FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

TESINA PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO EN GEOLOGÍA

"PROPUESTAS DE RESTAURACIÓN DE LAS ÁREAS SANEADAS EN EL SECTOR SUR DE LA BATERIA 3 DEL YACIMIENTO HIDROCARBURÍFERO 25 DE MAYO-MEDANITO SE"

Spinelli, Joaquín

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. Se llevó a cabo en la cátedra de Geología Ambiental, dependiente del Departamento de Geología, durante el período comprendido entre el Noviembre de 2018 y Mayo de 2020, bajo la dirección de la Dra. Adriana E. Mehl y la coordinación del MSc Miguel A. Fantini.

AGRADECIMIENTOS

Me van a faltar varias páginas para poder agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, entre todas ellas merece un reconocimiento especial mi familia. Mis padres y hermanas, que con su esfuerzo y dedicación me permitieron pasar todo este tiempo sin preocuparme en otra cosa que no sea estudiar para culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo incondicional durante todos estos años.

Así mismo esta tesis no hubiese sido posible sin el apoyo de mis amigos. Especialmente aquellos que me regaló la Universidad. Amodeo, Amparo, Eric, Luciana, Luciano, Rosario y Valentín; no solo fueron compañeros en esta etapa, sino que fueron quienes me empujaron a llegar hasta este momento.

De igual forma, agradezco a Adriana Mehl y a Miguel Fantini. Gracias a su infinita paciencia, sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo. Esta tesina es resultado de escuchar y absorber el conocimiento de todos los profesores de la Facultad De Ciencias Naturales, por lo que no tengo más que palabras de agradecimiento y afecto para ellos.

Finalmente, agradezco a la Universidad Nacional de La Pampa. Pública y gratuita, que me abrió las puertas y me hizo sentir parte de una familia en búsqueda constante de conocimiento.

RESUMEN

Durante los últimos cincuenta años, el suroeste de la Provincia de La Pampa ha sido parte de la industria hidrocarburifera. Esto ha traído beneficios económicos para la región, pero también ha afectado al ambiente. A partir de la fragilidad del ecosistema en cual se enmarca la actividad, se creyó menester la realización de un proyecto mediante el cual se pudieran relevar las tareas realizadas la empresa explotadora del yacimiento para normalizar la situación en áreas impactadas con pasivos ambientales.

El área de estudio se encuentra en la región central del yacimiento "25 de Mayo-Medanito SE", más precisamente en las inmediaciones de Batería Número 3. Allí se encuentran 6 (seis) pozos, de los cuales 2 (dos) fueron abandonados durante la realización de este trabajo de tesina, 3 (tres) se hallan en estudio y 1 (uno) en producción efectiva. A través de la interpretación de cada caso, se buscó caracterizar los procesos que transformaron locaciones con perturbaciones por la producción hidrocarburífera en aéreas saneadas aptas para un trabajo de restauración ambiental.

Así mismo, durante el desarrollo de la tesina se identificó la necesidad de contar con un plan de restauración del ecosistema local, al encontrarse los suelos totalmente disminuidos en su capacidad de sustentar interrelaciones bióticas. Como conclusión del trabajo se propusieron estrategias con el objetivo de elaborar un futuro plan de restauración ambiental mediante el cual estas zonas impactadas, comiencen a retornar al nivel de base ambiental.

ABSTRACT

The southwest of La Pampa province has been part of the hydrocarbon industry during the last fifty years. This has brought economic benefits for the region, but it has also affected its environment. Based on the fragility of the ecosystem in which the activity is framed, this project was carried out to survey the actions that tried to normalize the situation in the areas impacted with environmental liabilities.

The study area is located in the central region of the "25 de Mayo-Medanito SE" oil field, in the vicinity of "Batería Nº 3" where there are 6 (six) wells; 2 (two) of them abandoned during the study time, 3 (three) are under study and 1 (one) in effective production. The interpretation of each case, permitted to characterize the processes that transformed disturbed locations, because of hydrocarbon contamination during oil production- into healthy areas prepared for environmental restoration work.

Likewise, during the development of the dissertation, the need to have a plan for restoring the local ecosystem was identified, as the soils were totally diminished in their ability to support biotic interrelationships. As a conclusion of the work, strategies were proposed with the objective of elaborating a future environmental restoration plan through which these impacted areas begin to return to the environmental base level.

Índice

Capítulo 1 – Introducción 9
1.1. Antecedentes 9
1.2 Formulación del Problema y justificación de la tesina 12
1.3 Objetivos 14
Capitulo 2 – Metodología 15
Capítulo 3-Fundamentos Teóricos 18
3.1. Los Hidrocarburos y el petróleo 18
3.2. Hidrocarburos en el ambiente 19
3.3. Contaminación por hidrocarburos 19
3.4. Efectos de Contaminación 20
3.5. Normas ambientales provinciales relacionadas con la actividad hidrocarburífera 21
3.6. Pasivo ambiental 23
3.7. Remediación de pasivos en suelos 24
3.7.1 Técnicas de remediación de suelos 24
3.7.2. Métodos de remediación de suelos utilizados en el área de estudio 25
3.8. Restauración Ecológica en el Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE 28
3.8.1 Tipos de restauraciones ecológicas 29
3.8.2. Diseño general de un proyecto de restauración ecológica 30
Capítulo 4 - Descripción general del ambiente 33
4.1. Área de estudio 33
4.2. Marco tectónico, estructural, estratigráfico y litológico 34
4.3. Geomorfología del área de estudio 37
4.4. Hidrología 38
4.4.1. Hidrología superficial 38
4.4.2. Hidrología Subterránea 40
4.4.3 Calidad del Agua 41
4.5. Clima 41
4.6. Suelos 42
4.7. Flora 44
4.8 Fauna 46
Capitulo 5- Resultados 47
5.1 Tareas de saneamiento y restauración. Situación actual. 47

5.1.1 Pozo LP-0282 (37°59’23,24” S y 67°52’19,97” O).....47
5.1.2 Pozo LP-296 (37°59'5,49"S y 67°51'20,77"O).....51
5.1.3. Pozo LP-562 (37°59’12,82” S y 67°52’04,25” O).....54
5.1.4. Pozo LP-673 (37° 59’02,60” S y 67° 51’21,7” O).....57
5.1.5 Pozo LP-458 (37°59’01,83” S y 67°51’49,46” 0).....61
5.1.6 Pozo LP-561 (37°59'14,45"S y 67°51'36,15"O).....65
5.1.7.1 Sector A.....65
5.1.7.2 Sector B.....66
5.2 Datos obtenidos en calicatas.....69
5.2.1 Calicata en área con pasivo no retirado (37°59'21.00"S- 67°51'57.00"O).....69
5.2.2 Calicata en cercanías a la locación LP-562 (37°59'18.79"S- 67°52'1.00"O).....72
Capitulo 6 - Discusión.....74
6.1 Situación actual de las áreas restauradas.....74
6.2 Propuestas para la rehabilitación ecológica.....80
1) Preparación del suelo.....83
2) Enmienda o fertilización.....83
3) Elección de las especies.....83
4) *Selección del micro sitio de plantación*.....83
5) Siembra.....84
6) Plantación.....85
7) Seguimiento y evaluación del éxito de una restauración ecológica.....86
Capitulo 7 - Conclusiones y Recomendaciones.....88
7.1 Recomendaciones.....89
Bibliografía.....91

Capítulo 1 – Introducción

1.1. Antecedentes

Las actividades económicas de la industria petrolera generan importantes impactos ambientales, tanto a escala local como global. La contaminación, por ejemplo, ocurre en las distintas fases de su explotación, ya sea por la liberación intencional o accidental de hidrocarburos y otros contaminantes, causando impactos directos, indirectos y acumulativos en el ambiente.

La actividad petrolera en la provincia de La Pampa se inició en el año 1923 cuando el geólogo Ricardo Wichmann realizó estudios de búsqueda de indicios de manifestaciones de petróleo, cuyos resultados se publicaron bajo el nombre "*Contribuciones a la Geología de los Departamentos Chicalcó y Puelén" (*Ministerio de Agricultura de la Nación, 1928). A partir de 1960, el Departamento Geofísico de YPF (Yacimientos Petrolíferos Fiscales) inició la exploración, a través de una comisión sismográfica, consistente en la perforación de cuatro pozos de sondeo, de los cuales tres fueron productivos. A partir del hallazgo de hidrocarburos en Colonia Chica (Figura 1), el 30-4-1968 la Provincia pasó a integrar el grupo de provincias productoras de petróleo. Las primeras actividades de explotación, fueron realizadas por parte de YPF, efectuadas en el yacimiento Jagüel de los Machos. En el yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE, los primeros trabajos estuvieron a cargo de la Compañía Pérez Companc.

A principios de la década de 1990 se encontraban en explotación más de doscientos pozos petroleros, y la producción se transportaba al complejo "Medanito" en Río Negro, y desde allí, a Plaza Huincul, en Neuquén, para su procesamiento. Debido al incremento de la actividad petrolera en la zona, el Gobierno de la provincia de La Pampa creó un cuerpo de inspectores, con sede en la localidad de 25 de Mayo y dependientes de la Dirección de Hidrocarburos de la Subsecretaría de Hidrocarburos y Minería, para recorrer las distintas instalaciones, controlar medidores en Baterías y Plantas de Tratamiento, y reportar fallas operativas, incidentes ambientales, etc.

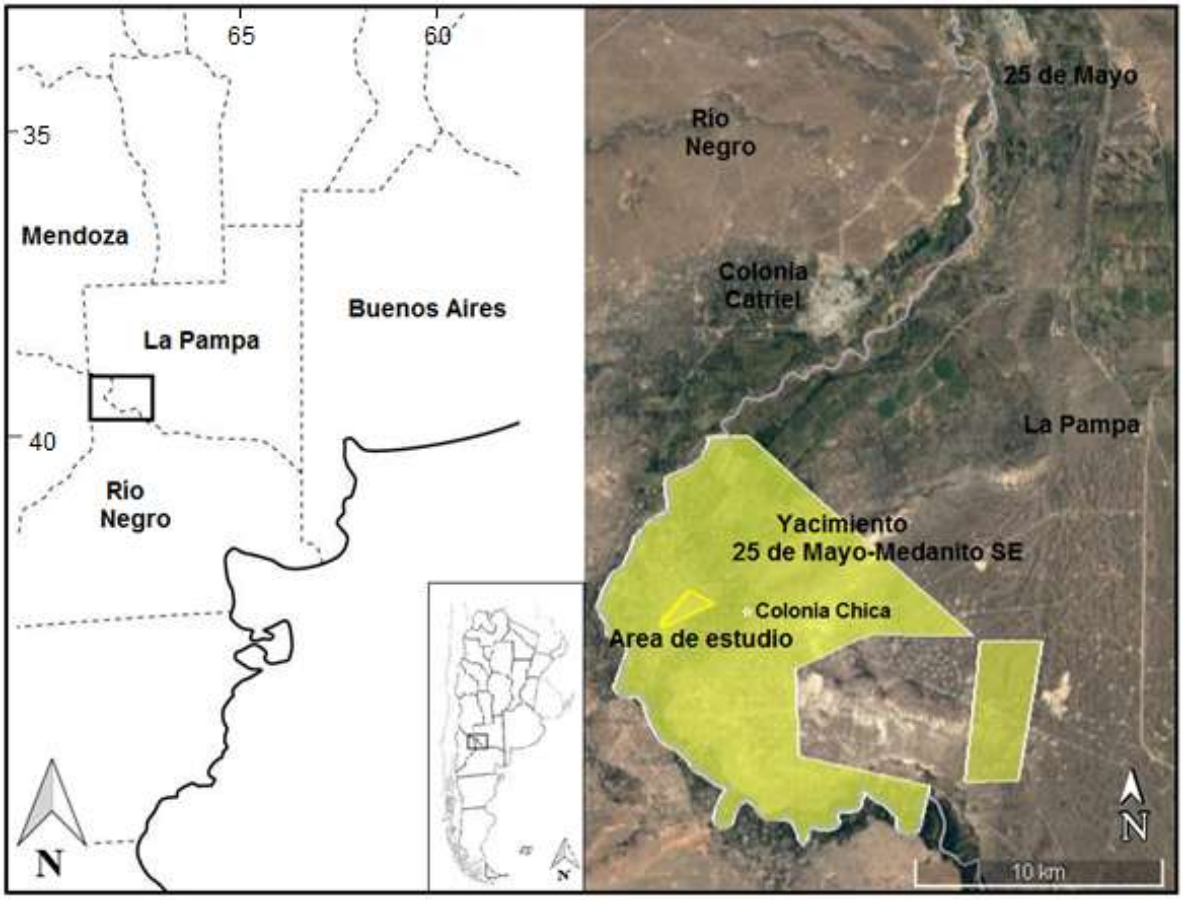

Figura 1.1: Mapa de ubicación e imagen satelital del área de estudio. Delimitación del yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE (tomado de "Estudio de base Green Cross").

En la provincia de La Pampa, las técnicas de locación húmeda utilizadas para la perforación de pozos petroleros hasta finales de la década de 1970, generaron importantes cantidades de residuos, que se disponían en piletas excavadas en el suelo en las adyacencias de las locaciones. Una vez finalizada la perforación, se cubría las piletas con el material original acopiado en sus bordes y luego sobre ellas crecía la vegetación nativa, dejando los pasivos ocultos. Estas prácticas impidieron aplicar sistemas de contención y monitoreo para controlar la movilidad de los contaminantes en el suelo y en 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 acumulativo necesario de remediar a futuro.

La actual normativa ambiental nacional (Ley N° 25.675) y las nuevas prácticas en las tareas de perforación y operación en la industria petrolera, lograron que los procedimientos se ajusten a los requerimientos del delicado equilibrio existente entre la actividad del hombre, el ambiente y su entorno social, cumpliendo con rigurosos estándares ambientales. La existencia en la prov. de La Pampa de decretos que regulan ambientalmente la actividad hidrocarburífera, establece exigencias rigurosas en materia de remediación de los pasivos ambientales, lo cual conlleva a prestar particular atención a las tareas de saneamiento por parte de los potenciales contaminadores y los afectados. En este nuevo contexto, a partir del año 2016 la Subsecretaría de Ambiente del Gobierno de la prov. de La Pampa solicitó a la empresa operadora (Petrobras Argentina S.A.) la elaboración de un informe diagnóstico final de la situación ambiental del Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE. El informe fue auditado por el Área de Control Ambiental de la Actividad Hidrocarburifera, dependiente de dicho organismo gubernamental, y expuso 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 y la presencia de suelos oleocontaminados con valores de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP) superiores al dos por ciento peso en peso (2,00 % p/p) sobre masa seca o su equivalente veinte mil miligramos por kilogramo (20.000 mg/Kg) de masa seca valor limite, según lo establecido en el Decreto Nº 298-06 para no ser considerados residuos petroleros(establece los parámetros físicos y químicos de los residuos petroleros) se procedió al saneamiento de 250 sitios relevados, Luego de extraídos los suelos, eran transportados al recinto de tratamiento, donde se efectuaba su tratamiento mediante técnicas físico-químicas, térmicas y biológicas, que permitieron disminuir el contenido de hidrocarburos. La efectividad del tratamiento se constató mediante muestreos para determinar si el contenido de analitos claves (HTP, BTEX, HAPs y metales pesados) era inferior a los valores establecidos en el Decreto antes mencionado y en el Decreto Nº 2054 que Reglamenta Ley Nº 1466 sobre Residuos Peligrosos. Luego de efectuado el muestreo en las áreas saneadas para constatar que el suelo se encontraba libres de los parámetros sujetos a control, se procedió a la re-colocación del suelo remediado en los sitios saneados y a la nivelación del terreno.

Las tareas de saneamiento y de nivelación han resuelto efectivamente el problema de la contaminación de suelos con hidrocarburos en el área de estudio. No obstante, esta

actividad, en conjunto con las actividades ganaderas de pastoreo, ha causado una importante afectación de la estructura de los suelos y de la vegetación autóctona que estos sustentan. El área de intervención está localizada en la Diagonal Árida Sudamericana (Figura 1.2), un corredor biogeográfico y climático caracterizado por la aridez del clima y sus ambientes, que atraviesa el continente sudamericano en dirección noroeste-sudeste, desde el norte del Perú hasta las costas de la Patagonia argentina, (Bruniard, 1982), donde existe en general un escaso desarrollo edáfico, con la consecuente necesidad de tiempo prolongado para el crecimiento de la vegetación. Pérez *et. al.* (2013) consideran que tanto las actividades de pastoreo como la actividad petrolera impactaron fuertemente sobre la cobertura vegetal y para ellos "*... 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.*"

En la provincia de La Pampa, no existen experiencias desarrolladas por centros de investigación o por las empresas petroleras para la restauración ecológica de áreas degradadas por la actividad hidrocarburífera, específicamente con especies autóctonas. Al respecto, este proyecto de investigación pretende brindar lineamientos básicos y reconocer áreas en las que sea posible desarrollar experiencias de recuperación de los suelos y de la vegetación.

1.2 Formulación del Problema y justificación de la tesina

Frente a la presencia, en el Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE, de suelos contaminados con hidrocarburos que no fueron saneados y de importantes áreas saneadas durante los años 2017-2018 -acción que provocó una pérdida de la vegetación natural y la modificación de los suelos- es fundamental conocer la actual situación mediante un relevamiento de campo que incluya la valoración cualitativa de pasivos no saneados, muestreos de suelos para determinar el contenido de materia orgánica y de hidrocarburos con la finalidad de proponer diversas medidas de remediación y restauración ecológica.

Se espera lograr un análisis de la situación ambiental post-saneamiento en el área del proyecto 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 la adopción de distintas medidas de restauración acordes a la magnitud de las tareas de saneamiento efectuadas.

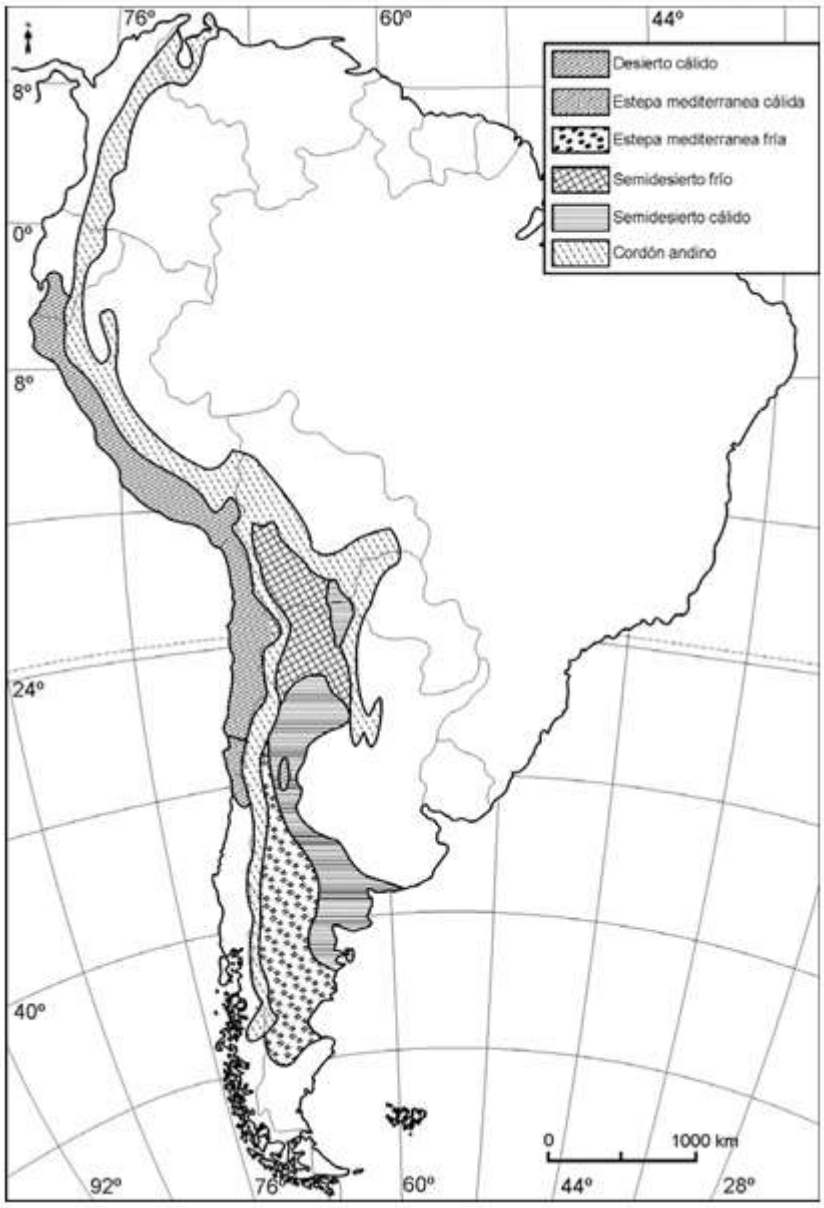

Figura 1.2: Fisionomía de la Diagonal Árida Sudamericana. Tomado de Pérez et al. (2013).

1.3 Objetivos

- Caracterizar y relevar las tareas de nivelación de suelos en las áreas saneadas (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.

Capitulo 2 – Metodología

Entre julio de 2017 y diciembre de 2018 se realizaron cuatro viajes al área de estudio, donde se recolectaron los datos necesarios para poder especificar la evolución de los trabajos de saneamiento realizados en las locaciones asignadas en este proyecto. En estos viajes, también se buscó atestiguar la perturbación ocasionada por el constante tráfico de maquinaria pesada en lugar. Así, en el ***capítulo 5 - Resultados*** se detallan los trabajos realizados en el entorno de cada una de las seis locaciones que se encuentran en el área abarcada por este proyecto, teniendo en cuenta los procesos de saneamiento, toma de muestras, y finalmente nivelación del área previamente afectada por pasivos.

Se realizaron diversas actividades para alcanzar los objetivos listados en el proyecto de tesina, se describen a continuación:

Con respecto al objetivo 1:

a) Se buscó información en 1) los "Informes de Situación Ambiental" presentados por la empresa "Petrobras Argentina S.A" para cada uno de los sitios (tabla 2.1) que requerían saneamiento de pasivos, y en 2) los resultados de la auditoría ambiental de la Subsecretaría de Ambiente. Se tuvieron en cuenta los informes ambientales presentados por Petrobras Argentina S.A y su Continuadora pampa Energía S.A con los resultados de las tareas de saneamiento, donde se describe el saneamiento final con el área saneada, volumen de suelo extraído y el volumen de suelo utilizado en las tareas de nivelación de. Se procedió también a la lectura del estudio de base presentado en el año 2018 por la actual operadora (UTE Pampetrol S.A.P.E.M – Petroquímica Comodoro Rivadavia S.A) con la finalidad de constatar la existencia de sitios no saneados por la anterior operadora.

b) Para analizar el uso y evolución del área de estudio se procedió a la interpretación de imágenes satelitales (LANDSAT). Se utilizó para su procesamiento el *software Google Earth* con el que se recuperaron imágenes de la zona estudiada previas al comienzo de los procesos de saneamiento. Como fecha base se implementó el año 2005, momento a partir del cual se encontraron imágenes de los sitios analizados. La secuencia de imágenes permitió analizar como evolucionaron los impactos antrópicos

y como cambiaron los pozos y su entorno próximo a partir del avance de la perturbación ocasionada.

c) Se realizó el ajuste y examen de campo de las unidades identificadas en las imágenes satelitales (área no impactada, impactada no saneada e impactada y saneada) y de las unidades geomorfológicas identificadas en el mapeo.
d) Se midieron con GPS las áreas saneadas para contrastarlas con las presentadas en los informes finales de restauración presentados por la empresa encargada del saneamiento (SERMA S.A.).
e) Para el reconocimiento de los suelos en aéreas sin disturbios y en aéreas disturbadas se utilizaron los datos tomados en Noviembre de 2018 por el alumno Mateo Ordoñez y la doctora Andrea Bartel, dentro de las "Prácticas Complementarias Asistidas". Ellos muestrearon suelos en áreas saneadas y en áreas no disturbadas para reconocer diversos parámetros físicos, químicos y biológicos. Este ítem incluyó la realización de perfiles de suelos (no disturbados y saneados) para conocer su desarrollo pedogenético: 1) levantamiento de perfiles de suelo a través de calicatas (anchura y profundidad de las calicatas a convenir en el campo) , y sondeos con pala y/o barreno; 2) examen pedológico-litológico según criterios de Catt (1990) y de Soil Taxónomy (2000): 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).
f) Se relevaron las principales especies de flora de vegetación nativa y de las comunidades secundarias asociadas en áreas no afectadas, y se las comparó con el crecimiento de las especies pioneras en las aéreas saneadas desde el momento de la nivelación.

Con respecto al objetivo 2:

Se realizó una búsqueda de información de carácter teórico en distintos manuales de restauración y rehabilitación de ecosistemas dañados, para luego centrar la investigación en experiencias realizadas en aéreas perturbadas por la producción hidrocarburifera. Luego de

ubicar aquellos ejemplos prácticos con mayores semejanzas climáticas y edáficas al área bajo estudio en esta tesina, se procedió a adecuar un plan de trabajo que siguiese los lineamientos de la *Society for Ecological Restortation.*

Tabla 2.1: Lista de locaciones observadas en este proyecto.

