



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

Atenuación Natural Monitorizada (ANM)

Aplicación de la tecnología ANM como alternativa de manejo de los Recursos Naturales Renovables, Suelo y Agua, contaminados con Hidrocarburos provenientes de la Industria Petrolera

Tesista: Longo Ana Clara

Directora: Dra. Medaura María Cecilia

AGRADECIMIENTOS

A mi Directora, **María Cecilia Medaura**, por su apoyo incondicional, sus valiosas enseñanzas, su paciencia y todo el tiempo dedicado en la realización de este trabajo.

A los Profesores **Enrique Pereyra y Teresa Hiramatsu**, por su valiosa ayuda al iniciar mi carrera y a lo largo de toda ella.

A las Profesoras **Patricia Piccoli y Mariana Gil**, por el apoyo, la paciencia y las enseñanzas valiosísimas durante la realización de mi primer trabajo en el ámbito de la investigación.

A mis **Padres**, quienes han soñado conmigo, me han apoyado, guiado, me han dado la paciencia y la tenacidad para seguir adelante siempre, me han enseñado a no bajar los brazos y darle para adelante para cumplir mis sueños y objetivos.

A mis **Hermanos y Tía** por apoyarme siempre y ser mis compañeros todos los días, por dejarme saber que siempre están.

A **Juan Santiago Nieto** quien me ha acompañado en estos últimos cuatro años y quien ha sido incondicional, apoyándome en cada una de mis decisiones y acompañándome en cada momento.

A mis **Amigos** por los momentos inolvidables, por ser parte de mi vida y por acompañarme siempre.

ÍNDICE

Resumen	4
Palabras claves:	5
Keywords:	5
I. Introducción	6
II. Hipótesis de trabajo	8
III. Objetivos:	8
III.1. Objetivo general y particulares:	8
General:	8
IV. Marco teórico	9
V. Área de estudio	24
V.1. Geología del Petróleo	26
VI. Materiales y métodos	28
VI.1 Plan de Trabajo	34
VI.1.1 Etapas a implementar	34
VII. Resultados	37
VII.1 Suelos	37
VII.2 Clima	40
VII.3 Sistema hidrológico	41
VII.4 Flora y Fauna	45
VII.5 Construcciones y actividad económica	50
VII.6 Localización de Freatímetros	51
VII.7 Perfil litológico	52
VII.8 Caracterización del Agua	54
VII.9 Evaluación de actividad microbiana	55
VII.10 Análisis de hidrocarburos en agua:	56
VIII. Discusión	61
IX. Conclusiones	65
X. Bibliografía	67

Resumen

La Atenuación Natural Monitorizada se presenta como una tecnología que trabaja in situ, con los componentes naturales del suelo y napas, para lograr una disminución del impacto negativo que produce en ellos la presencia de sustancias contaminantes. Con ANM se busca proteger ante todo la seguridad y salud tanto humana como medioambiental y que el proceso se lleve adelante en periodos de tiempo razonables.

Este trabajo tiene como objeto presentar a la ANM como una opción de manejo óptima para casos de suelos y aguas subterráneas contaminadas con hidrocarburos de la industria del petróleo en la Provincia de Mendoza, dentro de la Cuenca Cuyana.

Se comenzó el estudio con la recopilación de datos históricos y presentes de la zona afectada a fin de establecer la base de partida para llevar adelante la aplicación de las tres líneas de evidencia presentadas por la Guía Técnica de Atenuación Natural Monitorizada propuesta por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Éstas incluyen, en primer lugar, estudios químicos de la contaminación que demuestren que su extensión se encuentra disminuyendo, en segundo lugar los estudios de la hidrogeología y geoquímica del área contaminada y en tercer lugar el estudio de las posibles comunidades de microorganismos con capacidad de utilizar los contaminantes como fuente de energía y así disminuir su concentración y por ende su impacto negativo.

Durante el estudio se realizaron análisis sobre suelo y napa. En el suelo, los resultados obtenidos demostraron la presencia de microorganismos responsables de llevar adelante el proceso de Atenuación Natural Monitorizada, así como sus subproductos o los productos que estos organismos utilizan como aceptores de electrones, que se presentan como evidencia de su efectividad y viabilidad. En la napa se estudió la disminución de la pluma de contaminación a lo largo de un periodo de tiempo de alrededor de 6 años

obteniendo resultados positivos que dieron lugar a la propuesta de llevar adelante un plan de monitoreo y seguimiento posterior.

En base a los resultados a los que se arribó con este estudio y teniendo en cuenta las bondades de la Atenuación Natural Monitorizada como tecnología de remediación desde el punto de vista ambiental y social, se expone como conclusión que es una buena opción como tecnología para el manejo óptimo de Recursos Naturales Renovables suelo y agua subterránea contaminados con hidrocarburos del petróleo.

Palabras claves: Atenuación Natural, Biorremediación, Contaminación hidrocarburífera, Suelo, Napas.

Keywords: Natural Attenuation, Bioremediation, hydrocarbon contamination, soil, groundwater tables.

I. Introducción

El petróleo es la principal fuente de energía para el hombre y también un importante contaminante ambiental (Gasparotti, 2010).

