenido de materia orgánica y de hidrocarburos con la finalidad de proponer diversas medidas de remediación y restauración ecológica.

1.3 Justificación de la tesina

Se espera lograr un informe que contribuya al conocimiento de la situación ambiental actual post-saneamiento en un área que involucra el Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE. Para ello, se elaborará una línea de base ambiental, que permitirá determinar zonas de mayor criticidad y proponer en ellas la adopción de distintas medidas de restauración acordes a la magnitud de las tareas de saneamiento efectuadas.

1.4 Objetivos

- Caracterizar y relevar las tareas de remediación de suelos en las áreas saneadas (anteriormente impactadas con pasivos ambientales) en proximidades de la Batería 3 del Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE, para compararlos con la situación previa al saneamiento.
- Sugerir medidas de recuperación de suelos y vegetación en los sitios saneados en los períodos 2013-2014 y 2017-2018.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. El Petróleo

El petróleo es una mezcla compleja no homogénea de hidrocarburos insolubles en agua, (los hidrocarburos son compuestos orgánicos constituidos por átomos de carbono e hidrógeno; su estado físico puede ser en forma de gas, líquido o sólido de acuerdo al número de átomos de carbono y otros elementos que posean, y se pueden clasificar en; alifáticos y aromáticos; Castro Varela, 2007). De origen orgánico, fósil, formado a partir de la descomposición de organismos de origen marino y en menor proporción de plantas, depositados en el fondo anóxico de mares o lagos del pasado geológico. La transformación química debida al calor y la presión durante la diagénesis produjo, en sucesivas etapas, desde bitumen a hidrocarburos cada vez más ligeros (líquidos y gaseosos).

El petróleo se distribuye irregularmente en el planeta, es la materia prima de varias actividades productivas que integran la “industria petrolera” y la principal fuente de energía industrial y doméstica. Es un recurso natural no renovable, por lo que demanda su preservación y uso racional. A su vez, es un elemento contaminante de otros recursos naturales y del ambiente en general (Bifaretti y Sánchez, 2008). Su presencia en el ambiente puede deberse a causas naturales o antrópicas (accidentes, fugas y derrames industriales, o como subproductos de uso comercial o privado). La contaminación por hidrocarburos se presenta cuando sus cantidades en los suelos, aguas superficiales y/o subterráneas supera la capacidad de degradación de los microorganismos presentes en el medio, encargados de transformar a sustancias inocuas los hidrocarburos totales del petróleo (TPH, siglas en inglés de *Total Petroleum Hydrocarbons*), mediante oxidación y mineralización. La concentración de TPH se utiliza como parámetro de medición analítico del nivel de contaminación. Su uso es conveniente frente a la complejidad que implica medir por separado cada uno de los numerosos compuestos químicos que forman el petróleo crudo.

Las fracciones no degradadas de hidrocarburos se fijarán a las partículas del suelo o sedimentos permaneciendo por mucho tiempo y dando origen a un suelo contaminado por hidrocarburos. El tiempo de permanencia de los restos de hidrocarburos en el suelo depende de muchos factores, como por ejemplo; los tipos de hidrocarburo (alifáticos o aromáticos), las características del suelo, la porosidad, permeabilidad, el contenido de materia orgánica y la presencia de microorganismos en el suelo que degraden los hidrocarburos.

Es de importancia aclarar que en el área de estudio los suelos oleocontaminados se encuentran desde la década de los ochenta aproximadamente, no hay registro de fechas de los derrames de hidrocarburo ya que en ese entonces no estaba en vigencia el decreto 458/05, que regula la actividad hidrocarburífera. Actualmente, estos suelos contaminados presentan contenidos de TPH superiores al 2% p/p seco fijado por el decreto 298/06.

2.2. Fases en el proceso de explotación del petróleo y su influencia en el ambiente

A nivel internacional se distinguen tres fases en la explotación del petróleo (Rodríguez, 2018); estas tienen efectos ambientales específicos que dependen de la ubicación del yacimiento.

- **La Exploración:** se define como la prospección y el reconocimiento científico de yacimientos, utilizando métodos geofísicos y sondeos de prospección. Se basa en el trazado de mapas fototopográficos de zonas extensas para analizar la superficie del terreno y así poder encontrar yacimientos explotables, tanto submarinos como terrestres. El impacto ambiental provocado en esta etapa es moderado, uno de ellos es la deforestación por la apertura de caminos y la construcción de campamentos provisorios.

- **La Extracción:** incluye el desarrollo de la infraestructura necesaria para la extracción del petróleo, entre ellas:

- a) **Pozos de Desarrollo:** son esenciales en el proceso de producción en sentido estricto y constituyen la base de explotación a largo plazo. Se realiza conforme a principios científicos (geología de producción e ingeniería de yacimientos). El impacto ambiental es moderado.

- b) **Instalaciones exteriores y procesamiento preliminar del hidrocarburo extraído:** Se debe prestar particular atención a los daños ambientales provocados por derrames. El impacto de los derrames petroleros varía de acuerdo al tipo de crudo transportado, el tamaño del derrame, las condiciones climáticas al momento del derrame y de los ecosistemas aledaños.

En las operaciones de extracciones modernas los incidentes ambientales se minimizan gracias al diseño eficiente y los sistemas de vigilancia automáticos (telesupervización), que permiten mantener un nivel bajo de emisiones, tanto en condiciones normales como de avería.

c) Dotación de Infraestructura: vías de acceso, instalaciones de extracción en la superficie y plantas de procesamiento preliminar, conexión a la red vial, etc.

- **Transporte y almacenamiento:** luego de la extracción, los productos brutos son transportados (a través de oleoductos y gasoductos, camiones y vagones cisternas, o por vía fluvial o marítima) y almacenados, antes de su transformación con la finalidad de obtener productos derivados comercializables. El almacenamiento se realiza en tanques dispuestos en la superficie del terreno (baterías) y depósitos subterráneos.

2.3 La contaminación por hidrocarburo y sus efectos

Las actividades del hombre dan origen con frecuencia a consecuencias ambientales observables especialmente en el suelo, por ser éste el primer punto de contacto de una fuga accidental de sustancias líquidas o sólidas que pueden ser tóxicas. Sin embargo, también afectan de forma directa al agua, aire, flora y fauna de un lugar.

Los derrames de hidrocarburos son comunes durante los procesos de producción de crudo (desde los tanques, rupturas de tuberías y extracción de pozos), así como también durante su comercialización, transporte y almacenamiento en sitios de acopio y distribución.

Algunos de los efectos que generan son:

- **Sobre el suelo:** las zonas ocupadas por los campamentos, los caminos, las baterías, los pozos, las piletas de purga, entre otras instalaciones, son grandes superficies del terreno que resultan degradadas por el desmonte, alisado y compactación del terreno por el uso de maquinaria pesada. Los **derrames** y los **desechos** alteran el sustrato fértil original en el que crecen las especies vegetales, dejando suelos inutilizables durante años. Los hidrocarburos en el suelo impiden el intercambio gaseoso con la atmósfera, iniciando una serie de procesos físico-químicos simultáneos, como evaporación y penetración, que dependiendo del tipo de hidrocarburo, temperatura, humedad, textura del suelo y cantidad derramada, pueden ser procesos más o menos lentos lo que ocasiona una mayor toxicidad (Benavides López de Mesa, J. et al., 2006).
- **Sobre el agua:** el mayor deterioro se produce por el aumento de la salinidad debido a la contaminación de las napas con el agua de producción de petróleo de alto contenido salino (Bifaretti y Sánchez, 2008). La actividad petrolera demanda un importante volumen de agua superficial o freática local, que puede afectar la calidad del

recurso, por lo que es conveniente adoptar diversas medidas, como obtener agua de los acuíferos no utilizados y emplear agua no potable para la perforación y para riego.

La mancha generada por los hidrocarburos vertidos sobre las aguas superficiales flota por diferencia de densidades impidiendo la entrada de luz y el intercambio gaseoso, dando comienzo a la solubilización de compuestos hidrosolubles, afectando así a diferentes especies y modificando su hábitat.

- **Sobre el aire:** es afectado por los ruidos generados por el funcionamiento de las máquinas; además, cuando el valor del gas asociado al petróleo es bajo, este es venteado y/o quemado por medio de antorchas, lo que contamina extensas zonas según la dirección de los vientos (Bifaretti y Sánchez, 2008). Cuando la concentración de gas es alta, este es captado, almacenado y no se libera a la atmósfera.

En la provincia de La Pampa hay pozos con fuerte presencia de gas ácido, que corroe las líneas de conducción y en caso de ser liberado accidentalmente a la atmósfera produce severos daños en la salud de las personas. Una solución al problema era la quemaba en antorchas, perdiendo de esta forma un recurso energético clave y con esta práctica se contribuía en el incremento de gases que producen el efecto invernadero. Recientemente, Petroquímica Comodoro Rivadavia S.A construyó una planta endulzadora para separar el sulfuro de hidrógeno asociado al gas con el objetivo de incorporarlo a la red de distribución nacional. Asimismo, se ha prohibido el venteo de gas; este sólo es autorizado por la Subsecretaría de Hidrocarburos y Minería en casos que la operadora realice reparaciones en las instalaciones en la planta de tratamiento de gas o en las baterías.

- **Sobre la flora y la fauna:** uno de los principales impactos ambientales de la actividad es la degradación y pérdida de la vegetación, los arbustos y matorrales son los más afectados por la contaminación con hidrocarburo. A su vez esta vegetación es el refugio de las especies animales del lugar y se ve directamente afectada.

Los derrames de petróleo crudo y sus derivados producen efectos variados en los organismos (Galán, 1996 citado por Portocarrero *et al.*, 2015); muerte por asfixia o envenenamiento, destrucción de las fuentes alimenticias, disminución de la resistencia a infecciones, incorporación de carcinógenos en la cadena alimentaria, afectación de la reproducción. Las sustancias contaminantes pueden estar asociadas con varios efectos biológicos que promueven la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Wang y Zhou, 2006 citado por Portocarrero *et al.*, 2015).

2.4 Pasivos Ambientales

Se define como un pasivo ambiental “el conjunto de daños ambientales, en términos de contaminación del agua, suelo, aire, deterioro de los recursos y ecosistemas, producidos por una empresa en su funcionamiento normal o por accidentes imprevistos, a lo largo de su historia” (Falconi Benitez, 2004).

Un pasivo ambiental es una “deuda ecológica”, aquella situación ambiental que, generada por el hombre en el pasado y con deterioro progresivo en el tiempo, representa actualmente un riesgo al ambiente y la calidad de vida de las personas. Los pasivos ambientales han sido generalmente producidos por las actividades del hombre, ya sea por desconocimiento, negligencia, o por accidentes, a lo largo de su historia.

Para la aplicación del concepto de “pasivo ambiental” y para establecer aquellas medidas para revertir el daño es necesario identificar / asignar quien asume la responsabilidad por el deterioro ambiental a fin de que deban invertir en la reparación del daño ocasionado.

2.5 Remediación de pasivos ambientales

Para remediar un sitio que se encuentra contaminado por hidrocarburos se deben tener en cuenta, en principio, las siguientes características generales:

- El tipo de contaminante y sus características físico y químicas
- La localización y las características del lugar, el uso del suelo.
- Las características naturales del suelo, sedimentos, cuerpos de agua.
- Las capacidades de las tecnologías de remediación, que pueden variar en

función de las condiciones del sitio.

Las tecnologías de tratamiento y remediación del suelo implican cualquier operación unitaria o series de operaciones que altera la composición del contaminante a través de acciones químicas, físicas o biológicas de manera que reduzcan la toxicidad, movilidad o volumen del material contaminado.

Pueden clasificarse de diferentes maneras, con base en los siguientes principios:

1. **Estrategia de remediación:** Se considera que es el lugar en que se realiza el proceso de remediación y tipo de tratamiento (Van Deuren *et al.*, 1997; Sellers, 1999; EPA, 2001).

Son tres las estrategias básicas que pueden usarse separadas o en conjunto, para remediar la mayoría de los sitios contaminados:

a) Destrucción o modificación de los contaminantes. Este tipo de tecnologías busca alterar la estructura química del contaminante.

b) Extracción o separación. Los contaminantes se extraen y/o separan del medio contaminado, aprovechando sus propiedades físicas o químicas (volatilización, solubilidad, carga eléctrica).

c) Aislamiento o inmovilización del contaminante. Los contaminantes son estabilizados, solidificados o contenidos con el uso de métodos físicos o químicos.

2. Lugar de realización del proceso de remediación:

a) **In situ:** Son las aplicaciones en las que el suelo contaminado es tratado, o bien, los contaminantes son removidos del suelo contaminado, sin necesidad de excavar el sitio. Es decir, se realizan en el mismo sitio en donde se encuentra la contaminación.

b) **Ex situ:** La realización de este tipo de tecnologías, requiere excavación, dragado o cualquier otro proceso para remover el suelo contaminado antes de su tratamiento que puede realizarse en el mismo sitio (*on site*) o fuera de él (*off site*).

3. Tipo de tratamiento: Esta clasificación se basa en el principio de la tecnología de remediación y se divide en tres tipos:

a) **Tratamientos biológicos (biorremediación):** Utilizan las actividades metabólicas de ciertos organismos (plantas, hongos, bacterias) para degradar (destrucción), transformar o remover los contaminantes a productos metabólicos inocuos.

b) **Tratamientos fisicoquímicos:** Este tipo de tratamientos, utiliza las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio contaminado para destruir, separar o contener la contaminación.

c) **Tratamientos térmicos:** Utilizan calor para incrementar la volatilización (separación), quemar, descomponer o fundir (inmovilización) los contaminantes en un suelo.

Tabla 1.1: Métodos de remediación del suelo (Modificado de “Tecnología de remediación para suelos contaminados”, Volke Sepulveda y Velasco Trejo, 2002)

MÉTODOS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS			
Tipos de tratamientos	Lugar de realización del proceso de remediación	Métodos	Objetivos
Tratamientos Biológicos	In situ	Bioventeo	Degradación de los hidrocarburos por volatilización y biodegradación.
		Bioestimulación	Estimular la actividad de los microorganismos autóctonos a partir de circulación de soluciones acuosas (nutrientes y oxígeno).
		Bioaumentación	Adición de microorganismos vivos con capacidad de degradar el contaminante
		Biolabranza	Biodegradación de los contaminantes a partir de fertilizantes y microorganismos.
		Fitorremediación	Utiliza las plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y destruir contaminantes.
	Ex situ	Biopilas	Biodegradación de los contaminantes a partir de fertilizantes y microorganismos.
		Biorremediación en fase de lodos	El suelo contaminado se mezcla con un líquido, y la degradación se lleva a cabo en la fase acuosa por microorganismos en suspensión o inmovilizados en la fase sólida.
Tratamientos Físicoquímicos	In situ	Remediación electrocinética	Separar y extraer contaminantes orgánicos e inorgánicos (metales) de suelos, lodos y sedimentos, con el uso de un campo eléctrico que permite remover las especies cargadas.
		Lavado de suelos	Lavado de hidrocarburos a partir de soluciones líquidas.
		Extracción de solventes	Utiliza solventes orgánicos para disolver los contaminantes y así removerlos del suelo.
		Extracción de vapores	Se aplica un vacío al suelo, para inducir un flujo controlado y continuo de aire, y remover así contaminantes volátiles y semivolátiles del suelo.
		Solidificación/Estabilización	El suelo contaminado se mezcla con aditivos para inmovilizar los contaminantes, disminuyendo o eliminando la lixiviación.
	Ex situ	Separación física	Buscan concentrar los contaminantes sólidos por medios físicos y químicos.

Tratamientos Térmicos	In situ	Extracción de vapores mejorado por temperatura	
	Ex situ	Pirólisis	Descomposición química de materiales orgánicos inducida por calor en ausencia de oxígeno.
		Incineración	Evaporación y destrucción de los contaminantes a partir de una fuente de calor.
		Desorción térmica	Desorción a partir de calor, de la contaminación producida por metales y compuestos orgánicos y volátiles.

2.5.1 Técnicas de remediación de suelo utilizadas en el área de estudio

Para la selección de una tecnología de remediación con buenas perspectivas de éxito, es indispensable considerar tanto las propiedades del contaminante como las del sitio contaminado, como así también su viabilidad económica y tiempo estimado de aplicación de la técnica de remediación. Así, de los tres tipos de tratamientos de remediación nombrados anteriormente, en el Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE, se utilizaron los biológicos y los térmicos. Se describen a continuación:

a) Tratamientos biológicos:

Puede emplear organismos propios del sitio contaminado (autóctonos) o de otros sitios (exógenos), puede realizarse *in situ* o *ex situ*, en condiciones aerobias (en presencia de oxígeno) o anaerobias (sin oxígeno) (Eweis *et al.*, 1998). Las ventajas de estos métodos es que son efectivos en cuanto a costos, son técnicas más amigables con el ambiente y se destruye el contaminante por completo. Como desventajas, requieren mayores tiempos de tratamiento, y no pueden aplicarse si el tipo de suelo no favorece al crecimiento microbiano.

Aunque no todos los compuestos orgánicos son susceptibles a la biodegradación, los tratamientos biológicos se han usado con éxito en el área de estudio para tratar suelos, lodos y sedimentos contaminados con hidrocarburos del petróleo, entre los que se destacan:

- **Biolabranza o Landfarming:** Durante el proceso de biolabranza, la superficie del suelo contaminado es tratado en el mismo sitio por medio del arado. El suelo contaminado se mezcla con nutrientes minerales y agua que

se agregan y se remueve periódicamente para favorecer su aireación. Las condiciones del suelo (pH, temperatura, aireación) se controlan para optimizar la velocidad de degradación y generalmente se incorporan otros métodos para el control de lixiviados (Riser-Roberts, 1998). Es frecuente la adición de bacterias alóctonas degradadoras de hidrocarburos para acelerar el proceso (*bioaumentación*) y la estimulación de la actividad de los microorganismos incrementa la degradación de los productos de petróleo adsorbidos (Riser-Roberts, 1998; Abboud, 2000). Este método fue aplicado por Petrobras Argentina S.A para remediar un escaso volumen de suelo con elevados contenidos en hidrocarburos procedentes de derrames en el Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE, tarea a cargo de la empresa SIMEC.

- **Biopila:** es un tipo de biorremediación *ex situ*, consiste en la reducción de la concentración de contaminantes derivados del petróleo de suelos excavados mediante el uso de la biodegradación. La técnica consiste en la formación de pilas formadas por suelos contaminados y materia orgánica, de dimensiones variables, con contenido de material biodegradable, a las que se aplica una aireación activa mezclando-volteando la pila, o pasiva mediante el uso de tubos de aireación. Este principio se aplica a la mayoría de los compuestos orgánicos siendo más eficaz en los ligeros.

El sistema de biopilas alargadas es más económico y sencillo. En éstas, el material se apila al aire libre en forma alargada sobre una plataforma y se cubre para prevenir la escorrentía, la evaporación y la volatilización y para promover el calentamiento por el sol. El periodo de tratamiento de esta tecnología biológica es corto, puede durar desde unas pocas semanas a unos pocos meses. Además de utilizarse para compuestos del petróleo, también es útil para compuestos orgánicos volátiles halogenados y no halogenados, compuestos orgánicos semivolátiles y pesticidas. (Li *et al.*, 2004; Plaza *et al.*, 2005)

En el Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE se aplicó este método para tratar suelos con bajas concentraciones de hidrocarburos. Consistió, básicamente, en un pretratamiento mecánico del pasivo con una máquina segregadora, que molía las costras de hidrocarburos, tamizaba y separaba las distintas fracciones, restos de metales, ramas, costras sin moler y arenas con rodados. Los últimos se disponían en pilas de aproximadamente 3000 metros cúbicos,

las que se regaban y aireaban; sólo en los casos que el contenido de hidrocarburos inicial fuera elevado, se procedía a realizar riegos con nutrientes para potenciar la actividad degradadora de los microorganismos autóctonos.

- b) **Métodos Térmicos:** Los tratamientos térmicos ofrecen tiempos muy rápidos de limpieza, pero son generalmente más caros. Al igual que las tecnologías fisicoquímicas, y a diferencia de las biológicas, los procesos térmicos incluyen la destrucción, separación e inmovilización de contaminantes. Las tecnologías térmicas de separación producen vapores que requieren tratamiento; las destructivas producen residuos sólidos (cenizas) y, en ocasiones, residuos líquidos que requieren de tratamiento posterior o disposición. (Van Deuren *et al.*, 1997). Los métodos más comunes son:

- **Incineración:** se utilizan altas temperaturas de operación, 870 a 1,200 °C, con la finalidad de volatilizar y quemar compuestos orgánicos y halogenados en presencia de oxígeno. Generalmente se utilizan combustibles para iniciar el proceso de combustión. Las eficiencias de remoción y destrucción de los incineradores operados adecuadamente exceden el 99.99%. Sin embargo, los gases de combustión resultantes generalmente requieren tratamiento. La principal desventaja del método es que provocan una destrucción de las materias orgánicas y nutrientes.
- **Desorción térmica:** consiste en calentar (90 a 540 °C) el suelo contaminado con contaminantes orgánicos, con el fin de vaporizarlos y por consiguiente separarlos del suelo. El calor acelera la liberación gaseosa y el transporte de contaminantes a través del suelo, para posteriormente ser dirigidos hasta un sistema de tratamiento de gases con el uso de un gas acarreador o un sistema de vacío. Es un proceso de separación física no destructivo.

Estos métodos presentan el inconveniente de que el suelo queda completamente transformado con escaso contenido de carbónico orgánico y nitrógeno total y microorganismos.

En el Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE el tratamiento térmico lo aplicó Petrobras Argentina para sanear suelos contaminados provenientes del saneamiento de sitios afectados en proximidades de la Batería 3 y de un antiguo recinto (pileta con hidrocarburos y parafinas), durante el periodo 2013-2014. El

método de tratamiento era de tipo modular, en el cual los suelos oleocontaminados y parafinas eran calentados utilizando contacto directo con controles específicos de llama, temperatura de operación 2600°C y 1100°C, un lavador de gases y un equipo de medición continua de parámetros ambientales a la salida de la chimenea. La capacidad de tratamiento nominal de la planta era de 50 m³ día. La eficiencia del método para remover hidrocarburos totales era del 99%. El mayor inconveniente es que el material tratado es totalmente inerte, sin materia orgánica por lo que, para la restauración de sitios afectados, se debe colocar a una profundidad de 80 a 100 cm del suelo y ser cubierto con suelo tratado por métodos de biorremediación para facilitar el crecimiento de la vegetación.

2.6 Restauración Ecológica

La restauración implica restablecer la integridad biótica preexistente en términos de composición de especies y estructura de la comunidad de un área disturbada, como así también recuperar la funcionalidad del sistema y el suministro de los servicios ecosistémicos. En zonas áridas y semiáridas las acciones de restauración se encuentran limitadas tanto por variables ambientales (disponibilidad hídrica, intensidad de los vientos, bajas temperaturas invernales, etc.) como bióticas (bajo porcentaje de establecimiento de nuevos individuos, lento crecimiento de las especies nativas, herbivoría, etc.) que dificulta las acciones posibles. La rehabilitación de un área alterada depende del grado de alteración física del paisaje, del empobrecimiento y desaparición de especies vegetales y del banco de semillas del suelo (Aruani *et al.*, 2002).