Locación	Coordenadas	Estado	Actividades Realizadas	
LP-282	37°59’23’’ S y 67°52’19.97’’ O	Abandonado	Se delimitó la zona a sanear mediante el uso de GPS	Evaluación mediante GIS e imágenes satelitales de la evolución y perduración en el tiempo de las perturbaciones.
LP-296	37°59’5.49’’ S y 67°51’20.77’’ O	Abandonado		
LP-458	37°59’02’’ S y 67°51’49.46’’ O	En Estudio		
LP-561	37°59’14.45’’ S y 67°51’36.15’’ O	En Estudio		
LP-562	37°59’12.82’’ S y 67°52’04.25’’ O	En Estudio		
LP-673	37°59’02.60’’ S y 67°51’21.7’’ O	Parado transitoriamente		

Capítulo 3-Fundamentos Teóricos

3.1. Los Hidrocarburos y el petróleo

Los Hidrocarburos son compuestos químicos constituidos principalmente por átomos de carbono e hidrógeno (SERMANAT, 2003), pero pueden contener otros elementos en menor proporción como oxígeno, nitrógeno, azufre, halógenos, fósforo, etc. y se los clasifica en **alifáticos** (presentan una cadena abierta de carbono y se subdividen en saturados o alcanos, etilénicos o alquenos, y acetilénicos o alquinos) y aromáticos (poseen estructura cerrada -anillo hexagonal- en la que un carbono satisface sus valencias por medio de un doble enlace por un lado y un enlace sencillo por el otro. Son muy reactivos, tóxicos y químicamente versátiles. Al ser insolubles en agua, su biodegradación es difícil de lograr.) siguiendo la división de los compuestos orgánicos.

El **petróleo** es esencialmente una mezcla compleja de hidrocarburos de naturaleza química diferente y que se distinguen por poseer temperaturas de ebullición distintas. (Montoya Choque *et. al.* 2002). Se encuentra en el interior de la tierra y fue formado a partir de la descomposición de organismos de origen marino, en menor proporción de vegetación que habitaron en los periodos Triásico, Jurásico y Cretácico de la era Mesozoica.

El petróleo es la materia prima de varias actividades productivas englobadas en la "industria petrolera" y la principal fuente de energía industrial y doméstica, así como la materia prima de innumerables bienes de consumo. Es un recurso natural no renovable, por lo que demanda su preservación y uso racional. Al mismo tiempo es un elemento contaminante de otros recursos naturales y del ambiente general. Su presencia como contaminante en el ambiente puede deberse a causas naturales o antrópicas (accidentes, fugas y derrames industriales, o como subproductos de uso comercial o privado). La problemática de la contaminación por hidrocarburos se presenta cuando su concentración en los suelos, aguas superficiales y/o subterráneas supera la capacidad de degradación de los microorganismos presentes en el medio; estos se encargan de oxidar y mineralizar los TPH (siglas en ingles de Total Petroleum Hydrocarbons) a sustancias inocuas. Así, aquellas fracciones que no sean degradadas se fijarán a las partículas del suelo o sedimentos, dando origen a un suelo contaminado por hidrocarburos.

3.2. Hidrocarburos en el ambiente

Desde el momento en que se produce el derrame de petróleo, este sufre diferentes cambios físicos y químicos. Por lo tanto, al momento de explicar cómo se altera la naturaleza y composición de los hidrocarburos con el tiempo, es preciso conocer los procesos y su forma de interactuar con el ambiente. El petróleo y sus productos liberados al ambiente sufren procesos de intemperización como la volatilización, la transferencia a la fase acuosa; la oxidación química y la degradación microbiológica. Así, los hidrocarburos aromáticos son más solubles en agua que los alifáticos, y estos a la vez tienden a ser más volátiles. Los BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno) tienen una solubilidad significativa en agua por lo cual pueden enriquecer las aguas contaminadas. A su vez, otros hidrocarburos insolubles en agua pueden transferirse a la misma a través de la adsorción a partículas suspendidas en la fase acuosa o como aglomeraciones de gotas muy pequeñas (microemulsión).

3.3. Contaminación por hidrocarburos

La explotación del petróleo tiene efectos ambientales específicos que dependen de la ubicación del yacimiento. A nivel internacional se distinguen dos fases:

- **La Exploración:** Contempla la prospección y el reconocimiento científico de yacimientos, utilizando métodos geofísicos y sondeos de prospección, e incluye una fase de prueba en caso de que la perforación realizada alcance un objetivo de interés para la empresa exploradora. Para analizar la superficie del terreno e identificar yacimientos explotables se utilizan mapas fototipográficos de zonas extensas. Mediante la realización de sondeos de prospección con análisis de probetas y detritos obtenidos en perforación se validan los resultados de las exploraciones. El impacto ambiental provocado en esta etapa es moderado y no requiere infraestructura de contención.
- **La Extracción:**

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

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

Las actividades en el yacimiento, necesarias para la producción de petróleo y gas, provocan alteraciones de la superficie (suelos, topografía y vegetación), generación de ruido y emisiones atmosféricas. Según datos brindados por la Subsecretaría de Ambiente, a partir del registro de incidentes ambientales, los más habituales en los yacimientos pampeanos son los derrames de hidrocarburo por rupturas de líneas de conducción, satélites y colectores y fallas en los pozos productores, que en conjunto representan el 80% de los casos, siendo los más notorios por la gran cantidad de hidrocarburos liberados en un corto lapso de tiempo. El restante 20% corresponde a descargas menores en otros procesos de la actividad (derrames en planta de tratamiento, baterías, planta de tratamiento de gas).

Los criterios y las normas vigentes en nuestro país y/o en las provincias establecen los límites de saneamiento. En el caso de la provincia de La Pampa el Decreto 298/06 establece que los suelos saneados pueden ser considerados libres de hidrocarburos cuando los límites de TPH se encuentran por debajo del 2% en peso sobre masa seca.

3.4. Efectos de Contaminación

La contaminación afecta en forma directa al suelo, agua, aire, flora y fauna:

- **Efectos sobre el suelo:** Las zonas ocupadas por instalaciones pueden afectar al suelo, al ser este degradado por el desmalezado y compactado por el uso de maquinaria pesada. Por su parte, los derrames y los desechos alteran el sustrato fértil original en el que crecen las especies vegetales, dejando suelos inutilizables durante años.
- **Efectos sobre el agua:** La expulsión de petróleo y otros desechos en las aguas superficiales disminuye el contenido de oxígeno, lo que altera la composición de las especies y el hábitat. En el caso del 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, 2008).

Mientras se realizan las tareas de perforación se puede contaminar el agua subterránea, para que esto no suceda hay que aplicar prácticas correctas de perforación, el entubado apropiado, y el sellamiento de los acuíferos durante la perforación, terminación o abandono del pozo. La actividad 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.

- **Efectos sobre el aire:** cuando el valor del gas asociado al petróleo es bajo, este gas es venteado y/o quemado por medio de antorchas, lo que contamina extensas zonas según la dirección de los vientos (Bifaretti 2008). Cuando su valor es alto, es captado y no se libera a la atmósfera.

  Muchos pozos en los yacimientos de la Provincia registran un incremento de presencia de gas ácido asociado al petróleo. Ante una eventual pérdida y debido al elevado contenido de gas sulfhídrico, los trabajadores del lugar podrían sufrir severos daños en su salud. El venteo en nuestra provincia es autorizado por la Subsecretaría de Hidrocarburos y Minería sólo en casos de reparaciones de equipos y ductos de conducción. Petroquímica Comodoro Rivadavia S.A cuenta con una planta para endulzar el gas ácido, por lo que minimiza el impacto ambiental que genera el venteo del mismo.
- **Efectos sobre la flora y la fauna:** uno de los principales impactos ambientales de la actividad es la degradación y pérdida de la vegetación, y la productividad del suelo por la descarga de las aguas de producción, el petróleo y los lodos de perforación.
- **Efectos socio-económicos:** La actividad provoca conflictos permanentes sobre el uso de la tierra, particularmente con los pobladores locales, a lo que se suma una creciente demanda sobre los servicios y medios de las comunidades locales, conflictos sociales y culturales (tradiciones y estilos de vida de los nativos).

3.5. Normas ambientales provinciales relacionadas con la actividad hidrocarburífera

El **Decreto N° 458/05** aprueba la reglamentación parcial de la Ley Ambiental Provincial N° 1914; es un importante instrumento normativo y procedimental que regula la protección ambiental que deben cumplir las empresas operadoras durante las operaciones de exploración y operaciones sísmicas, de exploración por perforación, de desarrollo y

producción de hidrocarburos. El anexo contempla las distintas normas ambientales ordenadas en cuatro títulos y setenta y tres artículos. El **Decreto N° 298/06** fija los parámetros físicos y químicos de los residuos petroleros (**Anexo I**) y el **artículo 1** define a un residuo de petróleo como "*todo material o suelo afectado por hidrocarburos como resultado de tareas de exploración, perforación, producción, mantenimiento y limpieza y/o derrames de hidrocarburos en suelo y/o agua, con un contenido de hidrocarburos totales de petróleo mayor a 2,00 % p/p sobre masa seca (dos coma cero cero por ciento peso en peso) o su equivalente 20.000 mg/Kg. (veinte mil miligramos por kilogramo de masa seca), determinado por el Método EPA 418.1, o el Método EPA 1664A, resultante de los procesos, operaciones o actividades desarrolladas dentro de las tareas de exploración, explotación, transporte y almacenaje de hidrocarburos del Yacimiento, generado, en forma habitual o eventual, no programada o accidental, cuyo destino natural debería ser su eliminación. Se considera también residuo petrolero a toda indumentaria de trabajo (guantes, botines, mamelucos, etc.) y trapos que contienen hidrocarburos. Los Residuos Petroleros deberán ser gestionados (generación, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final) de acuerdo a lo prescripto en el presente Decreto, en la Ley 1914, y los Decretos Reglamentarios Parciales Nº 2139/03, y 458/05".*

El **artículo 2** expresa que en las tareas de limpieza y posterior tratamiento de los residuos petroleros "*se buscará: a) maximizar la extracción de los líquidos que pudieran existir en las mezclas de suelo afectado por hidrocarburos como resultado de los derrames de hidrocarburos en suelo y/o agua; b) Una vez extraído el hidrocarburo de los pozos o fosas de contención, deberán ser saneados antes de ser tapados; c) minimizar la extracción de suelo autóctono de la zona afectada; en todos los casos privilegiando la utilización de tareas manuales cuando se deba preservar la vegetación arbustiva. En caso de ser necesario agregar áridos a fin de mejorar la consistencia de la mezcla para posibilitar su retiro, se utilizarán los provenientes de canteras y en ningún caso suelo fértil de la zona afectada*".

El **artículo 3** establece que los repositorios para los suelos empetrolados remediados, o a remediar, se deben impermeabilizar con una lámina de espesor mayor a 800 micrones, o algún material reciclable que asegure la impermeabilización del suelo. Se deberá instalar un freatímetro que permita tomar muestras del lixiviado.

A través de la **Disposición N° 164/09** se aprueban las normas sobre la **disposición de los lodos de perforación en la actividad hidrocarburífera**. En el **artículo 1º** se autoriza: la

disposición de residuos de lodos de perforación en zonas ambientalmente impactadas previa solicitud ante la Subsecretaría de Ecología (actual Ambiente), con la autorización del dueño del predio; el cercado del sitio para impedir el ingreso de animales y la realización de análisis de los residuos de lodos de perforación (deberán tener una humedad total inferior al 55%; un pH que no se diferencie en más de una unidad de pH al terreno de disposición; un contenido de HTP inferior al 2% sobre materia seca, de sales totales de hasta 4000 uS/cm y un contenido de metales pesados conforme a lo establecido para suelos de uso industrial en el Anexo I, Tabla 9, del Decreto N° 2054/00, reglamentario de la Ley Provincial N° 1466 de Residuos Peligrosos. El artículo 2º faculta a la autoridad de aplicación para realizar el monitoreo de los procesos y de aquellos parámetros que considere necesarios para corroborar los resultados de análisis presentados. En el **artículo 3º** se obliga a la empresa generadora del residuo a realizar un escarificado en el sitio de disposición autorizado una vez que el mismo esté colmatado, con la finalidad de favorecer la revegetación autóctona; debiendo retirar el cercado cuando el terreno soporte el peso de los animales y ya no constituya un peligro para los mismos.

3.6. Pasivo ambiental

En las áreas productoras de hidrocarburos, la existencia de pasivos está relacionada con la "**pérdida del estado ambiental previo"**, debido a incidentes en las instalaciones. La Ley N° 14343 regula la identificación de los Pasivos Ambientales en Provincia de Buenos Aires, y los entiende como "*el conjunto de los daños ambientales, en términos de contaminación del agua, del suelo, del aire, del deterioro de los recursos naturales y de los ecosistemas, producidos por cualquier tipo de actividad pública o privada, durante su funcionamiento ordinario o por hechos imprevistos a lo largo de su historia, que constituyan un riesgo permanente y/o potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad, y que haya sido abandonado por el responsable*". Desde esta perspectiva, se asocia los pasivos ambientales al deterioro de los ecosistemas o de sus componentes, a través del impacto generado por cuestiones tanto naturales como antrópicas.

El nuevo concepto de pasivo ambiental vincula la perspectiva ambiental con la perspectiva social, así los pasivos son impactos ambientales y sociales que permanecen en el tiempo como impactos no remediados, derivando en una "deuda ecológica", por la perdida en la calidad del ambiente y de vida de las poblaciones (Peña Altamirano, 2013). Estas "deudas"

a veces no son reconocidas como tales por la jurisprudencia vigente, en otras oportunidades las leyes establecen límites y prohibiciones que no son respetados; se podría decir que dichas deudas son éxitos de traslación de los costos a la sociedad, que permiten a las empresas ser competitivas (Martínez-Alier y O' Connor 1996).

3.7. Remediación de pasivos en suelos

El tratamiento y recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos se puede definir como el conjunto de operaciones realizadas con el objetivo de controlar, disminuir o eliminar los contaminantes presentes (Coria, 2015). En sitios con pasivos ambientales en suelos se deben tomar acciones correctivas como la definición de medidas de seguridad (restricciones al acceso al lugar), la construcción de barreras físicas y la minimización del escape potencial del lugar. Luego, se debe realizar una profunda investigación del sitio para establecer la naturaleza y extensión de la contaminación, para proponer un plan de restauración apropiado y realista para el caso.

3.7.1 Técnicas de remediación de suelos

Según Coria (2015) las técnicas aplicadas en la remediación de suelos se pueden clasificar en *In situ y Ex situ.* En las primeras no se excava el suelo contaminado, y su ventaja es el menor costo y el bajo impacto ambiental inducido; no obstante, existen muchas dudas sobre los resultados finales. El segundo grupo de técnicas excava el suelo contaminado, y se destacan por su efectividad y mejor control del proceso dado que el suelo contaminado es físicamente eliminado y se incorpora suelo nuevo que se homogeniza con el suelo anterior no contaminado; así, el sistema opera prescindiendo de factores externos, como el clima. Como contraparte, las técnicas *ex situ* tienen el problema del alto costo.

En la actualidad se dispone de un amplio abanico de tecnologías de recuperación de suelos contaminados, algunas de aplicación habitual y otras en fase experimental, diseñadas para aislar o destruir las sustancias contaminantes mediante procesos generalmente físico-químicos, térmicos o biológicos (Tabla 3.1).

Tabla 3.1: Métodos de remediación de suelos y su forma de actuar ante los contaminantes.

Tipos	Proceso	Nombres	Objetivo
TERMICOS	Se someten los suelos a altas temperaturas que logran separar gases de sólidos (***desorción térmica***) o quemar los contaminantes (***incineración***). (EPA, 1996).	Desorción	Desorción, a partir del calor, de la contaminación producida por metales y compuestos orgánicos volátiles.
		Incineración	Evaporación y destrucción de los contaminantes a partir de una fuente de calor.
FÍSICO-QUIMICOS	Se utilizan líquidos para separar contaminantes peligrosos del suelo y concentrarlos fuera del mismo, pudiendo realizarse tanto ***in situ*** como ***ex situ***. (Alonso 2012).	In Situ	Lavado de hidrocarburos a partir de soluciones líquidas.
		Ex Situ	Lavado y concentración de contaminantes a partir de la utilización de líquidos.
BIOLOGICOS	Consisten en el uso de microorganismos que pueden digerir sustancias orgánicas peligrosas. Para así descomponer o degradar sustancias peligrosas en sustancias de menor o nula toxicidad. Ciertos microorganismos pueden digerir sustancias orgánicas peligrosas para los seres humanos, como combustibles o solventes. (Belloso, 1998) (Cursi y Calleja, 2000) (Ercolli et al., 2001).	Landfarming	Biodegradación de los contaminantes a partir de fertilizantes y/o microorganismos.
		Bio-pilas	Biodegradación de los contaminantes a partir de fertilizantes y/o estimulación microbiana.
		Bioventing	Degradación de los hidrocarburos por volatilización y por biodegradación.
		Técnicas in situ	Biodegradación a parir de la actividad de microorganismos.

3.7.2. Métodos de remediación de suelos utilizados en el área de estudio

La aplicación de los métodos de remediación (Tabla 3.1) depende de las características del suelo y del contaminante, de la eficacia esperada en cada tratamiento, de su viabilidad económica y del tiempo estimado para su desarrollo (Reddy *et. al.*, 1999).

En el Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE han sido aplicados los siguientes métodos de remediación:

1. **Métodos Térmicos:** estos son un tipo de tratamiento *ex situ;* los contaminantes son destruidos o separados del suelo al someter a este a elevadas temperaturas con el objetivo de volatilizar o destruir las cadenas de hidrocarburos presentes. Este proceso

genera gases y cenizas residuales que deben ser depurados. (Ross *et. al.,* 2002). Se dividen en dos tipos de tratamiento:

A. ***Incineración:*** se basa en la aplicación de altas temperaturas (785-1.000°C) al suelo para volatilizar y oxidar los compuestos orgánicos contenidos en el mismo; requiere habitualmente un combustible auxiliar que permita iniciar y mantener el proceso de combustión. Los gases resultantes arrastran parte de los contaminantes, por lo que deben depurarse antes de su emisión a la atmósfera, tanto para eliminar partículas como gases ácidos (HCl, NOx y SOx). La disposición final de los suelos contaminados puede hacerse en hornos de cemento ('valorización de residuos') para una eliminación segura de los pasivos ambientales (Alonso 2012). Está indicado para recuperar suelos contaminados con explosivos y residuos peligrosos, particularmente hidrocarburos clorados, PCBs y dioxinas (Silcox *et. al.*, 1995), aunque su reutilización es muy limitada porque este tratamiento destruye la estructura del suelo y el contenido de materia orgánica y nutrientes.

B. ***Desorción térmica:*** se expone el suelo a temperaturas relativamente más bajas (250-550°C) que en el método anterior, para conseguir la desorción en vez de la destrucción de los contaminantes (como pueden ser compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos, PCBs, pesticidas y determinados metales pesados volátiles, e.g. mercurio, plomo) Piña *et. al.*, (2002); Araruna *et. al.* (2004); Chang and Yen (2006); USEPA (1994). El suelo queda completamente transformado, sin materia orgánica ni microorganismos, así tampoco sin disoluciones (EPA, 1996). Petrobras Argentina, a través de la empresa Gabino Correa, aplicó este método en el periodo 2013/2014 en el yacimiento Medanito SE. Los resultados fueron poco satisfactorios, la planta presentaba inconvenientes operativos y el suelo tratado no presentaba nutrientes y disminuían considerablemente el contenido de materia orgánica, por lo que para reponerlo en los sitios saneados debían ser depositados en la base y luego cubiertos con una capa de suelo con mayor contenido de materia orgánica, por lo que se optó utilizarlos en el relleno de una antigua cantera de áridos próxima al recinto de cuttings y posteriormente nivelar y cerrar con alambrado perimetral.

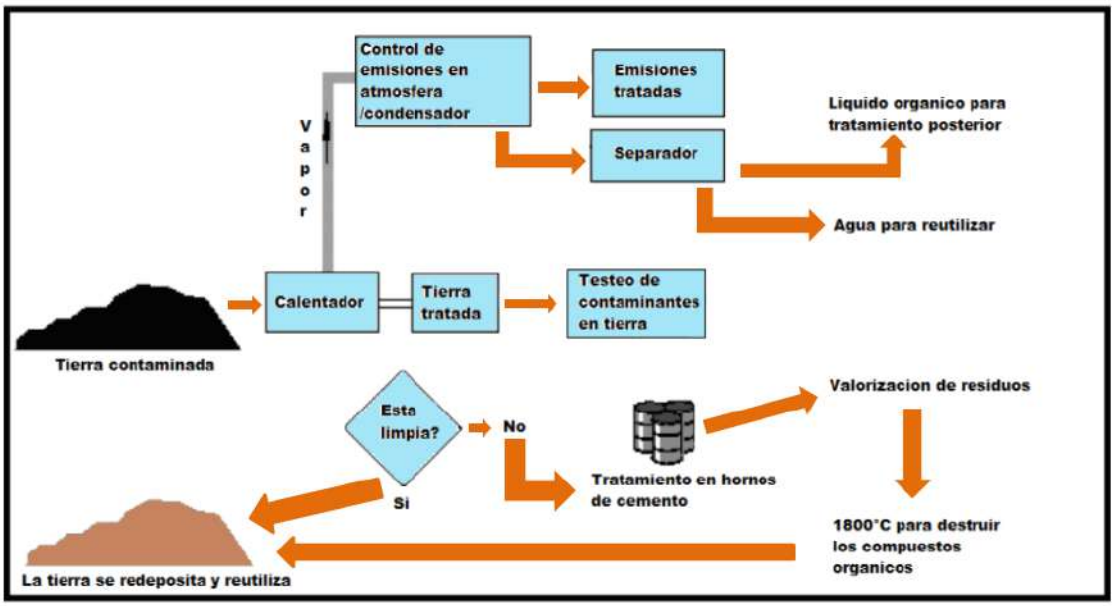

Figura 3.1: Desorción térmica y posterior incineración (tomado de Conde, 1987 y modificado por el autor)

2. **Métodos Biológicos:** utilizan microorganismos naturales para degradar sustancias peligrosas a sustancias menos tóxicas. Son los más deseables para la remediación de suelos contaminados en contraste a alternativas más costosas y de menor aceptación pública como la incineración. Pueden ser eficientes y económicos si las condiciones de biodegradación son optimizadas. Entre las técnicas utilizadas en el yacimiento Medanito SE, se distinguen:

A. ***Landfarming:*** recuperación biológica por biodegradación que reduce la concentración de contaminantes de peso mediano que no pueden ser eliminados por volatilización. Generalmente, el suelo se excava y se extiende en una capa delgada, de no más de 1,5 m de espesor, sobre la superficie del lugar donde se realiza la recuperación y se estimula la actividad microbiana aeróbica mediante aireación -abranza o arado del terreno- y/o adición de nutrientes, minerales y agua (USEPA, 1998; Hejazi, 2002). Es frecuente la adición de bacterias alóctonas degradadoras de hidrocarburos para acelerar el proceso; la estimulación de la actividad de los microorganismos incrementa la degradación de los productos de petróleo adsorbidos (Riser-Roberts, 1998; Abboud, 2000). Petrobras Argentina S.A, a través de la empresa SYMEC, aplicó este método en el año 2013 para sanear suelos contaminados con derrames hidrocarburos en la Batería 3. Los resultados

fueron satisfactorios en cuanto a la disminución en la concentración de hidrocarburos, pero demandó aproximadamente diez meses el tratamiento de un volumen reducido de suelos.

B. ***Bio-Pilas:*** formación de pilas altura de suelo contaminado y materia orgánica, de <2 metros de altura, para el desarrollo de los procesos de biodegradación de los contaminantes por medio de actividad microbiana aerobia estimulada mediante aireación activa (biopilas dinámicas, volteando la pila) o pasiva (biopilas estáticas) (Jimenez Puyen, 2012) y adición de nutrientes, minerales y agua. El sistema de biopilas alargadas es económico y sencillo. El material se apila en una plataforma en montones alargados y se cubren 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 y además de para compuestos del petróleo, también se puede utilizar para compuestos orgánicos volátiles halogenados y no halogenados, compuestos orgánicos semivolátiles y pesticidas. (Li *et. al.*, 2004; Plaza *et. al.*, 2005). Petrobras Argentina S.A. utilizó este tratamiento para sanear suelos con pasivos, con bajas concentraciones de hidrocarburos, pero superiores a los fijados en la normativa vigente. Se extrajeron las áreas impactadas y se sometieron a un tratamiento físico-mecánico con una máquina segregadora para romper las costras de hidrocarburos y separar luego las distintas fracciones en una secuencia de mallas pudiendo separar restos de chatarra -acopiados en sitios especiales- de costras con hidrocarburos no molidas y rodados con arena. Estos últimos se acopiaban en pilas de 3000 metros cúbicos, utilizando métodos estáticos cuando las concentraciones iniciales de hidrocarburos totales eran bajas; con concentraciones superiores al 10% p/p seco se trabajaba con pilas dinámicas, aireadas y con adición de nutrientes para promover la actividad de los microorganismos autóctonos. Los rodados con restos de hidrocarburos se acopiaron diferencialmente ya que requerirán una nueva segregación y trituración, mezcla de suelos contaminados y posterior agregado de microrganismos degradadores de los hidrocarburos.

3.8. Restauración Ecológica en el Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE

Luego de la nivelación de las áreas saneadas con suelo tratado, se presenta el desafío de restaurar ecológicamente las mismas. Actualmente, el área de estudio presenta cerca de 29.050 m^2 de superficie saneada y nivelada, donde la vegetación autóctona fue drásticamente reducida. En algunos casos, incluso sin potencial de regeneración por la pérdida total del banco de semillas del suelo, Así mismo, el suelo ha sufrido importantes pérdidas de materia orgánica, tal como lo demuestran los análisis realizados.

En casos como el del yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE, el restablecimiento de las condiciones naturales ante disturbios severos es muy lento debido a su baja resiliencia[1] y escasa disponibilidad de recursos, como agua y nutrientes. Asimismo, el establecimiento de plántulas se produce de manera infrecuente, irregular e impredecible, y la recuperación total sin intervención antrópica puede llevar hasta cientos de años, tal como se puede observar en áreas que fueron saneadas en el año 2013, donde la cobertura vegetal de las especies pioneras es mínima (menor al 20%), tal como puede observarse en proximidades del pozo LP-561 y LP-296. Es por ello, que usualmente es necesario utilizar técnicas de manejo ambiental o de restauración ecológica para iniciar el proceso de recuperación de ecosistemas disturbados por la actividad petrolera. Como se expresó, no existen estudios con propuestas de rehabilitación de áreas degradadas. Es fundamental que a partir de este estudio se pueda lograr la información que posibilite comparar una condición inicial de conservación, con otra condición ideal, denominada paisaje de referencia, creada proyectando los cambios esperados por la restauración ecológica de los sitios saneados.

Para ello, en esta primer etapa es tal como lo plantea Zulueta (2012) es fundamental realizar un estudio integral del yacimiento, relevando áreas saneadas, pasivos y signos de erosión en líneas de escurrimiento y proponer distintas técnicas para la solución particular de cada situación, para poder establecer el paisaje de referencia y proponer distintas técnicas de restauración de la cobertura vegetal de las áreas impactadas.

3.8.1 Tipos de restauraciones ecológicas

El agente de degradación, así como el tipo y nivel de la misma son los factores determinantes del grado de restauración necesario en un ecosistema. Estos, junto con la

[1] Resiliencia: capacidad de una planta de absorber perturbaciones, sin sufrir grandes cambios estructurales o funcionales.

capacidad presupuestaria, determinan el modelo de restauración ecológica (Cano, 2017). La *Society for Ecological Restoration* nombra tres tipos de modelos de restauración ecológica:

a) Recuperación de un ecosistema degradado (es decir, que presenta cambios leves o graduales que perturban la composición, estructura y funcionalidad ecológica del mismo) o dañado (cambios drásticos) a su estado anterior.

b) Sustitución de un ecosistema totalmente dañado (degradación que como resultado ha eliminado gran parte de la vida macroscópica y ha destruido el ambiente físico). El nuevo ecosistema debe ser reconstruido en su totalidad, contando siempre con un ecosistema de referencia. Las sustituciones son comunes en zonas afectadas por actividades mineras o petroleras.

c) Transformación de un ecosistema en otro diferente al ser totalmente eliminado el ecosistema original, así como también ha sido completamente transformado su paisaje y/o geomorfología.

A los tres modelos generales de restauración se debe añadir la restauración pasiva o sucesión espontánea. Esta debe ser siempre contemplada como la primera opción en restauración ecológica. Consiste en dejar actuar sin intervención alguna el proceso natural de sucesión ecológica que se inicia en todo ecosistema degradado tras el cese del agente de degradación (Cano, 2017).

3.8.2. Diseño general de un proyecto de restauración ecológica

Luego de la identificación de un ecosistema degradado, se debe tomar la decisión de intervenir y realizar una serie de tareas previas al diseño de un proyecto de restauración (*Society of Ecological Restortation*, 2005), entre las que se destacan:

a) Elección de la entidad redactora y supervisora de la ejecución del proyecto.
b) Recolección de información sobre el estado actual del medio físico y biológico de la zona de estudio. Redacción de nuevos estudios si no existe información detallada.
c) Recolección de información histórica y cartográfica sobre la evolución del ecosistema de estudio: evolución de la vegetación, cambios de uso, actividades relacionadas con el medio biológico. Licitación de nuevos estudios si no existe información detallada.
d) Elaboración de un seguimiento previo, al menos un año, a la intervención, que consiste en la medida, al menos estacional, de parámetros físico-químicos de suelo y agua, de

actividad biológica edáfica, vegetal y faunística, y de medidas de funcionamiento del ecosistema, tales como balances de nutrientes, actividad biológica, producción de biomasa, biodiversidad y redes tróficas.

e) Establecimiento del ecosistema de referencia, determinado por el análisis de la información sobre el estado previo a la degradación de la zona de estudio, así como la evolución (o regresión) del ecosistema desde su perturbación hasta la actualidad. Requiere de un estudio a escala local y regional para determinar las especies e interacciones clave en cada etapa sucesional y las situaciones particulares derivadas de eventos estocásticos, que pueden dar lugar varios estados potenciales para una misma etapa sucesional.

f) Realización de ensayos piloto para conocer los requerimientos autoecológicos de las especies clave y los métodos de implantación más efectivos.

g) Preparación de una lista de objetivos para alcanzar el ecosistema de referencia mediante un proyecto de restauración.

Luego de cumplidas estas tareas, se puede proceder a redactar el proyecto de restauración, el cual debe incluir los siguientes ítems (*Society for Ecological Restortation*, 2004):

i. Explicación argumentada de los motivos por los que es necesaria la restauración del ecosistema seleccionado, definiendo el tipo de degradación que sufre, sus consecuencias para el funcionamiento del ecosistema y la matriz paisajística a la que pertenece.

ii. Descripción ecológica exhaustiva del lugar a restaurar.

iii. Exposición concreta de los objetivos del proyecto de restauración.

iv. Elección y descripción del ecosistema de referencia.

v. Explicación acerca del modo en que la restauración se integrará en el conjunto del paisaje y sus flujos de materia y energía.

vi. Programa de actuaciones y presupuesto desglosado para cada una de las fases: preparación del terreno, introducción de especies, manejo temprano y corrección de desviaciones de la trayectoria predicha.

vii. Sistema de seguimiento del éxito de cada una de las fases con estándares de verificación de calidad de la obra, para la evaluación objetiva de la restauración. Es importante incluir controles (parcelas no restauradas) dentro del área a restaurar.

viii. Programa de estrategias de protección y mantenimiento del ecosistema restaurado; se trata de sistemas de control para evitar amenazas internas o externas que pueden degradar de nuevo el ecosistema en restauración.

Capítulo 4 - Descripción general del ambiente

4.1. Área de estudio

El área de influencia del proyecto se localiza en el yacimiento petrolífero “25 de Mayo-Medanito SE” operado por la UTE Pampetrol SAPEM- Petroquímica Comodoro Rivadavia S.A., en el suroeste de la Provincia de La Pampa, Departamento de Puelén. El yacimiento se localiza aproximadamente a 30 kilómetros al sureste de la localidad de Colonia 25 de Mayo (37°59'33.10"S - 67°52'32.89"O), y abarca una superficie de 134 km^2 (Figura 4.1).

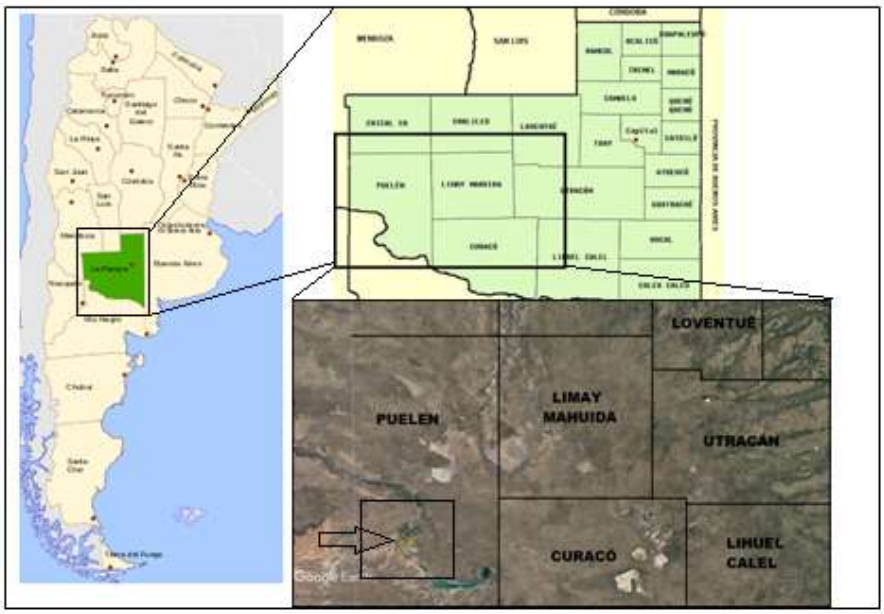

Figura 4.1: Ubicación geográfica de la zona de estudio, dentro del Departamento de Puelén.

El trabajo de tesina se realizó específicamente en el entorno a la Batería 3 (37°59'31.70"S-67°52'33.14"O) del yacimiento “25 de Mayo-Medanito SE”, específicamente en el sector Nordeste; abarca una superficie de 1,15 km^2, equivalente al 0,85 % de la superficie total del área del yacimiento. (Figura 4.2 b -Tabla 4.1.)

Tabla 4.1: Coordenadas Geográficas de los puntos extremos del área del proyecto.

REFERENCIA	COORDENADAS GEOGRAFICAS
Vértice 1	37°59'31.91"S y 67°52'32.67"O
Vértice 2	37°58'48.98"S y 67°51'46.53"O
Vértice 3	37°59'6.02"S y 67°51'5.02"O
Vértice 4	37°59'36.75"S y 67°52'28.77"O

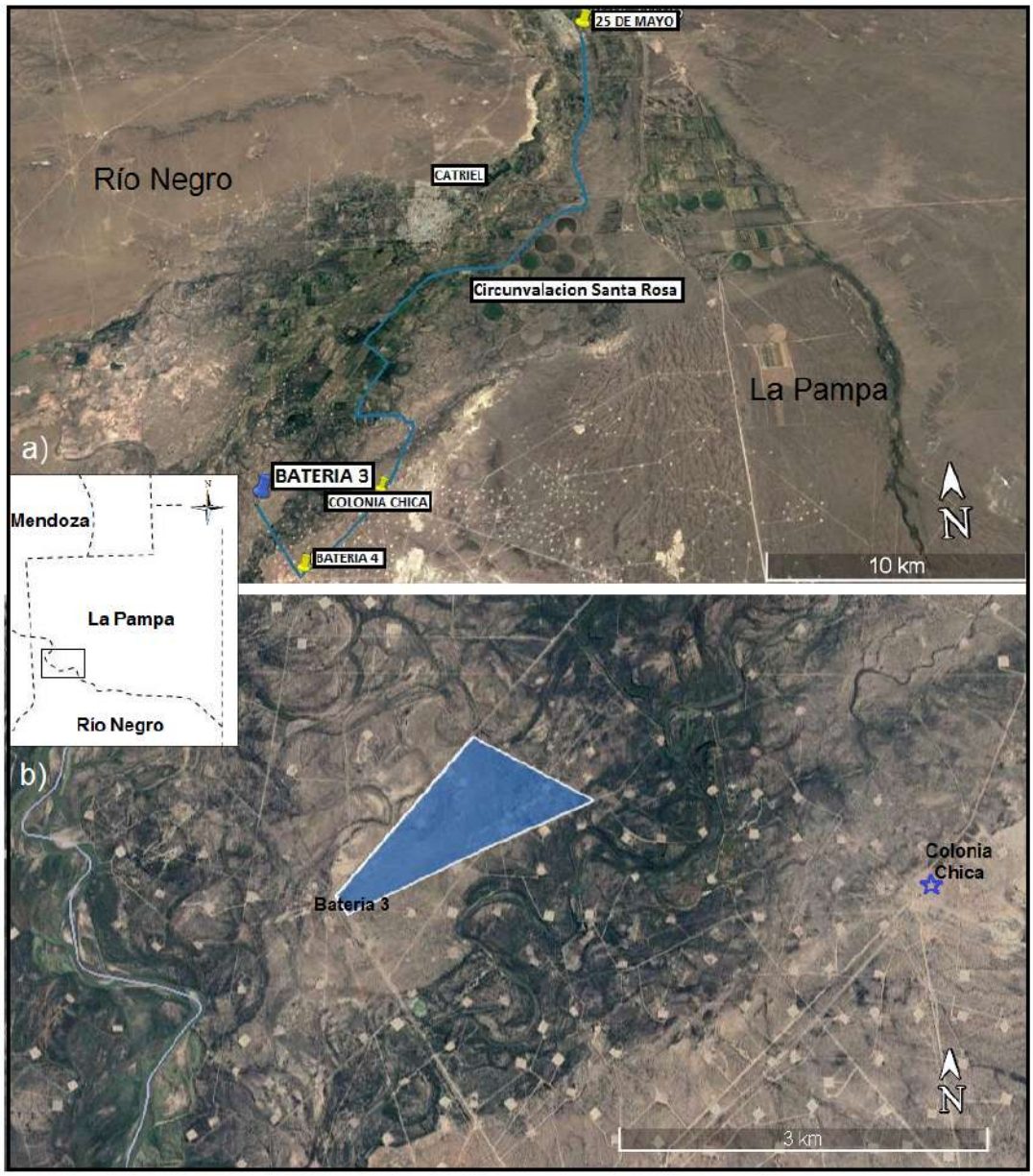

Figura 4.2: a) Camino de acceso a la Batería 3 desde 25 de Mayo, **b)** Área de trabajo.
(Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth).

4.2. Marco tectónico, estructural, estratigráfico y litológico

Esta tesis, esta centrada en la Plataforma Nororiental, o Plataforma de Catriel, que encuentra ubicada en la provincia geológica conocida como Cuenca Neuquina, de edad Mesozoica. El origen de la Cuenca data del Triásico superior, con secuencias de depósitos que gradan desde el extremo volcánico hasta el netamente clástico acumulados en depocentros discontinuos generados a partir de una fase tectónica extensional actuante en el

sector centro-occidental de la placa de América del Sur. Este hecho se encuentra relacionado al desmembramiento de Pangea, del paleozoico superior al triásico. Como resultado de tales procesos, se formaron hemigrábenes de rumbo noroeste que se intercomunicaron durante la etapa de enfriamiento térmico.

Durante el jurásico comienza una etapa de *syn-rift*, los sedimentos encuentran en este ámbito una marcada depresión a través de la cual se expanden en dirección oriental. A partir de ese momento, el relleno sedimentario presenta una notable ciclicidad definida por la presencia de sedimentos marinos y continentales en forma alternada; situación que perdura hasta el terciario. En el Jurásico Inferior se reestableció en el margen occidental de Gondwana un sistema de subducción, cuyo resultado es el primer arco magmático mesozoico, así como la formación de cuencas de intraarco y retroarco, caracterizadas por depósitos 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 a partir del levantamiento de la Cordillera de los Andes y la formación de la faja plegada y corrida del Agrio. En el Cretácico Inferior se reconoce una gran área marina andina conectada al Pacífico a través del arco volcánico, representada de norte a sur por la cuenca de Chañarcillo (Chile) y la cuenca Neuquina (Muravchik, 2011) (fig. 4.3). El 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).

Los rasgos estructurales del lugar fueron formados por movimientos diferenciales del bloque del basamento a partir de un fallamiento extensional. La continua activación de estas estructuras originó un marcado control estructural en el registro estratigrafico de la zona y 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 abundante entrampamiento estratigrafico o combinado a las estructuras de escaso tamaño. (Legarreta 1999).

La columna estratigráfica típica la integran el grupo Neuquén (areniscas y conglomerados); la formación Rayoso (arenisca color castaño rojizo depositada en el Cretácico temprano en un medio predominantemente continental), el grupo Mendoza (Jurásico tardío y el Cretácico temprano) lo integran las formaciones Centenario (arenisca de

color castaño rojizo con abundante matriz arcillosa y arcillita gris verdosa a castaño rojizo) y Quintuco (Loma Montosa) formada durante una transgresión marina que instala una amplia plataforma carbonática de baja pendiente (Rossello y Barrionuevo, 2006, en Casadío y Montagna, 2015); la formación Catriel (psamita de color gris verdoso, con pobre consolidación). Las facies fluviales de los niveles inferiores constituyen el principal carrier de los hidrocarburos del sistema Vaca Muerta desde el "engolfamiento Neuquino" (Mosquera *et. al.,* 2008, en Casadío y Montagna, 2015) donde se ubica la "cocina", hasta la plataforma nororiental (Cruz et al., 2002, en Casadío y Montagna, 2015) y el principal reservorio de las acumulaciones de hidrocarburos en la zona y el grupo Precuyo formado por una roca volcánica color castaño oscuro.

En lo que corresponde a la geología superficial, los afloramientos más antiguos corresponden a la Formación Allen (Grupo Malargüe) del Cretácico Superior, explotados comercialmente para la producción de bentonita. Se hallan expuestas o cubiertas por una delgada capa de gravas o de arenas eólicas, que corresponden a un conjunto de materiales diversos conforman los depósitos recientes.

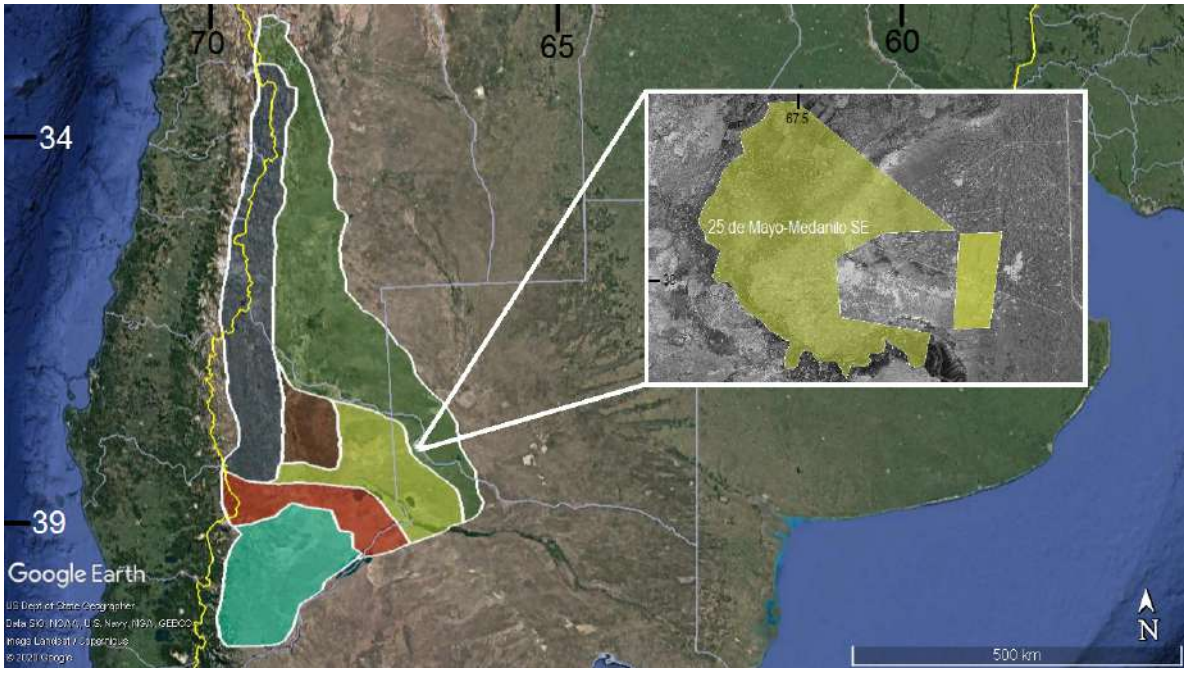

Figura 4.3: Regiones morfoestructurales de la Cuenca Neuquina según Casadío y Montagna (2015): 1. Faja plegada, 2. Alto de los Chihuidos, 3. Plataforma Nororiental, 4. Región del Engolfamiento, 5. Dorsal de Huincul, 6. Sur de la Dorsal y Localización del yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE en Cuenca Neuquina. (Realizado a partir de Google Maps).

4.3. Geomorfología del área de estudio

El área de estudio está comprendida, regionalmente, dentro del Dominio geomorfológico de los mantos de rodados de vulcanitas Salazar Lea Plaza (1975), posteriormente denominado Subregión de las terrazas y paleocauces con rodados de vulcanitas (Cano *et. al.* 1980). Esta subregión tiene una superficie aproximada de 3.540.760,75 m², y se ubica en el SO de la provincia (37º 30' y 39º S y 66 y 68 º O).

El registro geomorfológico de la subregión de las terrazas y paleocauces con rodados de vulcanitas está estrechamente vinculado con la presencia del Río Colorado. (Figura 4.4) En el pasado geológico el río desarrolló una intensa actividad, ocupó extensas áreas donde acumuló rodados de vulcanitas que dieron origen a conglomerados que cubren a terrazas y mesetas. Coincidentemente con estas acumulaciones, elaboró amplios y bien definidos cauces, ubicados casi paralelamente al norte de su curso actual. Este ha marcado el paisaje con geoformas características. Las geoformas positivas del paisaje entre las que se encuentran las terrazas y mesetas alargadas, conformando el paleoabanico del río Colorado; y las negativas como paleocauces, cañadones, y los bajos sin salida (Cano *et al*. 1980). (Figura 4.4)

El principal proceso morfogenético corresponde al dominio fluvial, con geoformas agradacionales construidas por el río Colorado posiblemente en el Plioceno- Cuaternario, que permitió el depósito de los materiales que conformaron el dilatado abanico aluvial de entonces.

Topográficamente, se distingue la presencia del valle del río y un nivel de terraza fluvial que conforma un resalto topográfico de aproximadamente 5m de altura respecto de la planicie de inundación actual del río, y 49 m por debajo de la superficie de meseta regional ('terrazas y paleocauces con rodados de vulcanitas") de terraza marcadamente erosionada. También presenta acumulaciones de arena formadas a partir de la erosión eólica producida en el interior del valle, en la superficie de la terraza. La pendiente regional se inclina de Noroeste a Sureste.

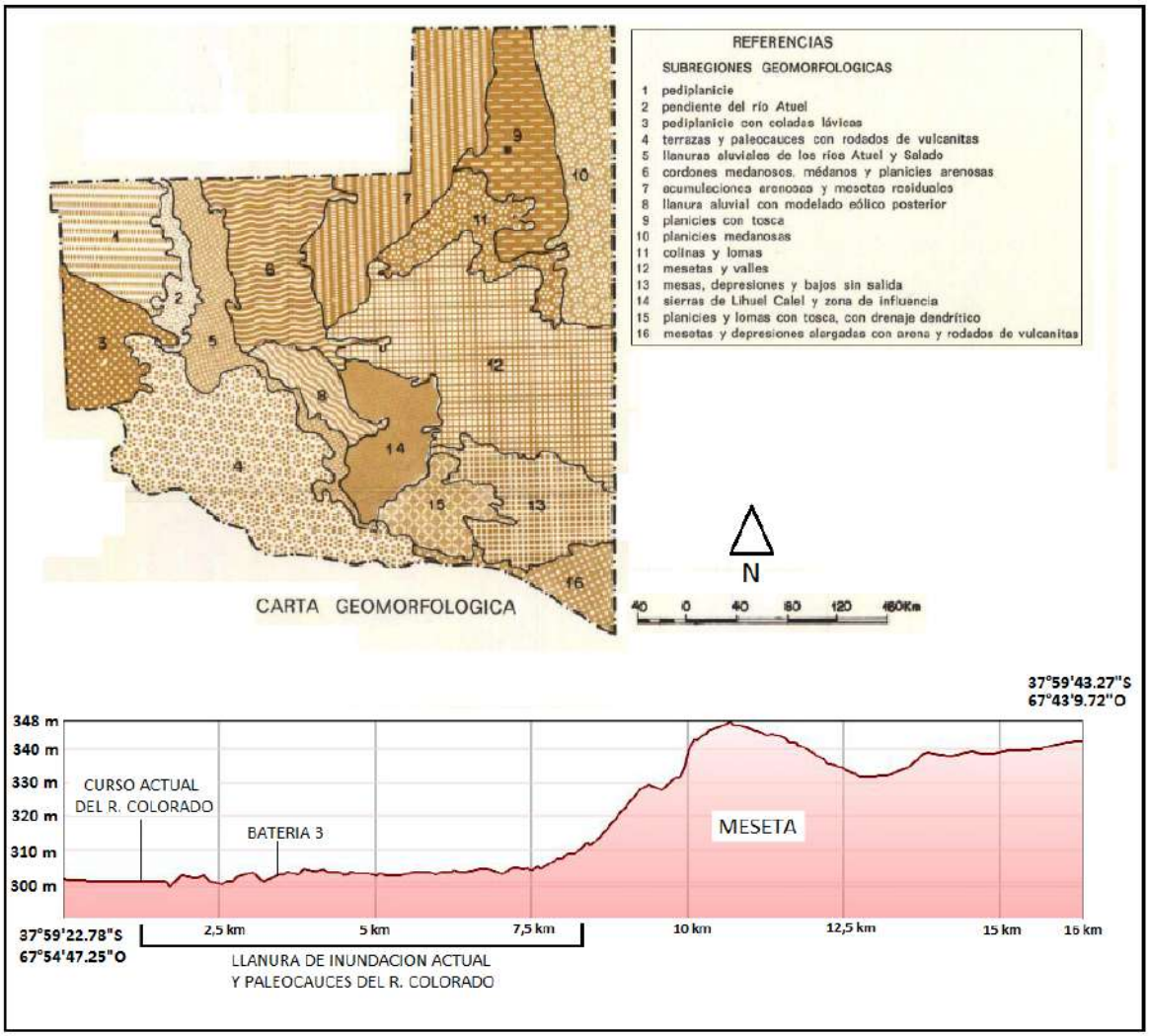

Figura 4.4: Mapa de subregiones geomorfológicas de la Provincia de La Pampa (INTA, 1976) y Perfil SO-NE, obtenido mediante Google Earth, del área de estudio, denotando características geomorfológicas de la misma.