En el caso de la explotación de hidrocarburos, el disturbio es causado por la acción simultánea de tres actividades: eliminación completa de la vegetación nativa (desmonte), (2) alteración del suelo (decapitación, compactación) y (3) modificación total del microrelieve y estructura del paisaje (destrucción de montículos o “islas de fertilidad”). En zonas áridas-semiáridas el restablecimiento de las condiciones naturales ante estos severos disturbios es muy lento, comparado con ecosistemas de regiones templadas, húmedas y tropicales, debido a su baja resiliencia y escasa disponibilidad de recursos críticos como agua y nutrientes (Noy-Meir, 1973; Schlesinger *et al.*, 1990; Bainbridge, 2007; Pérez *et al.*, 2013).

Cuando el disturbio es muy intenso, la restauración de la cubierta vegetal difícilmente recupera la comunidad original de referencia, lo que es una manifestación de la irreversibilidad de la pérdida de biodiversidad debida a los cambios antrópicos (Balaguer, 2002).

La revegetación, como una forma de restauración, intenta restablecer las comunidades vegetales llevándolas a un estado lo más próximo posible al que existía previo al impacto (Bradshaw, 1997). En un sitio específico, la revegetación intenta cambiar la composición de la vegetación actual y orientarla hacia estados más deseables (Westoby *et al.*, 1989). La disminución de la cubierta vegetal y la pérdida de biodiversidad son características del escenario natural antropizado de la Patagonia árida (Soriano *et al.*, 1994). El abordaje de la problemática lleva varias décadas con técnicas de manejo del pastizal, implantación de especies exóticas y, en forma más reciente, con la legislación para la regulación de la restauración (Rueter *et al.*, 2016), evaluación de la revegetación espontánea (Ciano *et al.*, 2001; Rueter & Rodríguez, 2013; Stronati *et al.*, 2016) y la puesta en valor de la utilización de especies nativas. Particularmente, el uso de *Grindelia chilensis*, *Senecio filaginoides*, *Atriplex lampa* y *Pappostipa humilis* entre otras, especies pioneras en la región central y sur de la Patagonia (Portocarrero *et al.*, 2015).

CAPÍTULO 3 – MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar esta tesina se recopilaron antecedentes éditos e inéditos, se elaboraron informes de seguimiento, se diseñaron planillas de campo, se asistió a distintas locaciones en el área de la Batería 3 del Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE, se efectuó el registro de actividades y se procesaron los datos de campo (Figura 3.1).

Con respecto al objetivo 1: **“Caracterizar y relevar las tareas de restauración de suelos en las áreas saneadas (anteriormente impactadas con pasivos ambientales) en proximidades de la Batería 3 del Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE, para compararlos con la situación previa al saneamiento”:**

1. Se efectuó una indagación de los Informes de Saneamiento Ambiental presentados por la empresa “Petrobras Argentina S.A” y de los resultados de la auditoría ambiental de la Subsecretaría de Ambiente, en los que se caracterizó el estado inicial de los sitios impactados y los posteriores informes finales donde se describe el saneamiento final con el área saneada y volumen de suelo extraído.
2. Se realizó en cada pozo del área de estudio una ficha sintética donde se identificó el ecosistema de referencia, los agentes causantes del disturbio, los resultados de las tareas de saneamiento, las áreas no saneadas, los recursos impactados (suelos, agua, fauna, flora, etc.) y los pasivos ambientales que no fueron identificados.
3. Lectura y recopilación de tareas de caracterización inicial y muestreo en el área de Batería 3.
4. Lectura e interpretación de imágenes satelitales facilitadas por el software *Google Earth*, de libre acceso, para analizar el uso y evolución del área de estudio.
5. Ajuste y examen de campo de las unidades identificadas en las imágenes satelitales (área no impactada, impactada, impactada y saneada).
6. Se midió con GPS las áreas saneadas y se calcularon estimativamente los volúmenes de suelo repuestos.
7. Se efectuó un análisis físico, químico y biológico de suelos en áreas saneadas y en suelos originales del área.
8. Se realizó en distintos sitios perfiles de suelos para conocer la organización de los mismos (originales y saneados) y la estructura pedogenética. Se llevaron a cabo cuatro muestreos para el estudio de reconocimiento de los suelos, los cuales fueron tomados a lo largo de una línea de conducción y cercanos a los pozos. Para ello se consideró: 1) el levantamiento de perfiles de suelo a través de calicatas (anchura y

profundidad de las calicatas a convenir en el campo) en los casos donde fue factible, y sondeos con pala y/o barreno; 2) examen pedológico-litológico según criterios de Catt (1990) y de Soil Survey Staff, (1999): espesor, granulometría a partir de textura de campo, estructuras sedimentarias y/o pedogenéticas, color según Munsell (2000), consistencia en seco, húmedo y mojado, presencia/ausencia, abundancia relativa, morfología y distribución espacial de sales (carbonato, yeso), óxidos (Fe, Mn), y raíces; determinación de límites entre horizontes de suelo (tipo: abrupto, claro, gradual, difuso. Forma: suave, ondulado, irregular y quebrado) de acuerdo con Catt (1990).

9. Los análisis de laboratorio se hicieron en el laboratorio de Sedimentología del INCITAP (CONICET-UNLPam) y FCEyN-UNLPam, consistieron en:

- a) Análisis granulométrico por tamizado en húmedo y/o seco (a convenir); clasificación textural de los horizontes muestreado utilizando la escala granulométrica de Udden-Wentworth.

Para la preparación de la muestra se siguió con los siguientes pasos:

- Cuarteo
- Desagregación mecánica
- Desagregación química
 - ✓ Eliminación de materia orgánica, con peróxido de hidrógeno, H_2O_2 .
 - ✓ Eliminación de carbonatos, con ácido clorhídrico, HCl.
 - ✓ Eliminación de óxidos e hidróxidos de hierro, con ácido oxálico, ($H_2C_2O_4$)
 - ✓ Eliminación de sales solubles, con agua destilada, al regular el pH.
- Secado en un horno a $40^\circ C$ y pesado de la muestra

Para el análisis granulométrico de sedimentos areno-pelíticos se aplicó la siguiente metodología:

- Tamizado para las arenas (fracción psamítica)

La muestra ya preparada y pesada se vertió sobre una pila de tamices ordenados según la escala elegida y en forma decreciente, es decir, los de mayor abertura de malla arriba. En el fondo se recolecta el material fino que pueda contener la muestra que corresponde a las pelitas. Para esta tesina se utilizó la Tamizadora Vibratoria ZONYTEST LR 2006, 2500 rpm - 15 minutos. Luego del tamizado, se pesó la cantidad de material retenido en cada

tamiz y los resultados se volcaron en una planilla de Excel para obtener posteriormente el porcentaje en peso correspondiente.

b) Análisis de contenido de carbonatos de calcio (CO_3Ca) y carbono inorgánico (CI), carbono orgánico total (COT) y materia orgánica por calcinación (método *Loss-on-ignition*, LOI). El LOI es una metodología empleada para determinar el contenido en materia orgánica y el contenido en carbonatos de los sedimentos (Dean, 1974; Bengtsson y Enell, 1986). Para esta tesina se utilizó el Horno-mufla SIMCIC HM-3. En una primera reacción, la materia orgánica es oxidada a 500-550°C, produciendo la emisión de CO_2 y ceniza. La LOI se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{LOI } 550 = ((\text{DW } 105 - \text{DW } 550) / \text{DW } 105) * 100$$

Donde LOI_{550} representa el LOI a 550°C (como porcentaje), DW_{105} representa el peso seco de la muestra antes de la combustión, y el DW_{550} el peso seco de la muestra luego de la combustión a 550°C (ambos en gramos). La pérdida de peso debe ser, entonces, proporcional a la cantidad de carbono orgánico que se encuentra en la muestra.

En una segunda reacción, se produce la destrucción de los carbonatos a 900-1000°C, con la subsiguiente emisión de CO_2 y la formación de óxidos. La pérdida de peso experimentada por la muestra durante estas reacciones se determina pesando el sedimento antes y luego de ser quemado. Esta pérdida de peso está relacionada con el contenido en materia orgánica y carbonatos del sedimento (Dean, 1974; Bengtsson y Enell, 1986).

La LOI se calcula de la siguiente manera:

$$\text{LOI } 950 = ((\text{DW } 550 - \text{DW } 950) / \text{DW } 105) * 100$$

Donde $\text{LOI } 950$ es el LOI a 950 ° C (como porcentaje), $\text{DW } 550$ es el peso seco de la muestra después de la combustión de materia orgánica a 550 ° C, $\text{DW } 950$ representa el peso seco de la muestra después de calentar a 950 ° C y $\text{DW } 105$ es nuevamente el peso seco inicial de la muestra antes de la combustión de carbono orgánico (todo en g).

10. Se relevaron las principales especies de flora de vegetación nativa y de las comunidades secundarias asociadas en áreas no afectadas, se observó si hay

presente vegetación que haya sido retirada pero que pueda servir para restaurar y analizar el crecimiento de las especies pioneras desde el momento de la nivelación.

Con respecto al objetivo 2: **“Sugerir medidas de recuperación de suelos y vegetación en los sitios saneados”**.

Esta tesina contemplo la experiencia de realizar una propuesta de rehabilitación en el Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE, particularmente en el área de la Batería 3, en uno de los sitios claves, no sólo por la magnitud del área saneada sino también por la proximidad al río Colorado, en donde se evaluaron los resultados de las tareas de saneamiento. La propuesta consistió en sugerir algunas técnicas de restauración ecológica en las áreas remediadas.

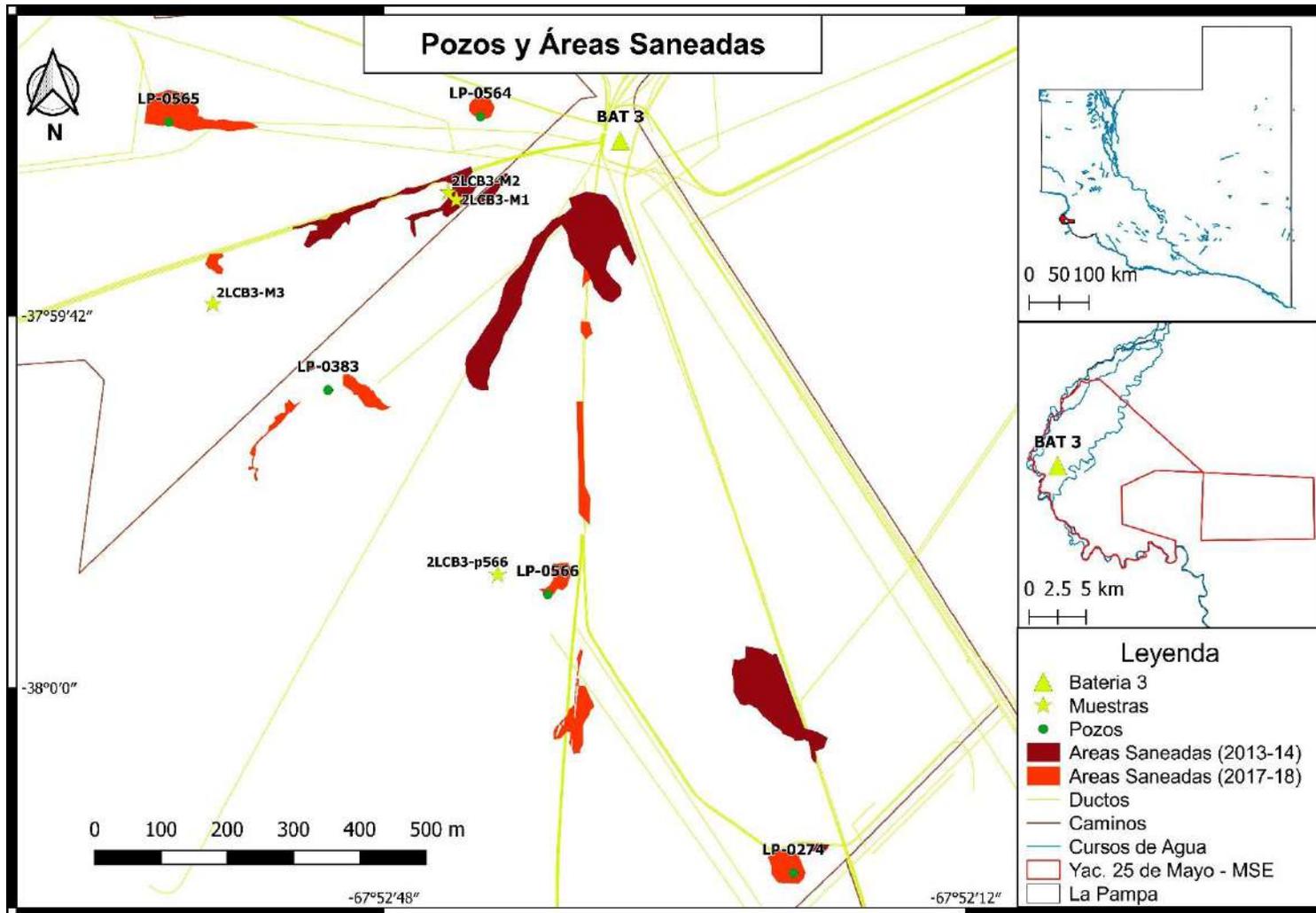


Figura 3.1: Ubicación geográfica de los sectores muestreados, las áreas saneadas y los pozos que fueron analizados en esta tesina

CAPÍTULO 4 – DESCRIPCIÓN GENERAL DEL AMBIENTE

4.1 Ubicación

El área de estudio de esta tesina se encuentra ubicado en el suroeste de la Provincia de La Pampa, en el Departamento de Puelén, aproximadamente a 30 km al sureste de la localidad de Colonia 25 de Mayo, en el Yacimiento petrolífero “25 de Mayo- Medanito SE” ($37^{\circ}59'33.10''S$ - $67^{\circ}52'32.89''O$) que es operado por la UTE Pampetrol SAPEM – Petroquímica Comodoro Rivadavia S.A y abarca una superficie de $124,5 \text{ km}^2$ (Figura 4.1 a). Se accede al área “25 de Mayo- Medanito SE” a través del camino pavimentado que une la localidad de Colonia 25 de Mayo con Colonia Chica. Antes de que finalice el pavimento se ingresa a un camino de tierra consolidado y a 11 km de allí se localiza la Batería 4. De esta Batería se desprenden distintos recorridos; al doblar a la derecha con orientación sureste-noroeste y luego de recorrer 3,3 kilómetros, se encuentra la Batería 3, que es el área de estudio (Figura 4.1 b).

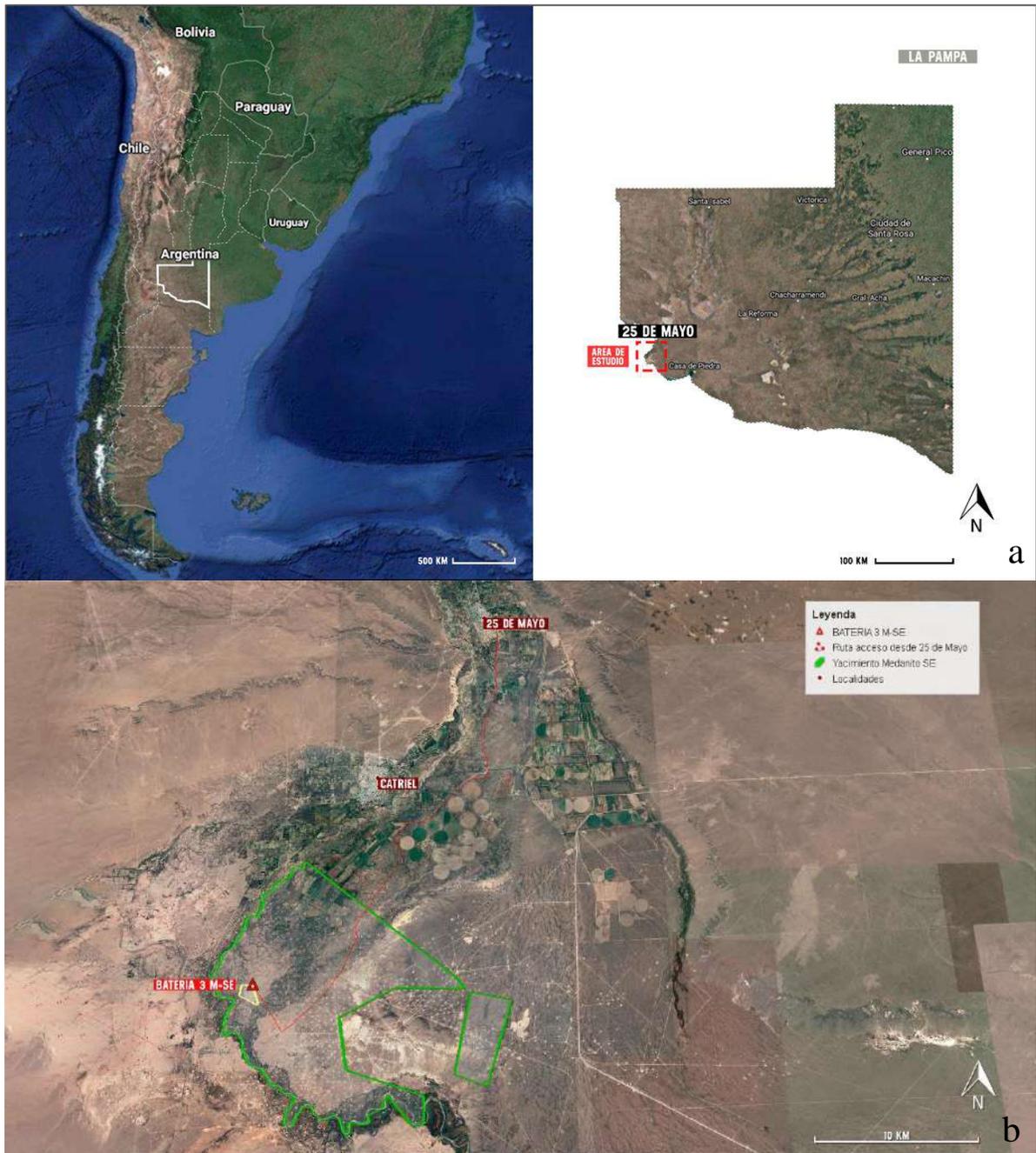


Figura 4.1: a) Ubicación geográfica del área de estudio-b) Yacimiento “25 de Mayo-Medanito Sudeste” y acceso a la Batería 3 desde la localidad de 25 de Mayo (camino en color rojo). Fuente: Google Earth ©

4.2 Geología

El área de estudio de esta tesina se encuentra ubicada en la cuenca Neuquina, unidad morfoestructural que constituye, desde el punto de vista de la producción de hidrocarburos, la cuenca más importante del país; actualmente, el 42% de la producción de petróleo de la Argentina y el 55% de la producción de gas corresponde a yacimientos de esta cuenca.

La cuenca Neuquina, registra una columna sedimentaria de más de 6.000 metros de espesor que incluye rocas marinas y continentales que abarcan desde el Triásico Superior al Paleoceno (Howell *et al.*, 2005). A fines del Triásico, el margen centro-oeste de la placa de América del Sur estuvo sometido a procesos tectónicos extensionales asociados al desmembramiento de Pangea. El resultado de dichos procesos fue la formación de hemigrábenes de rumbo noroeste que se intercomunicaron durante la etapa de enfriamiento térmico. En la etapa de *syn-rift* se intercalan sucesiones volcánicas y facies continentales (Muravchik *et al.*, 2011). Durante el Jurásico Inferior se restableció en el margen occidental de Gondwana un sistema de subducción, desarrollando el primer arco magmático mesozoico y la formación de cuencas de intraarco y retroarco, caracterizadas por depósitos de ambientes mayormente marinos. Desde el Jurásico Medio hasta el Cretácico Inferior la cuenca Neuquina se comportó como una cuenca de retroarco y, hacia fines del Cretácico Inferior, se convirtió en una cuenca de antepaís debido al incipiente levantamiento de la Cordillera de los Andes y a la formación de la faja plegada y corrida del Agrio. Durante el Cretácico Inferior se reconoce una gran área marina andina conectada al Pacífico a través del arco volcánico, la cual está representada de norte a sur por la cuenca de Chañarcillo (Chile) y la cuenca Neuquina, esta última conformada por dos depocentros: la “plataforma del Aconcagua” y el “engolfamiento Neuquino”.

El proceso de levantamiento cordillerano produjo el retiro definitivo de los mares del Pacífico y permitió la primera transgresión marina procedente del Atlántico durante el Cretácico Superior. La reactivación de la faja plegada y corrida durante el Mioceno marcó la culminación de la estructuración de la cuenca (Ramos, 1999; Ramos y Folguera, 2005).

En líneas generales, se reconocen seis regiones morfoestructurales en la cuenca Neuquina (figura 4.2) (Casadío y Montagna, 2015). Esta tesis, está centrada en el área de la Plataforma Nororiental o Plataforma de Catriel. En esta región, la cubierta sedimentaria es relativamente delgada (del orden de los 2000 m), típico de borde de cuenca y disminuye hacia el noreste. Los rasgos estructurales del lugar corresponden a movimientos diferenciales del bloque del basamento a partir de un fallamiento extensional. A lo largo de su historia geológica se produjo una continua activación de este tipo de estructuras, que originó un

marcado control estructural en el registro sedimentario de la zona que condujo a ventajas desde el punto de vista petrolero, como la preservación de buenas condiciones petrofísicas de los reservorios (sumado al escaso soterramiento existente), y la generación de abundantes entrapamientos estratigráficos o combinado en las estructuras de escaso tamaño (Legarreta y Uliana, 1999).

El relleno sedimentario de la cuenca fue dividido por Groeber (1946) en tres ciclos sedimentarios denominados “Jurásico” (Grupo Cuyo y Grupo Lotena), “Ándico” (Grupo Mendoza y Grupo Rayoso) y “Riograndico”. El ciclo Riograndico fue dividido en dos subciclos, el inferior conformado por el Grupo Neuquén (Digregorio, 1972) y el superior por el Grupo Malargüe (Uliana y Dellapé, 1981). Este último está integrado en la parte oriental de la cuenca por las Formaciones Allen, Jagüel, Roca y El Carrizo.

La sucesión estratigráfica superficial del área de estudio está compuesta por la Formación Allen, la Formación El Sauzal, los “Rodados Patagónicos” y depósitos recientes del río Colorado.