4.4. Hidrología

4.4.1. Hidrología superficial

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Región Hídrográfica de la Planicie de Curacó, donde solo se presenta como recurso hídrico el río Colorado (Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de La Pampa). La cuenca del río Colorado cubre un área de 48.000 km², se extiende sobre las provincias de Mendoza, Neuquén, La Pampa, Río Negro y Buenos Aires, hecho que la convierten en una cuenca hídrica interprovincial. (Fig. 4.5)

Desde sus orígenes en la Cordillera de los Andes, hasta su desembocadura en el Océano Atlántico, se extiende por 1.200 km, de los cuales 920 km corresponden al río Colorado propiamente dicho. Este río se origina a partir de la confluencia de los ríos cordilleranos Grande (Mendoza) y Barrancas (Mendoza y Neuquén) a 835 m.s.n.m y fluye hacia el Océano Atlántico con dirección NO – SE.

El régimen hídrico está caracterizado por la fuerte influencia de las estaciones en su caudal, ya que su alimentación preponderante corresponde a la fusión nival originada en la cuenca activa o cuenca alta (subcuencas de los ríos Grande y Barrancas). Su caudal medio oscila en torno a los 130 m^3/s con máximas anuales del orden de los 500 m^3/s y crecidas cíclicas de aproximadamente 11 años que superan los 1100m^3/s (Alvarellos y Hernández, 1982).

A lo largo de la cuenca, el COIRCO (Consejo Interprovincial del Río Colorado) realiza muestreos metódicos con el objetivo de poner en evidencia posible contaminación del agua del río con hidrocarburos, metales y metaloides. Entre los resultados del monitoreo efectuado durante todo el año 2014, los valores obtenidos indican que el agua del Río Colorado es apta para el consumo humano.

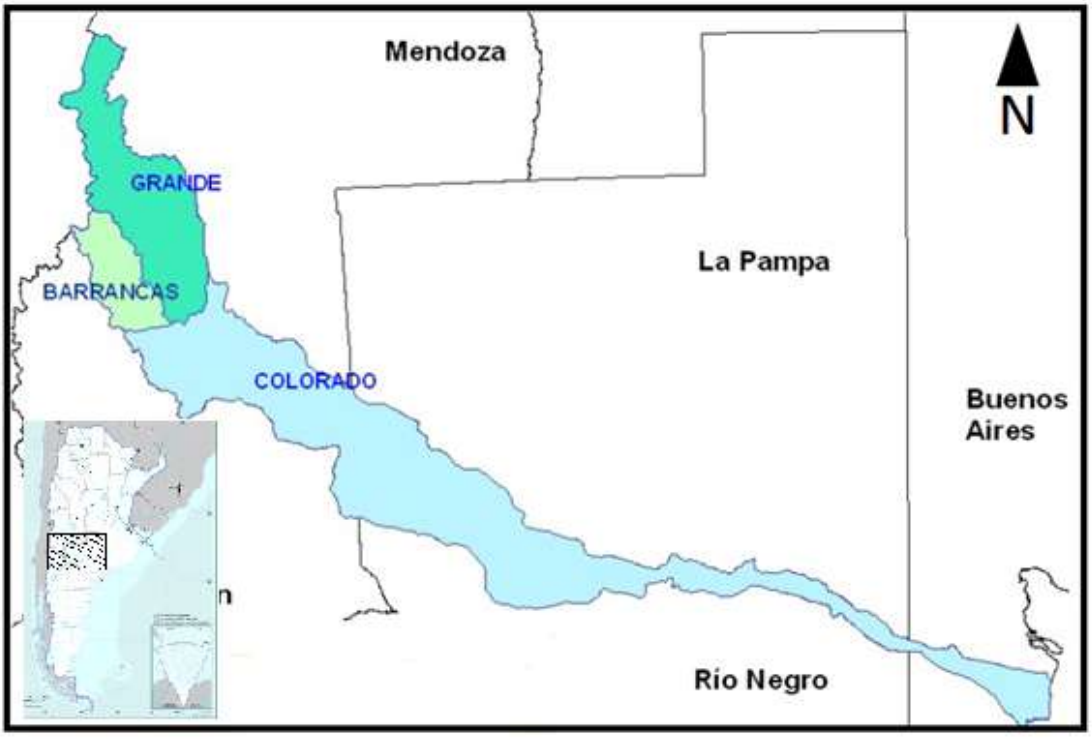

Figura 4.5: Cuenca del Río Colorado, junto con las subcuencas del Rio Grande y Rio Barrancas, que aportan al caudal del curso principal.

4.4.2. Hidrología Subterránea

Los estudios del nivel freático han indicado que la profundidad del agua varía entre los 10 y 24 metros. Esta se encuentra fuertemente influenciada por la geomorfología y las precipitaciones. Umazano *et. al.* (2004) afirma que la profundidad del agua disminuye hacia el sur, debido al carácter influente del Río Colorado (figura 4.6). El espesor del acuífero ronda el metro.

El esquema hidrogeológico que interesa al presente proyecto de tesina podría iniciarse en profundidad a partir de los términos pelíticos del *Grupo Neuquén* que obran a modo de hidroapoyo del sistema vinculado con los acontecimientos exógenos, como la contaminación. Se trata entonces de un límite inferior de carácter acuícludo.

Por encima se emplaza un término acuífero generalmente contenido en la *Fm. Río Colorado* (M*iembro Bajo de la Carpa)* dentro del *Grupo Neuquén* de comportamiento confinado a semiconfinado de acuerdo a su posición relativa.

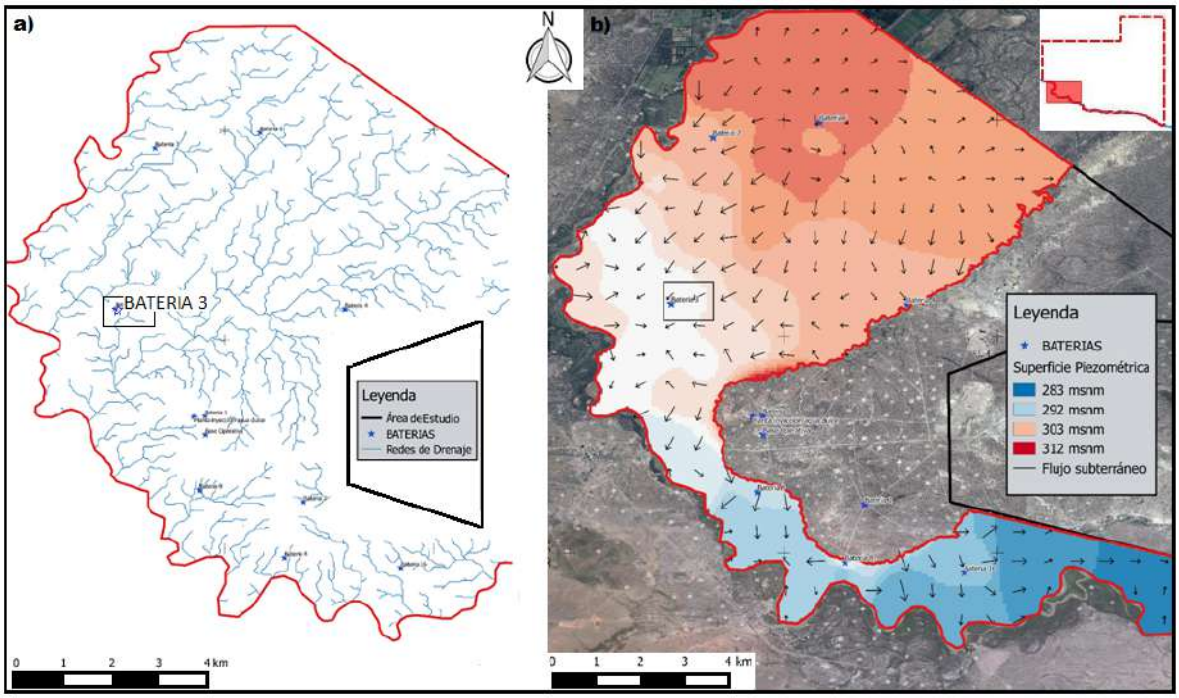

Figura 4.6: a) Redes de drenaje del yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE y área de estudio y **b)** Mapa Piezométrico del área de mayor sensibilidad ambiental por su proximidad al río Colorado y canales de drenaje. Tomado de Relevamiento de Pasivos Ambientales, Green Cross (2016)

Cuando sobre este acuífero yace directamente la *Fm. Allen* de características francamente acuícludas, se manifiesta su comportamiento confinado. En cambio cuando suprayace el *Miembro Anacleto* de la misma *Fm. Río Colorado* si bien prevalece la índole acuícluda, podría en algunas posiciones adquirir un carácter acuitardo y por lo tanto, el acuífero se comportaría eventualmente como semiconfinado.

Por encima se emplaza el acuífero freático, contenido tanto en términos de la *Fm. Bayo Mesa* y/o "Rodados patagónicos" como en sectores acuíferos del Terciario, predominando en la comarca la primer alternativa, tal como se comprobara a través de las perforaciones de exploración.

La Zona No-Saturada presenta espesores que van desde los 3 m a 24 m y está representada en general por los depósitos cuaternarios, predominantemente sefíticos-samíticos.

La columna litológica que ha sido reconocida en los distintos pozos freatímetros construidos en el área, se compone de depósitos acuíferos contenidos en gravas y arenas, con un hidroapoyo que está representado por arcillas grises de la *Fm. Allen*, arcillas rojas de la *Fm. Río Colorado*, o ambas.

4.4.3 Calidad del Agua

Según el relevamiento realizado por la empresa Green Cross, del año 2016, el agua de extraída de los freatímetros en las zonas cercanas a las baterías no está en condiciones de ser utilizada para uso humano. Esto se debe a la presencia de fenoles, manganeso, hierro, cadmio y níquel. Particularmente en la Batería 3, la concentración promedio de fenoles y de grasas y aceites es, respectivamente, 13 y 1,6 veces mayor que el valor límite. Níquel y cadmio superan 5 y 8 veces el máximo admisible.

4.5. Clima

Tomando de referencia la Clasificación Climática de Köppen se caracteriza el 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 18ºC). Constituye una zona desértica con un marcado déficit hídrico, lluvias estivales e inviernos secos.

La **temperatura media anual** es de 15,4 ºC. La temperatura media de enero es la más caliente (verano) alcanzando los 24,2 ºC y la de julio es la más fría (invierno) alcanzando los 6,7 ºC. Las temperaturas máximas y mínimas medias son de 22,7 ºC y 7 ºC respectivamente. La **amplitud térmica media anual** es de 15,7 ºC. El período con heladas se extiende de abril a octubre.

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 **precipitación media anual** registrada es de 262,1 mm. El 62% del agua anual precipitada cae en el semestre estival (octubre-marzo). Existe una característica diferencial en el semestre invernal ya que el mes de junio presenta un aporte de agua un tanto mayor.

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.

4.6. Suelos

En la región se registran suelos con una incipiente evolución pedogenética. Las diferencias existentes entre estos se deben fundamentalmente al material parental y la posición en el relieve. En el Inventario de Recursos Naturales de la prov. De La Pampa (Cano *et. al.*, 1980) los suelos son clasificados dentro del orden de los entisoles. Las geoformas positivas (terrazas) de la región de análisis presentan suelos con escaso desarrollo genético, generados a partir de arenas muy gruesas que yacen sobre una costra calcárea localizada antes del metro. Mientras que las geoformas negativas (antiguos cauces del río Colorado) presentan arenas cuarzosas de reciente deposición que descansan sobre la tosca que aparece antes del metro y medio. (Figura 4.7)

Cano *et. al.* (1980) realizó un perfil en el área de estudio presenta suelos con un perfil del tipo AC-C, pobre en materia orgánica, con textura arenosa y conteniendo carbonatos de calcio y rodados volcánicos distribuidos de manera errática. Los suelos del área presentan baja capacidad de retención de humedad, permeabilidad moderadamente rápida a moderada y drenaje algo excesivo.

Sobre las márgenes del río, la llanura de inundaciones presenta entisoles que se desarrollan sobre los sedimentos fluviales o fluvio lacustres depositados por las aguas (Cano *et. al.*, 1980).

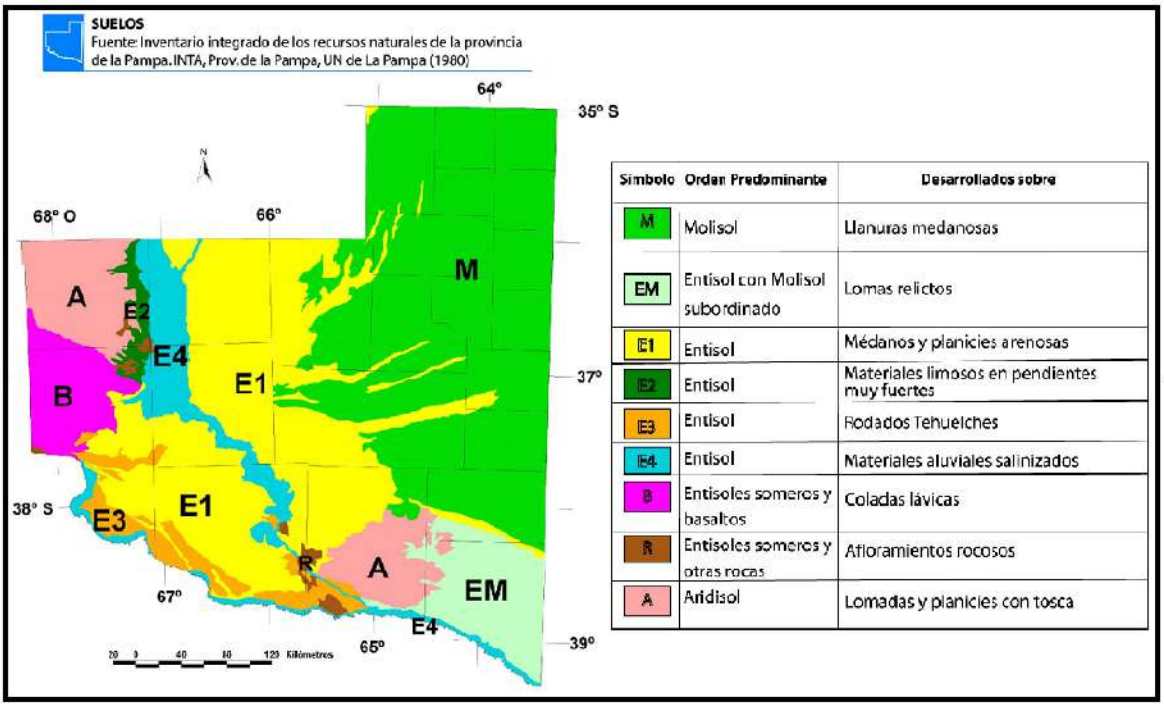

Figura 4.7: Mapa de suelos de la provincia de La Pampa (Fuente: Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la provincia de La Pampa. INTA. Gobierno de La Pampa. UNLPam. 2004)

La empresa encargada del relevamiento de pasivos, Green Cross, realizo una calicata en las cercanías de la locación LP-282 (Fig. 4.8). Las coordenadas de la calicata son 37°59'18.92"S- 67°52'20.95"O:

- **Horizonte A:** 60 cm de espesor (0-60 cm) de color naranja amarillento oscuro en húmedo; de textura franco arcillo limosa, sin estructura; límite inferior claro y plano; no posee consistencia, ni plasticidad. Hay presencia de raíces; se puede encontrar carbonato de calcio diseminado en la masa, así como clastos de grava fina en la base del contacto inferior.

- **Horizonte C_1k:** 20 cm de espesor (60-80 cm) de color naranja amarillento pálido en húmedo; textura arcillosa; sin estructura; límite inferior gradual. Consistencia ligeramente dura en seco y friable en húmedo; ligeramente plástico y adhesivo. Presencia de manchas de manganeso (Mn); abundante carbonato de calcio y yeso en todo el horizonte. Las raíces son escasas, y se observan en la parte superior del horizonte.

- **Horizonte C_2Y:** de 30 cm de espesor (80-110 cm) de color naranja grisáceo en húmedo; textura arcillosa; laminar. Consistencia ligeramente dura en seco y friable en húmedo; ligeramente plástico y adhesivo. Presencia de carbonatos de calcio en la masa, así como también abunda el Yeso. Se observa una pequeña capa de hidrocarburos impregnados sobre la misma.

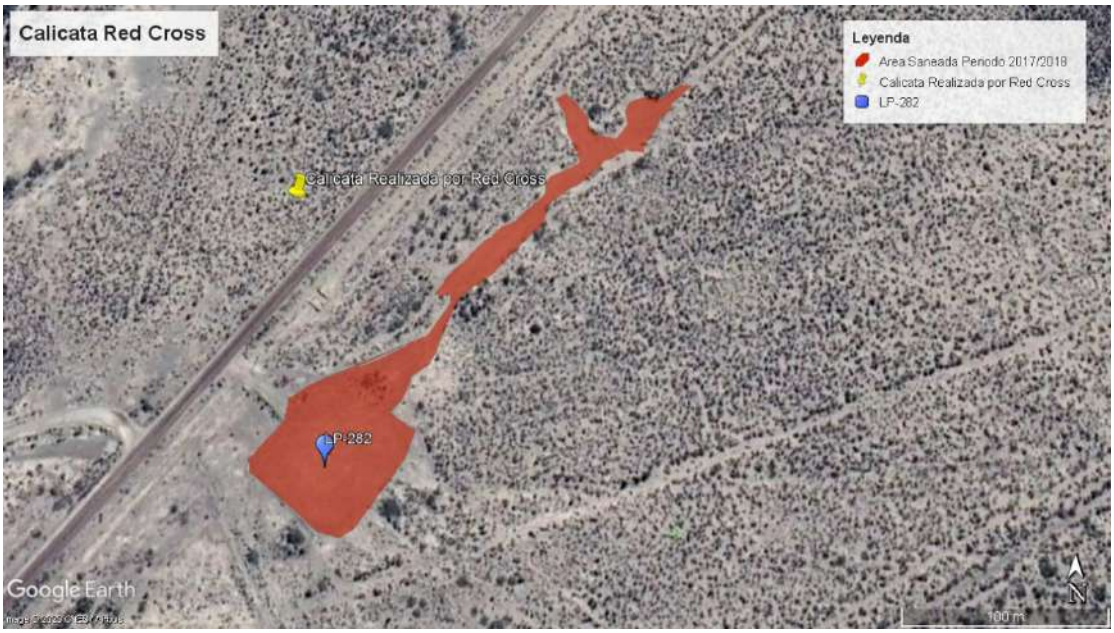

Figura 4.8: Imagen satelital de la calicata realizada por Green Cross y su ubicación respecto al area saneada en las cercanías de la locación LP-282

4.7. Flora

El área de estudio se localiza en la provincia fitogeográfica de monte, definida por una estepa arbustiva en donde es muy frecuente la presencia de especies de la familia *Zigofilácea*, entre ellas la jarilla hembra (*Larrea divaricata*) (Cabrera 1971). Esta provincia ocupa una amplia región que se extiende por el oeste de Argentina, desde Catamarca hasta Río Negro y Chubut (Cabrera 1971). De acuerdo con la carta de vegetación elaborada por el INTA el área de estudio predomina el arbustal muy abierto, bajo, perennifolio. Las condiciones de aridez que caracterizan la región se reflejan en las adaptaciones anatómicas y fisiológicas de las especies vegetales para asegurar la resistencia a las condiciones que se dan durante la temporada seca. Ejemplo de esto es la baja complejidad florística y la sencillez de las estructuras, con estratos herbáceo y arbustivo, y sin estrato arbóreo importante.

Otra característica es que las colonias o ejemplares aislados están separados unos de otros, mostrando porciones de suelo desnudo que se cubren de vegetación efímera que

aparece luego de las primeras lluvias al fin de la temporada seca y rápidamente semillan para luego desaparecer, constituyendo un recurso forrajero muy fugaz (Cano, 1989).

La consultora Green Cross, en el año 2016 presentó un Informe con el relevamiento de Pasivos Ambientales a requerimiento de la empresa PAMPETROL SAPEM, en el mismo efectuó un detallado relevamiento de la flora en el yacimiento Medanito SE, dividió el área de estudio en tres zonas a partir de consideraciones del relieve, las pendientes y la cobertura vegetal: áreas de pendiente, planicies de inundación superior y planicies de inundación inferior.

El área a la cual está restringida esta tesina, queda enmarcada en las planicies de inundación superior. Aquí la vegetación responde a arbustales bajos, ralos y abiertos, 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 halófilos con una marcada co-dominancia de *Atriplex Lampa (zampa)*, *Suaeda patagónica (vidriera), Allenrolfea vaginata (jume negro)*. Asimismo, existen zonas donde prevalece *Cyclolepsis genistoides (palo azul)* y plantas exóticas como *Tamarix chinensis* (Tamariscos). (Figura 4.9)

Figura 4.9: a) Larrea divaricata, **b)** Larrea cuneifolia, **c)** prosopis alpataco, d) Chuquiraga erinacea, **e)** *Monttea aphylla,* **f)** *Bougainvillea spinosa,* **g)** *Atriplex Lamp y* **h)** *Cyclolepsis genistoides*

En comparación con las restantes unidades estudiadas, según el informe previamente citado, la planicie de inundación superior es la que presenta un mayor porcentaje de suelo desnudo, alcanzando el 62.6% en promedio. En casi toda el área la erosión hídrica es muy

evidente al igual que la voladura de suelo, razones por las que posiblemente la implantación de especies sea escasa.

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.

4.8 Fauna

La fauna terrestre de la región corresponde, desde el punto de vista zoogeográfico, al dominio Andino-Patagónico y recibe aportes de la fauna de montaña y de la estepa patagónica, provenientes del sector septentrional de la Patagonia (Programa de Servicios Agrícolas Provinciales, 2011).

En el área del yacimiento 25 de Mayo – Medanito SE se localizan 43 especies de aves, 12 corresponden a los órdenes de no Passeriformes y 31 al orden Passeriformes. Dentro de este último orden las familias mejor representadas son los Furnáridos con 9 especies, seguido de los Emberizidios con 7 y los Tyranidos con 6 especies.

Capitulo 5- Resultados

5.1 Tareas de saneamiento y restauración. Situación actual.

A continuación se detallan los resultados obtenidos en las tareas de saneamiento en las inmediaciones de los pozos comprendidos en el área de estudio.

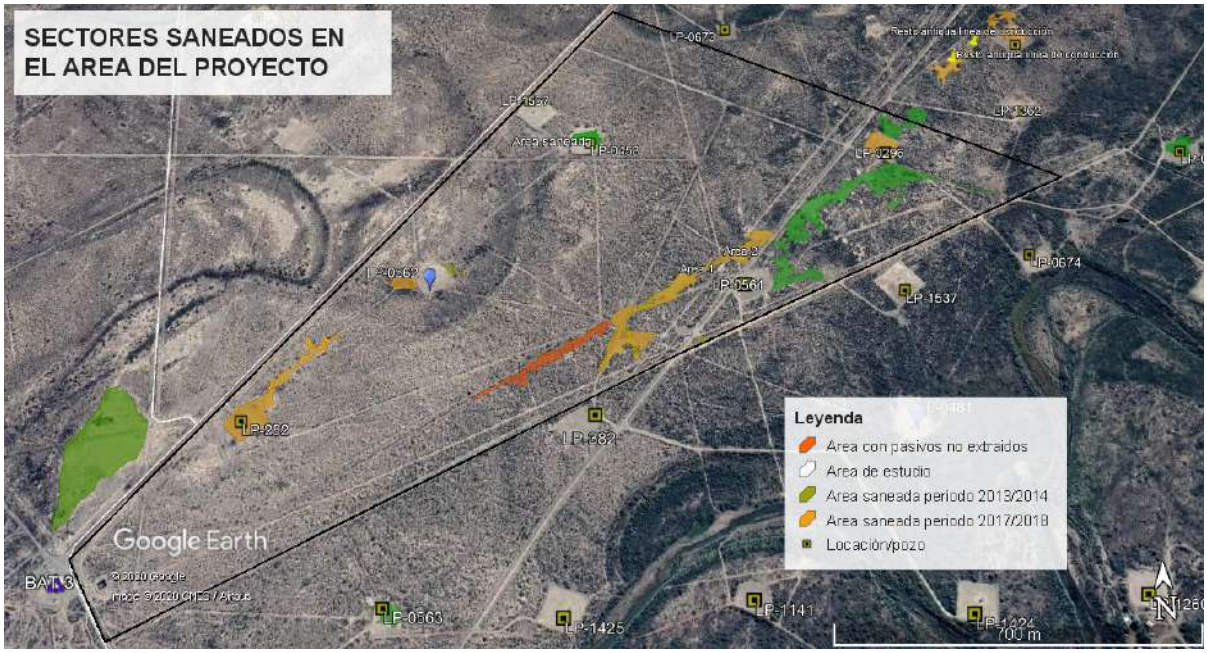

Figura 5.1: Imagen satelital del área de estudio con los sitios saneados.