La Formación Allen, compuesta por arcilitas, areniscas y en menor proporción calizas y evaporitas, constituye el registro de la primera transgresión atlántica para la cuenca Neuquina. El ambiente depositacional para el sector sur-oeste de la provincia de La Pampa comenzó con un sistema de fajas de canal fluvial, evolucionó a un sistema de albufera y finalizó con un ambiente de sabkha (Gerling, 2014 y referencias allí citadas; Gerling et al., 2014).

La Formación El Sauzal compuesta por sedimentitas continentales de edad neógena, se apoya de manera discordante sobre la Formación Allen (Zabala, 2015). Los mismos han sido considerados como parte del relleno de una cuenca de antepaís andina de edad neógena y separada de la cuenca Neuquina (Folguera y Zárate, 2011; Folguera et al., 2015). Posee una amplia distribución en el suroeste de la provincia de La Pampa, con afloramientos que se encuentran expuestos en las bardas que limitan el río Colorado. Las sedimentitas que la componen son principalmente areniscas y pelitas. El ambiente depositacional es fluvial, con escasa participación de depósitos eólicos. Se separan por una discordancia erosiva los sedimentos de la Formación El Sauzal de los conglomerados suprayacentes (Zabala, 2015).

Esta cobertura conglomerádica discontinua es conocida como “Rodados Patagónicos” o Formación Tehuelche, del Plioceno superior – Pleistoceno inferior (Groeber, 1939; Tapia, 1939; Vilela y Riggi, 1956). Está conformada por conglomerados continentales de origen fluvial, de tamaño de grano de grava fina a gruesa, con matriz arenosa y cemento calcáreo. El paleoambiente depositacional para un afloramiento de la unidad ubicado al sur

de Puelches (La Pampa) ha sido interpretado como fluvial permanente; constituido por canales entrelazados y barras gravosas (González, 2014; González et al., 2015).

En la llanura de inundación del Río Colorado, se encuentran los depósitos recientes del río; la vegetación es un indicador clave de los cambios de terreno desde imágenes satelitales.

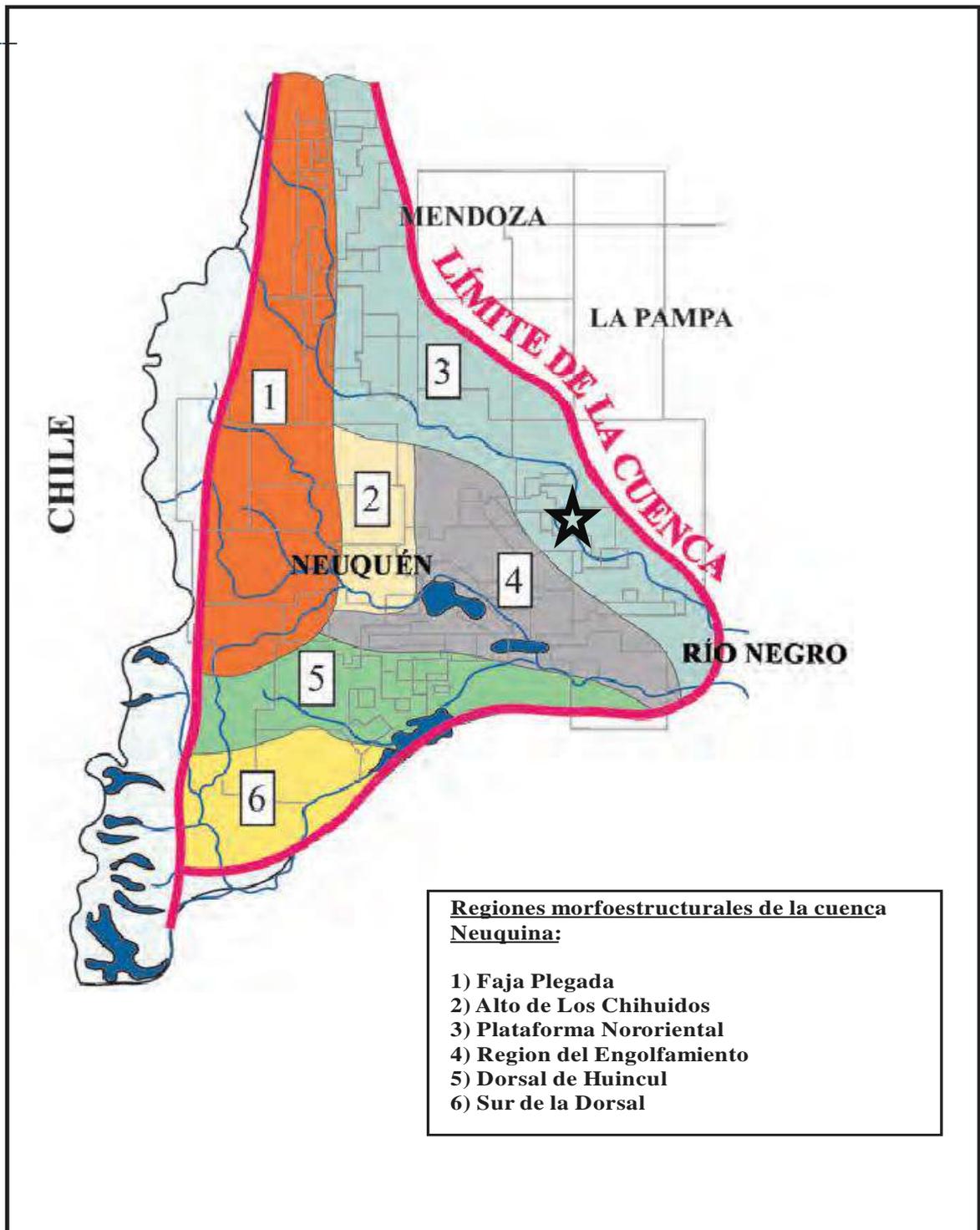


Figura 4.2: Regiones morfoestructurales de la Cuenca Neuquina. (Tomado de Casadío y Montagna, 2015).

4.3 Geomorfología

El área de estudio se encuentra en el límite suroccidental la Subregión de Terrazas y Paleocauces con Rodados de Vulcanitas (Cano, 1980), con una superficie aproximada de 3,54 km², ubicada en el SO de la provincia (37° 30' y 39° S, 66 y 68° O) y limita hacia el sur con el río Colorado (Figura 4.3 a). Esta subregión, en general tiene una pendiente regional con inclinación NO-SE; las cotas de mayor altura se registran en los alrededores de Colonia El Sauzal (400 m), las de menor altura en el extremo SE del dominio (entre los 66° y 65° de longitud, a orillas del río Colorado). Es considerada por Calmels (1996) como parte de la unidad geomorfológica denominada Paleo-abanico del Río Colorado cuyo desarrollo está estrechamente vinculado con el accionar de dicho río en el pasado geológico. Éste dejó su impronta en el paisaje al ocupar extensas áreas, donde acumuló rodados de vulcanitas que dieron origen a conglomerados; regionalmente constituye una inmensa planicie elaborada y recortada por la acción hídrica, donde las geoformas positivas del paisaje son terrazas y mesetas alargadas que se disponen en su mayoría en sentido NO-SE. Las geoformas negativas más comunes son paleocauces, cañadones, bajos sin salida y el valle actual del río Colorado, y es aquí donde se encuentra el área de estudio. (Figura 4.3 b y c).

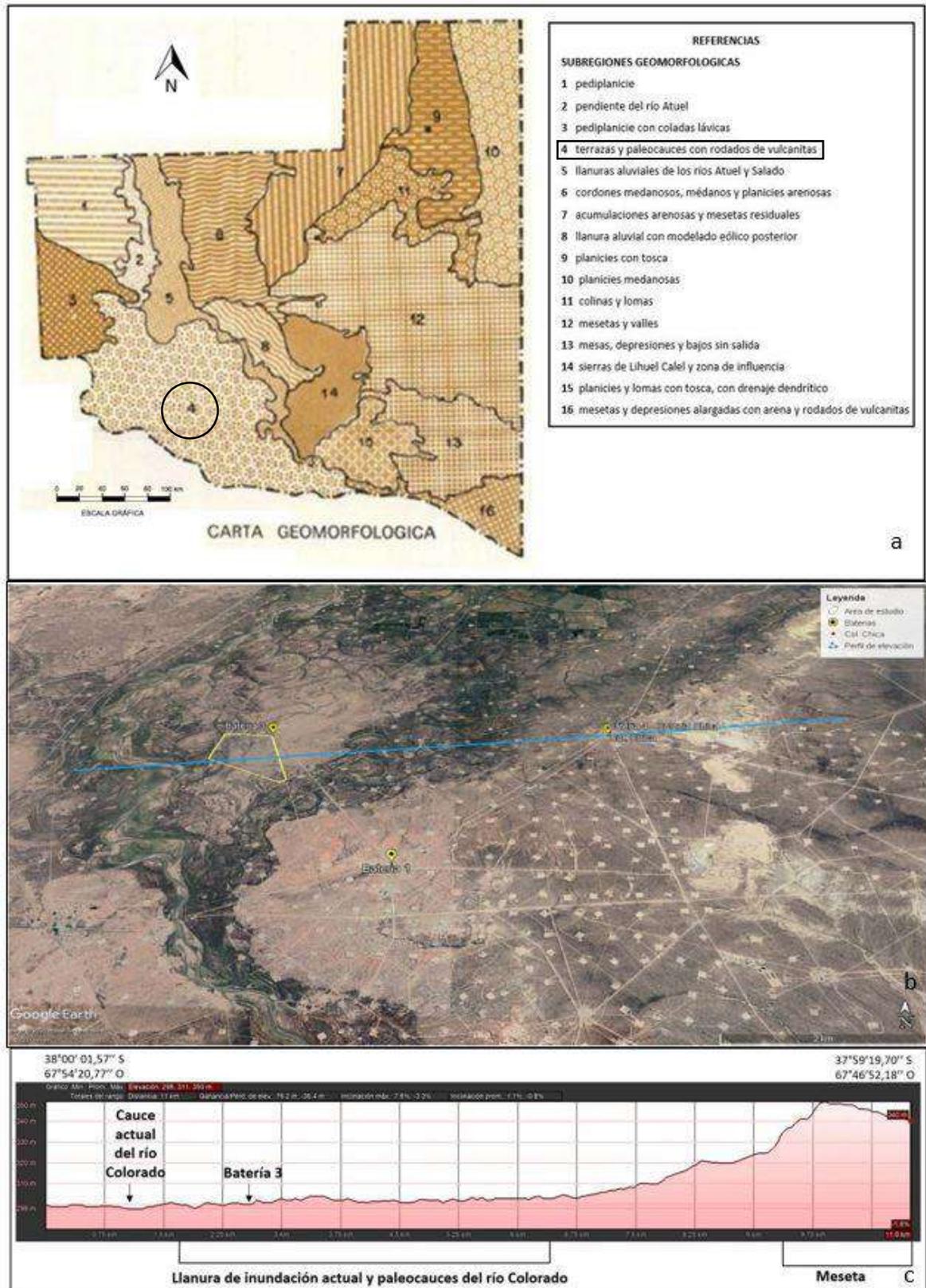


Figura 4.3: a) Mapa de subregiones geomorfológicas de la provincia de La Pampa (INTA, 1976), b) Imagen satelital del perfil de elevación y c) Perfil de elevación en el área del Yacimiento Medanito Sudeste en sentido SO-NE (Obtenido con Google Earth).

4.4 Hidrogeología

4.4.1 Agua Superficial

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Cuenca Hídrica del Río Colorado, donde escurre el río Colorado, curso que desde sus orígenes en la Cordillera de los Andes hasta su desembocadura en el Océano Atlántico presenta una extensión de 1.200 kilómetros, de los cuales 920 kilómetros corresponden al río Colorado propiamente dicho, originado en la confluencia de los ríos Grande y Barrancas. Sus aguas son compartidas por las provincias de Mendoza, Neuquén, La Pampa, Río Negro y Buenos Aires, y su cuenca abarca 48.000 km² (Figura 4.4).

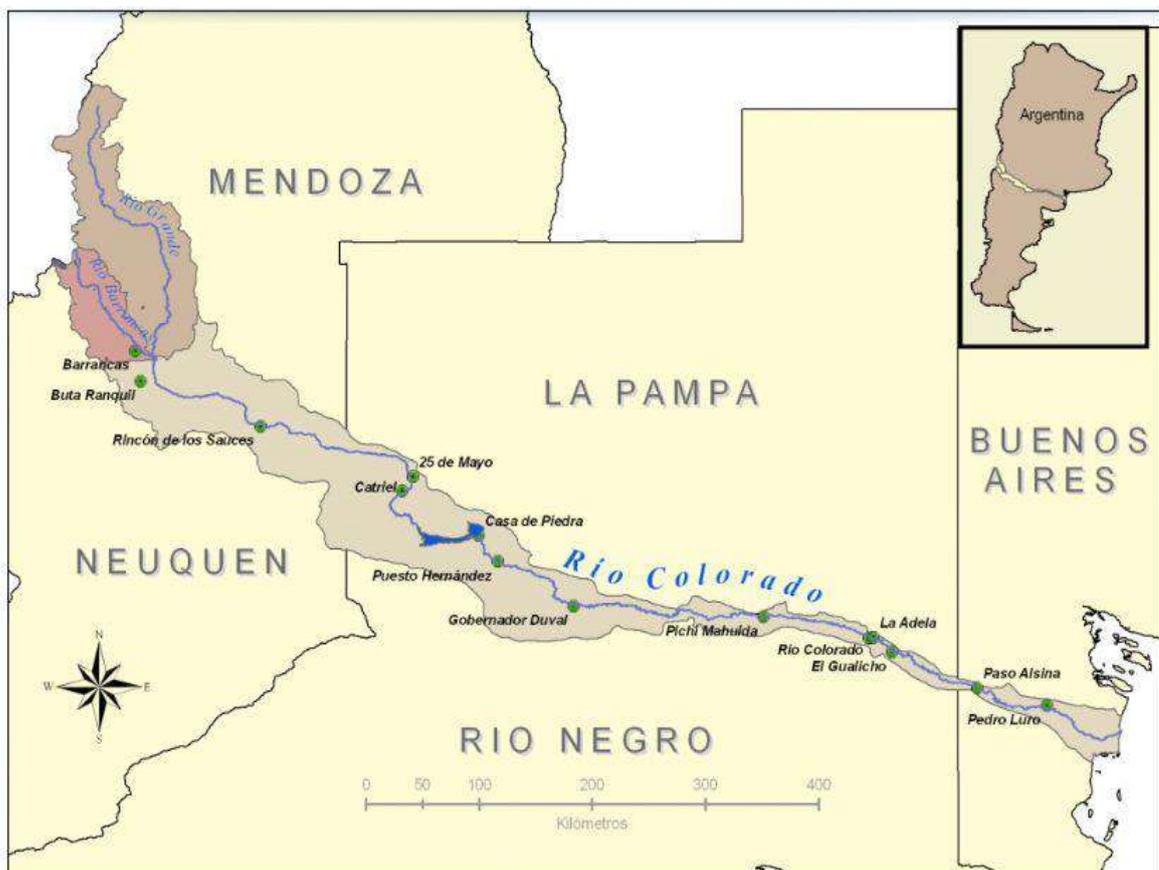


Figura 4.4: Cuenca de los ríos Grande, Barrancas y Colorado. (Fuente: <https://www.coirco.gov.ar/>)

Se trata de un río perenne, alóctono, y régimen pluvio-nival, con el pico de crecidas que corresponde al deshielo que se da entre noviembre y enero y el pluvial situado en junio-julio. Su módulo en la estación de aforos Buta Ranquil es de 147 m³/seg y el comportamiento respecto al régimen subterráneo es el de un río de tipo influente o perdedor.

El COIRCO (Consejo Interprovincial del Río Colorado) realiza periódicamente toma de muestras de agua en ocho estaciones de muestreo y de sedimentos de fondo en tres estaciones, todas ellas ubicadas en la cuenca del Río Colorado; para determinar distintos parámetros químicos, y con la finalidad de poner en evidencia posible contaminación del agua del río con hidrocarburos, metales y metaloides.

4.4.2 Agua Subterránea

El nivel freático está fuertemente influenciado por la geomorfología y las precipitaciones, oscilando generalmente entre los 10 y los 24 metros. La profundidad del agua disminuye hacia el sur, debido al carácter influente del Río Colorado (Umazano *et al.*, 2004). En tanto, el acuífero confinado se encuentra a una profundidad de 20 a 70 metros, con una tendencia a disminuir hacia el este (Deladino, 2000).

La salinidad del acuífero freático en la región es muy alta; el tenor salino es cercano a 7 g.l^{-1} y el tipo químico de aguas es clorurada/sódica. El acuífero confinado manifiesta salinidades superiores a 10 o 15 g.l^{-1} y un tipo químico de aguas netamente clorurada/sódica (Deladino, 2000).

De acuerdo al comportamiento hidrológico, el sistema se compone esencialmente desde el punto de vista físico de una zona no-saturada (estratos gravosos a areno-gravosos y arenas-eólicas), un acuífero freático (estratos de grava, grava arenosa, arena y ocasionalmente limo arenoso), un acuicludo (*Fm. Allen*) y un acuífero confinado (*Fm. Río Colorado*).

4.5 Suelo

Los suelos de la zona son suelos jóvenes, de escaso desarrollo pedogenético, con baja diferenciación de horizontes de suelo y escaso contenido de materia orgánica; desarrollados en ambientes, climas, vegetación y materiales originales diversos.

Los suelos representativos de la “Subregion de terrazas y paleocauces con rodados de vulcanitas” (Cano, 1980) se clasifican dentro del orden de los Entisoles (Figura 4.5). Las geoformas positivas de la región de análisis son terrazas e interfluvios de los antiguos cauces del río Colorado que forman planicies algo medanosas. Presentan suelos con escaso desarrollo genético, generados a partir de sedimentos eólicos de arenas gruesas que yacen sobre una costra calcárea localizada antes del metro. El suelo dominante es un Torripsamente típico. Mientras que las geoformas negativas son las superficies de los antiguos cauces del

río Colorado. En sus partes más bajas se disponen pequeñas lagunas salinas. Son arenas cuarzosas eólicas de reciente deposición que descansan sobre tosca que aparece dentro del metro o más abajo. Se clasifican como Torripsamentos ústicos.

El perfil de suelo es de tipo AC – C es típico de suelos recientes, con material parental escasamente alterado; cubren ambientes arenosos medanosos en su mayoría estabilizados naturalmente. Tienen texturas arenosas, drenaje excesivo, permeabilidad muy rápida, escasa retención de humedad. Poseen escasas estructuras, en su mayoría son macizos. En algunos sitios el perfil es homogéneo, predominando las texturas arenosas o limosas. Todas las capas presentan contenido calcáreo, variando su tenor de moderado a alto.

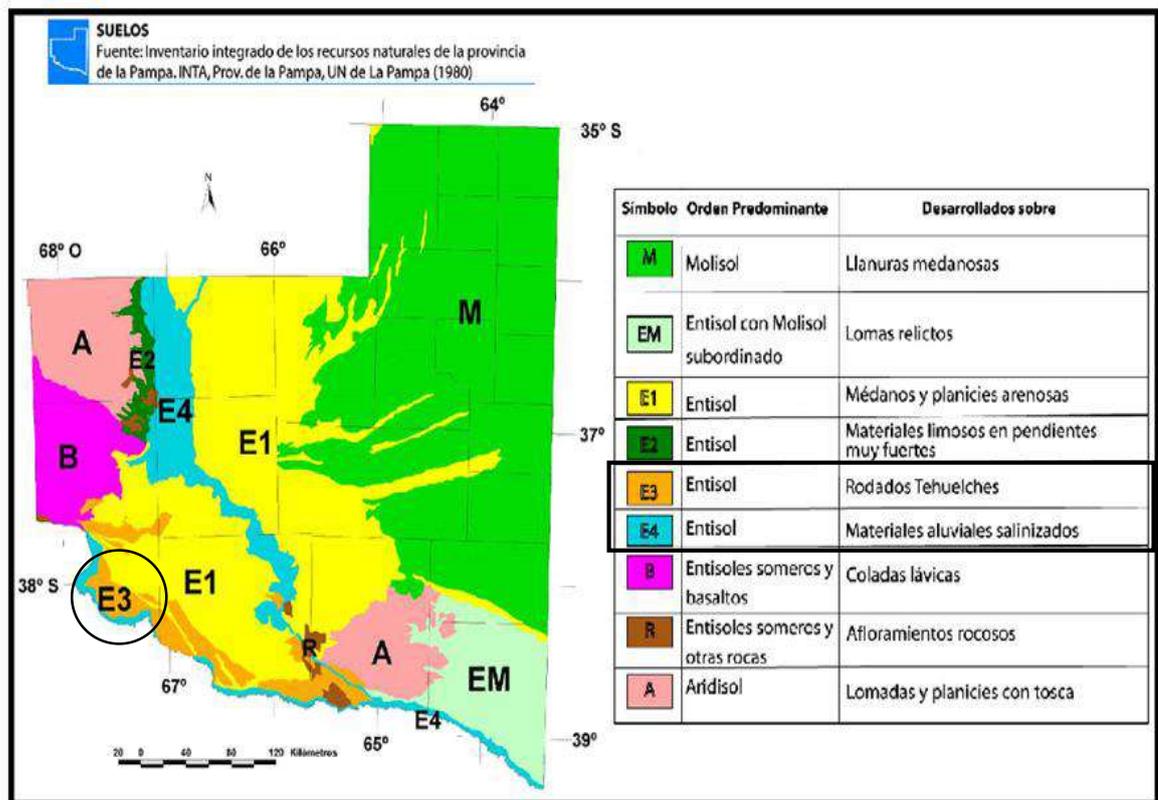


Figura 4.5: Mapa de suelos de la provincia de La Pampa. (Cano, 1980).

4.6 Clima

El clima es uno de los factores que más influye en el modelado del paisaje. Este interviene tanto en el desarrollo del suelo como también desencadenando procesos de erosión eólica e hídrica.

Los factores climáticos más importantes que actúan en esta subregión son: la temperatura, las precipitaciones y los vientos (Cano, 1980).

Tomando de referencia la Clasificación Climática de Köppen se caracteriza al área de estudio como **BW w k** (**B**: clima seco, la evaporación excede las precipitaciones; **W**: árido (desértico); **w**: precipitaciones estivales e inviernos secos, **k**: temperatura media anual inferior a 18°C). Constituye una zona desértica con un marcado déficit hídrico, lluvias estivales e inviernos secos.

La **temperatura media anual** es de 15,4 °C. La temperatura media de enero es la más elevada del año y alcanza los 24,2 °C (verano) y la de julio es la más baja y ronda los 6,7 °C (invierno). Las temperaturas máximas y mínimas medias anuales son de 22,7 °C y 7 °C, respectivamente. La **amplitud térmica media anual** es de 15,7 °C, siendo por lo tanto elevada. El período libre de heladas es un factor climático limitante fundamental, ya que oscila entre los 140 a 150 días; es uno de los más bajos de la provincia.

Las precipitaciones son bastantes escasas, concentrándose en un período que va de primavera a otoño. La lluvia media anual oscila entre 200 mm en el O y 300 mm en el E de la subregión, por ello la parte oriental se halla en mejores condiciones hídricas. La **humedad relativa media anual** es de 59% y la **media mensual máxima** de 70% alcanzada en el mes de julio y una media mensual mínima de 50% alcanzada en el mes de enero. La **evaporación media anual** es de 1573 mm, registrándose los valores más altos en el verano y los más bajos en el invierno con diferencias muy marcadas entre ambos períodos.

Los **vientos** predominantes durante el año son de las direcciones NE y SO. La velocidad media anual del viento a 2 m de altura es de 6,8 km/h siendo el período más ventoso el de primavera y comienzo de verano.

La **presión atmosférica media anual** es de 977,3 hPa, los mayores valores se registran en el mes de julio, coincidente con el momento de mayor estabilidad de la atmósfera. Mientras que los menores valores se dan en diciembre cuando ocurren tormentas violentas producto de la inestabilidad atmosférica.

4.7 Vegetación

El área de estudio se ubica en la Provincia fitogeográfica de Monte; unidad que se extiende por el oeste de la Argentina, desde el Valle de Santa María en Salta, por el centro de Catamarca y La Rioja, por el centro y este de San Juan y Mendoza, oeste de La Pampa, centro y este de Neuquén, centro y este de Río Negro, para terminar en el nordeste del Chubut (Cabrera, 1971) (Figura 4.6).

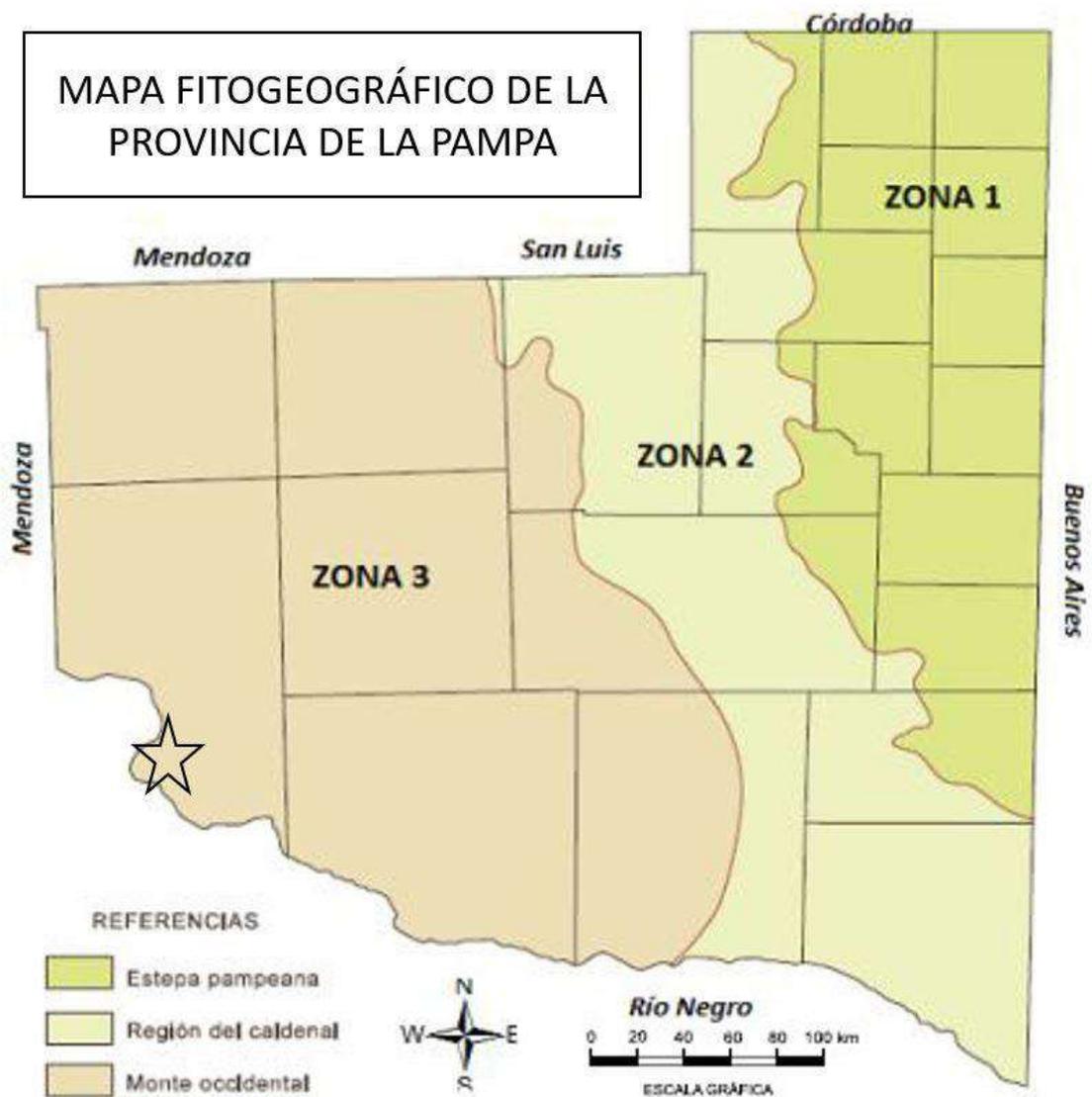


Figura 4.6 : Mapa fitogeográfico de La Pampa y ubicación del área de estudio (marcado con una estrella).

El tipo de vegetación predominante es la estepa arbustiva 1) xerófila (plantas adaptadas a la escasez de agua), 2) psamófila (adaptadas a un sustrato arenoso) y/o 3) halófila (plantas que viven en ambientes con gran cantidad de sales). La comunidad climax del Monte es el "jarillal" que se desarrolla en los bolsones y llanuras de suelo arenoso o pedregoso-arenoso. Se trata de una asociación de vegetación del género *Larrea* (*Larrea divaricata*, *Larrea cuneifolia* y *Larrea nitida*), así como la presencia de mata sebo (*Monttea aphylla*) y monte negro (*Bougainvillea spinosa*). Estas especies son arbustos de uno o dos metros de altura, o más bajos en las zonas muy azotadas por el viento. Además de las especies dominantes son frecuentes otros arbustos, como la pichana (*Cassia aphylla*), el tintitaco (*Prosopis torquata*), la brea (*Cercidium praecox*), la chilladora (*Chuquiraga erinacea*), el alpataco (*Prosopis alpataco*), etc. (Figura 4.6). Todas estas especies y otras se combinan en

las formas más diversas, formando ensambles que se substituyen o alternan a lo largo de la enorme área ocupada por el arbustal (Monte) dentro de la provincia de La Pampa.

La fisonomía de la vegetación en la cual se ubica el área de estudio, ocupa el arbustal bajo muy abierto perennifolio. Es una comunidad dominada por arbustos bajos, dispersos y de follaje siempre-verde, con matas y gramíneas bajas perennes y anuales. Es la vegetación típica de lugares muy secos y su composición florística varía en relación a las diferencias geomorfológicas del lugar especialmente el relieve, la litología y el drenaje (Cano, 1980). De esta manera, los arbustales tienen una composición florística y/o fisonómica cuando crecen en la *subregión de la pediplanicie con coladas lávicas* y otra composición si crecen en la *subregión de las terrazas y paleocauces con rodados de vulcanitas*.

En la *subregión de la pediplanicie con coladas lávicas*, especialmente en las áreas bajas, se desarrollan arbustales abiertos con matas halófilas y semihalófilas como *Atriplex undulata* (zampa crespá), *A. lampa* (zampa), *Cyclolepis genistoides* (palo azul). En la *subregión de las terrazas y paleocauces con rodados de vulcanitas* el arbustal de *Larrea cuneifolia* está acompañado por otros arbustos como *Monttea aphylla*, *Lycium chilense* (yaoyin), *Acantholippia seriphioides* (tomillo) y *Bougainvillea spinosa* (Cano, 1980).

Las actividades hidrocarburíferas causan un impacto directo sobre la flora, muchas veces promoviendo la proliferación de ciertas especies de vegetación por sobre otras, transformándose de esta manera en invasoras. En el área de estudio se observan importantes evidencias de fragmentación del paisaje por la propia actividad petrolífera, entre ellas las locaciones, que pese a que se ha reducido su superficie siguen generando un impacto significativo extrayendo las especies autóctonas, las picadas para realizar los estudios sísmicos, que pueden ser aprovechadas para el tendido de líneas de conducción, los caminos para el acceso a las locaciones y las instalaciones auxiliares como tanques, baterías, satélites, etc.



Figura 4.7: a) *Larrea divaricata*, b) *Larrea cuneifolia*, c) *Prosopis alpataco*, d) *Chuquiraga erinacea*, e) *Monttea aphylla*, f) *Bougainvillea spinosa*, g) *Atriplex Lampa* y h) *Cyclolepsis genistoides*

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS

5.1. Característica del suelo en el área de Batería 3

En el ambiente de planicie de inundación del río Colorado se realizó una calicata (**calicata 2LC-B3-M2**; 37°59'36" S y 67°52'44" O. 300 msnm.), a 272 m. de la Batería 3 y a aprox. 1 km. del río Colorado. El suelo observado se encuentra en su estado original y la vegetación desarrollada corresponde a una estepa arbustiva; sin embargo el ambiente que lo rodea está modificado debido al movimiento de suelos generado por el saneamiento de la línea de conducción (Figura 5.1 a).

El perfil de la calicata, de 47 cm de profundidad, exhibe dos horizontes. Desde la superficie hacia abajo encontramos:

- *Horizonte AC_k* (0-13cm; 13 cm de espesor): limo arenoso fiabe, textura franco arenosa, color grisáceo castaño (10YR 5/2) en húmedo, y con mayor contenido de nódulos de CO₃²⁻ que en el resto del perfil. Los resultados de laboratorio para la muestra (2LCB3-M2c, tabla 5.1) indican que contiene 0.41% de –MO- “materia orgánica” y 3.4% de CO₃²⁻. El contacto con el horizonte inferior es transicional.
- *Horizonte C* (13-27cm; 14 cm de espesor): Arena muy fina, suelta, color castaño claro-grisáceo, con presencia de nódulos de carbonatos en todo el horizonte. El contacto con el nivel inferior es neto.

En la parte inferior de la calicata, entre los 27 cm a los 35 cm hay un nivel de 8 cm de espesor, arenoso y con contenido orgánico, levemente más agregado y de color marrón grisáceo (10YR 3/2) en húmedo, textura arena franco gravosa. Presenta un contenido de CO₃²⁻ de 3.7 % y de –MO- es de 0.49% (2LCB3-M2b, tabla 5.1). Hacia abajo, entre los 35 cm a los 42 cm pasa con un contacto neto y bioturbado a una arena fina limosa, color marrón oscuro (10 YR 3/3), textura arena franco gravosa, levemente bioturbada, con un 5.5% CO₃²⁻ y un 0.61% de –MO- (2LCB3-M2a, tabla 5.1).

En un ambiente de antiguos meandros –abandonados- del río Colorado, rodeados de médanos de escasa altura y con desarrollo de vegetación invasora (*Tamarix* sp.) se realizaron observaciones. A 648 metros de la Batería 3 y 688 metros del río Colorado, se tomó una muestra de suelo (**2LC-B3-M3**; 37°59'41.32" S - 67°52'58.50" O; 301 msnm.), a 18 cm de profundidad, en un depósito de arena fina a muy fina, con textura arena franco-gravosa,

de color castaño muy oscuro-grisáceo (10YR 3/2), donde se observaron niveles interstratificados y discontinuos con materia orgánica (coloración oscura –castaño muy oscuro a negro-) y presencia de carbonato de calcio (Figura 5.1 b). Los análisis de laboratorio indican un 0.55% de –MO- y 3.9% de carbonato de calcio (2LCB3-M3, tabla 5.1).

Por último, **la calicata 2LC-B3-LP566** (37°59'54.42" S - 67°52'40.85" O, 300 msnm) se realizó a 865 metros del Río Colorado y a 669 metros de la Batería 3, ubica también en el ambiente de la planicie de inundación del Río Colorado. La superficie presenta vegetación de tipo arbustiva, con plantas dispersas y escasas, que dejan al descubierto porciones de suelo desnudo (Figura 5.1 c)

El perfil de la calicata consta de 55 centímetros de profundidad, con un pobre desarrollo pedogenético, es decir un suelo muy poco evolucionado. Se describe desde la superficie hacia abajo como:

Los primeros 11 cm de espesor del perfil (0-11cm) se encuentran altamente perturbados. Se observó que la zona es atravesada por una línea de escurrimiento, donde hay posiblemente encharcamiento y pisoteo de animales. El contacto con el horizonte inferior es neto.

– *Horizonte A_K* (11-23 cm): Horizonte orgánico de 12 cm de espesor, textura franco arenosa, algo compacto. Color castaño oscuro-grisáceo (10YR 4/2) en húmedo. Con un 6.9% de carbonatos y 0.4% de –MO- presentes en la muestra analizada (2LCB3-p566c, tabla 5.1). Sucede al horizonte inferior a través de un contacto neto.

– *Horizonte B_{TK}* (23-31cm): De 8 cm de espesor, de color castaño (7.5YR 4/2). Establecido en campo como un horizonte arcilloso con presencia de carbonatos. Textura arenosa franca, no presenta estructuras prismáticas. Los resultados de laboratorio revelan que hay un 8.1% de carbonatos y 0.57% de –MO- presentes en la muestra (2LCB3-p566, tabla 5.1). El contacto con el horizonte inferior es transicional.

Horizonte C_K (31-55 cm): De 24 cm de espesor, color castaño oscuro-grisáceo (10YR 4/2). Textura arenosa franca. Presenta una leve compactación. Y se determinó que tiene un 4.2% de carbonatos y también un 0.39% de –MO- en la muestra analizada (2LCB3-p566a, tabla 5.1).



Figura 5.1: a) Calicata 2LC-B3- M2, b) muestra 2LC-B3-M3, c) Calicata 2LC-B3-LP566 y d) muestra 2LC-B3-M.

En el área saneada a fines del año 2018, donde se ubican las líneas de conducción de los pozos LP-429, LP-1073, LP-1186, LP-462; allí se tomó la **muestra 2LC-B3-M1** ($37^{\circ}59'34''S - 67^{\circ}52'42''W$) a una distancia de 287 m en línea recta a la batería 3 y a aprox. 1 km. del Río Colorado, donde aún no se observa crecimiento de plantas. Con la finalidad de determinar el contenido de $-MO-$ presente en el suelo se muestreó a 10 centímetros de

profundidad; donde se encuentra un sedimento muy suelto de textura areno franco-gravosa carente de estructura pedológica, color castaño (10YR 5/3) y con un 0.36% de materia orgánica y 3.9% de carbonatos (2LCB3-M1, tabla 5.1) (Figura 5.1 d).

Tabla 5.1: Resultados de laboratorio para análisis granulométrico, análisis de contenido de carbonato de calcio y materia orgánica obtenidos para las muestras de suelo tomadas en el área de estudio

Muestras	Texturas				% CO ₃ ²⁻	% LOI 550°
	Gravas	Arenas	Limos	Limos fino + arcilla		
2LCB3-M1	12,33%	79,54%	3,40%	4,47%	3,9	0,36
2LCB3-M2a	14,12%	69,74%	9,47%	6,37%	5,5	0,61
2LCB3-M2b	5,09%	74,33%	9,41%	10,79%	3,7	0,49
2LCB3-M2c	0%	76,32%	13,72%	9,56%	3,4	0,41
2LCB3-M3	21,39%	66,01%	5,98%	6,19%	3,9	0,55
2LCB3-p566 a	1,77%	65,53%	14,00%	18,14%	6,9	0,4
2LCB3-p566 b	13,78%	76,91%	4,36%	4,61%	8,1	0,57
2LCB3-p566 c	3,91%	81,16%	5,78%	8,84%	4,2	0,39

5.2 Caracterización de saneamientos en Batería 3 (37° 59'33.41'' S – 67°52'33.43'')

a) Caracterización inicial y muestreo

Las tareas de saneamiento de pasivos próximos a la Batería 3 se iniciaron en el año 2013, relevando los sectores a intervenir, demarcándolos con estacas y cinta ecológica e identificando las especies vegetales a preservar (generalmente las de mayor porte y sin presencia de hidrocarburos en su base).

En el área A se tomaron 1127 puntos de muestreo a partir de una grilla de 12 metros por 6 metros, mientras que en el área C se tomaron 38 puntos de muestreo a partir de una grilla de 7 m por 3,5 metros (figura 5.2 a), a partir de los resultados de los análisis químicos se determinó que el contenido de HTP superaba el valor límite del 2 gr/100gr de peso suelo seco (20.000 ppm) establecido en el Decreto 298/05.

Previo a la extracción del pasivo, los primeros días de marzo del año 2013 se realizaron tareas de detección y cateo de interferencias en las áreas afectadas, particularmente por encontrarse muy próximas a la Batería 3 donde confluyen todas las líneas de conducción de los pozos y satélites vinculados a la misma, tarea necesaria para minimizar el riesgo de rotura y poder así iniciar el 18 de marzo con las tareas de excavación durante 46 días alternados finalizando el día 8 de octubre de 2013. La superficie saneada alcanzó los 32.900 m² y se removieron, sumando nuevas áreas impactadas detectadas durante las tareas de saneamiento, unos 6600 m³ de suelo con hidrocarburos (Figura 5.2).

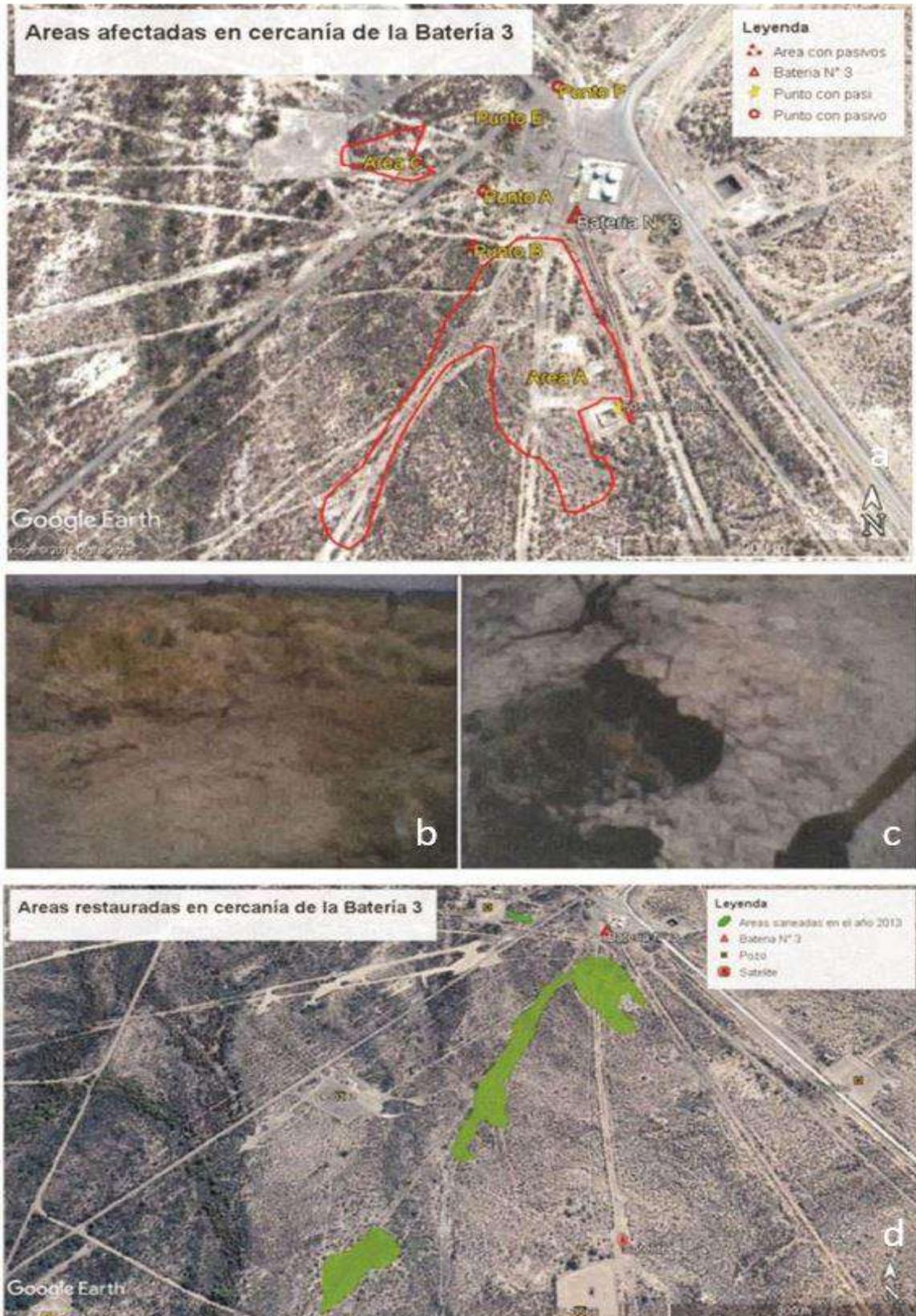


Figura 5.2: a) Imagen satelital con los sitios afectados en proximidades de la Batería 3 (año 2013). b) Costra superficial en el área A; c) cateo en el punto 24 de la misma área. Fuente. Informe Técnico de saneamiento

Batería 3. GTC Compañía de Servicios. d) Sitios saneados (en color verde) en el año 2013 en proximidades de la Batería 3.

El material retirado y sin vegetación, fue transportado al recinto de acopio ($38^{\circ} 01'03.04''$ S – $67^{\circ}48'34.27''$ O) para su procesamiento por biorremediación o tratamiento térmico de acuerdo a las características y tipo de hidrocarburos presentes.

El muestreo final se realizó el 11 de noviembre de 2013 en 63 puntos de muestreo, los resultados determinaron que el contenido de HTP en todas las muestras no supera el valor límite de 2 gr/100gr de peso suelo seco (20000 ppm) establecido en el Decreto 298/05.

b) Situación actual:

El área saneada se encuentra en la actualidad con un escaso desarrollo de vegetación. Esto se explica porque el área no fue nivelada y al haber quitado el horizonte superficial, se eliminó la vegetación junto con el banco de semillas existente. El sustrato presenta una fracción importante de gravas y arenas gruesas marcadamente compactadas. La falta de un escarificado dificulta el crecimiento de vegetación arbustiva, sólo observándose especies halófitas y escasas herbáceas (Figura 5.3).