5.1.1 Pozo LP-0282 (37°59'23,24" S y 67°52'19,97" O)

- Descripción del área

El acceso se realiza desde batería 3, recorriendo 500 metros al noreste, por camino de ripio dentro del yacimiento (Figura 5.2.) El área de estudio se encuentra ubicada sobre la llanura de inundación del río Colorado; la distancia al curso de agua es de 1.800 metros hacia el suroeste. El tipo de paisaje dominante es panorámico, predominan las líneas horizontales y sin límites visuales; de calidad visual media, natural y con marcada monotonía. Se encuentra alterado por la actividad hidrocarburifera. El relieve presenta una predominancia de formaciones medanosas, con pequeñas líneas de escurrimiento cuya formación se ve favorecida por el alto grado de alteración antrópica del paisaje. La vegetación del área se corresponde a una estepa arbustiva.

- Saneamiento

El proceso de saneamiento se inició en mayo del 2017; se saneó la locación, en forma previa al abandono del pozo. Posteriormente se extrajo el pasivo lineal fuera de la locación, consistente en costras continúas y pavimentos, asociado a una antigua línea de conducción, dejando acopiado el material extraído en montículos. La superficie de suelo saneado fue de 4323 m^2, con un volumen de suelos oleocontaminados de 2800 m^3. (Figura 5.3)

- Muestreo

Las tareas de muestreo se efectuaron en noviembre de 2017, extrayendo cuatro muestras, una en boca de pozo y las restantes a lo largo del sitio saneado fuera de la locación (Figura 5.4). Una vez que se determinó mediante los análisis de laboratorio que los porcentajes de HTP, BTEX y PAHs presentes en los suelos se encontraban por debajo de los límites de la normativa, se procedió a retirar el material acopiado para tratarlos en el recinto de remediación.

- Restauración y nivelación

La nivelación de toda el área saneada se realizó con los suelos provenientes del recinto de biorremediación, tarea que se efectuó en diciembre de 2018, se restituyó un volumen de 1210 m^3 y se procedió a escarificar toda el área saneada. (Figura 5.5)

- Situación actual del área

En la figura 5.6 puede observarse la significativa pérdida de cobertura vegetal en el área saneada fuera de la locación. En el momento que se efectuó el primer viaje de campo en el marco del proyecto de tesina, la empresa encargada del saneamiento se encontraba nivelando el sitio con suelo tratado, por lo que no se pudo observar si había un crecimiento de la vegetación.

En diciembre de 2019 se volvió a recorrer la zona para actualizar el diagnóstico de la zona. Los resultados de dicha observación denotan la dificultad del crecimiento natural de la vegetación, a partir del escaso contenido de materia orgánica en el suelo.

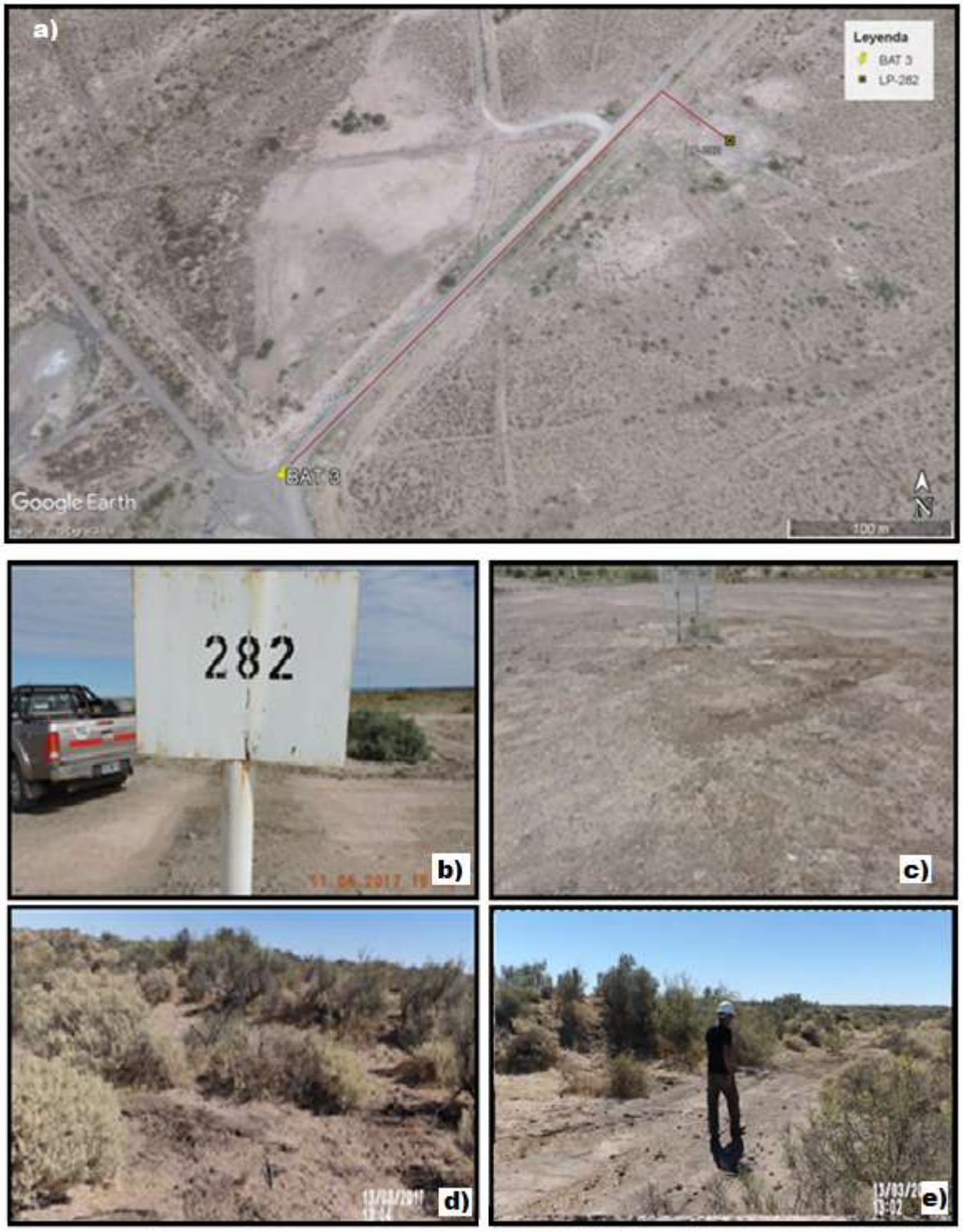

Figura 5.2: a) Imagen satelital con la ubicación de locación del pozo LP-0282 respecto de Batería 3, b) Cartel de identificación del pozo, c) Boca del pozo inyector en estudio con pasivos (año 2017), d) y e) áreas con suelos oleocontaminados.

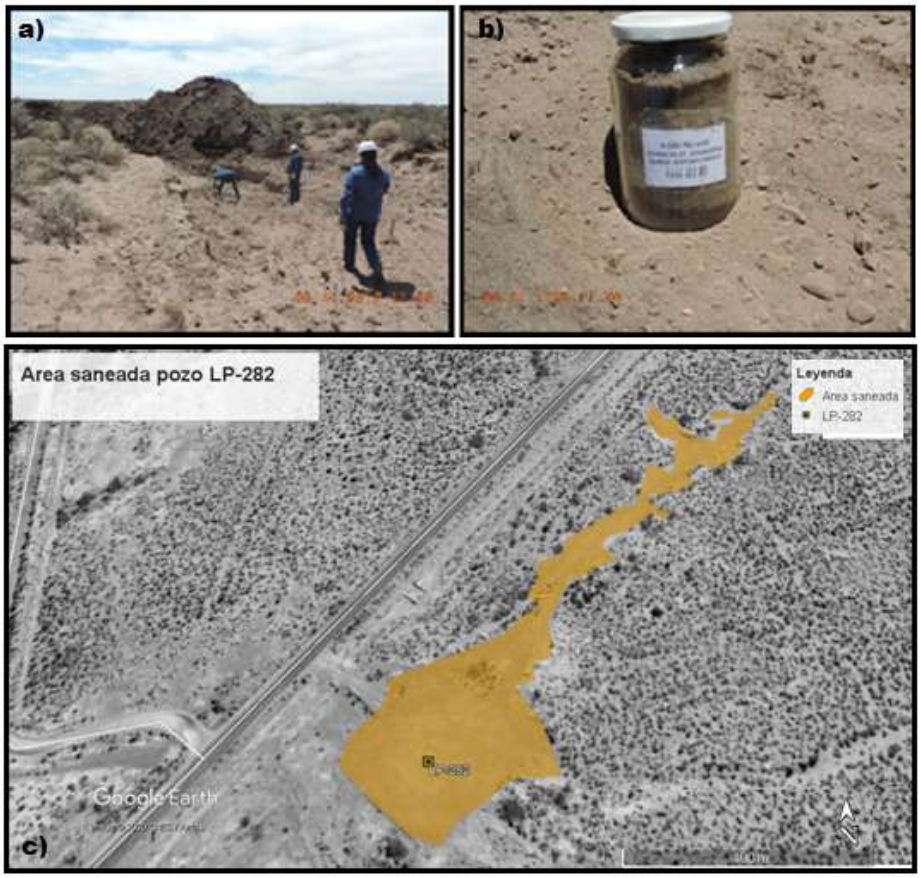

Figura 5.3: a) y b) Toma de muestras en el área saneada al noreste del pozo LP-282, c) Imagen satelital de la locación del pozo LP-282 y el área saneada en los alrededores del mismo.

Figura 5.4: a) Cartel de pozo abandonado, b) Locación con resto de cañería sin extraer, c) Área nivelada fuera locación y escarificada y d) locación escarificada.

5.1.2 Pozo LP-296 (37°59'5,49"S y 67°51'20,77"O)

- Descripción del área

El acceso se realiza desde batería 3, recorriendo 2,36 kilómetros al noreste, por camino de ripio dentro del yacimiento (Figura 5.4) El área de estudio se encuentra ubicada sobre la llanura de inundación del Rio Colorado, y la distancia al curso de agua es de 1.800 metros hacia el suroeste. El tipo de paisaje dominante es panorámico, en él predominan leves ondulaciones como límites visuales; de calidad visual media. La vegetación del área se corresponde a una estepa arbustiva.

- Saneamiento

El proceso de saneamiento se inició a fines de agosto del 2017. Consistió en sanear la locación, consistente en costras superficiales en boca de pozo y en uno de sus laterales, dejando acopiado el material extraído en montículos (Figura 5.5). La superficie de suelo saneado fue de 1065 m^2, con un volumen de suelos oleocontaminados de 1452 m^3.

En el área fuera de la locación se había saneado en el periodo 2013/2014 una superficie de aproximadamente 20000 m^2, en la que se hallaban suelos afectados con derrames de hidrocarburos provenientes de roturas de las líneas de conducción que alcanzaron los límites de la locación LP-561. Hacia el sector Norte de la locación se sanearon suelos con costras de hidrocarburos en una superficie de 2100 m^2 (Figura 5.4)

- Muestreo

La tarea de muestreo se efectuó a principios de octubre de 2017, extrayendo dos muestras en boca de pozo. Una vez que se determinó en los análisis de laboratorio que los porcentajes en suelos de HTP, BTEX y HAPs se encontraban por debajo de lo especificado por la normativa, se procedió a retirar el material acopiado y transportarlo al recinto de tratamiento para su remediación mediante el sistema de pilas. (Figura 5.5)

- Restauración y nivelación

Para nivelar el área saneada se utilizaron suelos tratados provenientes del recinto de biorremediación, tarea que se efectuó en enero de 2018. En el área fueron restituidos 1166 m^3 de sedimentos biorremediados.

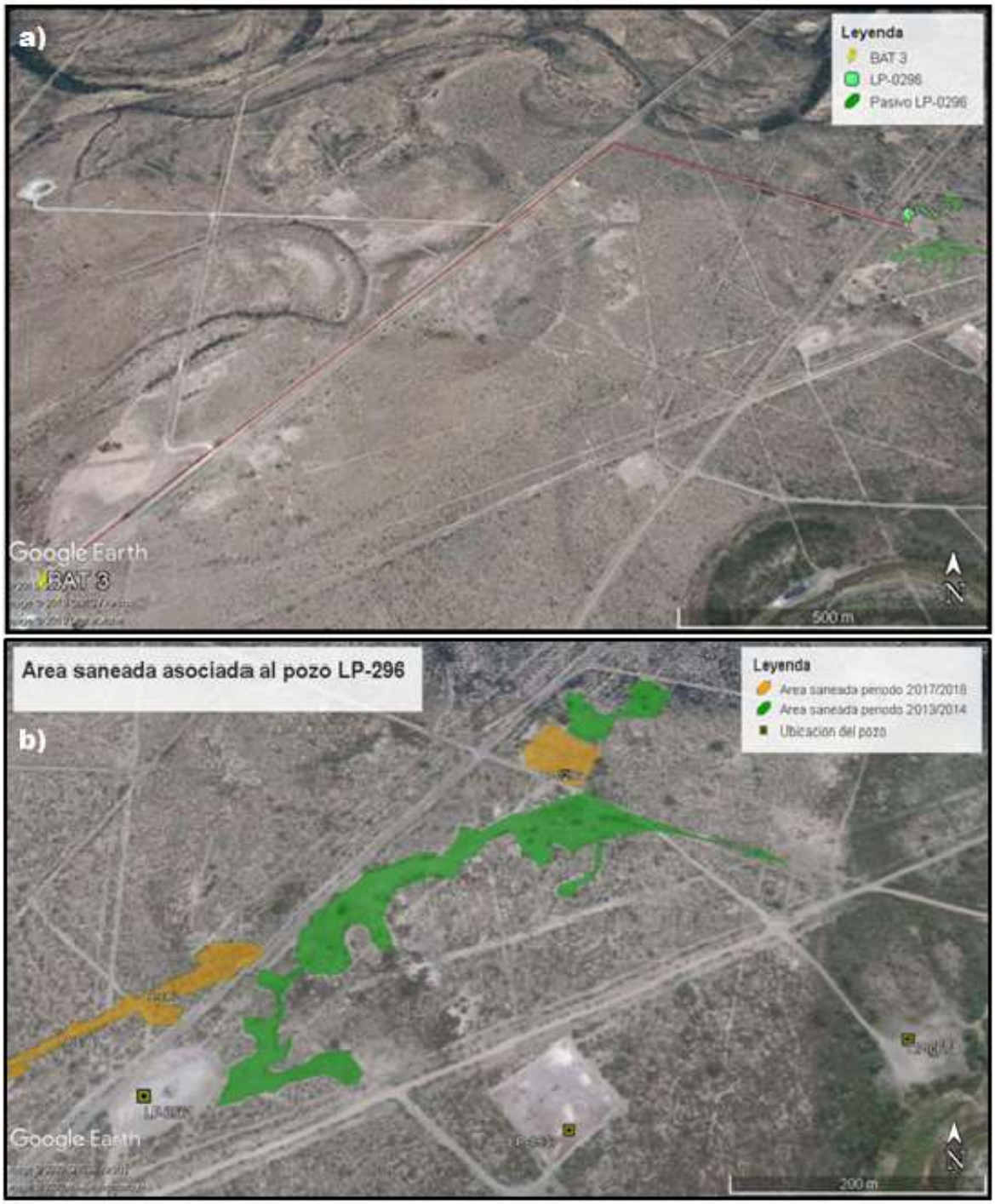

Figura 5.4:a) Imagen satelital con la ubicación de locación del pozo LP-0296 respecto de Batería 3 y b) Imagen satelital del área saneada en el periodo 2013/2014 que alcanzó el pozo LP-561.

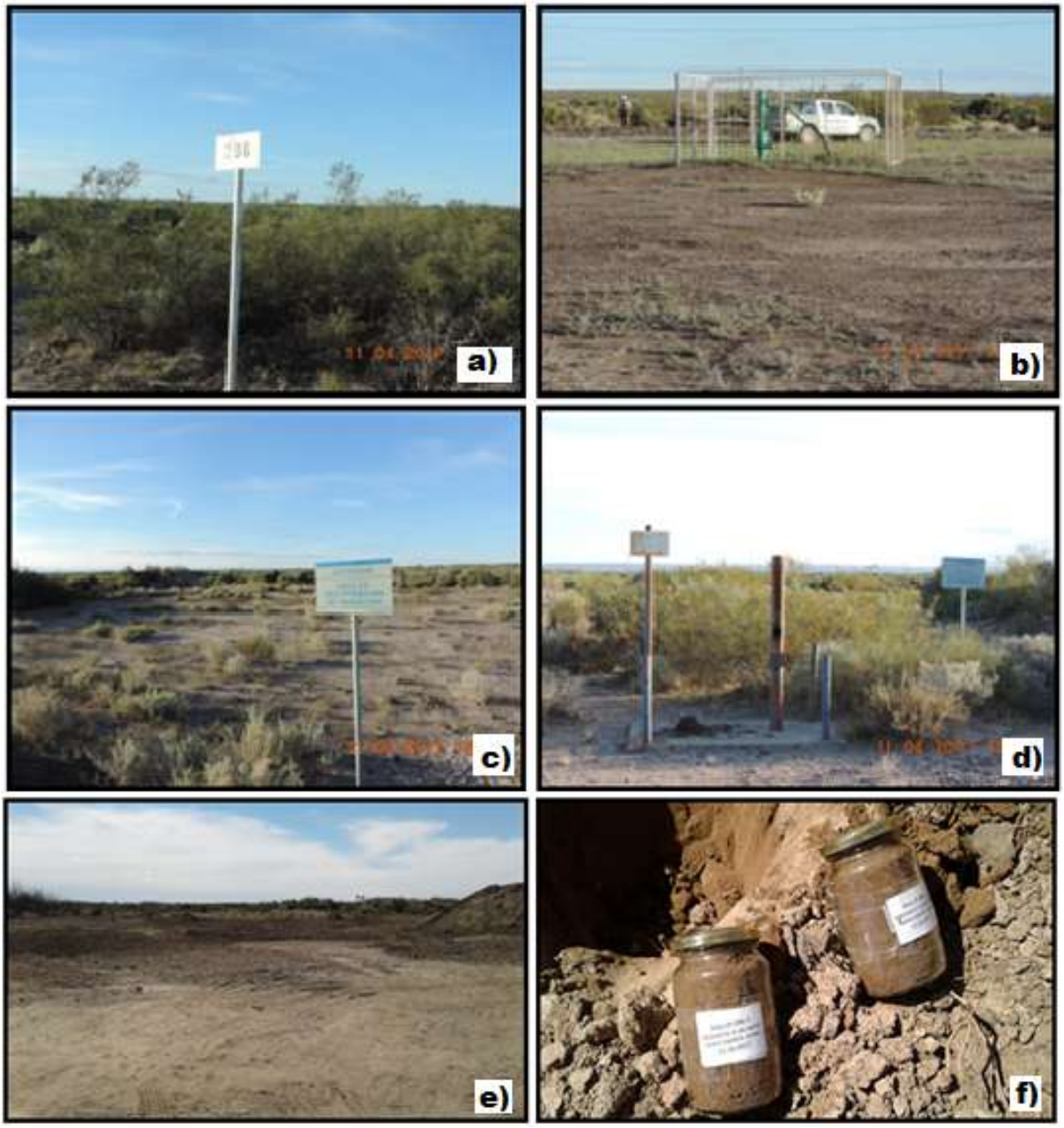

Figura 5.5: a) Cartel de la locación, b) Locación con el pozo inyector y área afectada con hidrocarburos, c) Cartel indicador de área en restauración saneada en el año 2013/2014, d) Protección catódica sin extraer. (Año 2017) e) Montículo en el área saneada en locación y f) muestras extraídas.

- Situación actual del área

En las imágenes presentadas puede observarse la significativa pérdida de cobertura vegetal en el área saneada fuera de la locación. En el momento que se efectuó el primer viaje de esta tesina, la empresa encargada del saneamiento se encontraba nivelando el sitio con suelo tratado, por lo que no se pudo observar si había un crecimiento de la vegetación. En una

visita a la zona en Octubre/2019 se observó un escaso crecimiento de la vegetación en la locación saneada. (Figura 5.6)

Figura 5.6. Locación del pozo LP-296 al finalizar los trabajos de remediación.

5.1.3. Pozo LP-562 (37°59'12,82" S y 67°52'04,25" O)

- Descripción del área

El acceso al recinto se realiza desde batería 3, recorriendo 1,2 kilómetros al noreste, por camino de ripio dentro del yacimiento (Figura 5.9). El área de estudio se encuentra ubicada a una distancia del río Colorado es de 2.600 metros hacia el suroeste. El tipo de paisaje dominante es levemente ondulado y la calidad visual media. El relieve se caracteriza por la presencia de cordones medanosos y paleocauces, con escasas líneas de escurrimiento. La vegetación del área se corresponde a una estepa arbustiva, con presencia notoria de especie psamófilas y halófitas.

- Saneamiento

El proceso de saneamiento se inició en enero de 2017. Se saneó la locación y una amplia superficie al noreste, asociada a derrames de la línea de conducción del pozo, que consistía en costras e hidrocarburos secos; así como también se registró la presencia de cañerías en desuso. El material extraído fue acopiado en montículos. La superficie total de suelo saneado fue de 3370 m^2, con un volumen de suelos oleocontaminados de 1000 m^3.

- Muestreo

Las tareas de muestreo se efectuaron a principios de octubre de 2017 (Figura 5.8), extrayendo cuatro muestras, una en boca de pozo y las restantes a lo largo del sitio saneado fuera de la locación.

Una vez que se determinó mediante los análisis químicos que los porcentajes en suelos de HTP, BTEX y HAPs se encontraban por debajo de lo especificado por la normativa, se procedió a retirar el material acopiado para trasladarlo al recinto de tratamiento de suelos.

- Restauración y nivelación

Luego de retirar el material acopiado, se niveló el área con suelos provenientes del recinto de biorremediación, tarea que se efectuó en enero de 2018. En el área fueron restituidos 1210 m^3 de sedimentos remediados (Figura 5.9).

- Situación actual del área

En las fotos de la figura 5.7 fueron tomadas a principios de diciembre de 2018, se observa que transcurrido prácticamente un año desde su nivelación es escaso el crecimiento de la vegetación de la vegetación, solo hay una recuperación de los arbustos adaptados a ambientes salinos (zampa).

Figura 5.7: a) Locación saneada y b) detalle del área saneada en el borde noreste de la locación (diciembre de 2018).

Figura 5.9: a) Imagen satelital con la ubicación de locación del pozo LP-0562 respecto de Batería 3 **y** b) Imagen satelital de las áreas saneadas en la locación y alrededores del pozo LP-562.