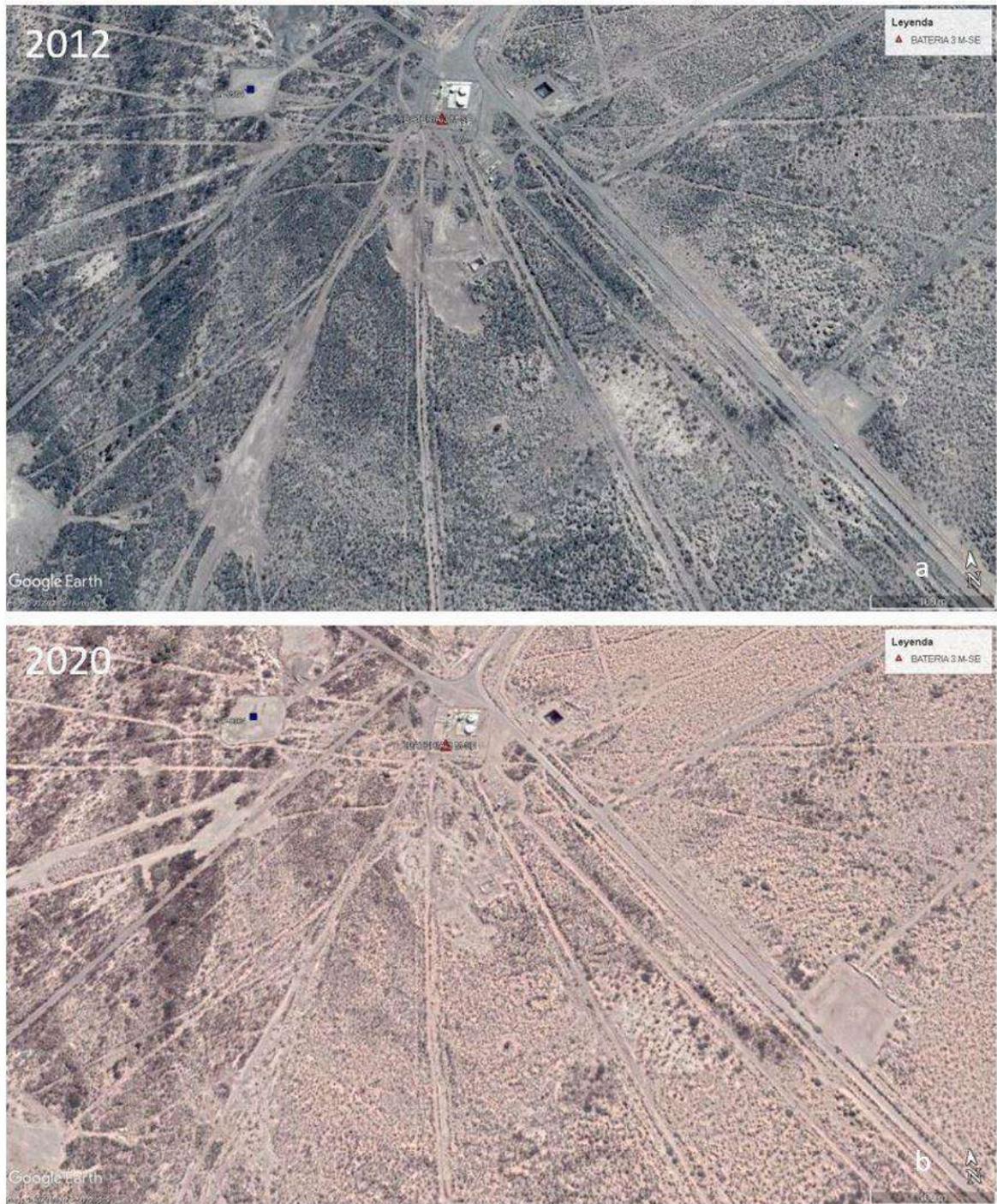


Figura 5.3: Imágenes satelitales de la Bateria 3: a) Se observa el área saneada en el año 2012 y b) en el año 2020 se puede ver un crecimiento incipiente de la vegetación.

5.3. Datos de pozos estudiados en el área de la Batería 3

5.3.1 Pozo LP-0274 (38° 0'9.22"S - 67°52'22.59"O)

El acceso al mismo se realiza desde Batería 3, recorriendo 1.49 km en dirección sur, por camino de ripio dentro del yacimiento. Se encuentra ubicado en un antiguo meandro abandonado del río Colorado y a 170 m al noroeste de un dren permanente que nace en la zona de riego de la Colonia 25 de Mayo y confluye en el río Colorado (Figura 5.4 a).

a) Caracterización del área saneada en el año 2013

La topografía del área general es plana con sectores llanos y marcada acumulación de sedimentos limosos, arcillosos y arenosos finos. La locación se ubica en un área deprimida con abundantes paleocauces. La vegetación nativa es escasa, con una cobertura vegetal promedio del 40%, de tipo xerófila.

El sector de influencia del pozo había sido saneado en el año 2013, diferenciándose tres áreas:

- a) **Área 1:** Comprendía una superficie de 9670 m² con un importante derrame en forma lineal sobre una picada de servicio que se extendía hacia una planicie de inundación. El derrame alcanzaba profundidades de hasta un metro y medio en un suelo de matriz arenosa muy permeable, revegetada por encima del derrame con especies herbáceas y arbustivas, predominantemente de *Atriplex lampa* (zampa) y del género *Prosopis* sp (alpataco), con una cobertura del 20%.
- b) **Área 2:** Superficie posiblemente utilizada como pileta de decantación de lodos, se efectuaron calicatas en forma manual y no se observó presencia de hidrocarburos.
- c) **Área 3:** Abarcaba una superficie de 120 m², correspondía a un derrame antiguo alrededor de la boca de pozo en la locación.
- d) **Punto A:** Derrame puntual en un área aproximada de 16 m² a 5 m² en la margen oeste de la locación del pozo. Predominan en el sector especies de *Atriplex lampa* (zampa) y *Psila spartioides* (pichana) que cubren aproximadamente el 60% de la superficie.
- e) **Punto B:** Derrame puntual, por la presencia de un oleoducto desafectado, en una superficie de 12 m², sin cobertura vegetal (Figura 5.4 b).

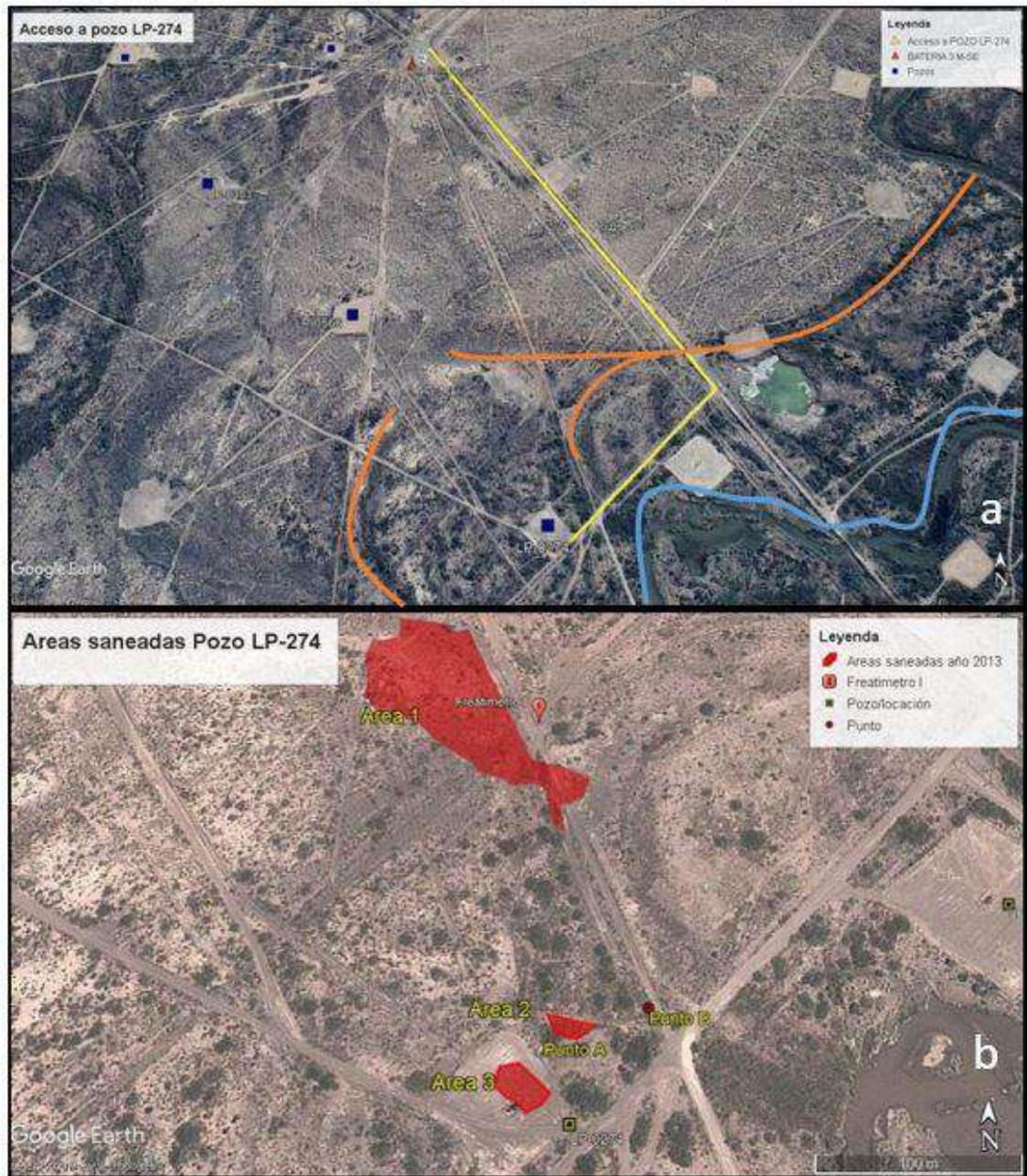


Figura 5.4: a) Acceso al pozo LP-274 (en amarillo), dren permanente que confluye en el Río Colorado (en azul) y meandros abandonados del río Colorado (en naranja). b) Áreas con pasivos saneados en el año 2013. Fuente: Informe Técnico de Saneamiento. GTC Compañía de servicios.

Las tareas se iniciaron en julio del mismo año, efectuando cateos previos para constatar la presencia de interferencias, particularmente en el área 1 por la presencia de numerosas líneas de conducción. Luego se realizó un grillado con estacas (Figura 5.5) para la extracción de nueve muestras iniciales en las que se efectuó la determinación analítica de HTP por la metodología EPA 9071 B, con un valor final inferior a 2 gr/100gr de peso suelo seco (20.000 ppm)-

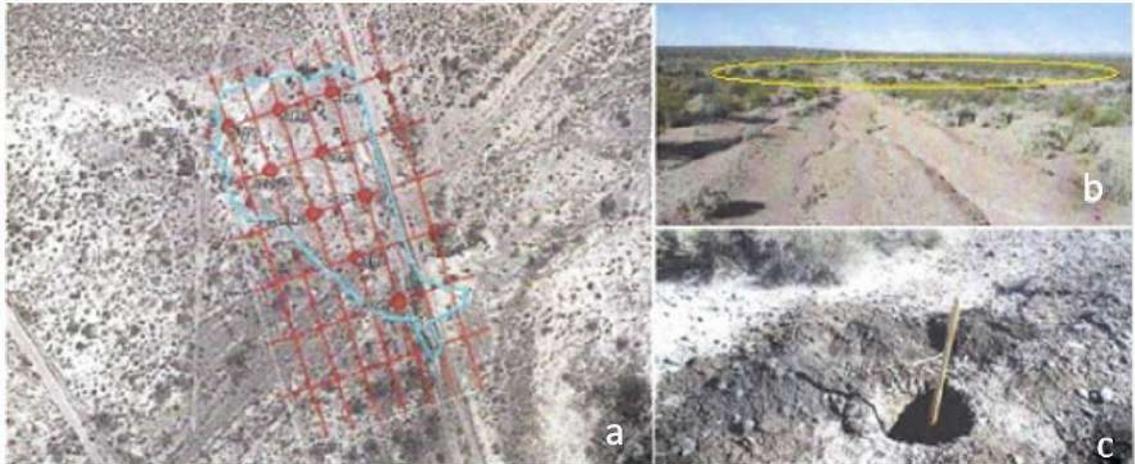


Figura 5.5: a) Área 1, grilla de muestreo inicial (en rojo) sobre el área afectada por pasivos (en celeste). b) Ubicación del pasivo a lo largo de la picada y en la planicie de inundación (indicada en color amarillo). c) cateo para la toma de muestras iniciales, año 2013.

A lo largo de 12 días de trabajo se saneó una superficie de 9818 m², se retiraron 1260 m³ de suelo con hidrocarburos a distintas profundidades, efectuando 63 viajes de camiones batea de 20 m³. El suelo retirado se envió al recinto de remediación; en la locación se nivelaron las zonas removidas y se acondicionaron los taludes perimetrales para desviar el escurrimiento superficial del agua y evitar la erosión del área saneada, asimismo se demarcaron zonas de peligro (zanjeo).

El muestreo final se efectuó el 5 de noviembre de 2013, para lo que se utilizó el mismo grillado que el muestreo inicial, se tomaron nueve muestras a 50 cm que resultaron con valores HTP inferiores al límite legal.

b) **Caracterización del área saneada en el año 2018**

El 19 de febrero de 2017 se realizó una nueva inspección del sitio LP-274 y se observó la presencia de costras y pavimento en un área afectada de 462 m² y un pasivo puntual (costras) hacia el noroeste fuera de locación (Figura 5.6).

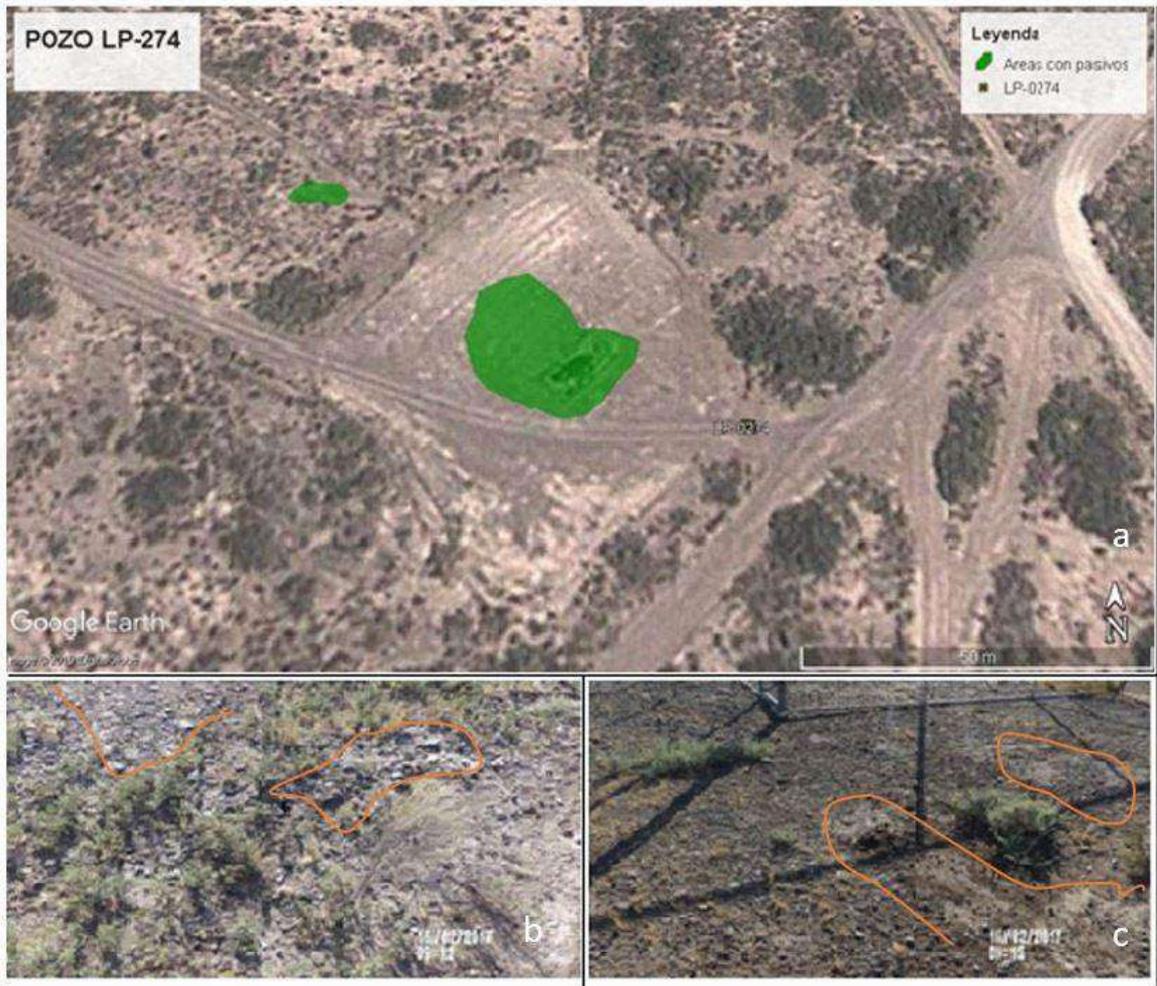


Figura 5.6: a) Áreas impactadas con hidrocarburos (Año 2017), b) vista de un pasivo puntual en superficie al norte de la locación (en naranja), y c) costras con hidrocarburos en locación (en naranja).

Este sector no había sido saneado en el año 2013, por lo que se recomendó efectuar previamente un muestreo para caracterizar el pasivo, pudiendo determinar que el contenido de HTP superaba el valor límite, entonces se dio comienzo a las tareas de saneamiento para retirar el residuo petrolero.

Se realizaron cateos manuales para determinar la ubicación de líneas de conducción en el área afectada a los efectos de evitar incidentes antes de iniciar los trabajos de remoción del suelo oleocontaminado con maquinaria pesada (retroexcavadora CAT 320 y pala cargadora). Las tareas se inician el 23 de marzo de 2018, saneando una superficie total de 2242 m² y el volumen total de pasivo retirado alcanzó los 200 m³. El material se acopió temporalmente en la locación hasta el muestreo final, realizado el 1 de abril de 2018. Se tomaron dos muestras (LP-274-1 y LP-274-2, tabla 5.2), la primera en el área saneada en

locación y la segunda, en el sector norte, fuera de la misma donde había montículos y costras con hidrocarburos (Figura 5.7).



Figura 5.7: a) Montículo de suelo contaminado en locación, b) área saneada en sector norte fuera de la locación, c) Muestra Sitio 274-1 en locación y d) muestra Sitio LP-274-2 fuera de la locación.

Los resultados del análisis en el informe final demuestran que los valores detectados de HTP, BTEX, PAHs y metales fueron inferiores a los valores límites establecidos en la normativa vigente. La autoridad de aplicación aprobó las tareas de saneamiento el 12 de mayo de 2018. El 22 de junio de 2018 finalizaron las tareas de nivelación, que consistieron en retirar los montículos de suelo acopiados para trasladarlos al recinto de remediación y paralelamente ir nivelando con suelos tratados.

La locación se hallaba mal nivelada y con las canaletas perimetrales dañadas debido a la circulación en el camino que la atraviesa, y que permite el acceso al pozo LP-566.

Para la nivelación las áreas intervenidas se utilizaron 418 m³ de suelo (Figura 5.8).



Figura 5.8: Vista de la locación LP-274 en Julio de 2018 luego de las tareas de saneamiento y nivelación a) Cartel del pozo LP-274, b) vista general de la locación desde al camino de acceso, c) detalle de la berma perimetral y d) área saneada en el borde noreste de la locación.

c) Situación actual de las áreas saneadas

Las imágenes satelitales obtenidas en distintos años (Figura 5.9) muestran como el área afectada con hidrocarburos, al norte del pozo LP-0274, tuvo muy poca evolución luego de ser saneada y presenta escaso desarrollo de la vegetación autóctona. En la imagen del año 2012, se puede observar el área afectada con hidrocarburos. En el año 2013 se realizaron las tareas de saneamiento y la superficie estaba desprovista de vegetación. Tres años después de efectuado el saneamiento es notorio, en la imagen, que el crecimiento de la vegetación fue prácticamente nulo. Por su parte, en marzo de 2019, se aprecia un crecimiento de vegetación halófila de pequeño porte y con una densidad no mayor al 20%, lo que pone de manifiesto la necesidad de proceder a implementar un programa de restauración ecológica con la implantación de vegetación autóctona (Figura 5.9).



Figura 5.9: a) área afectada con hidrocarburos, b) área saneada (en verde), c) y d) evolución del área saneada a lo largo de los años. Imágenes satelitales obtenidas con Google Earth.

5.3.2 Pozo LP-0383 (37°59'45.12" S - 67°52'50.27" O)

El acceso al mismo se realiza desde Batería 3, recorriendo 540 m en dirección suroeste, por camino de ripio dentro del yacimiento (Figura 5.10 a). La distancia desde el sitio en estudio al cauce actual del río Colorado es de 720 m, por lo que su sensibilidad ambiental es alta.

a) Caracterización inicial

El área de estudio se encuentra ubicada sobre las terrazas del río Colorado. El tipo de paisaje dominante es levemente ondulado con abundante vegetación de tipo arbustiva.

Durante la inspección efectuada el 11 de abril de 2017 al pozo abandonado, se observaron pasivos en la locación y fuera de ella, abarcando una superficie aproximada de 1300 m² (Figura 5.10 b).

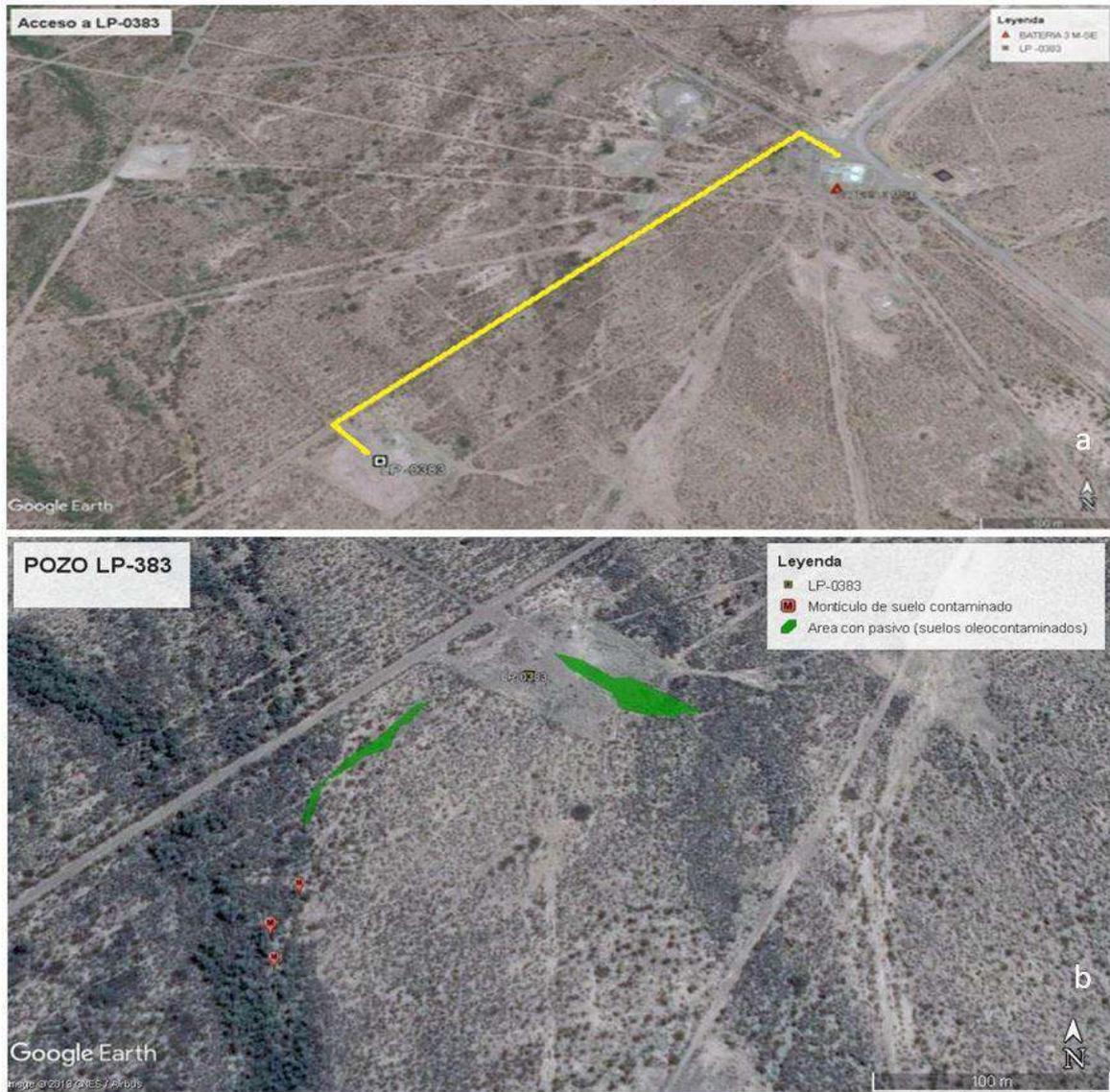


Figura 5.10: a) Vista del pozo LP-0383 y ubicación aproximada desde la Batería 3 (en amarillo). b) Áreas con suelos oleocontaminados en el pozo LP-0383 y sus inmediaciones.

Hacia el sudoeste se observaba un derrame en forma de montículos y costras continuas cubierto por suelos arenosos y vegetación donde predominan *Larrea cuneifolia* (Jarilla macho), *Larrea divaricata* (Jarilla hembra) seguida de arbustos de porte mediano como *Prosopis alpataco* (alpataco), *Chuquiraga erinacea* (chilladora), *Monttea aphylla* (ala de loro), *Bougainvillea spinosa* (monte negro, etc.) y matorrales edáficos como jumeales (*Suaeda divaricata*) y zampales (*Atriplex* spp) y plantas exóticas como *Tamarix chinensis* (Tamariscos). El área abarcaba una superficie de 867 m² y para minimizar el impacto sobre la vegetación se sugirió muestrearlos y de ser necesario extraerlos en forma manual (Figura 5.11).



Figura 5.11: a) derrame en forma de montículos, b) montículos de suelos contaminados, c) costra de hidrocarburos y d) restos de cañerías.

b) Saneamiento

La etapa de saneamiento consistió en la extracción del pasivo en locación y fuera de ella. Antes de iniciar los trabajos de remoción con maquinaria pesada, se realizaron cateos manuales para determinar la ubicación de interferencias (cañerías) en el área afectada a los efectos de evitar incidentes.

Los trabajos se iniciaron el día 5 de agosto de 2017, la superficie total intervenida fue de 1286 m² y el volumen total de pasivo retirado alcanzó los 400 m³ (Figura 5.12 e).

El suelo retirado se envió al recinto de remediación, se nivelaron las zonas removidas y se acondicionaron los taludes perimetrales de la locación para evitar cortes rectos de elevada profundidad sobre los márgenes formados, asimismo, las zonas de peligro abiertas, quedaron demarcadas hasta el relleno y nivelación final.

Todas las tareas de saneamiento se finalizaron el día 9 de agosto de 2017.

c) Muestreo

El día 24 de agosto del 2017 se extrajeron dos muestras de suelo en el área saneada, una en proximidad de la boca de pozo y la otra en el borde este de la locación (LP-383-1 y LP-383-2, respectivamente; tabla 5.2, Figura 5.12 c y d).

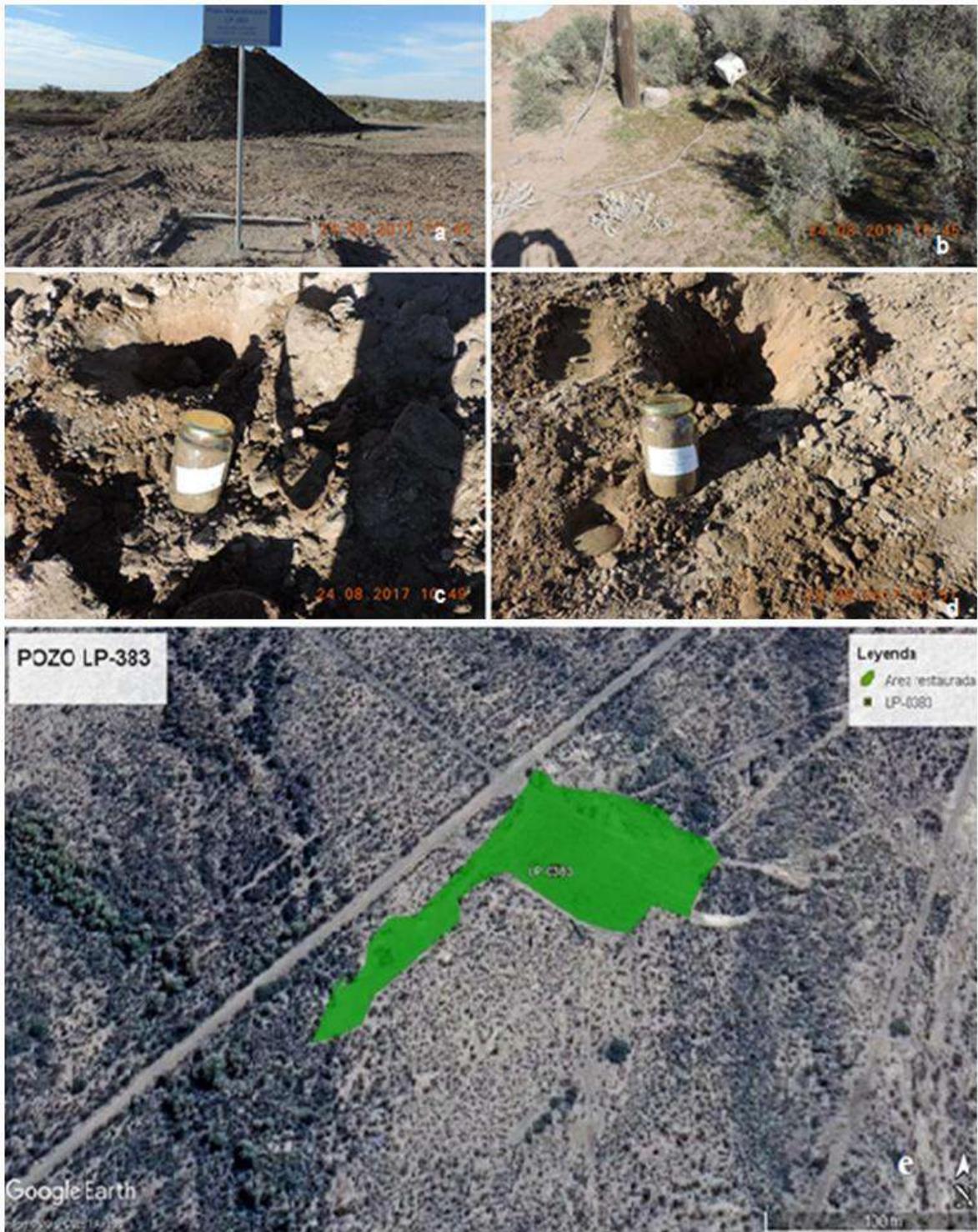


Figura 5.12: a) Montículo de suelo oleocontaminado, b) tendido eléctrico en desuso, c) Muestra Sitio LP-383-1 en locación, d) Muestra Sitio LP-383-2 fuera de la locación y e) áreas restauradas en la locación del pozo LP-0383.

Luego de presentado el informe final con los resultados de los análisis físico-químicos se pudo constatar que el suelo no presenta HTP, BTEX, PAHs y metales pesados,

por lo que la autoridad de aplicación aprobó las tareas de saneamiento el 19 de abril de 2018. A partir de ese momento, se podían iniciar las tareas de nivelación.

d) Nivelación

Para nivelar las áreas saneadas en locación y fuera de la misma se utilizaron 884 m³ de suelos biorremediados, finalizando las tareas el 9 de agosto de 2018.

En la inspección efectuada el 13 octubre de 2018 se pudo constatar en la locación el suelo nivelado y escarificado con restos de cañerías sin retirar en los bordes de la misma (Figura 5.13 a y b). El 6 noviembre de 2018 se comprobó que se había retirado la cañería y un incipiente crecimiento de plantas como jarillas y zampa en el área escarificada (Fig. 5.13 c y d).



Figura 5.13: a) Borde locación con chatarra, b) área saneada nivelada fuera locación, c) locación escarificada y d) crecimiento de vegetación en área escarificada

e) Situación actual

En la actualidad se observa que el área que fue saneada y nivelada hace más de un año, y presenta un crecimiento muy incipiente de vegetación. Las imágenes satelitales muestran el antes y el después del saneamiento del sitio LP-383, donde se delimita con una línea de color verde continua el área afectada con hidrocarburos al 20 de enero de 2012, y en la siguiente imagen del 23 de julio de 2019 el área ya saneada (Figura 5.14).



Figura 5.14: a) Áreas afectadas con hidrocarburo al 13 de enero de 2012 b) áreas saneadas y niveladas al 23 de julio de 2019. Imágenes satelitales obtenidas de Google Earth.

5.3.3 Pozo LP-564 (37°59'32.22" S - 67°52'41.98" O)

El acceso se realiza desde Batería 3, recorriendo 130 metros en sentido sureste-noroeste y 115 m en sentido noreste-suroeste (Figura 5.15). La distancia del sitio al río Colorado es de 1150 metros, por lo que su sensibilidad ambiental en media.



Figura 5.15: Acceso al pozo LP-564 desde Batería 3

a) Caracterización inicial

El área se halla muy fragmentada por caminos, líneas de conducción, una antigua cantera de rodados y áreas en recuperación. Una vez analizadas las condiciones físicas del lugar, para la realización de los trabajos de saneamiento, se delimitaron las áreas afectadas con hidrocarburos.

En la locación, la superficie con pasivos alcanzaba los 540 m², se observa al este la cartelería de área en recuperación. En sus inmediaciones y en una superficie de aproximadamente 6400 m², se presenta un antiguo derrame sobre líneas de conducción de los pozos LP-429, LP-1073, LP-1086 y LP-462, ubicados al oeste del área de estudio (Figura 5.16).

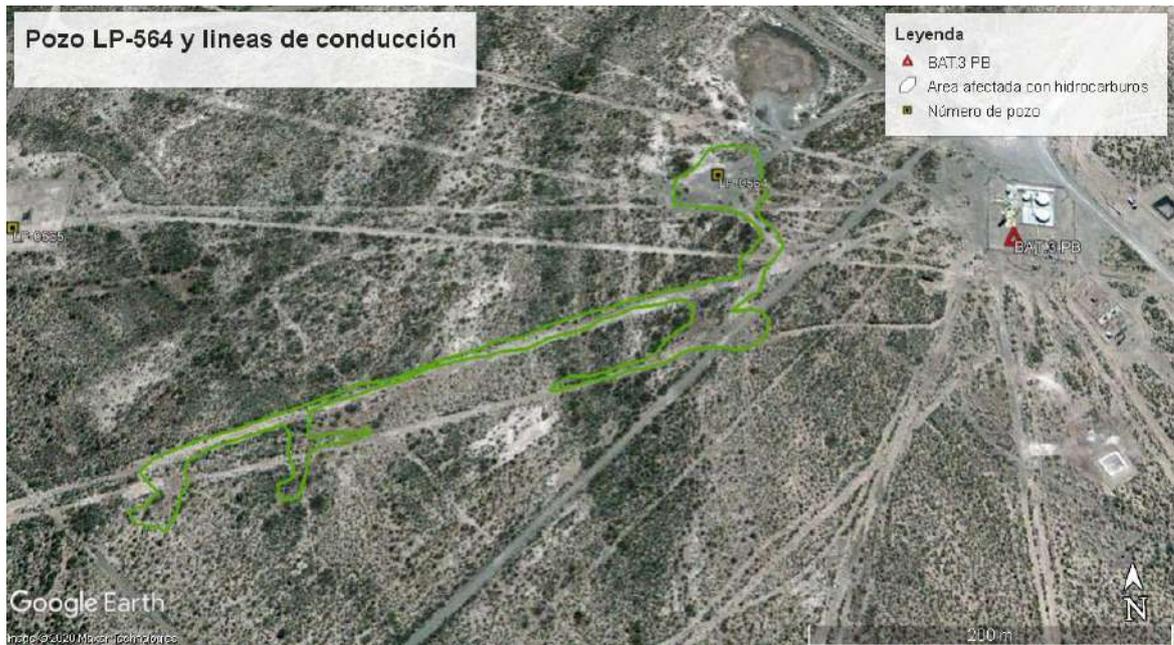


Figura 5.16: Área con pasivos en el sitio LP-564 y líneas de conducción pozos LP-429, LP-1073, LP-1086 y LP-462 (Fecha 28 de febrero de 2011).

b) Saneamiento

Los trabajos de saneamiento se iniciaron el día 9 de agosto de 2017, la superficie total intervenida en la locación fue de 931 m² y el volumen total de pasivo retirado de 300 m³ (Figura 5.17).

Posterior a los trabajos con maquinaria pesada se realizó un rastrillaje manual del área remediada a los efectos de retirar costras de hidrocarburos que pudieran haber quedado en el suelo. Estas tareas finalizaron el día 10 de agosto de 2017.

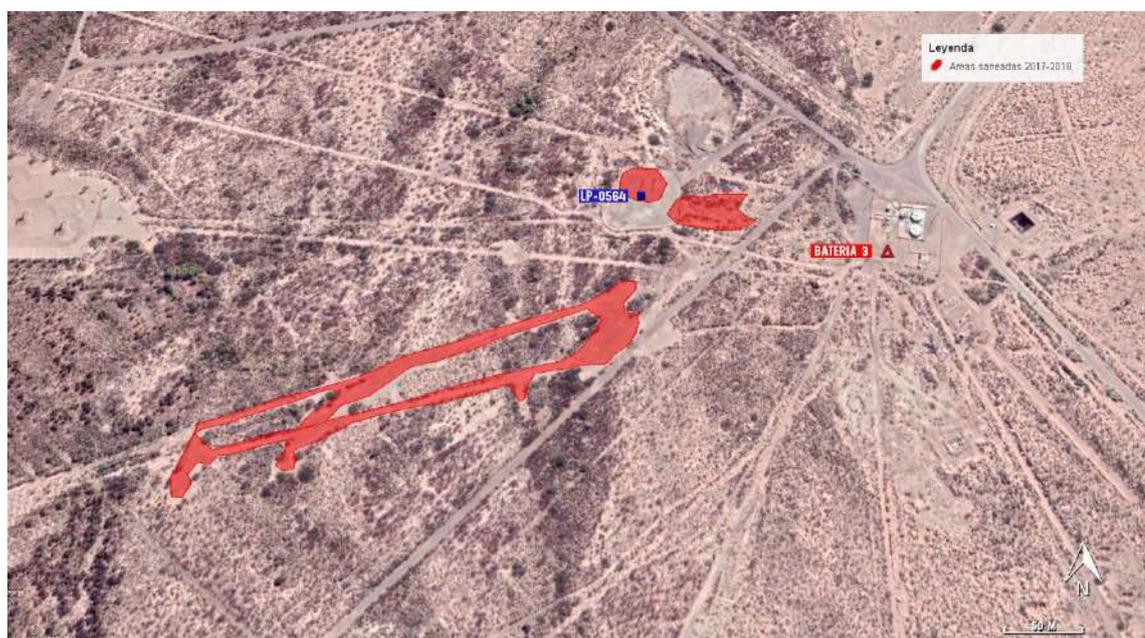


Figura 5.17: Áreas saneadas en el sitio LP-564 y líneas de conducción pozos LP-429, LP-1073, LP-1186 y LP-462 (Fecha 6 de octubre de 2019).

Los trabajos posteriores consistieron en el retiro de las costras de hidrocarburos que se hallaban en las líneas de conducción de los pozos LP-429, LP-1073, LP-1186 y LP-462, se iniciaron el 14 de diciembre de 2016 y finalizaron el día 25 de enero de 2017, en un área de 6241 m² y un volumen de suelo extraído de 1500 m³.

Se dejaron los acopios de suelo contaminado en las áreas saneadas hasta su muestreo.

c) Muestreo

En el área saneada el día 24 de agosto de 2017 se efectuó la toma de una muestra en la locación (LP-564-1; tabla 5.2; Figura 5.18).



Figura 5.18: a) Cartel de la locación, b) depresión en el sector norte de la locación, c) montículo de suelo contaminado y d) muestra sitio-LP-564-1 en locación.

En las líneas de conducción de los pozos LP-429-1073-1186-462 a Batería 3, el 8 de noviembre de 2017 se tomaron tres muestras de suelo (LP-429-1073-1186-462-B3-1, LP-429-1073-1186-462-B3-2, LP-429-1073-1186-462-B3-3; tabla 5.2; Figura 5.19).

De los resultados de los análisis químicos efectuados se constató que los valores de HTP, BTEX, HAPs y metales son inferiores a los valores guías establecidos en la normativa vigente. Las tareas de muestreo fueron supervisadas por la autoridad de aplicación.

A partir de ese momento, la empresa estaba en condiciones de proceder a la nivelación del área saneada.



Figura 5.19: a) Montículos en el borde de área saneada, b) toma de muestras, c) frascos con muestras de suelo sitio LP-429-1073-1186-462-B3-1, LP-429-1073-1186-462-B3-2 y d) muestra sitios LP-429-1073-1186-462-B3-3, ambas en líneas de conducción.

d) Nivelación

Las tareas de nivelación de las áreas saneadas en la locación del pozo LP-564 finalizaron el 10 de enero de 2018 y para ello se utilizaron 484 m³ de suelo tratado, un incremento de 184 m³ respecto al volumen de suelo oleocontaminado retirado. Este incremento se debe a que se elevó la locación y se reconstruyeron las bermas perimetrales.

En octubre de 2018 se efectuó el retiro de los montículos de suelos oleocontaminados acopiados en las líneas de conducción saneadas y posteriormente se procedió a nivelar usando un volumen de 2860 m³, 1360 m³ más que el volumen de suelo contaminado retirado

(Fig. 5.20 a, b, c). En la inspección efectuada el 11 de octubre de 2018 se pudo observar que había partes de cañería en desuso sin retirar (Figura 5.20 d).



Figura 5.20: a, b y c) Áreas saneadas y niveladas en las líneas de conducción de los pozos LP-429, LP-1073, LP-1186 y LP-462 y d) restos de cañería sin retirar.

e) **Situación actual**

En la imagen satelital del 6 de octubre de 2019 (Figura 5.17), un año después de la nivelación de los sitios saneados, se puede observar que es prácticamente nulo el crecimiento de la vegetación.

Según la muestra de suelo extraída en el área saneada para determinar el porcentaje de materia orgánica (muestra 2LC-B3-M1) se pudo determinar un escaso contenido de materia orgánica en este suelo tratado usado para nivelar, esto impide el crecimiento de la vegetación y lo poco que crece, lo hace muy lento.

5.3.4 Pozo LP-565 (37°59'32.58"S - 67°53'1.11"O)

El acceso al mismo se realiza desde Batería 3, recorriendo 1 km en dirección noroeste y luego en sentido suroeste, todo por camino de ripio dentro del yacimiento. Se ubica 0,56 km al este del río Colorado, por lo cual su sensibilidad ambiental es alta (Figura 5.21).



Figura 5.21: Acceso al pozo LP-565 desde la Batería 3

a) Caracterización inicial

El área de estudio se encuentra ubicada sobre un antiguo meandro abandonado del río Colorado, está fragmentada por la presencia de las picadas de las líneas de conducción, de allí que la cobertura vegetal inicial no superaba el 20%. En cambio, en el sector Sur la cobertura vegetal variaba de un 40 a un 60 %. Predominan *Larrea cuneifolia* (Jarilla macho), *Larrea divaricata* (Jarilla hembra), *Prosopis alpataco* (alpataco), *Chuquiraga erinacea* (chilladora), *Monttea aphylla* (ala de loro), etc. y abundantes macizos de *Tamarix chinensis* (Tamariscos). En el sector Norte, la cobertura vegetal disminuyó por los trabajos de saneamiento, ya que requirió extraer la vegetación.

Durante una inspección efectuada al sitio el día 15 de marzo de 2017 se pudo observar la presencia de abundantes pasivos en locación; en el lateral Norte una superficie impactada (medida con GPS) que abarcaba 1079 m² y en otro sector al Este una superficie de 790 m² con abundantes costras cubiertas por vegetación (Figuras 5.22).