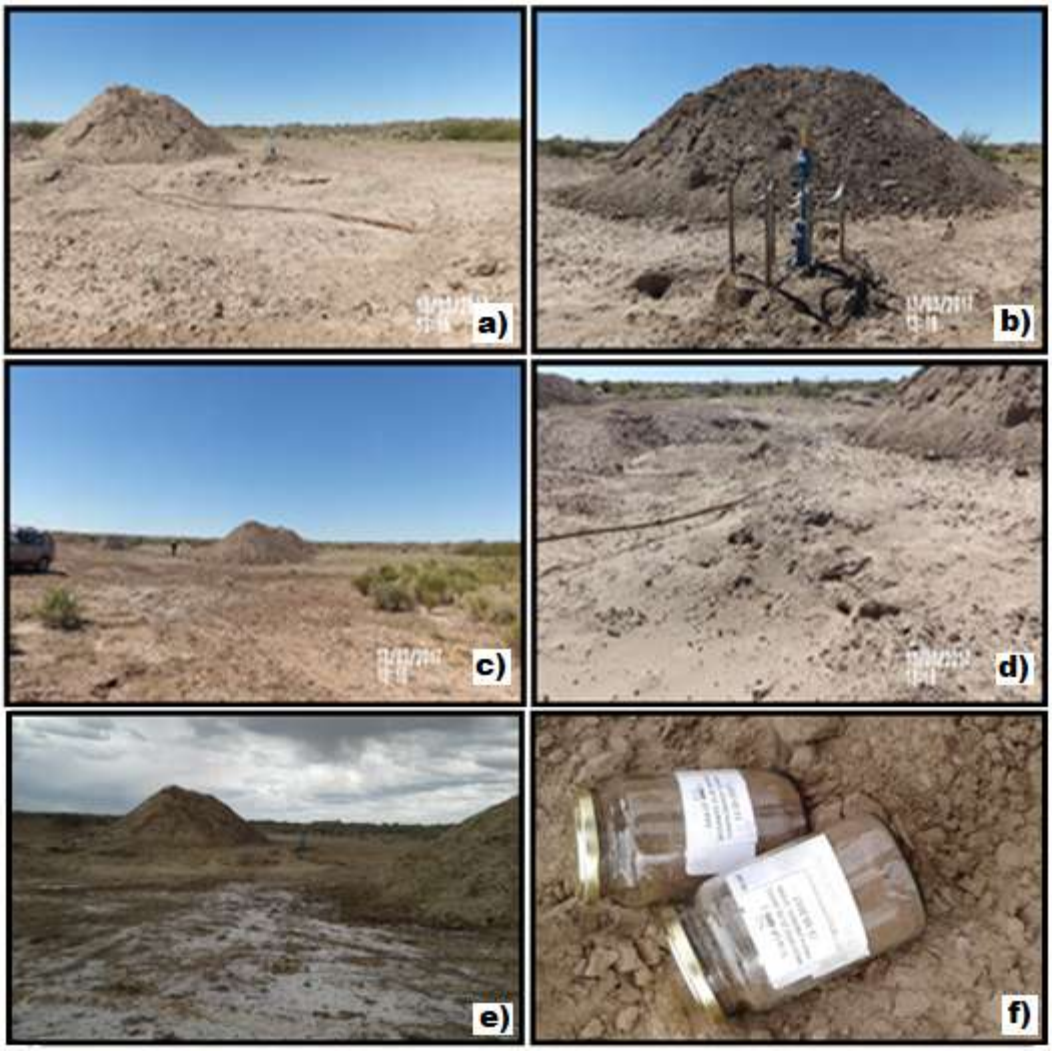

Figura 5.8: a), b y c) Monticulo de suelos oleocontaminado acopiado en la locación, d) antigua línea de conducción a retirar, e) montículo en el área saneada en locación y f) muestras extraídas.

5.1.4. Pozo LP-673 (37° 59'02,60" S y 67° 51'21,7" O)

- Descripción del área

El acceso se realiza desde batería 3, recorriendo 2,3 kilómetros al noreste, por camino de ripio dentro del yacimiento (Figura 5.10). El área de estudio se encuentra ubicada 1.500 metros hacia el este del cauce actual del río Colorado. Es un paisaje influenciado por antiguos meandros del río Colorado, que se encuentran cubiertos con abundante vegetación. En sus proximidades se observan médanos estacionarios.

- Saneamiento

El proceso de saneamiento se inició en agosto de 2017, inicialmente se saneó la locación, posteriormente se procedió a extraer el pasivo fuera de la misma, en lo que parece ser la pileta de lodos (Figura 5.11). El material extraído fue acopiado en montículos. La superficie de suelo saneado fue de 579 m^2, con un volumen de suelos oleocontaminados de 440 m^3.

- Muestreo

Las tareas de muestreo se realizaron a principios de octubre de 2017, se extrajeron cuatro muestras, una en boca de pozo y las restantes a lo largo del sitio saneado fuera de la locación (Figura 5.11). Una vez que se determinó mediante análisis químicos que los porcentajes en suelos de HTP, BTEX y HAPs se encontraban por debajo de lo especificado por la normativa.

- Restauración y nivelación

Luego de retirar el material acopiado para transportarlo al recinto de tratamiento de suelos, fue llevada a cabo la nivelación con suelos remediados, tarea que se efectuó en diciembre de 2017. En el área fueron restituidos 1266 m^3 de sedimentos remediados (Figura 5.10).

- Situación actual del área

En las imágenes presentadas en la figura 5.12 puede observarse la significativa pérdida de cobertura vegetal en el área saneada fuera de la locación. En el momento que se efectuó el primer viaje de esta tesina, la empresa encargada del saneamiento se encontraba nivelando el sitio con suelo tratado, por lo que no se pudo observar si había un crecimiento de la vegetación.

A fines del 2019 se volvió a viajar a la zona para observar el crecimiento de la vegetación, se pudo observar la dificultad del crecimiento natural de la vegetación particularmente fuera de la locación (Figura 5.13), a partir del escaso contenido de materia orgánica en el suelo.

Figura 5.10: a) Imagen satelital con la ubicación de locación del pozo LP-673 respecto de Batería 3 y b) Imagen satelital de las áreas saneadas en la locación y alrededores del pozo LP-673.

Figura 5.11: a, b, c y d) Presencia de pasivos en la locación y fuera de la locación del pozo LP-673; e y f) Tareas de muestro realizadas en Octubre de 2017.

Figura 5.12: a) y b) áreas saneadas en locación y alrededores del pozo LP-673.

Figura 5.13: Imagen tomada en diciembre de 2019, denotando el escaso crecimiento vegetal.

5.1.5 Pozo LP-458 (37°59'01,83" S y 67°51'49,46" 0)

- Descripción del área

El acceso se realiza desde batería 3, recorriendo 500 metros al noreste, por camino de ripio dentro del yacimiento (Figura 5.15)

La locación se encuentra ubicada a 1.000 metros hacia el sureste del río Colorado. El tipo de paisaje dominante es panorámico, en él predominan suaves ondulaciones, sin límites visuales; con una calidad visual media. El relieve se encuentra muy alterado por la actividad antrópica y ha favorecido la formación de líneas de escurrimiento. La vegetación del área se corresponde a estepa arbustiva.

- Saneamiento

El proceso de saneamiento se inició en enero de 2017, con la extracción de abundantes costras en la locación, debiendo efectuar excavaciones que en proximidad de la boca de pozo superaban los 150 cm. (Figura 5.16) Se acopiaron los suelos en montículos y se retiró la línea de conducción del pozo que se encuentra en estudio y se retiraron costras con hidrocarburos a

130 metros al sudeste del pozo. La superficie de suelo saneado fue de 3954 m^2, con un volumen de suelos oleocontaminados de 1500 m^3 extraído. (Figura 5.14)

- Muestreo

Se realizó la toma de dos muestras el día 11 de octubre de 2017, una en proximidad de la boca de pozo y la otra en el sector norte fuera de la locación. De los resultados de los análisis efectuados se observa que los porcentajes en suelos de HTP, BTEX y HAPs se encontraban por debajo de lo exigido en la normativa vigente, por lo que se procedió a retirar el material acopiado. (Figura 5.16)

- Restauración y nivelación

Luego de retirar el material acopiado y enviado al recinto de remediación, fue llevada a cabo la nivelación del área con suelos remediados. En el área fueron restituidos 2904 m^3 de sedimentos biorremediados (Figura 5.15). Las tareas finalizaron en agosto de 2018.

- Situación actual del área

En las foto de la figura 5.14 obtenidas el 7 de diciembre de 2019 se puede observar una significativa pérdida de cobertura vegetal en el área saneada en la locación, siendo mayor el desarrollo de las especies pioneras en los bordes de la misma, en la zona de la canaleta perimetral, por presentar mayor humedad. Fuera de la locación, había áreas previamente saneadas, que luego de cinco años no muestran desarrollo de la vegetación.

Figura 5.14: a) borde de la locación LP-458 y canaleta perimetral y b) locación nivelada.

Figura 5.15: a) Vista del pozo LP-458 y ubicación relativa respecto de Batería 3 y b) Imagen satelital del área saneada en los alrededores del pozo LP-458.

Figura 5.16: a, b, c y d) Presencia de pasivos en la locación LP-458; e) área saneada en locación LP-458 y f) muestra y contra-muestra extraída de la locación; . g), h), i) y j) Locación del pozo LP-458 con acopio de suelos saneados previo a la nivelación del sitio.

5.1.6 Pozo LP-561 (37°59'14,45"S y 67°51'36,15"O)

Este sector fue divido en dos sectores: El **sector A**, es la locación del pozo LP-561, donde los trabajos de saneamiento y restauración fueron realizados entre agosto de 2017 y septiembre de 2018; y el sector B, por fuera de la locación, cuyos trabajos de saneamiento comenzaron en diciembre de 2018.

- Descripción del área

El acceso se realiza desde batería 3, recorriendo 2,80 kilómetros al noreste, por camino de ripio dentro del yacimiento (Figura 5.17). El área de estudio se encuentra ubicada a una distancia de 2.900 metros hacia el suroeste del río Colorado, también debe ser considerada su cercanía (900 metros) al canal de drenaje que se conecta con el río. El tipo de paisaje dominante es ondulado, con suaves cordones medanosos, que impone límites visuales, por lo que la calidad visual es media, natural y con marcada monotonía. La vegetación del área se corresponde a una estepa arbustiva.

5.1.7.1 Sector A

- Saneamiento

El proceso de saneamiento se inició en agosto de 2017 inicialmente se saneó la locación. La superficie de suelo saneado fue 15756 m^2 tanto dentro como por fuera de la locación, con un volumen de suelos oleocontaminados de 6600 m^3.

- Muestreo

Se extrajeron cinco muestras a lo largo del sitio saneado en enero de 2018. A partir de los resultados de los análisis químicos se determinó que los porcentajes en suelos de HTP, BTEX y HAPs eran inferiores a lo especificado por la normativa. (Fig. 5.18)

- Restauración y nivelación

Luego de retirar el material acopiado y trasladado al recinto de tratamiento de suelos, fue llevada a cabo la nivelación del área con suelos remediados, tarea que culminó en septiembre de 2018. En el área fueron restituidos 6446 m^3 de sedimentos remediados.

- Situación actual del área

En las siguientes imágenes puede observarse la significativa pérdida de cobertura vegetal en el área saneada fuera de la locación. En el momento que se efectuó el primer viaje

de esta tesina, la empresa encargada del saneamiento se encontraba nivelando el sitio con suelo tratado, por lo que no se pudo observar si había un crecimiento de la vegetación.

A fines del 2019 se volvió a viajar a la locación para actualizar para constatar el crecimiento de la vegetación, transcurrido un año de efectuada la nivelación se pudo observar un nulo crecimiento de la misma, condicionada no sólo por las limitantes del suelo en cuanto a la falta de un desarrollo del mismo y la falta de materia orgánica.

5.1.7.2 Sector B

Si bien la locación LP-561 ha sido saneada dentro y fuera de ella, en un relevamiento de campo efectuado el día 13 de noviembre de 2018 se pudo observar una superficie de aproximadamente 5800 m^2 (en rojo en la Figura 5.19 a) con costras con hidrocarburos en parte continuas, (Figura 5.19 b) y en otros sitios cubiertas por médanos y vegetación asociada a la antigua línea de conducción (Figura 5.19 c), que no ha sido saneada.

Muestreo y saneamiento

En diciembre de 2018 se efectuó un muestro para conocer el porcentaje de HTP presente en las muestras. Estas fueron tomadas a una profundidad de 10 centímetros y luego enviadas al CIATI (Centro de Investigación y Asistencia Técnica a la Industria).

La normativa ambiental en la materia recomienda que en aquellas áreas en las que los suelos oleocontaminados presenten un contenido inferior al 2% en peso seco de HTP no sean retirados, por lo que cuando se presentan en formas de costras continuas se procederá a su escarificado para permitir el crecimiento de la vegetación y no agravar el proceso de fragmentación y de pérdida de cobertura vegetal que sufre el área.

De los datos que se obtienen de los análisis, se desprende que en las tres muestras llevadas al laboratorio el contenido de HTP excede el 2%, por lo tanto se encuentran por encima del valor límite para no ser considerados residuos petroleros (Tabla 5.1)

Tabla 5.1: Resultados de los análisis efectuados en el CIATI año 2019

Muestra	Coordenadas	HTP (g/100g)
LP-561-1	37°59'18,47"S 67°51'52,35"O	11,1
LP-561-2	37°59'19,68"S 67°51'55,72"O	9,2
LP-561-3	37°59'21,81"S 67°51'59,88"O	6,5

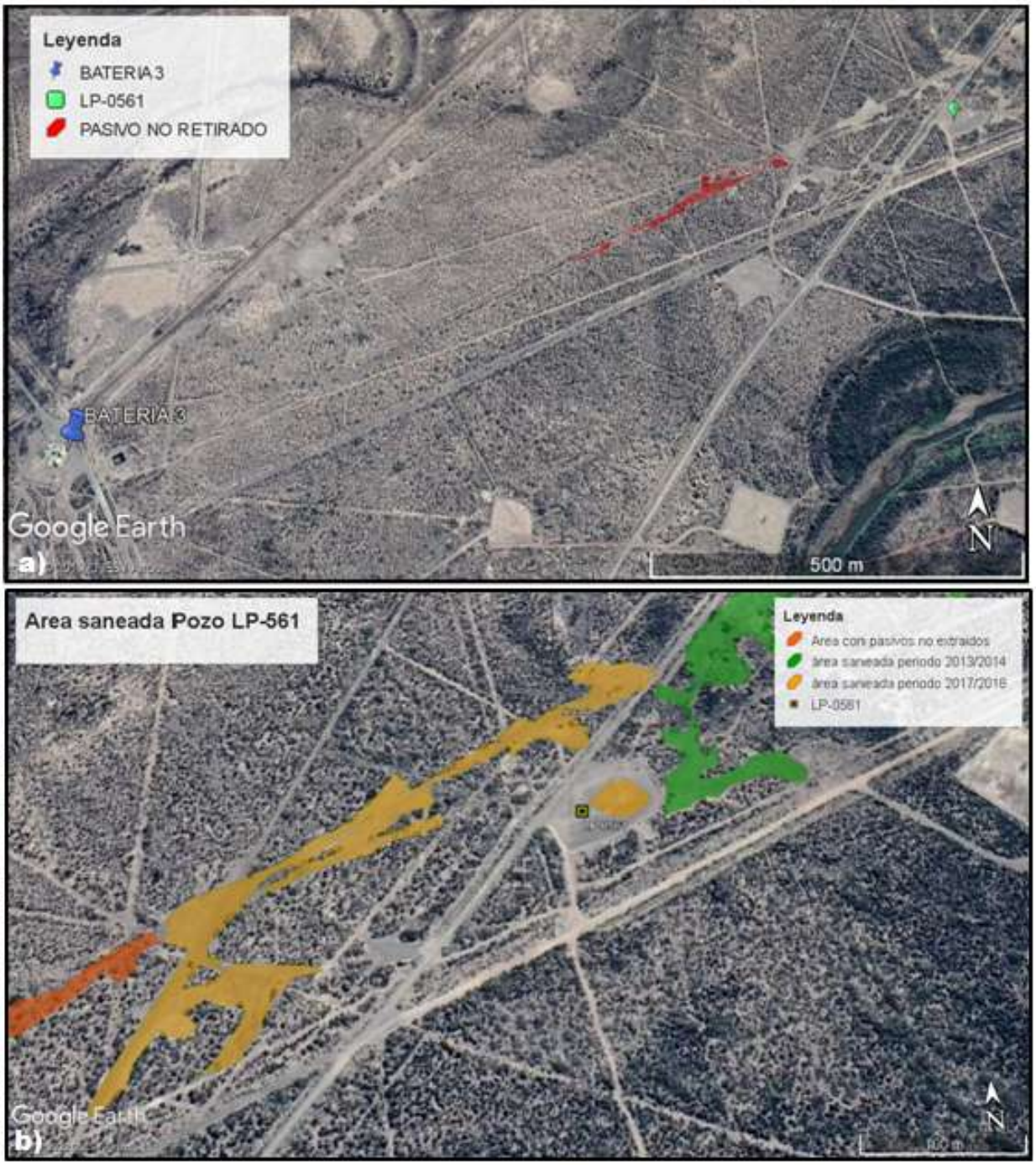

Figura 5.17: a) vista del pozo LP-561 y ubicación relativa respecto de Batería 3 y b) Imagen satelital de la locación del pozo LP-561 y el área saneada en los alrededores del mismo (Sector A).

Figura 5.18: a) Muestreo área saneada y b) muestra y contra-muestra extraída; c y d) Tareas de nivelación fuera de la locación (Octubre de 2019).

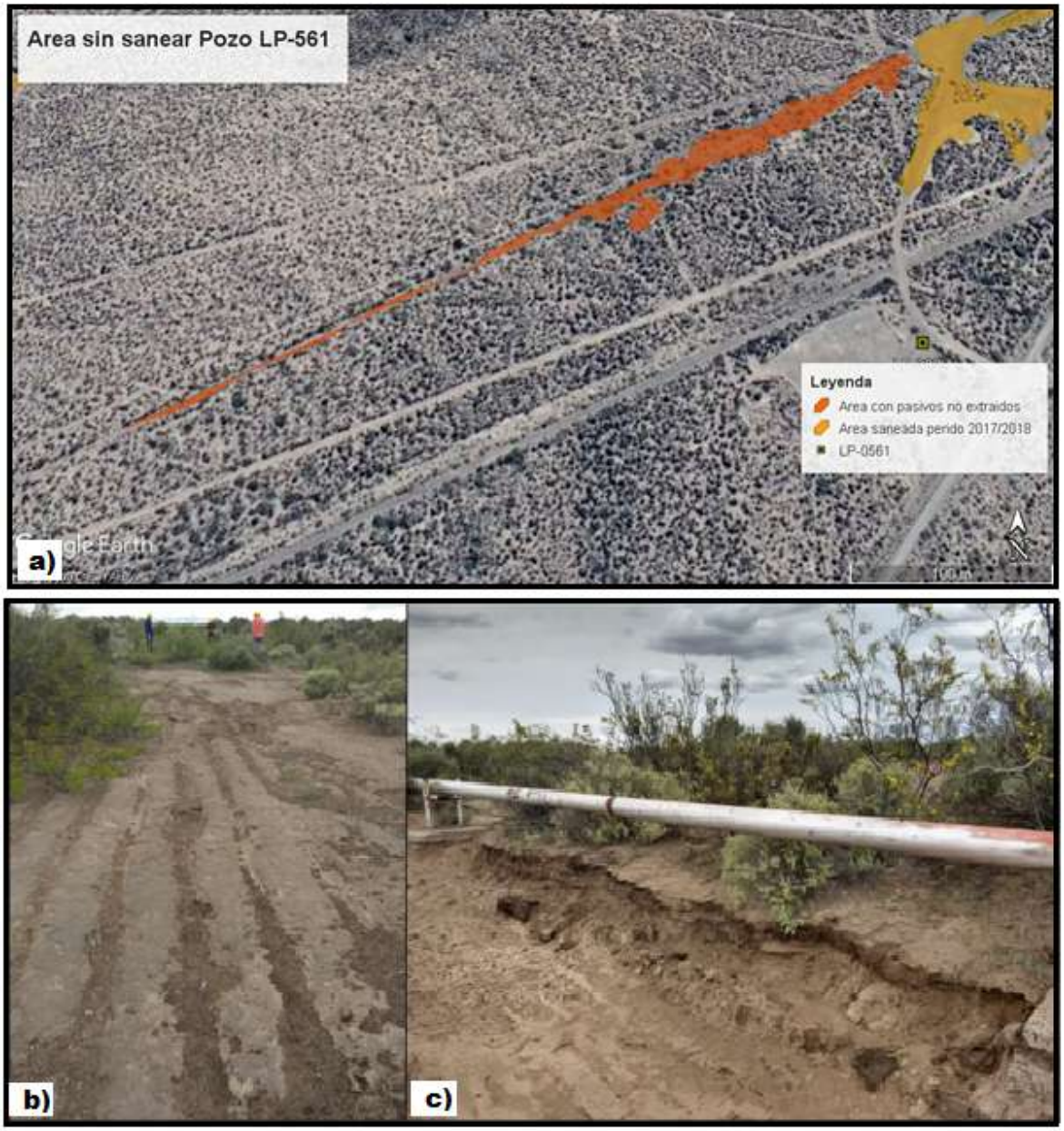

Figura 5.19: a) Área con costras de hidrocarburos sin sanear; : b) costras de hidrocarburo sin retirar, por sobre la cual ya se ha instalado la flora típica del lugar y c) línea de conducción sin retirar, la cual se asocia a la costra de hidrocarburo presente en el lugar.

5.2 Datos obtenidos en calicatas

5.2.1 Calicata en área con pasivo no retirado (37°59'21.00"S- 67°51'57.00"O)

Esta calicata se localizó aproximadamente a 500 metros de la locación LP-561 (Fig. 5.20 a y b), donde se encontró pasivo no retirado; se encuentra a 970 metros de la Batería 3 y

su altura por sobre el nivel del mar es de 303 metros. Por encima de este, se hallan acumulaciones de arena (aprox. 76 cm de espesor) y ha crecido vegetación del tipo arbustiva.

El perfil de suelo consta de 76 centímetros de profundidad (Fig. 21) y presenta las siguientes características:

- 0-4 cm: compuestos por una costra de hidrocarburos de color negra, bastante meteorizada. Esta se vuelve plástica al aumentar la temperatura.

- 4-8 cm: capa sedimentaria de textura franca-franco arenosa, estructura laminar y coloración parda amarillenta; altamente afectada por la presencia de hidrocarburos. El contacto con el horizonte A que la subyace es bastante neto.

- 8-27 cm: horizonte A, textura franca, consistencia en húmedo ligeramente plástica-ligeramente adhesiva; estructura en bloques sub-angulares finos, la cohesión entre sedimentos es débil a moderada. El contacto con la capa 3 es neto. En este horizonte también se encontró evidencia de perturbación a partir de los hidrocarburos del nivel superficial.

- 27-47 cm: horizonte con presencia de arcillas, puede clasificarse como un horizonte cámbico o un horizonte un poco más evolucionado de tipo Bt, se carece de datos de laboratorio para constatar % de arcillas y dar una correcta asignación. Presenta textura franco arcillosa-arcillosa. Consistencia en húmedo: plástico adhesivo; coloración parda rojiza y estructura en bloque angulares finos débiles. La compactación del material aumenta con la profundidad.

- 47-76 cm: horizonte Ck, de coloración parda. Abundantes nódulos de carbonato de calcio, color blanco en los 20 centímetros inferiores. Existe reacción al HCl.

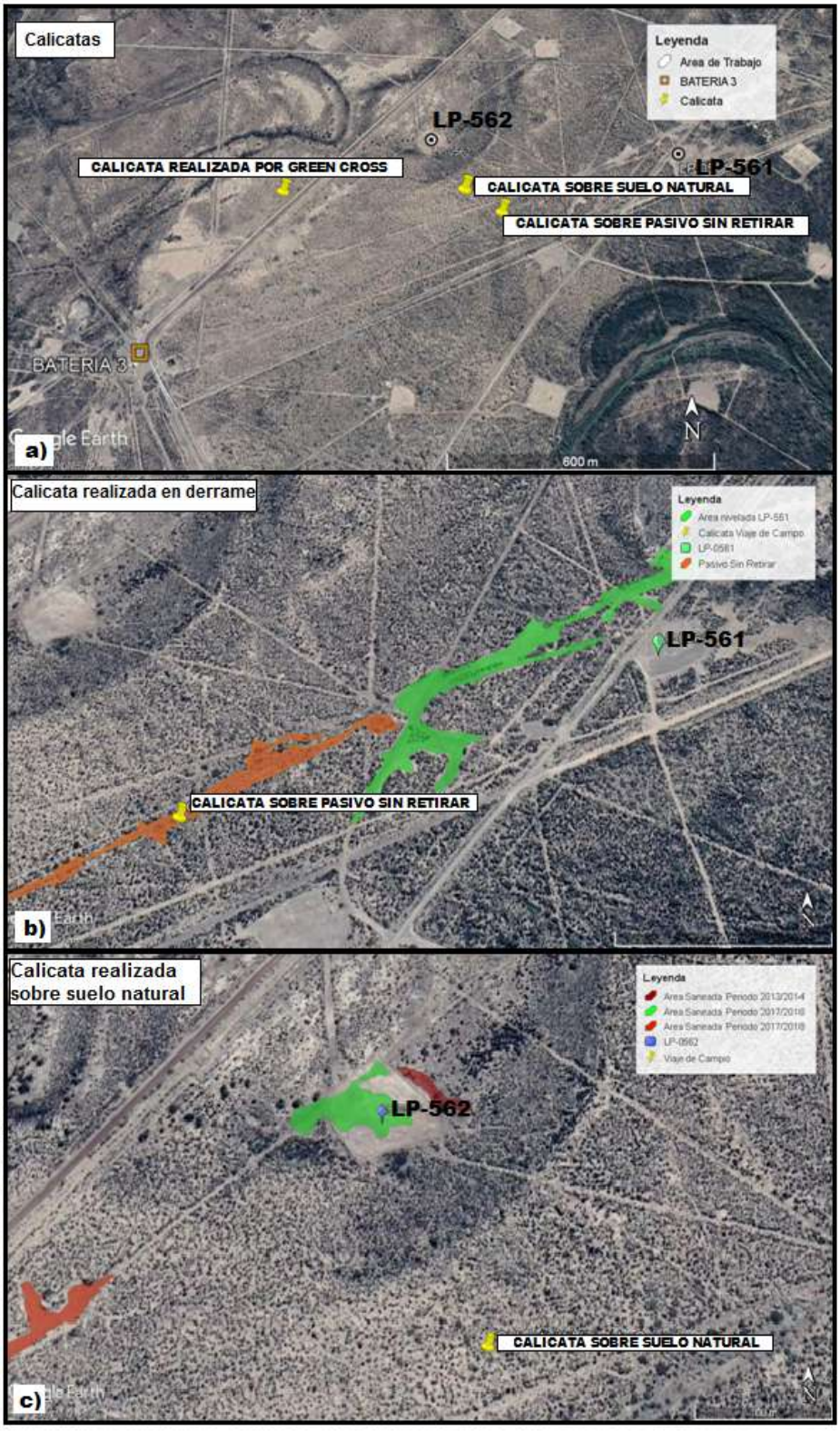

Figura 20: a) Imagen satelital con la ubicación de las calicatas realizadas en el área de estudio, b) Imagen satelital de la calicata realizada en un sector del área cubierto por una costra de hidrocarburos y c) Imagen satelital de la calicata realizada en las cercanías de la locación LP-562. (Fuente: *Google Earth*).