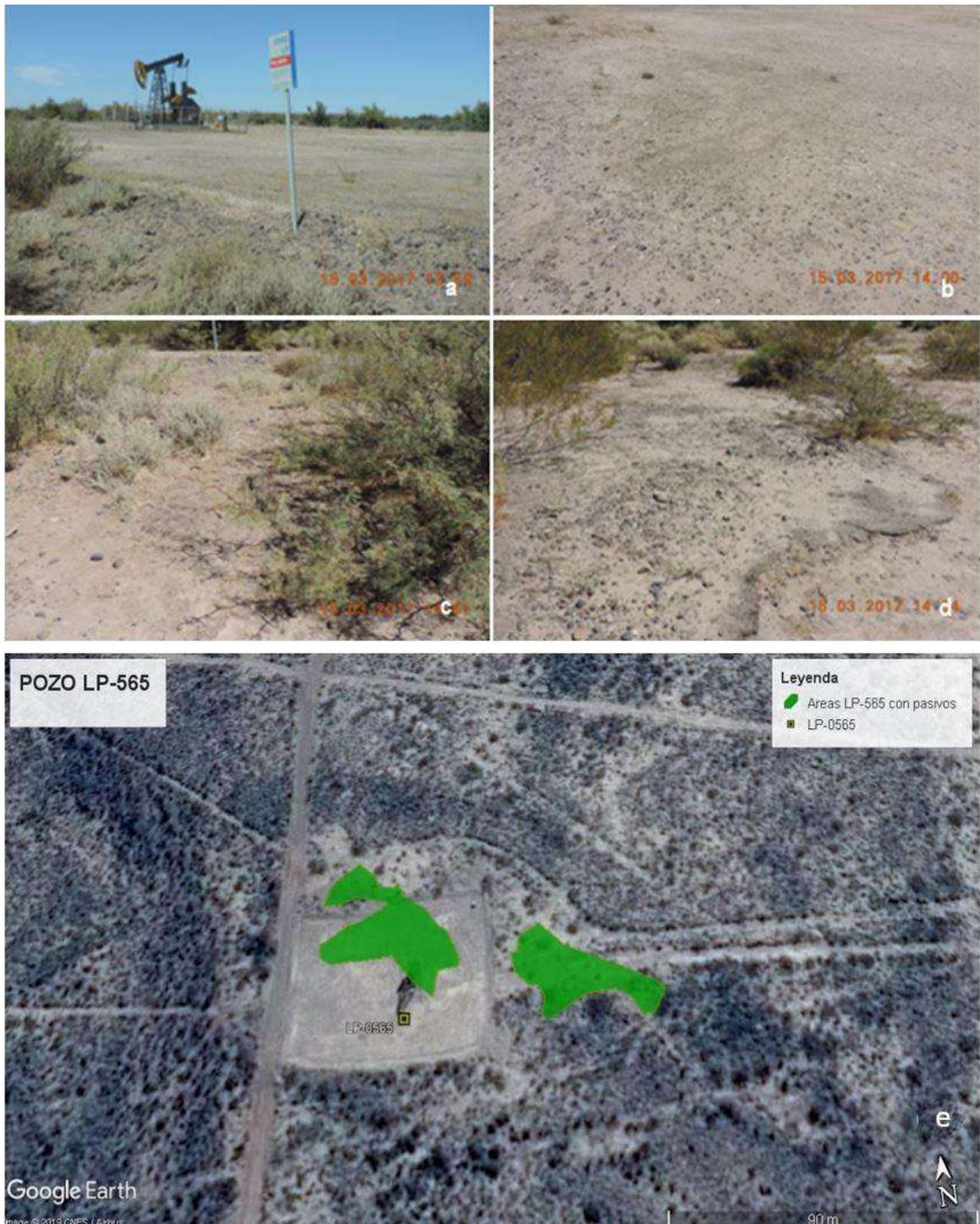


Figura 5.22: a) Vista general de la locación, b) pasivo en locación, c) pasivo en el borde Norte y d) pasivo en el sector Este y e) Áreas afectadas con hidrocarburos en el pozo LP-565.

b) Saneamiento

El saneamiento se efectuó durante los días 14 y 15 de agosto de 2017, se saneó un área de 5065 m² y un volumen de 3000 m³ (Figuras 5.23).

La remediación consistió en la extracción del pasivo que se encontraba en la locación, el mismo se presentaba como costras superficiales y en algunos sectores se extendían en profundidad. Una vez retirado todo el pasivo ambiental, este fue cargado y trasladado al Recinto de Biorremediación, donde será tratado mediante biorremediación asistida.



Figura 5.23: a) Identificación de la locación, b) área saneada en el sector norte, c) depresión en el sector Norte y d) área saneada en el sector Este y e) Área saneada y restaurada pozo LP-565.

c) Muestreo

El día 13 de septiembre de 2017 se efectuó la toma de tres muestras, una en locación cerca de la boca de pozo, otra en el centro de la depresión al Norte y la última en el sector Este (LP-565-1, LP-565-2 y LP-565-3, Tabla 5.1). Las muestras se enviaron a un laboratorio certificado (Figura 5.24).

Luego de que la empresa encargada del saneamiento presentara el informe final con los protocolos de análisis físicos-químicos que demostraban que el suelo no presentaba HTP, BTEX, PAHs y metales pesados, la autoridad de aplicación el día 6 de febrero de 2018 aprobó el saneamiento.

A partir de ese momento la empresa estaba en condiciones de proceder a la nivelación del área saneada.



Figura 5.24: a) Toma de muestra en el sector Norte y b) detalle de un franco con muestra de suelo Sitio LP-565-1 en locación.

d) Nivelación

Las tareas de nivelación finalizaron el 28 de marzo de 2018, para lo que se utilizaron 3018 m³ de suelos remediados, los bordes de la locación se escarificaron y se niveló la locación reconstruyendo las bermas perimetrales (Figura 5.25).



Figura 5.25: a) y b) Áreas niveladas en el pozo LP-565.

e) **Situación actual**

A través de las imágenes satelitales se puede observar que en el año 2012 el área ya se encontraba afectada con hidrocarburos. Luego de todas las tareas de saneamiento, remediación y nivelación finalizadas en el año 2018, hoy en día, no hay crecimiento de la vegetación siendo que pasaron dos años (Figura 5.26).



Figura 26: Pozo LP-565 a) antes de ser saneado (áreas con pasivos en líneas azules), b) después de ser saneado y remediado.

5.3.5 Pozo LP-566 (37°59'51.01"S - 67°52'35.3"O)

El acceso al mismo se realiza desde Batería 3 recorriendo aproximadamente 1 km en dirección hacia el suroeste y luego en dirección sureste hasta el Pozo LP-566 todo por camino de ripio dentro del yacimiento (Figura 5.27). La distancia desde el sitio en estudio al cauce actual del río es de 1000 metros hacia el oeste, por lo cual su sensibilidad ambiental es media.

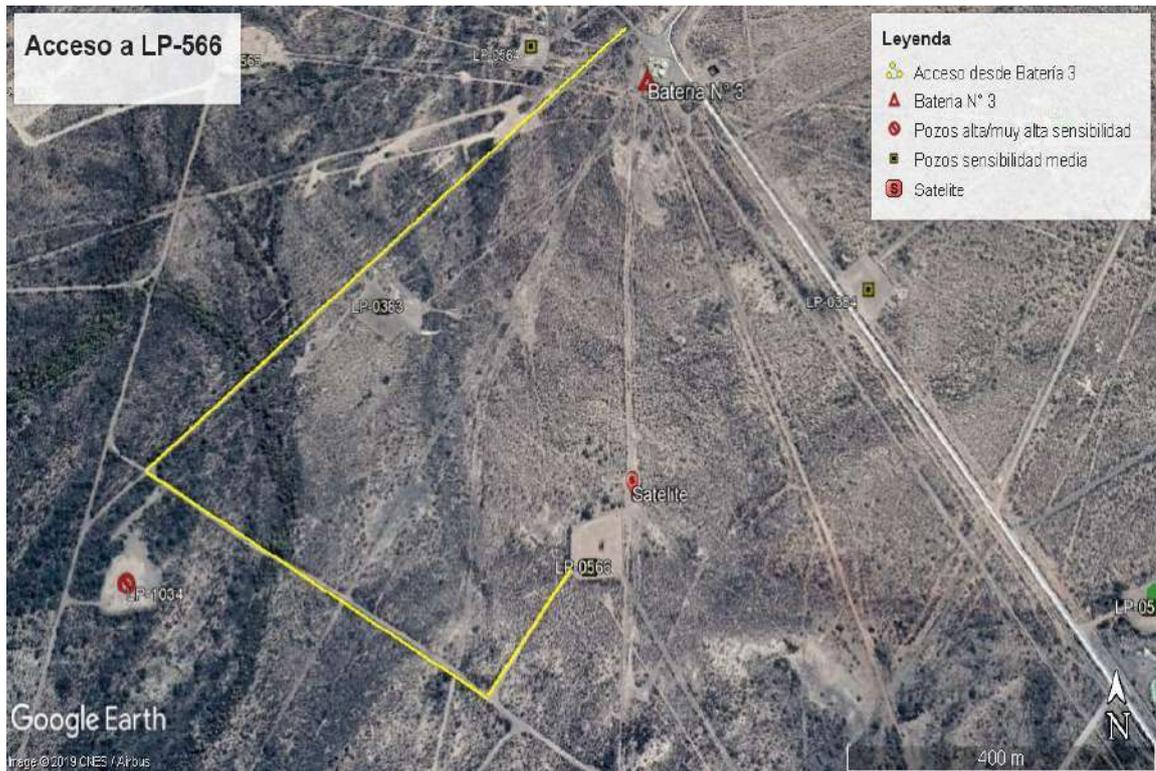


Figura 5.27: Mapa del pozo LP-0566 y ubicación desde la Batería 3.

a) Caracterización inicial

En líneas generales, el área de estudio se encuentra ubicada sobre la planicie o llanura de inundación del valle fluvial del río Colorado, y la vegetación está representada por diferentes variantes de estepa arbustiva. Los impactos antrópicos lo constituyen caminos, picadas, tanques, instalaciones, locaciones y sus respectivos equipos de bombeo y líneas de conducción.

Una vez analizadas las condiciones físicas del lugar, para la realización de los trabajos de saneamiento era necesario delimitar las áreas afectadas con hidrocarburos (Figura 5.28).



Figura 5.28: Áreas afectadas con pasivos en inmediaciones del pozo LP-566.

Las áreas impactadas con hidrocarburos secos se pueden dividir en tres sectores:

- a) **Área 1:** El área con pasivos se ubicaba a lo largo de la línea de conducción que une el Satélite con la Batería 3. Presentaba inicialmente un importante derrame de hidrocarburos secos en forma de costras distribuidas en forma heterogénea (Figura 5.29 c), la superficie afectada alcanzó los 1241 m² con una profundidad de 70 cm, un volumen total de 868 m³ y un contenido HTP del 7,7 gr/100gr de peso suelo seco a 70 cm de profundidad de muestreo.
- b) **Área 2:** El área afectada comprendía el lateral Norte de la locación en proximidad al equipo de bombeo, se observaban grandes costras (Figura 5.29 b) en un área medida con GPS de 920 m². No se efectuó el muestreo inicial.
- c) **Área 3:** En el sur de la locación se encontraron hidrocarburos secos en forma de costras y montículos dispersos en una amplia superficie (aproximadamente 2000 m²), en parte cubiertos por suelos y vegetación (Figura 5.29 d).



Figura 5.29: a) Identificación de locación, b) costras al norte boca de pozo, c) pasivo sobre línea de conducción que une el satélite a la Batería 3 y d) pasivo al Sur, en un área con cobertura vegetal (abril de 2016).

b) Saneamiento

Se determina que el sitio posee una alta complejidad técnica por hallarse un pozo en producción (Figura 5.30 a) y la presencia de un satélite en el lateral noreste (Figura 5.30 b).

Se describen las tareas de saneamiento en cada sector:

- 1) **Área 1:** Se efectuaron entre el 14 de diciembre de 2016 y el 13 de enero de 2017, a medida que se avanzaba con el trabajo se ampliaron las superficies a sanear, alcanzando una superficie total de 2309 m² y un volumen de suelo extraído de 800 m³. Se retiraron antiguas líneas de conducción y los suelos oleocontaminados, para lo que fue necesario efectuar numerosos cateos (Figura 5.30 c).
- 2) **Área 2:** Las tareas se efectuaron entre el 10 y el 14 de agosto de 2017. Por el espesor del pasivo se excavó usando maquinaria pesada a profundidades que variaban de 30 cm hasta 100 cm en una superficie de 1159 m² y se extrajo un volumen de suelos de 500 m³. Asimismo, se extrajeron todos los caños en desuso.
- 3) **Área 3:** En el sector sur se iniciaron las tareas de saneamiento a principios del 2018, ya que no había sido incluido inicialmente por la Empresa y a requerimiento de la autoridad de aplicación, se extrajeron solo costras y montículos en una superficie de 1100 m² y el volumen alcanzó los 485 m³. Se adoptó tal decisión para preservar la vegetación, tomando los recaudos operativos por el riesgo de trabajar con equipos pesados en un área con abundantes líneas de conducción (Figura 5.30 d).



Figura 5.30: a) Montículo de suelo contaminado extraído en la locación, b) satélite en proximidad a la locación, c) uno de los cateos realizados en el área con líneas de conducción y d) montículo de suelo en el área saneada en el sector sur de la locación.

c) Muestreo

Se realizó la toma de muestras en los siguientes sectores

- 1) **Área 1:** El 24 de agosto de 2017 se tomaron dos muestras en la locación ante la necesidad de nivelar la misma, ya que las tareas de saneamiento obstaculizaban cualquier tarea de remediación ante un eventual derrame en el pozo (LP-566-1 y LP-566-2, tabla 5.1, Figura 5.31 a y b).
- 2) **Área 2:** El día 8 de noviembre de 2017 se tomaron tres muestras a lo largo del área saneada que une el satélite con la Batería 3, uno en proximidad del satélite, otra en el punto medio y la tercera en el área saneada más próxima a la batería (LP-566 a Bat 3-1, LP-566 a Bat 3-2, LP-566 a Bat 3-3, tabla 5.1, Figura 5.31 c y d).
- 3) **Área 3:** Se extrajo una muestra en el área media, por efectuarse un saneamiento superficial, tomando los recaudos en el ingreso de maquinaria pesada por la presencia de numerosas líneas de conducción.



Figura 5.31: a) Muestra Sitio LP-566-1 próxima AIB, b) Muestra Sitio LP-566-2 en la depresión de la locación, c) Muestra Sitio LP-566 a Bat 3-2 sobre línea de conducción y d) Muestra Sitio LP-566 a Bat 3-3 sobre línea de conducción.

La autoridad de aplicación definió los puntos de muestreo en las áreas saneadas, las muestras se enviaron a laboratorios certificados.

Luego de que la empresa encargada del saneamiento presentara los correspondientes protocolos de análisis físicos-químicos que indican que el suelo no presenta HTP, BTEX, PAHs y metales pesados, la autoridad de aplicación aprobó las tareas de saneamiento. El 6 de febrero de 2018 se aprobó el informe final de saneamiento del sector que une el satélite con la Batería 3 y el 19 de abril de 2018 las tareas de saneamiento en la locación.

A partir de ese momento la empresa estaba en condiciones de proceder a la nivelación del área saneada (Figura 5.32).



Figura 5.32: Áreas saneadas a nivelar en inmediaciones del pozo LP-566.

d) Nivelación

Las tareas de nivelación en los tres sectores se describen a continuación:

- 1) **Área 1:** En la locación las tareas de nivelación finalizaron en enero de 2018, el volumen de suelo utilizado fue de 1188 m³, un incremento de 618 m³ respecto al volumen inicial extraído. La diferencia se explica porque el suelo remediado se utilizó para rellenar la depresión y se niveló toda la locación, además se mejoraron las bermas perimetrales de la locación. (Figura 5.33 a).
- 2) **Área 2:** Para nivelar en el sector saneado se utilizaron 616 m³ de suelo tratado, constatando que el mismo es 184 m³ inferior al inicialmente extraído, en virtud de que se requirió utilizar menos volumen de suelo porque sólo fue necesario rellenar las depresiones más profundas y luego nivelar usando el mismo suelo (Figura 5.33 b).
- 3) **Área 3:** Se niveló usando suelo del lugar.

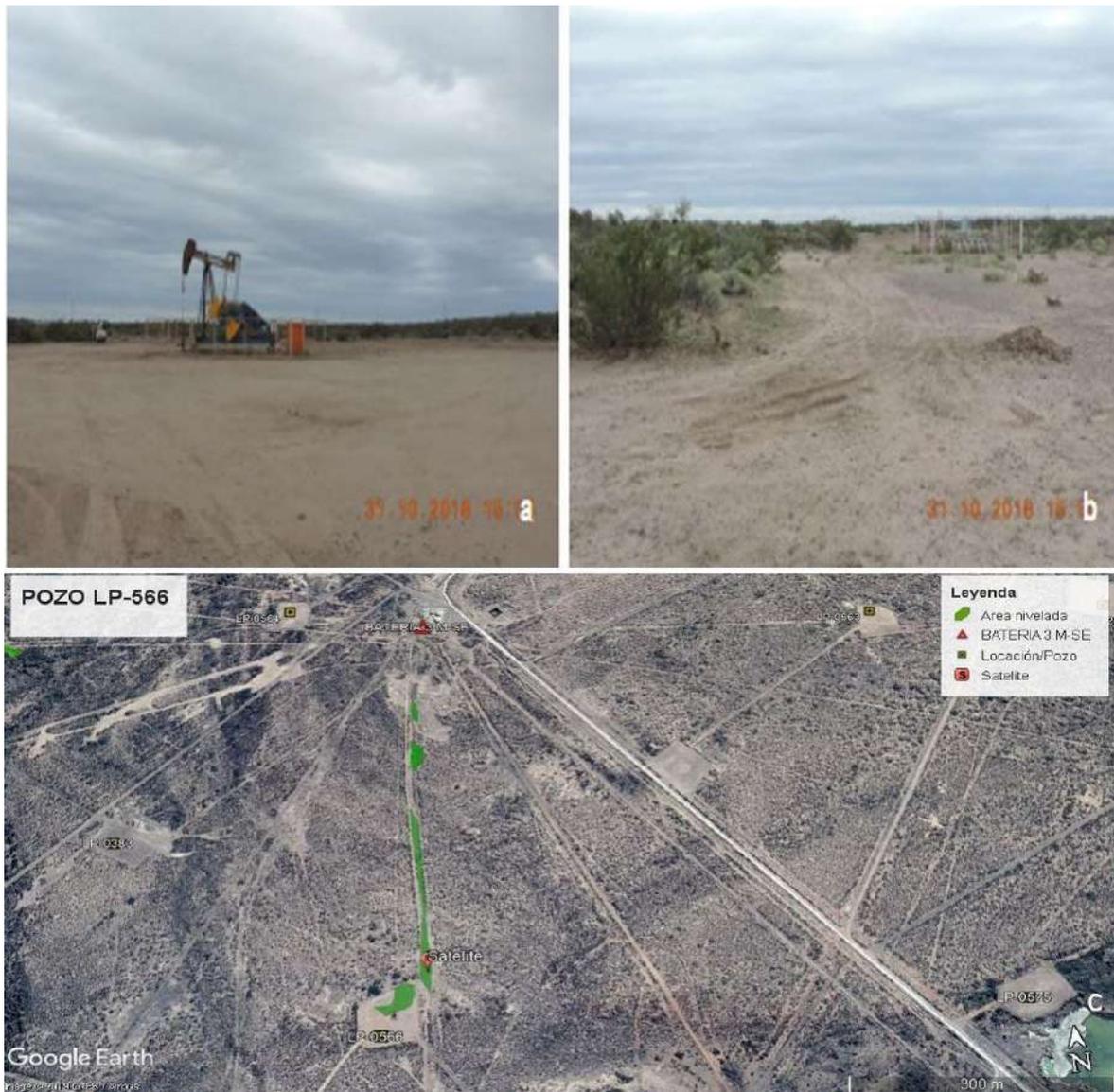


Figura 5.33: a) Locación saneada y nivelada, b) área sobre línea de conducción nivelada y c) áreas niveladas en inmediación al pozo LP-566.

e) Situación Actual:

En el área de estudio se tomó una muestra de suelo para determinar el contenido de materia orgánica presente en él (los datos están descriptos anteriormente, Cap.5.1). El resultado indica un muy bajo porcentaje de materia orgánica, lo que dificulta el desarrollo de la vegetación en la zona que fue saneada y nivelada en el año 2018. Debemos plantear propuestas de restauración ecológica para poder contribuir con el crecimiento de la vegetación autóctona del lugar.

Tabla 5.2: Resultados de laboratorio de Hidrocarburos Totales de Petróleo presentes en las muestras de suelo tomadas en cada área saneada de cada pozo.

MUESTRAS DE SUELO EN ÁREAS SANEADAS	HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
LP-274-1	no se detecto
LP-274-2	menor a 50 mg/kg
LP-383-1	1737mg/kg
LP-383-2	1181 mg/kg
LP-564-1	2749 m/kg
LP 429-1073-1186-462-B3- 1	125,834 mg/kg
LP 429-1073-1186-462-B3- 2	157,080 mg/kg
LP 429-1073-1186-462-B3- 3	94,566 mg/kg
LP-565-1	no se detecto
LP-565-2	no se detecto
LP-565-3	50 mg/kg
LP-566-1	225 mg/kg
LP-566-2	601 mg/kg
LP-566 a Bat 3-1	menor 50 mg/kg
LP-566 a Bat 3-2	64 mg/kg
LP-566 a Bat 3-3	menor a 50 mg/kg

CAPÍTULO 6 – DISCUSIÓN

A partir del muestreo, caracterización y análisis de las imágenes satelitales de los sitios saneados y nivelados, algunos finalizados en el año 2013 y otros en el periodo 2017/18, se pudo determinar que las tareas de saneamiento condujeron a la pérdida de la capa superficial del suelo, donde se encuentra la mayor parte de la materia orgánica, y a la drástica reducción de la vegetación autóctona. En algunos casos sin potencial de regeneración de la cubierta vegetal por la probable pérdida total del banco de semillas.

En el área de estudio, actualmente existe una superficie saneada que alcanza los 63.000 m² aproximadamente. Luego de la nivelación de los suelos ya saneados se debe dar comienzo a la etapa de restauración ecológica para iniciar el proceso de recuperación de ecosistemas disturbados por la actividad petrolera.

En regiones semiáridas, como es el caso del área del Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE, donde el deterioro de la vegetación y el suelo son intensos y las tasas de autogeneración son muy bajas, se deberían implementar planes de revegetación a partir de la reproducción y reimplantación de especies nativas adaptadas a las condiciones ambientales extremas de la región. En este sentido, no existen estudios con propuestas de rehabilitación de áreas degradadas en la Provincia de La Pampa con especies autóctonas. No obstante, en el Yacimiento petrolero “Cerro Fortunoso” que forma parte de la Cuenca Neuquina, departamento de Malargüe, provincia de Mendoza, se llevaron a cabo técnicas de restauración en locaciones petroleras abandonadas que resultaron con éxito (Navas Romero *et al.*, 2018). Así como también las experiencias realizadas con siembra directa de especies autóctonas en áreas degradadas por la actividad petrolera en la provincia de Neuquén (Rodríguez Araujo *et al.*, 2018).

Por tanto, es capital realizar un estudio integral del yacimiento, relevando áreas saneadas, áreas fragmentadas por acción antrópica (líneas de conducción, caminos redundantes, líneas sísmicas, entre otras), erosión en líneas de escurrimiento y proponer distintas técnicas para la solución particular de cada situación. Así, se intenta con este trabajo establecer un paisaje de referencia y proponer distintas técnicas de restauración de la cobertura vegetal de las áreas impactadas.

6.1 Propuestas de restauración ecológica en las áreas saneadas

A partir de la indagación de estudios efectuados por diversos investigadores que trabajan en áreas degradadas por la actividad hidrocarburífera, como Portocarrero *et al.* (2015), se propone utilizar *Lathyrus pubescens*. var. *pubescens* (Fabaceae) para revegetar sitios disturbados, promoviendo los procesos de sucesión secundaria. Esta es una especie endémica de amplia distribución, encontrándose desde Salta hasta Santa Cruz, herbácea, perenne, geófito, que se propaga por rizomas y forma poblaciones naturales, que puede persistir en sitios degradados por la explotación petrolera, se utiliza como fijadora de suelos y nitrógeno. Produce un amplio dosel con vástagos aéreos herbáceos ramificados y vigorosos, que se secan y rebrotan de acuerdo a las condiciones ambientales, florece y semilla en abundancia.

Por el escaso contenido de materia orgánica determinado en los suelos remediados usados en la nivelación (que se asemeja al suelo inicial, 0.5 %), según la propuesta de Navas Romero *et al.* (2018), se sugiere realizar en las distintas áreas saneadas experiencias con distintos tipos de escarificado, combinado con técnicas de enriquecimiento vegetal y de facilitación, como mínimo en un ciclo de tres años, por lo que la evaluación de los resultados no podrá ser parte de la presente tesina.

Se sugieren las siguientes técnicas:

1) **Escarificado superficial (ES) combinado con enriquecimiento vegetal (EV).** En el área saneada correspondientes al pozo LP-564, las líneas de conducción de los pozos LP-429, LP-1073, LP-1086 y LP-462 y en el área del pozo LP-566 y a lo largo de la línea de conducción que une el Satélite con la Batería 3 se puede aplicar un escarificado superficial (ES) debido a la escasa profundidad a la que se encuentran las líneas de conducción. Este método consiste en el desgarrado de una capa superficial de 0.1-0.2 metros de profundidad. Luego proceder a un enriquecimiento vegetal que consiste en el trazado de líneas de plantas de distintas especies separadas 2 metros entre sí. Para las respectivas líneas de conducción se van a necesitar aproximadamente 470 especies de plantas con riegos periódicos cada 15 días. Se debe evitar la plantación en el sector donde se encuentran las cañerías.

2) **Escarificado profundo (EP) combinado con enriquecimiento vegetal (EV)** fuera de la locación del pozo LP-383 se sugiere efectuar un escarificado profundo (EP), siendo la profundidad del desgarrado de 0.3-0.5 m, posteriormente diseñar una técnica de enriquecimiento vegetal, que consistirá en el trazado de 5

líneas con 40 plantas cada línea separadas 2 m entre sí, se sugieren hoyos de plantación de 0.4 m de diámetro por 0.3 m de profundidad y posteriormente a la plantación efectuar riegos con frecuencia quincenal.

3) **Escarificado superficial (ES) combinado con enriquecimiento vegetal (EV) y técnicas de facilitación (F)** se sugiere para las áreas saneadas del Pozo LP-274, que fueron niveladas en el año 2013. Allí los suelos presentan una significativa fracción limosa, y se encuentran salinizados. Estas áreas fueron revegetada naturalmente con especies herbáceas y arbustivas, predominantemente con *Atriplex lampa* (zampa) y del género *prosopis* sp (alpataco) con una cobertura del 20%. Se sugiere realizar un escarificado superficial, en aquellos sitios con escasa cobertura vegetal, luego el enriquecimiento vegetal con líneas con plantas de distintas especies separadas 2 metros cada una. Y para la facilitación, líneas intercaladas con las de enriquecimiento para aumentar la disponibilidad de agua y actuar como trampa de semillas (tasas o pozos de facilitación, corrugado del suelo), pueden ser altamente beneficiosos para el reclutamiento y autoinstalación de nuevos individuos en estos sistemas. Las restantes áreas sólo escarificar para observar el crecimiento natural de la vegetación.

4) **Escarificado profundo (EP) combinado con enriquecimiento vegetal (EV) y técnicas de facilitación (F)**. En las áreas saneadas en el año 2013 al sur de la Batería 3 y en las áreas saneadas cercanas al pozo LP-565 se observa un escaso desarrollo de la vegetación. Se sugiere para los sectores con menor cobertura vegetal un escarificado profundo de similar característica al descrito para el Pozo LP-383, luego técnicas de enriquecimiento vegetal combinado con técnicas de facilitación y riegos quincenales. Las áreas no restauradas servirán para comparar el desarrollo vegetal.

Como complemento para todas las técnicas anteriormente descritas, se recomienda, la fertilización del suelo luego del escarificado. Este procedimiento se utiliza para mejorar las propiedades físicas y químicas de sustratos que han sido denudados de su capa superficial de suelo. Puede hacerse con fertilizantes orgánicos o inorgánicos. Entre los primeros, los residuos compostados suelen dar menos problemas de contaminación por metales pesados que los residuos domésticos o el abono. Los fertilizantes inorgánicos (nitrato amónico, sulfato amónico, etc.) son baratos y fáciles de aplicar, aunque se recomienda su aplicación combinada con el aporte de una fuente de materia orgánica, para aumentar la capacidad de retención de nutrientes (VV.AA., 1989).

La combinación de técnicas podría resultar clave para el éxito de la restauración (Navas Romero *et al.*, 2018). La acción de plantar especies vegetales a través del Enriquecimiento Vegetal (EV) ha sido el tipo de técnica más recomendada en sitios donde la disponibilidad de agua en el suelo es baja, y existen limitaciones físicas y químicas como las plataformas de pozos petroleros (Jorba y Vallejo, 2008). Esto junto con una adecuada preparación del terreno con las técnicas de Escarificado (ES y EP) aumenta las probabilidades de éxito. La generación de técnicas de facilitación permite el establecimiento de especies de las comunidades de contacto de las locaciones (Navas Romero *et al.*, 2018).

La propuesta de restauración ecológica, debería comenzar con el proyecto de ejecución, que luego en el tiempo, requiere de un seguimiento y evaluación para poder ver si se logran los resultados esperados. Generalmente el éxito de una plantación se evalúa a partir de la supervivencia, crecimiento y estado fisiológico a corto o mediano plazo, entre 1 y 5 años, de la especie plantada, para determinar si se ha alcanzado la imagen objetivo o si al menos el ecosistema restaurado muestra una tendencia positiva en esa dirección (Navarro Cano *et al.*, 2017).

Aunque no forma parte de los alcances de la tesina, se pueden desprender de los proyectos de restauración, con sus programas de evaluación y seguimiento, que tal como lo afirma Gross (2006), que éstos tienen el potencial de proveer oportunidades de participación social múltiples y permanentes. Para finalizar, sería muy importante el desarrollo de proyectos de participación social, incorporando a los viveros locales para la producción de las plantas o semillas, capacitando a los pobladores locales y educando desde las escuelas; con el fin de fomentar el buen manejo, la conservación y utilización de los recursos naturales, un aprovechamiento sustentable de los mismos, y conservando la flora y la fauna silvestre, el ambiente y mejorando la calidad de vida de la población. También posibilitará a los restauradores sentar las bases para que en *“el caso concreto de las especies de plantas nativas muy pocas son propagadas en los viveros de las diferentes regiones del país, por lo que corresponde a los propios restauradores implementar viveros para suplir las necesidades de los proyectos.”* (Barrera Cataño *et al.*, 2010).

CAPÍTULO 7 – CONCLUSIÓN

Se relevaron y caracterizaron las tareas de remediación de suelos en las áreas contaminadas por hidrocarburos (impactadas con pasivos ambientales) en proximidades de la Batería 3 del Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE y se logró la comparación con la situación previa al saneamiento.

Los resultados obtenidos demuestran que luego del saneamiento del suelo y su recolocación y nivelación, este presenta una baja concentración de materia orgánica y nutrientes, lo que hace que el área sea prácticamente estéril, e impida el crecimiento de la vegetación en forma natural. Para lograr un crecimiento de la vegetación es fundamental mejorar la calidad de los suelos, aplicando las técnicas de restauración descriptas, pudiendo lograr en unos años una cobertura vegetal similar al paisaje de referencia.

Las técnicas de restauración ecológica dan la posibilidad de revertir la degradación de la tierra, por consiguiente, este estudio deja sentadas las bases para implementar una propuesta de restauración ecológica. Por las limitantes climáticas y edafológicas de las áreas saneadas y remediadas, requerirá un plazo superior a 5 años para poder lograr una recuperación de los sitios afectados. Se aconseja promover el uso de especies nativas para rehabilitar estas áreas degradadas, y también para la conservación de la biodiversidad y la sustentabilidad del sistema.

Como conclusión final de este trabajo de tesina se menciona que se aspira a promover la participación de los distintos sectores de la población de Colonia 25 de Mayo, incorporando a los viveros locales, capacitando y educando para fomentar el buen manejo, utilización y la conservación de recursos naturales. Logrando un aprovechamiento sustentable de los recursos, conservando la flora y la fauna silvestre, el ambiente y mejorando la calidad de vida de la población.

BIBLIOGRAFÍA

Abboud, S.A. (2000). Evaluación de la toxicidad de los lodos y cemento en la operación de perforación. Curso de Postgrado, La Habana, Cuba.

Aruani, A., Schmid, P., Broquen, P., Imbellone, P.A. (2002). Prácticas de rehabilitación de aridisoles y entisoles del norte de la Patagonia afectados por la apertura de líneas sísmicas.

Bainbridge, D. A. (2007). A Guide for Desert and Dryland Restoration: New Hope for Arid Lands. *Écoscience*, 15(1), p. 136.

Balaguer, L. (2002). Las limitaciones de la restauración de la cubierta vegetal. Ecosistemas. *Revista de Divulgación Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*. Año XI, N° 1.

Barrera Cataño, J. I., Contreras Rodríguez, S.M., Garzón Yepes, N. V., Moreno Cárdenas, A. C. y Montoya Villarreal, S. P. (2010). Manual para la Restauración Ecológica de los Ecosistemas Disturbados del Distrito Capital. Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), Pontificia Universidad Javeriana (PUJ). Bogotá D.C

Bengtsson, L. y Enell, M. (1986). Chemical analysis. In B.E. Berglund (Ed): *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, Wiley, Chichester, 423-445 p.

Bifaretti, M y Sanchez, V. (2008). Estudio del Impacto de la Actividad Petrolera Sobre el Medioambiental. Los Pasivos Ambientales. En *III Jornadas Universitarias Internacionales de Contabilidad*. Montevideo: facultad de Ciencias Económicas y de Administración. Universidad de la República. Tomado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2860146>

Bradshaw, A. D. (1997). What do we mean by restoration? In: Urbanska, K. M., N. R. Webb and P. J. Edwards (Eds.). *Restoration Ecology and Sustainable Development*: 8-16 pp. Cambridge University Press, Cambridge.

Cabrera, A.L (1971). Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. Vol. XIV.

Calmels, A.P., (1996). Bosquejo Geomorfológico de la Provincia de La Pampa. UNLPam. Santa Rosa, 110 pp.

Cano, E. (1980). Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de La Pampa. UNLPam, Gobierno de la provincia de La Pampa e INTA. Buenos Aires.

Casadío, S y Montagna, A. O. (2015). *Geología de la Cuenca Neuquina y sus sistemas petroleros: una mirada integradora desde los afloramientos al subsuelo*. 1° Ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundación YPF - Universidad Nacional de Río Negro. 8-21

Castro Varela, G. (2007). Informe final diseño monitoreo frente derrames de Hidrocarburos. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile y Proyectos y Asesorías Ambientales. 148 p

Catt, J.A. (1990). *Paleopedology Manual*, Quaternary International 6. Pergamon Press Oxford, 95 pp.

Ciano, N., Salomone, J., Nakamatsu, V. y Luque, J. (2001). Nuevos escenarios para la remediación de áreas degradadas en la Patagonia. Taller de actualización sobre métodos de evaluación, monitoreo y recuperación de pastizales naturales patagónicos. V Reunión del Grupo Regional Patagónico de Ecosistemas de Pastoreo INTA FAO. Esquel, Argentina.

Dean, W. E. Jr. (1974). Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44, 242-248 p.

Deladino, L. (2000). Caracterización geohidrológica de la provincia de La Pampa a través de transectas representativas. Trabajo Final de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Exactas y Naturales, UNLPam, Santa Rosa. Inédito. 202 p

Digregorio, J. H., (1972). *Geología Regional Argentina*, Academia Nacional de Ciencias pp. 439-506. Córdoba.

Eweis, J.B., Ergas, S.J., Chang, D.P. y Schroeder, E.D. (1998). *Bioremediation Principles*. McGraw-Hill International Editions, 296 pp.

Falconi Benitez, F. (2004). Los pasivos de la industria petrolera. En: Fontaine, G (coord.). *Petróleo y Desarrollo Sostenible en Ecuador. 2 las Apuestas.* (pp.27-35).

Folguera, A., Alvarado, P., Arriagada, C. y Ramos, V., (2015). Tectonics of the Argentine and Chilean Andes: An introduction. *Journal of South American Earth Sciences* 64.

Folguera, A. y Zárate, M., (2011). El corrimiento Santa Isabel, posible frente orogénico del bloque de San Rafael. 18° Congreso Geológico Argentino. Simposio S12. Tectónica Andina.

Gerling, E.L., (2014). Paleoambientes sedimentarios de la Formación Allen (CampanianoMaastrichtiano), en la provincia de La Pampa, norte de Patagonia, Argentina. Tesis de grado inédita. Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa, La Pampa, 63 pp.

Gerling, E.L., Visconti, G., Parras, A.M. y Varela, J.A., (2014). Análisis paleoambiental de la Formación Allen (Campaniano-Maastrichtiano) en el suroeste de la provincia de La Pampa, cuenca Neuquina, Argentina. XIV Reunión Argentina de Sedimentología, Puerto Madryn. Resúmenes, Pág. 155.

González, M.G., (2014). Sedimentología de los “rodados patagónicos” en un paleocauce del Río Colorado, provincia de La Pampa. Tesis de grado inédita. Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa, La Pampa, 54 p. 55

González, M.G., Visconti, G. y Umazano, A.M., (2015). Facies, geometrías y ambiente depositacional de los “Rodados Patagónicos” en un paleocauce del río Colorado, Pliopleistoceno de la provincia de La Pampa. III Simposio del Mioceno-Pleistoceno del Centro y Norte de Argentina. 19 al 17 de septiembre de 2015, Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes. Libro de Resúmenes, pp. 22-23.

Groeber, P., (1939). Mapa geológico de Mendoza. *Physis*, 1º, XIV, Sec. Geología y Paleontología, 14(46): 171-220. Buenos Aires.

Gross, M. (2006). Beyond expertise: ecological science and the making of socially robust restoration strategies. *Journal for Nature Conservation* 14: 172-179.

Howell, J. A., Schwarz, E., Spalletti, L. A. y Veiga, G. D. (2005). The Neuquén Basin: an overview. A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics. London: Geological Society Special Publications. 252: 83-107.

Jorba, M., y Vallejo, R. (2008). La restauración ecológica de canteras: un caso con aplicación de enmiendas orgánicas y riegos. *Ecosistemas*, 17(3), 119–132.

Legarreta, L. y Uliana, M. A. (1999). El Jurásico y Cretácico de la Cordillera Principal y la cuenca Neuquina. 1. Facies sedimentarias. *Geología Argentina*, 29, 399-416.

Li, L., Cunningham, C. J., Pas, V., Philp, J. C., Barry, D. A., y Anderson, P. (2004). Field trial of a new aeration system for enhancing biodegradation in a biopile. *Waste Management*, 24 (2): 127-137.

Benavides López de Mesa, J., Quintero, G., Guevara Vizcaíno, A. L., Jaimes Cáceres, D., Gutiérrez Riaño, S. M., García, J. M. (2006) Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo.

Munsell. (2000). Standard soil color charts.

Muravchik, M., D'Elia, L., Bilmes, A., Franzese, J.R. (2011). Syn-eruptive/inter-eruptive relations in the syn-rift deposits of the Precuyano Cycle, Sierra de Chacaico, Neuquén Basin, Argentina. *Sedimentary Geology*, 238 (1-2), 132-144.

Navarro Cano, J. A., Estellés, M. G., González Barberá, G., Castillo Sánchez, V. M., Verdú del Campo, M. (2017) Restauración ecológica en ambientes semiáridos. Recuperar las interacciones biológicas y las funciones ecosistemáticas.

Navas Romero, A.L., Duplancic, M.A.; Herrera Moratta, M.A.; Parera, M.V. y Dalmaso A.D. (2018). Restauración de locaciones petroleras abandonadas en el yacimiento Cerro Fortunoso, Malargüe, Mendoza. Taller de Restauración de la de la Diagonal Árida, 294 pp

Noy-Meir, I. (1973). Desert ecosystems: environment and producers. *Annual review of ecology and systematics*, 4(1), 25-51.

Pérez, D., Rovere, A., y Araujo, M. (2013). Restauración Ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina.

Plaza, G., Nalecz, G., Jawecki, K. Ulfig y Brigmon R.L. (2005). The application of bioassays as indicator of petroleum-contaminated soil remediation. *Chemosphere* 59, 289-296.

Portocarrero, J., González, T., Pentreath, V., Rueter, B., Stronati, M, Espinoza-Mendoza, V.E. y Zuleta, G.A. (2015). Restauración ecológica en yacimientos petroleros y mineros. SIACRE-2015 Aportes y Conclusiones Tomando decisiones para revertir la degradación ambiental. https://www.researchgate.net/publication/319358604_Restauracion_ecologica_en_yacimientos_petroleros_y_mineros

Ramos, V. A. (1999). Las provincias geológicas del territorio argentino. *Geología Argentina*, 29(3), 41-96.

Ramos, V. A., y Folguera, A. (2005). Tectonic evolution of the Andes of Neuquén: constraints derived from the magmatic arc and foreland deformation. *Geological Society, London, Special Publications*, 252(1), 15-35.

Riser-Roberts, E. (1998). Remediation of petroleum contaminated soil: biological, physical, and chemical processes. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

Rodríguez Araujo, M. y Pérez, D. (2018). Rehabilitación ecológica de zonas áridas severamente degradadas por la actividad petrolera mediante siembra directa de especies nativas. Neuquén. (Argentina).

https://www.researchgate.net/publication/327392336_Rehabilitacion_ecologica_de_zonas_aridas_severamente_degradadas_por_la_actividad_petrolera_mediante_siembra_directa_de_especies_nativas_Neuquen_Argentina.

Rodríguez, J.C, (2018). Saneamiento de pasivos ambientales, Yacimiento de 25 de Mayo- “El Medanito”, La Pampa, Argentina. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de la Pampa. Tesina para optar al título de grado de Licenciado en Geología. P 12-13.

Rueter, B.L. y Rodríguez, F.J. (2013). Restauración natural en picadas petroleras en dos distritos de la provincia fitogeográfica Patagónica. En: Restauración ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina. 1: 351-358. Vázquez Mazzini Editores, Buenos Aires. 550 pp.

Rueter, B.L., Stronati, M., Pentreath V., Arce, M.E., Gratti, A., Feijóo, S., Fernández, S., Castro, I. y Ríos, S. (2016). Apuntes Para Una Ley De Restauración En La Provincia De Chubut. III Taller de la Diagonal Árida Argentina. Madryn. Argentina.

Schlesinger, W., Reynolds, J. F., Cunningham Gary L., Huenneke, L. F., Wesley, M. J., Ross A. V., Whitford, W. G. (1990). Biological Feedbacks in Global Desertification.

Sellers, K. (1999). *Fundamentals of hazardous waste site remediation*. Lewis Publishers, 326 pp.

Soriano A., Nogues-Loza, M. y Burkart, S. (1994). Plant biodiversity in the extra-andean Patagonia. Comparisons with neighbouring and related vegetation units. Actas del Taller Internacional sobre Recursos Filogenéticos, Desertificación y Uso Sustentable de los Recursos Naturales de la Patagonia, 36-45 pp.

Stronati, M., Rueter, B.L., Arce, M.E., Quezada, M.L. y Rodríguez, F.J. (2016). Análisis ambiental de la cobertura vegetal de taludes viales en la estepa patagónica. En: Restauración ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina. Vázquez Mazzini Editores, Buenos Aires. 400 pp.

Tapia, A. (1939). Chacharramendi y alrededores: *Physis*, 19 (46): 221-224

Umazano, A., Adema, E. y Aimar, S. (2004). Tajamares: una tecnología alternativa para la zona árida-semiárida de La Pampa. EEA INTA Anguil, (76), 52

Soil Survey Staff, (1999). *Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Second Edition. 870 p.

Uliana, M. A. y Dellapé, D. A., (1981). Estratigrafía y evolución paleoambiental de la sucesión maestrichtiano-eoterciaria del engolfamiento neuquino. (Patagonia septentrional). 8° Congreso Geológico Argentino, 3: 673-711. San Luis.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2001). Treatment Technologies for Site Cleanup: Annual Status Report. 10th Edition. Office of Solid Waste and Emergency Response.

Van Deuren, J., Z. Wang, Z. y Ledbetter J. (1997). *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide. 3a Ed. Technology Innovation Office, EPA.* . <http://www.epa.gov/tio/remed.htm>.

Vilela, C.R. y Riggi, J.C., (1956). Rasgos geológicos y petrográficos de las sierras de Lihuel Calel. Revista de la Asociación Geológica Argentina 11(4): 217-272.

Volke Sepúlveda, T., Velasco Trejo J.A. (2002). Tecnologías de remediación para suelos contaminados.

VV.AA. (1989). Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería. Serie: Ingeniería GeoAmbiental. Instituto Tecnológico y Geominero de España. Madrid. 321 pp.

Wang, M.E. y Zhou, Q.X. (2006). Joint stress of chlorimuron-ethyl and cadmium on wheat *Triticum aestivum* at biochemical levels. *Environmental Pollution* 144, 575- 580.

Westoby, M., Walker, B. y Noy-Meir, I. (1989). Opportunistic management for rangeland not at equilibrium. *Journal of Range Management* 42, 266-274.

Wichmann, R., (1928). Contribución a la Geología de los Departamentos Chical-Có y Puelen, de la Parte Occidental de la Pampa Central. Publicación 40, 31 p. Buenos Aires, Ministerio de Agricultura. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología.

Zabala Perouene, A. (2015). "Sedimentología de la Formación el Sauzal (Neógeno) y unidades equivalentes, aflorantes en la zona de 25 de Mayo (La Pampa),

Argentina”. Tesina de grado inédita. Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa,
La Pampa

GLOSARIO

- Banco de semillas: acumulación de semillas en el suelo en estado latente que usualmente germinan a partir de un determinado estímulo.
- Daño: pérdida de uno o varios elementos fundamentales para el funcionamiento de un ecosistema.
- Degradación: se relaciona con cambios graduales o sutiles que reducen la integridad ecológica. Es considerado como el peor estado de alteración al que puede llegar un sistema ya que pierde su capacidad de generar bienes y servicios al perder uno o varios compartimentos donde se almacena materia o energía (suelo, nutrientes, banco de semillas, biomasa).
- Escarificado: técnica de descompactación de suelo. También llamada arado, se aplica hasta 30 cm de profundidad del suelo.
- Facilitación: creación manual de estructuras que pueden aumentar la disponibilidad de agua y actuar como trampa de semillas.
- Resiliencia: capacidad de un sistema de recobrar los atributos estructurales y funcionales que han sufrido daño debido a estrés o perturbaciones.
- Servicios ecosistémicos: son las propiedades de un ecosistema que tienen un beneficio directo o indirecto para los seres humanos.