5.2.2 Calicata en cercanías a la locación LP-562 (37°59'18.79"S- 67°52'1.00"O)

Esta calicata se realizó a 200 metros de la locación LP-562 (Fig. 5.20 a y c) y a 885 metros de la batería 3; en un médano (304 m s. n. m.) con presencia de arbustos típicos de un ambiente del área no disturbado por la actividad petrolera. El perfil estudiado consta de 60 centímetros y presenta las siguientes características (Fig. 21):

- 0-2,5 cm: depósito arenoso de naturaleza eólica con aportes gravitacionales desde médanos adyacentes de mayor altura.

- 2,5-17 cm: horizonte Bt, estructura prismática, que rompe a bloques menores, angulares medios. La estructura de los prismas se observó muy meteorizada, en la parte superior rompe a estructura laminar.

- 17-26,5 cm: posible horizonte Bw, coloración parda, estructura en bloques angulares. En la parte inferior, se observaron bloques angulares a sub angulares finos, muy débiles, que rompen a grano suelto. Se observan gravillas en la base.

- 26,5-38,5 cm: horizonte Ck, estructura laminar gruesa que rompe a bloques. También se hallaron gravas de tamaños variables, diseminadas en la base.

- 38,5-60 cm: horizonte Cy, con abundancia yeso diseminado, con una distribución caótica, rodeando los clastos. Se denotó la presencia de gran cantidad de gravas -cantos rodados-.

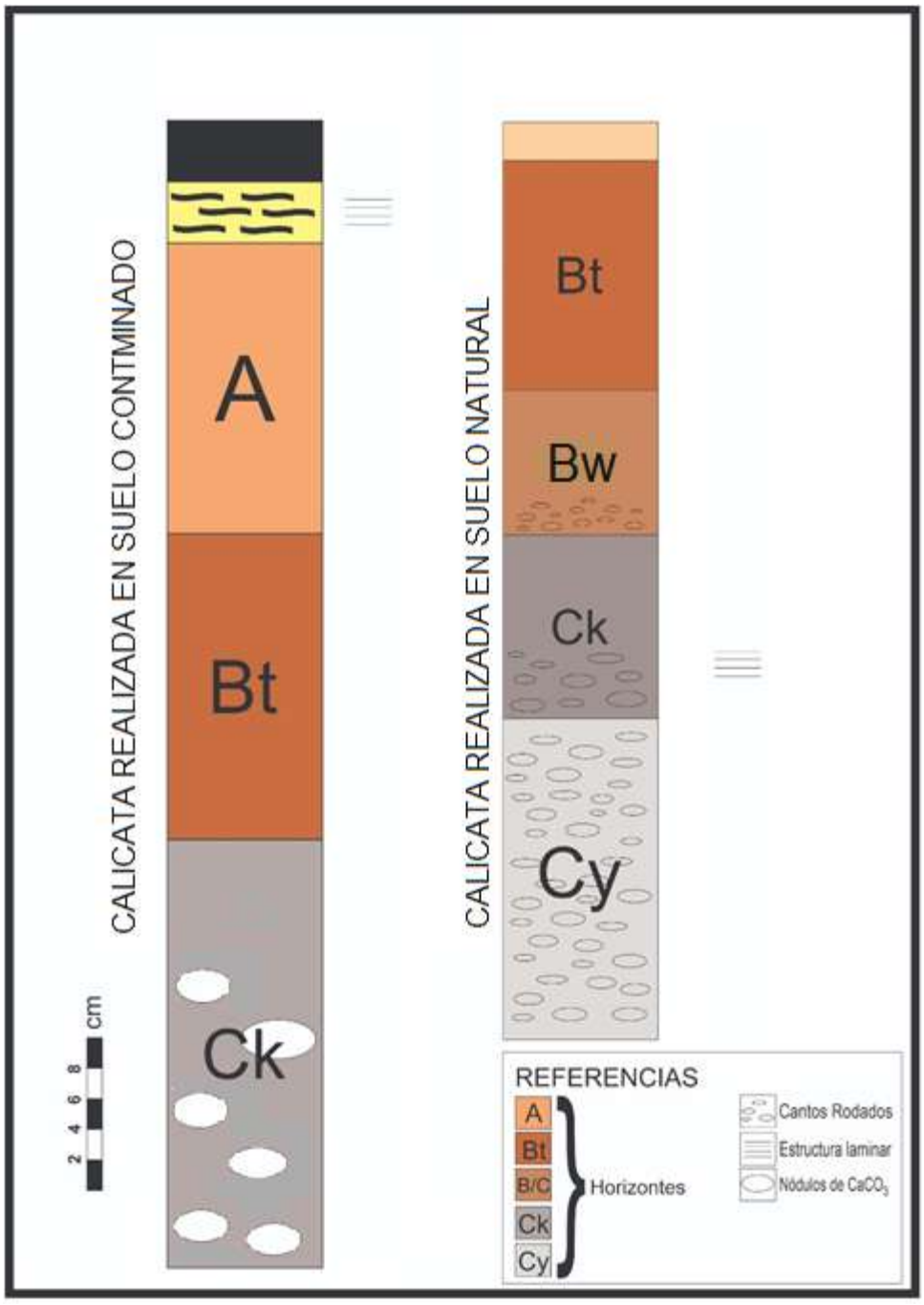

Figura 21: Perfiles de suelo observados en dos calicatas en cercanías a la Batería Nº 3.

Capitulo 6 - Discusión

El alcance del primer objetivo planteado para la realización de esta tesina fue "realizar la caracterización y el relevo de las tareas de restauración de suelos en las áreas saneadas (impactadas con pasivos ambientales) en proximidades de la Batería 3 del yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE", mientras que el segundo objetivo planteó la sugerencia de medidas de recuperación de suelos y vegetación en los sitios saneados. La rehabilitación de áreas impactadas debe tener en cuenta los factores climáticos predominantes, la severidad del daño producida y el potencial de remediación del lugar Cano *et al.* (2017). En este caso de estudio, en particular, la zona considerada se encuentra en un ambiente árido a semiárido (Cano, 1980), con temperaturas extremas, escasas precipitaciones y remoción de las capas superficiales del suelo a partir de la acción eólica. Este ambiente, de por si frágil, se ha visto perturbado por la acción antrópica vinculada a la actividad hidrocarburífera en el Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE, que agravó la situación existente comprometiendo la existencia de un banco de semillas y los porcentajes de materia orgánica en el suelo, en los horizontes superiores del suelo es <0,56 % (Cano, 1980). Los trabajos realizados evidencian la necesidad de un proyecto de rehabilitación ecológica en un área donde los suelos saneados y repuestos en las locaciones afectadas se caracterizan por el contenido casi nulo de materia orgánica.

6.1 Situación actual de las áreas restauradas

Los suelos que se encuentran en las inmediaciones de los pozos abarcados en esta tesis han sido saneados y posteriormente tratados en el recinto de biorremediación (tabla 6.1) y finalmente recolocados, con porcentajes de HTP, BTEX y HAPs por debajo de lo especificado por la normativa; proceso que fue realizado por la empresa SERMA y monitoreado y aprobado por la Subsecretaria de Ambiente de la Provincia de La Pampa.

Como se ha expuesto en el Capítulo 3, el producto resultante de las actividades de biorremediación fue un sustrato con mínima (en el caso de la biorremediación, así como en el *landfarming*) o nula (en el caso de los procesos térmicos) presencia de materia orgánica; así como una pérdida total de los frágiles horizontes del suelo debido a la remoción del suelo oleocontaminado. Al respecto, en el sector B del pozo LP-561 se sugiere extraer el pasivo ya que excede los valores límites de HTP establecidos en el Decreto 298/06, particularmente en aquellas zonas que tiene la costra una continuidad y mayor potencia, en otras zonas se

recomienda un tratamiento menos invasivo, y una extracción selectiva de suelos para proteger la vegetación que creció y crece por encima de la capa contaminada.

Tabla 6.1: Volúmenes de suelo en tratamiento durante la realización de esta tesis.

POZO	SUP. DE SUELO SANEADO	VOL. DE SUELO OLECONTAMINADO	VOL. DE SEDIMENTOS BIORREMEDIADOS
LP-282	4323 m2	2800 m3	1210 m3
LP-296	1065 m2	1452 m3	1166 m3
LP-562	3370 m2	1000 m3	1210 m3
LP-673	579 m2	440 m3	1266 m3
LP-458	3954 m2	1500 m3	2904 m3
LP-561 (SECTOR A)	15756 m2	6600 m3	6446 m3
LP-561 (SECTOR B)	Se procedió a escarificar el terreno		

Fuente: SERMA

La secuencia de imágenes (año 2005 a 2019) de los sitios analizados, permitió analizar como evolucionaron los impactos antrópicos y la forma en que cambiaron las inmediaciones de los pozos a partir del avance de la perturbación ocasionada. Se consideró un tiempo, que se estimó prudente, para poder observar la evolución del ecosistema una vez que las zonas fueron abandonadas por la empresa encargada de la extracción de petróleo. A partir de intervalos que rondaron los 12 meses, se pudo observar la escasa repoblación de especies vegetales pioneras. Las últimas fotografías de campo (2019) registran el estado de las locaciones tiempo después de concluido el proceso de limpieza de suelos.

6.1.2.1 Pozo LP-282

En el área del pozo LP-282 se pudo observar que los pasivos relacionados con un derrame de hidrocarburos en una línea de conducción (en amarillo en figura 6.1) fueron saneados entre mayo y noviembre del 2017 y que el sustrato remediado se colocó en diciembre de 2018. Al momento del último control de campo (obtención de la última fotografía), este sitio solo contaba con tres meses de evolución, por lo cual el repoblamiento biótico encontrado fue nulo debido al escaso tiempo transcurrido.

6.1.2.2 Pozo LP-296

En el caso del pozo LP-296 (figura 6.2), para el año 2005 presentaba amplios sectores con suelos impactados con hidrocarburos sin extraer y sin vegetación, a lo largo del tendido

de líneas de conducción. Los trabajos de saneamiento en los alrededores de la locación comenzaron en el año 2013, cuando el pozo seguía en actividad. Durante el año 2018 el pozo fue abandonado y saneado -nivelando y escarificando-. Para el año 2019 el crecimiento de la vegetación en el sector saneado al transcurrir siete años era nulo; la presencia de especies pioneras es prácticamente inexistente, sólo observándose algunas gramíneas de muy bajo porte. Probablemente las fuertes limitantes climáticas y edáficas, y el método de extracción de los suelos contaminados para nivelar con suelos tratados con escaso contenido de materia orgánica y de semillas retardan la recuperación de la cobertura vegetal.

6.1.2.3 Pozo LP-458

El proceso de saneamiento de este pozo comenzó en enero de 2017 y finalmente en agosto de 2018 se colocó el suelo saneado para su nivelación en la locación. Aunque entre la restitución

Figura 6.1: Imágenes satelitales que muestran la evolución de la situación ambiental en el pozo LP-282 para los años 2005, 2016, 2018 y 2019.

del suelo en el lugar y la última fotografía tomada (figura 6.3) transcurrieron seis meses, que coinciden con las condiciones meteorológicas benignas para la aparición y crecimiento de la flora típica de la zona, no se encontraron evidencias de un incremento en la cobertura vegetal.

Figura 6.2: Imágenes satelitales que muestran la evolución de la situación ambiental en el pozo LP-296 para los años 2005, 2013, 2016 y 2019.

Figura 6.3: Imágenes satelitales que muestran la evolución de la situación ambiental en el pozo LP-458 para los años 2005, 2009, 2015 y 2019.

6.1.2.4 Pozo LP-561

El área afectada se encontraba fuera de la locación y correspondía a un derrame antiguo en línea de conducción que no había sido saneado (Figura 6.4, años 2013 y 2018); mientras que se había realizado el saneamiento del sector noreste fuera de la locación. El área afectada se saneó en dos sectores con distintos tratamientos. El sector A, aledaño al pozo fue saneado y escarificado. El sector B, al sudoeste del pozo se mantuvo intacto, ya que por encima del pasivo había desarrollo de vegetación y los valores de HTP obtenidos no resultaron significativos. Se sugiere remover y extraer manualmente las costras con suelos oleocontaminados, retirar la línea de conducción obsoleta y escarificar el sitio con maquinaria liviana para evitar impactar la vegetación desarrollada.

En el sector A (figura 6.4) el tratamiento comenzó en agosto de 2017 y culminó con la nivelación del área en septiembre de 2018. Un año después, la imagen satelital permite observar nulos cambios en el avance de la vegetación del área saneada analizada.

Figura 6.4: Imágenes satelitales que muestran la evolución de la situación ambiental en el pozo LP-561 para los años 2005, 2013, 2018 y 2019.

6.1.2.5 Pozo LP-562

Los suelos contaminados con hidrocarburos, 1000 m^3 (Fig. 6.5 en tono gris más oscuro en años 2005, 2011 y 2016), se retiraron en el año 2017 y el área fue nivelada un año después,

en enero de 2018, con material tratado en el recinto de remediación. En el año 2019, se puede observar la locación sin desarrollo de vegetación.

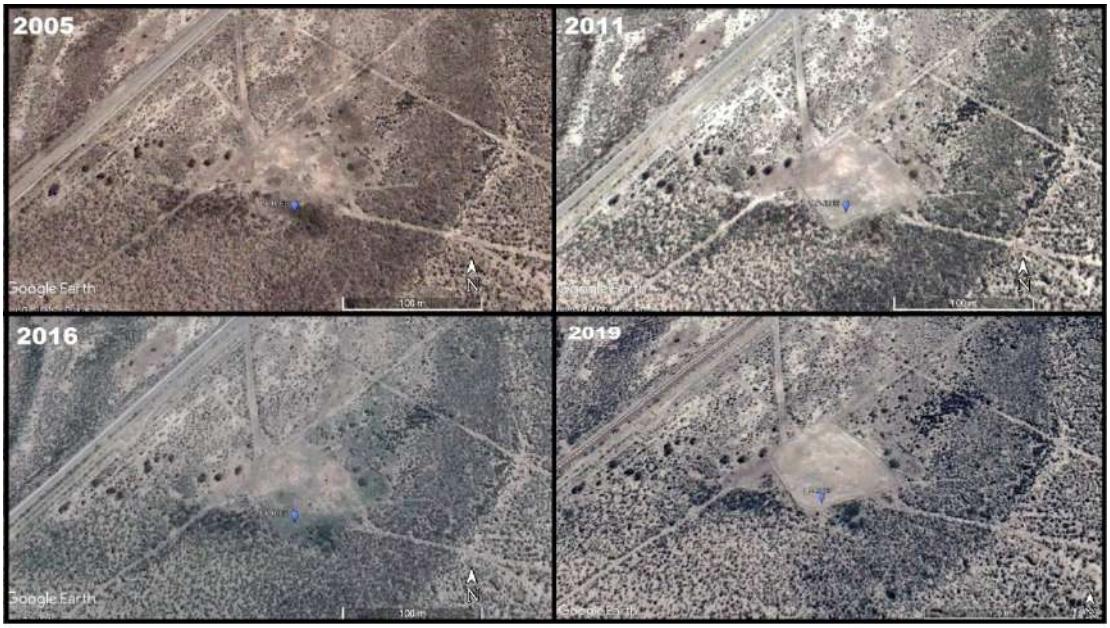

Figura 6.5: Imágenes satelitales que muestran la evolución de la situación ambiental en el pozo LP-562 para los años 2005, 2011, 2015 y 2019.

6.1.2.6 Pozo LP-673

A partir de la Fig. 6.6 se puede observar que entre los años 2005 y 2011 la locación se encontraba inactiva, y por lo tanto cubierta por la vegetación. En el año 2016, se extrajo la vegetación que crece en la locación para permitir el acceso a las misma ante un eventual incidente ambiental. En el mes de agosto del año 2017 la locación y una pileta al norte de la misma fueron saneadas y se nivelaron ambos sitios (diciembre de 2017) con material tratado en el recinto de remediación. En el marzo del año 2019, quince meses después, no se observó crecimiento de la vegetación en el área saneada.

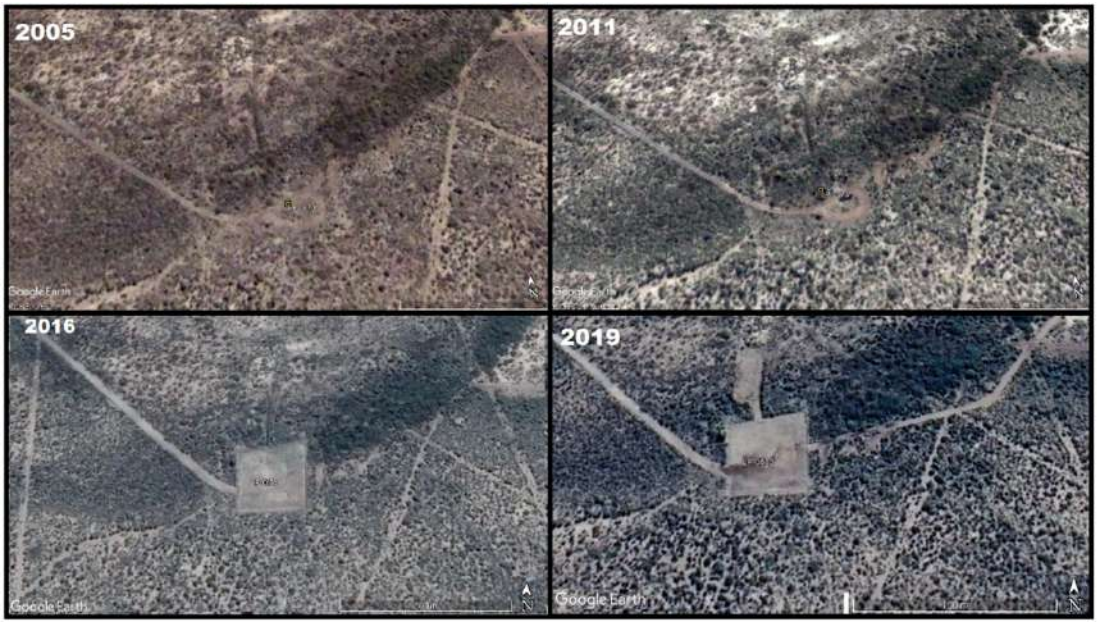

Figura 6.6: Imágenes satelitales que muestran la evolución de la situación ambiental en el pozo LP-673 para los años 2005, 2011, 2015 y 2019.

6.2 Propuestas para la rehabilitación ecológica

En la provincia de la Pampa no se han llevado a cabo experiencias de rehabilitación de áreas petroleras con especies de plantas nativas. En relación con ello, esta tesina presenta la primera experiencia y propuesta de lineamientos básicos que posibiliten desarrollar posteriormente proyectos detallados de restauración ecológica en el área de la Batería 3, tomada como "estudio de caso".

Aunque no forma parte de los alcances de la tesina, cómo se expresó anteriormente, se espera que la misma sea el puntapié inicial para proyectos de restauración en el área, con sus programas de evaluación y seguimiento. Gross (2006), afirma que dichos proyectos tienen el potencial de proveer múltiples y permanentes oportunidades de participación social. Así mismo, pueden posibilitar a los restauradores sentar las bases para implementar viveros comunitarios que permitan suplir las necesidades de plantas nativas que comúnmente no son cultivadas y ofertadas en viveros comerciales tradicionales de la provincia (Barrera, Contreras, Garzón, Moreno, & Montoya, 2010).

Al respecto, cabe mencionar el antecedente de un estudio realizado en infraestructuras petroleras abandonadas del Monte Austral de Neuquén y Río Negro, donde se formuló un

modelo eco-geomorfológico para explicar la regeneración post-disturbio (Zuleta et al., 2012), considerando que el patrón sucesional de las comunidades vegetales responde a un modelo clemensiano (Reichmann et al., 2003; Castro et al., 2013). El modelo expone un patrón con cuatro umbrales asociados a la rehabilitación post-disturbio (Figura 6.7), donde el **primer umbral,** abiótico, se superaría -recuperándose las condiciones físicas del suelo- luego de 10-15 años de eliminado el disturbio. En este período colonizan especies pioneras, como *Atriplex lampa, Hyalis argéntea* y *Senecio subulatus.* El **segundo umbral**, se superaría a los 20-40 años desde el abandono, y está asociado al establecimiento de especies sucesionales tardías, como *Larrea divaricata, Prosopis alpataco* y *Prosopidastrum angusticarpum*. El **tercer umbral**, biótico-abiótico, asociado a la funcionalidad del sistema, se alcanza luego de 40-50 años, cuando los montículos fitogénicos se regeneran y estabilizan. Por último, luego de más de 50-60 años ocurrido el disturbio, el **cuarto umbral** indica la presencia estable de fauna cavícola y de especies climáxicas como *Boungainvillea spinosa* y *Cercidium praecox*, acompañadas de *L. divaricata* y *P. alpataco*.

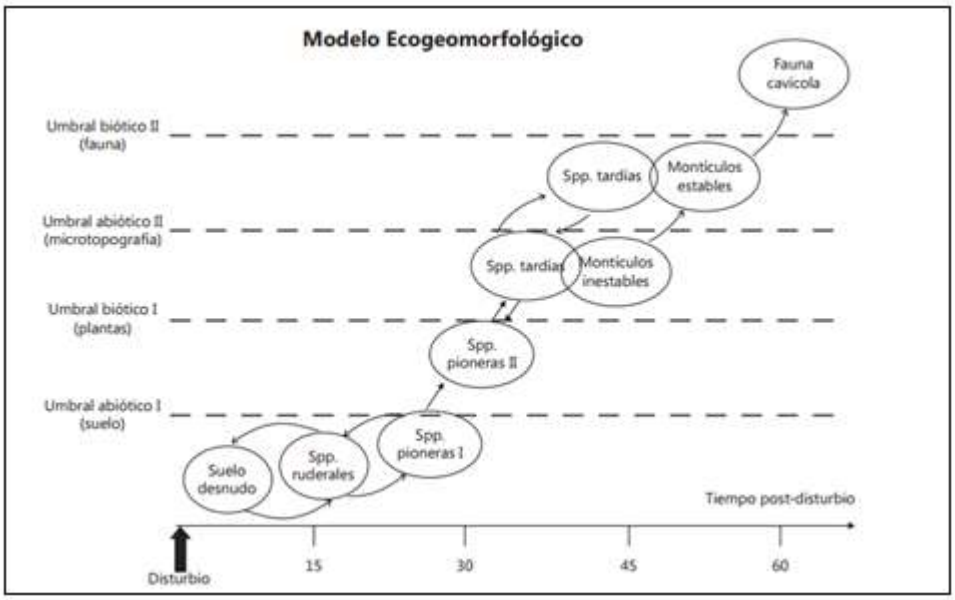

Figura 6.7: Modelo Ecogeomorfológico y sus umbrales de desarrollo. (Tomado de Zuleta, 2012).

A partir de la evidencia exhibida en los capítulos anteriores se descarta la posibilidad de trabajar en la zona en el marco de una restauración pasiva (Bainbridge 2007), ya que dadas las características climáticas y edáficas de la zona la recuperación sería extremadamente lenta.

Es por eso que se plantea la necesidad de trabajar en las áreas impactadas en la sustitución de un ecosistema totalmente dañado (figura 6.8). Según la *Society for Ecological Restoration* (2005) "*se debe proceder con una sustitución del ecosistema cuando la degradación o daño que ha eliminado casi toda la vida macroscópica y ha destruido el ambiente físico*". Esta sustitución será posible a partir de contar con un ecosistema de referencia en los alrededores de los sitios perturbados.

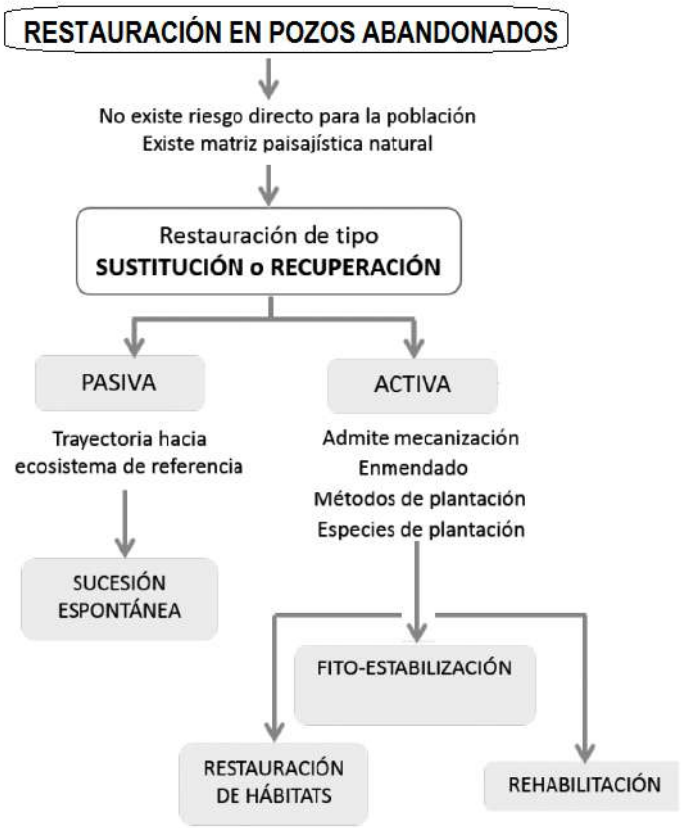

Figura 6.8: Esquema de restauración en pozos abandonados de tipo sustitución o recuperación de ecosistema gravemente dañado. Tomado de Cano et al. 2017, modificado por el autor.

6.3. Propuesta de rehabilitación para el área de estudio

De acuerdo con algunos trabajos de rehabilitación planteados en la Patagonia argentina (e.g. remediación con revegetación en área alterada por la actividad petrolera en Desfiladero Bayo, prov. de Neuquén, Fortunato, 2018; proyecto para rehabitar montículos naturales en locaciones petroleras del monte austral de Río Negro, Zuleta, 2013) y teniendo en cuenta la

características climáticas, las condiciones económicas y la distancia a los mayores centros urbanos de la región, se detalla una propuesta a seguir para lograr la rehabilitación de esta zona perturbada por la actividad petrolera.

1) Preparación del suelo

Las acciones para el trabajo de restauración pueden necesitar la previa preparación del suelo. De ser primordial, se deben tomar medidas como la reducción de la pendiente de ladera, creación de terrazas y obras de estabilización de taludes.

2) Enmienda o fertilización

Se utiliza para mejorar las propiedades físicas y químicas de sustratos que han sufrido la desaparición de la capa superficial de suelo y de sus horizontes orgánicos. Estos sustratos suelen mostrar porosidad excesiva, muy baja presencia de materia orgánica o falta de nutrientes entre otros problemas. Se recomienda su uso de modo puntual, a escala de hoyo para que no afecte a la vegetación existente alrededor de los sitios trabajados.

La fertilización se puede hacer con fertilizantes orgánicos o inorgánicos. Entre los orgánicos se pueden nombrar los residuos compostados y el *mulch*[2] de paja o de virutas de madera. Este último, mejora la textura del sustrato y presenta una buena relación C/N. Los fertilizantes inorgánicos (nitrato amónico, sulfato amónico, etc.) también son una buena opción, 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). En estos fertilizantes también es recomendable ajustar correctamente la dosis para que no existan problemas de exceso de nutrientes (Moro y Domingo, 2000).

3) Elección de las especies

En la restauración resulta fundamental la correcta elección de las especies vegetales objeto de plantación o manejo, de acuerdo con la imagen del ecosistema que se pretende alcanzar. Las plantas o productores primarios representan el armazón físico y biológico sobre el que se ensamblan el resto de niveles tróficos para construir un ecosistema, por lo que en la mayoría de proyectos de restauración son el principal nivel sobre el que se actúa de modo directo (Cano *et. al.*, 2017).

4) ***Selección del micro sitio de plantación***

[2] Mulch es un compuesto orgánico utilizado en climas desfavorable para que el suelo no pierda su humedad

Al buscar los sitios que mejoren las probabilidades de supervivencia de una planta existen dos opciones:

- La detección sobre el terreno de bolsas o islas de suelo fértil: es decir, lugares donde el micro relieve permite la acumulación de agua y nutriente, así como una alteración de los horizontes superficiales. Estas bolsas de suelo se comportan como pequeñas islas de fertilidad en las que se puede incrementar el éxito de la vegetación implantada. En ecosistemas áridos y semiáridos, es frecuente encontrar islas de fertilidad dispersas en el terreno.
- La identificación de plantas nodrizas: Estas son plantas que pueden resistir el estrés ambiental y atenúan las condiciones climáticas y edáficas bajo su copa. Esto produce un mayor establecimiento de otras especies, que en conjunto con cada planta nodriza mejoran sinérgicamente la fertilidad del suelo.

5) Siembra

Los métodos de siembra pueden agruparse en dos categorías: **los métodos extensivos** y los **métodos puntuales** (Cano *et. al.,* 2017). Al momento de tomar la decisión de elegir uno u otro método resulta necesario conocer las propiedades del suelo, los requerimientos de las especies a utilizar y la posible existencia de depredación de parte de las semillas por la fauna silvestre del lugar. También es importante hacer un cálculo de la densidad de semillas precisada en cada caso, teniendo en cuenta el potencial germinativo de cada una de las especies utilizadas en la rehabilitación y de la posible depredación estimada en cada sitio. Algunos de los métodos recomendados son descriptos a continuación.

Siembra a voleo

Este método consiste en la diseminación de semillas de forma aleatoria. Pudiéndose realizar de forma manual o mecanizado. La cantidad de semillas a utilizar debe ajustarse a las características del ecosistema de referencia y los rasgos de las especies seleccionadas. Este método se utiliza actualmente para la implantación de mezclas de especies con semillas de pequeño tamaño (leguminosas, gramíneas, etc.), que formen herbazales y pastizales.

Se suelen usar especies con semillas que no superen los 10 mg de peso y que sean aptas para germinar en superficie. Cano *et. al.* (2017) recomienda favorecer el enterramiento o

el escape de depredadores mediante un rastrillado posterior a la siembra, o bien, aplicando *mulch* sobre el suelo una vez sembradas (Bainbridge, 2007), favoreciendo la ocultación y disminuyendo el estrés físico de las plántulas emergidas.

Siembra puntual

Este método es el más barato y de menor impacto negativo sobre el suelo y la cubierta vegetal. Generalmente se realiza de modo manual, mediante la perforación superficial del suelo (10-30 cm de profundidad). En sustratos muy porosos o pedregosos se puede realizar la siembra en micrositio directamente.

Para aumentar las chances de éxito de la siembra, se deberían de utilizar parches de vegetación para reducir la depredación de semillas, así como también, para evitar el estrés físico de las plántulas recién emergidas. De no existir la posibilidad de utilizar estas islas de vegetación, se pueden reemplazar por mallas protectoras o tubos de protección, que protejan a las semillas.

Hidrosiembra a mochila

Las hidrosiembras consisten en la siembra a presión de una mezcla de agua y semillas, que en ocasiones se acompañan de algunos aditivos que tienen la función de crear un efecto *mulch*, para fertilizar la mezcla y favorecer la suspensión homogénea de ésta (Cano *et. al*., 2017). Este método es de gran utilidad en la revegetación de taludes y cárcavas, con el objetivo de reducir la erosión que en ellas se produce. Así también, durante el ciclo natural de las plantas, se favorece el semilleo natural pendiente abajo.

6) Plantación

La plantación de especies producidas en un vivero es el método más usado para lograr recuperar una cubierta vegetal en ambientes forestales y campos abandonados. La gran ventaja de este método es que puede ser perfectamente compatible con la posterior aplicación de siembras de comunidades de herbáceas, siempre que no se usen elevadas densidades de semilla, para evitar así la competencia por el agua.

Los métodos de plantación son agrupados en **métodos extensivos** y **métodos puntuales**. Los primeros se utilizan cuando la imagen objetivo deseada contempla una alta densidad de planta, mientras que los segundos se usan en diseños con baja densidad de planta.

El método puntual es que presentaría mayor tasa de éxito en el ambiente árido que abarca la zona de estudio de esta tesina. Así, la **plantación manual en hoyos** consiste en la plantación puntual de un plantín a raíz desnuda o en envase, mediante la apertura de un hoyo de tamaño variable según la especie (Cano *et. al.,* 2017), pero que en general suele oscilar entre los 10-40 cm (ancho) × 20-40 cm (profundidad). El porcentaje de éxito en este método puede ser mejorado si en los envases de cada individuo se coloca fertilizante, para que la supervivencia no solo dependa de los nutrientes que la planta pueda obtener del suelo. Así mismo, otra forma de lograr una mejor adaptación a las condiciones climáticas es realizar la plantación debajo de plantas nodrizas.

7) Seguimiento y evaluación del éxito de una restauración ecológica

Los programas de restauración ecológica precisan de un seguimiento y evaluación periódicos de la restauración transcurrido un tiempo prudencial, luego del cual se determinará si se ha logrado alcanzar el objetivo o si el ecosistema muestra una tendencia en la dirección enfocada. Es por esto que se precisan evaluaciones.

La *Society of Ecological Restortation* propone un cronograma de evaluaciones y un conjunto de indicadores para poder interpretar si el plan de restauración sigue el camino esperado:

- En los primeros cinco años se deberá evaluar la supervivencia de la flora establecida crecimiento, estado nutricional y logro de una cubierta vegetal) .
- De los cinco a los quince años el foco debe ser puesto en el desarrollo de la vegetación y el restablecimiento de las relaciones flora-suelo (medir la capacidad reproductiva de las plantas, la estructura de la comunidad vegetal, el aporte de hojarasca en el suelo, así como el nivel de nutrientes y humedad de este último).
- Por último, a partir de los quince años se deberá tener en cuenta la recuperación de la estructura y la fertilidad del suelo superficial. Los indicadores de un buen resultado en la rehabilitación del sitio serán una incipiente estructura edáfica, cambios favorables en los porcentajes de materia orgánica en el suelo y mayor correlación con el paisaje que no ha sido perturbado.

Para finalizar, también es preciso destacar la importancia que tiene la inclusión de la sociedad en la totalidad del trabajo de rehabilitación de las áreas dañadas. Por lo tanto sería preciso que se utilice mano de obra local para el preparado del suelo previo al semilleo o la plantación y que los viveros locales se encarguen de la producción de los plantines que serán utilizados. Por último, es aconsejable la incorporación de clases especiales en los colegios para que los estudiantes puedan aprender sobre los distintos manejos del suelo, en la región que habitan, para su restauración (Pérez et al. 2007).

Capitulo 7 - Conclusiones y Recomendaciones

A partir de las visitas realizadas a la zona de actividades hidrocarburíferas de la prov. de La Pampa, la consulta e interpretación de los informes otorgados por las entidades y empresas pertinentes, así como el análisis de imágenes satelitales se puede concluir que las locaciones –pozos- en proximidades de la Batería 3 del yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE estudiados en esta tesina han sido saneados en forma correcta, tal como lo requiere la Ley Ambiental Provincial N° 1914. La limpieza de las zonas afectadas por la producción hidrocarburífera abarcadas en este trabajo, una superficie total de 29.047 m^2 y un volumen de suelo de 14.202 m^3, fueron enviados y tratados en el recinto de remediación ubicado cinco kilómetros al sur de la Batería 3. Una vez repuestos los suelos saneados y nivelados los sitios afectados, es necesaria la implementación de un plan de restauración ambiental para que el paisaje y el ecosistema vuelvan a una condición cercana o similar a la condición previa a la perturbación causada por la actividad humana.

Las distintas instancias del presente trabajo de tesina permitieron obtener datos a partir de la lectura de estudios previos, visitas y toma de muestras en el área de estudio y análisis de imágenes satelitales a lo largo de los últimos quince años, información que en su conjunto permiten aseverar que las zonas perturbadas por la actividad hidrocarburifera, observadas en el marco de esta tesina, no son resilientes, es decir no pueden volver en condiciones naturales a su nivel ambiental base. Entre los motivos para sostener dicha afirmación se encuentran: **1) la baja o nula presencia de materia orgánica en el suelo de los sitios saneados**, condición derivada de los trabajos de extracción del terreno que fuese perturbado y el posterior depósito de nuevo sustrato re-trabajado y carente de materia orgánica; **2) la baja o nula presencia de flora en los sitios saneados**, debido a los trabajos de limpieza en las locaciones para facilitar el transporte y colocación del material necesario para llevar a cabo los distintos trabajos que exige la actividad hidrocarburifera. Esto condujo a la desaparición del banco de semilla que haría posible un crecimiento natural de la vegetación; y **3) las aridez de la zona estudiada**, condición que responden a las características de la Diagonal Árida Sudamericana y que hace que el área sea muy poco favorable para el resurgimiento de vegetación *per se*; y 4) **las condiciones del suelo re-trabajado**, que favorecen la erosión hídrica y eólica.

Por todo esto, es que se resalta la necesidad de un plan de restauración ambiental. El cual potencie las capacidades orgánicas del suelo y minimice las inclemencias climáticas, en pos de una completa rehabilitación del ecosistema.

7.1 Recomendaciones

Como ya fue referido en la discusión de esta tesina, se debe de buscar una sustitución de un ecosistema totalmente dañado por el hombre.

En el caso del plan de restauración para los sitios contemplados, no sería necesaria la preparación previa del terreno, ya que los sitios son cercanos a pozos productores, donde las pendientes son mínimas. Pero si se debe trabajar en la descompactación del suelo, causada por el tránsito de maquinaria pesada. Al tratarse de zonas de pequeño a mediano tamaño, se recomienda el uso de rastrillos para lograr romper el encostramiento superficial, concentrando las labores en los puntos concretos donde se realizará la siembra o plantación.

Será necesaria la utilización de especies autóctonas, resistentes a las condiciones climáticas y edáficas presentes en el sitio. En ambientes semiáridos sometidos a un fuerte estrés físico-climático, la vegetación arbustiva o de matorral constituye parte esencial de la vegetación con mayor potencial a la supervivencia.

Se recomienda la colocación de plantines mediante el método puntual de la "plantación manual en hoyos". Esto se debe a que es el único de los métodos usualmente utilizado que no incluye el trabajo conjunto con máquinas pesadas (retroexcavadoras o tractores oruga), las cuales implicarían una mayor perturbación en lugares ya muy frágiles, o la degradación de aquellas aéreas que no fueron sometidas a un stress producido por el hombre.

Al momento de elegir el sitio de plantación, se deberán buscar lugares donde se acumule materia orgánica y sean beneficiados por un mayor porcentaje de humedad. Asimismo, sería útil contemplar la utilización de plantas nodrizas, donde se busque minimizar las inclemencias climáticas.

Finalmente se deberá tener en cuenta que la mera adecuación del suelo y colocación de plántulas no asegura el éxito del proyecto de restauración. Se precisará de un seguimiento extensivo, como el que dicta la SER, con un cronograma de evaluaciones y un conjunto de indicadores que puedan ayudar a interpretar si el proyecto se dirige hacia los objetivos planteados.

Como última recomendación se indica la necesidad de incluir a la sociedad en este proceso de rehabilitación. Ya sea con la utilización de viveros locales para la producción de los plantines, la contratación de personal originario de la zona para el plan de seguimiento o la incorporación de materias especiales en el colegio para que los alumnos aprendan la vital importancia del cuidado del suelo.

Para todo este proceso se podría recurrir al asesoramiento técnico de la Agencia de Extensión del INTA – 25 de Mayo, de la Universidad Nacional de La Pampa y del Ente Provincial del Río Colorado.

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.

Alvarellos, E., & Hernández, R. (1982). Los Recursos Hídricos Pampeanos. *Biblioteca Pampeana, Serie de Folletos*, *29*(82), 75.

Araruna, J. T., Jr, Portes, V. L. O., Soares, A. P. L., Silva, M. G., Sthel, M. S., Schramm, D. U., Tibana, S., and Vargas, H. 2004. Oil spills debris clean up by thermal desorption. *Journal of Hazardous Materials*, 110 (1-3): 161-171.

Bengtsson, L. & 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 medioambiente: los pasivos ambientales. IIIas jornadas universitarias internacionales de contabilidad.

Belloso C. 2001 Enhancing hydrocarbon biodegradation rate on landfarming using exogeneous microorganisms: A field study. In: Sixth international *in-situ* and on-site bioremediation symposium, San Diego, USA, 4–7 June 2001, pp 235–240

Bainbridge, D. 2007. Restoration approaches and planning. *A Guide for Desert and Dryland Restoration. New hope for Arid Lands. Island press. Washington, USA*, 90-111.

Cabrera, A. L., & Correa, M. N. 1971. *Flora patagónica: Compositae*. Inst. Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Bruniard, E. D. 1982. La diagonal árida argentina: un límite climático real. *Revista Geográfica*, (95), 5-20.

Castro, M.L., G.A. Zuleta, A.A. Pérez, M.E. Ciancio, P. Tchilinguirian & C.A. Escartín, 2013. Rehabilitación de estepas arbustivas del Monte Austral en explanadas petroleras. Evaluación de la técnica de escarificado I: Vegetación. En: Restauración Ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina (Pérez, D.R., A.E. Rovere & M.E. Rodríguez Araujo, Eds). Editorial Vázquez Mazzini, Neuquén, Argentina. 225 - 245 págs.

Cano, E; Casagrande, G; Conti, H.A.; Fernández, B; Heiva, R; Lea Plaza, J.C.; Maldonado Pinedo, D.; Martínez, H.M.; Montes, M.A y Peña Zuebiate, C.A. 1980. *Inventario integrado de los recursos naturales de La Pampa*. La Pampa: INTA. Gobierno de La Pampa – UNLPam.

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

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

Chang, T. C., and Yen, J. H. 2006. On-site mercury-contaminated soils remediation by using termal desorption technology. *Journal of Hazardous Materials,* 128(2-3):208-17.

Coria I. 2007. Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. En: Centro de Altos Estudios Globales, http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/ing/UAIS-IGA-600-001%20 - %20Remediacion.pdf; consulta: abril 2011.

Conde, G. 1987. Excavacion, retirada y tratamiento/ eliminación ex situ de suelos contaminados. *Contaminación De Suelos Y Aguas Subterraneas*, 1–17.

Cursi, E., & Calleja, C. 2000. Biorremediación de suelos contaminados con Hidrocarburos. *Mendoza, Argentina: UE*.

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.

Ercoli, E., Gálvez, J., Di Paola, M., Cantero, J., Videla, S., Medaura, M., & Bauzá, J. 2001. Análisis y evaluación de parámetros críticos en biodegradación de hidrocarburos en suelo. *Laboratorio de Bioprocesos, reporte especial. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza*.

Fortunato, R. H. 2018. Propuesta de remediación con revegetación en área alterada por la actividad petrolera: desfiladero bayo, rincón de los sauces. Instituto de Recursos Biológicos, CIRN, INTA

Hejazi, R. F. 2002. Oily sludge degradation study under arid conditions using a combination of landfarm and bioreactor technologies. PhD Thesis. Faculty of Engineering and Applied Science. Memorial University of Newfoundland, St. John´s, Canada.
Jiménez Puyen, L. A., 2016. Optimización de la remediación de pasivos ambientales en el Lote 1AB. *Universidad Nacional de Ingeniería*.

Legarreta, L., & 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., and Anderson, P. 2004. Field trial of a new aeration system for enhancing biodegradation in a biopile. *Waste Management*, 24 (2): 127-137.

Litchfield, C. D. and Belcher, L. A. 1990. Microbial Degradation of Chlorobenzene in Groundwater, in: *Proceedings Eighth International Biodeterioration and Biodegradation Symposium*, Elsevier, Essex, England, in press.

Lowe, E.F., Battoe, L.E., Coveney, M.F. *et al.* 2001. The restoration of Lake Apopka in relation to alternative stable states: an alternative view to that of Bachmann et al. (1999). *Hydrobiologia* **448,** 11–18.

Choque, J. C. M. 2002. *Efectos ambientales y socioeconómicos por el derrame de petróleo en el río Desaguadero* (No. 3). Fundacion Pieb.

Munsell. 1975. 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, A. J., Estellés, M. G., González Barberá, G., Castillo Sanchez, V. M., & Verdú del Campo, M. 2017. Restauración ecológica en ambientes semiáridos recuperar las interacciones biológicas y las funciones ecosistémicas. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, *Madrid*, 162.

PÉREZ DR 2007. Documento Curricular Técnicas Agroecológicas en Zonas Áridas y Semiáridas. Disponible en: http://inta.gob.ar/documentos/tecnicasagroecologicas-en-zonas-aridas-ysemiaridas/. Acceso Mayo 2012.

Pérez, Daniel & Rovere, Adriana & Araujo, María. 2013. Restauración Ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina.

Peña Altamirano, M. A. 2013. Identificación de pasivos ambientales y propuesta metodológica de remediación de piscinas API en el Campo Pindo, operado por el consorcio Petrosud Petroriva. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar el Título de Ingeniera Ambiental Grado Académico de Tercer Nivel. Carrera de Ingeniería Ambiental. Quito: UCE. 228 p.

Piña, J., Merino, J., Errazu, A. F., and Bucalá, V. 2002. Thermal treatment of soils contaminated with gas oil: influence of soil composition and treatment temperature. *Journal of Hazardous Materials*, 94 (3): 273-290.

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

Ramos, V. A., & 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.

Reichmann, L.G., G.A. Zuleta & S.B. Perelman, 2003. Floristic changes and natural habitat regeneration of semiarid shrub steppes in abandoned oil fields, Patagonia, Argentina. 15th Annual International Conference of the Society for Ecological Restoration. Austin, Texas. USA

Roldan Muradian, Martin O'Connor, Joan Martinez-Alier. 2002. Embodied pollution in trade: estimating the 'environmental load displacement' of industrialised countries. Ecological Economics,Volume 41, Issue 1.

R. Romero-Rivera, G. Berhault, G. Alonso-Núñez, M. Del Valle, F. Paraguay-Delgado, S. Fuentes, S. Salazar, A. Aguilar, J. Cruz-Reyes, 2012. Tungsten disulfide catalysts from tetraalkylammonium thiotungstates by ex situ activation, their properties and HDS activity, Applied Catalysis A: General, Volumes 433–434, Pages 115-121.

Ross, A. B., Jones, J. M., Chaiklangmuang, S., Pourkashanian, M., Williams, A., Kubica, K., Andersson, J. T., Kerst, M., Danihelka, P., and Bartle, K. D. 2002. Measurement and prediction of the emission of pollutants from the combustion of coal and biomass in a fixed bed furnace. *Fuel*, 81 (5): 571-582.

Moro, M. J., & Domingo, F. 2000. Litter decomposition in four woody species in a Mediterranean climate: weight loss, N and P dynamics. *Annals of Botany*, *86*(6), 1065-1071.

Silcox, G. D., Larsen, F. S., Owens, W. D., and Chroroszy-Marshall, M. 1995. Kinetics of hydrocarbon and pesticide removal from clay soils during thermal treatment in a pilot-scale rotary kiln. *Waste Management*, 15 (5-6): 339-349.

Society for Ecological Restoration (SER) International & Policy Working Group. 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. www.ser.org & Tucson: SER International.

Society for Ecological Restoration International (SER). 2005. Guidelines for Developing and Managing Ecological Restoration Projects. www.ser.org & Tucson: SER International.

Suding K. N. Gross K. L. 2006. The Dynamic Nature of Ecological Systems: Multiple States and Restoration trajectories. En: Falk D.A., Palmer M.A., Zedler J.B. (eds.), Foundations of Restoration Ecology. Society for Ecological Restoration International. Island Press, Washington. 364 pp.

Sutherland, R. A., 1998. Loss-on-ignition estimates of organic matter and relationships to organic carbon in fluvial bed sediments. Hydrobiologia 389: 153–167.

United States Environmental Protection Agency (US EPA), Method 3052 1996. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. US EPA Office of Solid Waste, Washington.

United States Department of Agriculture (USDA) Soil Survey Staff 1999. Soil taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd edition. Agricultural Handbook No. 436. Washington, DC. 869 pp.

USEPA. 1994. Thermal Desorption Treatment. Engineering Bulletin. EPA/540/5-94/501.

USEPA. 1998 b. Landfarming. Office of the Underground Storage Tank, US Environmental Protection Agency. Publication # EPA 510-B-95-007.

Weliky, K., E. Suess, C. A. Ungerer, P. J. Mü ller & K. Fischer 1983. Problems with accurate carbon measurements in marine sediments and particulate organic matter in sea water: a new approach. Limnol. Oceanogr. 28: 1252–1259.

Zuleta, G. A., & Puma, M. L. 2013. Diseño de enramados para rehabilitar montículos naturales en locaciones petroleras del Monte Austral. *Rehabilitación en la Diagonal Árida de la Argentina. Pérez D, AE Rovere y ME Rodriguez Araujo (Eds). Buenos Aires: Vázquez Mazzini. Pág*, 180-201.

Zuleta, G. A., Tchilinguirian, P., Castro, M. L., Ciancio, M. E., Pérez, A. A., Reichmann, L. G., & Escartín, C. 2012. Post-disturbance regeneration thresholds in degraded and rehabilitated semiarid shrublands of the Monte Austral (Northern Patagonia, Argentina).