El mundo entero está en un punto importante sobre el futuro de la producción de energía. Los desafíos de los cambios en la cantidad y el precio de la oferta de combustibles fósiles como así los cambios de clima, causados por las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente de la utilización de energías fósiles, deben ser resueltos con urgencia y de manera eficiente. La creciente dependencia de estas energías amenaza la seguridad de abastecimiento. El aumento de las inversiones en las energías renovables y principalmente en las nuevas tecnologías son una contribución esencial a la solución de estos problemas (Oprea, 2009).

En la Provincia de Mendoza se presentan grandes extensiones de suelos y aguas subterráneas impactadas negativamente por diferentes industrias y sus productos. La producción de energías no renovables, provenientes de recursos fósiles, representan grandes riesgos para el Medio Ambiente en cada una de sus etapas de producción.

Siendo Mendoza una de las principales provincias de la Republica Argentina que se dedica a la producción de derivados del petróleo, y sabiendo que este año ha presentado una gran caída en los volúmenes de producción, existe una gran revolución en torno a éstos, ya que las necesidades energéticas del país van en alza. A esta “revolución” se le suma la existencia de suelos y aguas subterráneas contaminadas en la provincia, como consecuencia accidental de la actividad petrolera. Es de gran importancia y de imperiosa necesidad implementar tecnologías que revertan ambas situaciones para así satisfacer la necesidad de energías fósiles no renovables y revertir la situación de contaminación generada por éstas.

Con el correr del tiempo el hombre ha buscado distintas alternativas para dar una solución real y completa a la problemática presentada por la industria petrolera, como así también para otro tipo de industrias que generan impactos negativos sobre el ambiente.

Es así que surgen tecnologías que llevan adelante actividades de destrucción o modificación de los contaminantes buscando alterar la estructura química del contaminante, extracción o separación del contaminante del medio contaminado aprovechando sus propiedades físicas o químicas (volatilización, solubilidad, carga eléctrica), o realizando aislamiento o inmovilización del contaminante. Luego éstos son estabilizados, solidificados o contenidos con el uso de métodos físicos o químicos.

Cuando se habla de remediación se tienen en cuenta tres tipos de tratamientos, el biológico (biorremediación), que utiliza actividades metabólicas de ciertos organismos (plantas, hongos, bacterias) para degradar (destrucción), transformar o remover los contaminantes a productos metabólicos inocuos. Los tratamientos fisicoquímicos utilizan las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes del medio contraminado para destruir, separar o contener la contaminación. Y finalmente los tratamientos térmicos que utilizan calor para incrementar la volatilización (separación), quemar, descomponer o fundir (inmovilización) los contaminantes del suelo (INE, 2007).

En este trabajo de investigación y análisis nos centraremos en el hecho de que se necesita de la implementación de tecnologías que nos permitan mejorar y devolver las condiciones naturales de los suelos sin generar mayores impactos negativos y es por eso que se decidió abordar el estudio de la técnica de ANM que es una tecnología de biorremediación que utiliza los procesos naturales que se dan en suelos y aguas para contener la contaminación causada por derrames de productos contaminantes y reducir la concentración y cantidad de los mismos en los lugares afectados.

II. Hipótesis de trabajo

Por lo antes expuesto, se presenta como hipótesis que la Atenuación Natural Monitorizada es una tecnología de Biorremediación viable para lograr un manejo óptimo de los Recursos Naturales Renovables Suelo y Agua subterránea contaminados con hidrocarburos en la Provincia de Mendoza, dentro de la Cuenca Cuyana.

III. Objetivos:

III.1. Objetivo general y particulares:

General:

- Presentar la tecnología de Atenuación Natural Monitorizada como alternativa de remediación en un caso particular de suelos y napa contaminada con hidrocarburos en la provincia de Mendoza.

Particulares:

- Analizar los criterios de selección de la tecnología para un caso particular de suelo y napa contaminados con hidrocarburos
- Llevar adelante la aplicación de las tres líneas de evidencia presentadas por la Guía de Atenuación Natural Monitorizada.
- Evaluar en base a los resultados obtenidos en cada línea de evidencia la viabilidad de la aplicación de la ANM en este caso de contaminación de suelos y napas de la cuenca cuyana con derivados de la industria petrolera.

IV. Marco teórico

El término Atenuación Natural Monitorizada (en inglés MNA “Monitored Natural Attenuation”) es definido según la Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos (U.S EPA) por la Directiva 9200.4-17, 1999, “*Use of Monitored Natural Attenuation at Superfund, RCRA Corrective Action, and Underground Storage Tank Sites*” de la OSWER (Office of Solid Waste and Emergency Response) como “el conjunto de procesos naturales (físicos, químicos y biológicos) que se desarrollan en suelos y aguas subterráneas, y que bajo condiciones favorables contribuyen a la reducción de la masa, toxicidad, movilidad, volumen, o concentración de los contaminantes en el medio sin la intervención humana. Entre estos procesos in-situ se incluyen biodegradación, dispersión, dilución, sorción, precipitación, volatilización, y/o estabilización química o bioquímica de los contaminantes”.

Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (USEPA, 1996) la Atenuación Natural Monitorizada utiliza Técnicas de Bioestimulación y Bioaugmentación para la potenciación de la biodegradación de contaminantes.

La biorremediación utiliza microorganismos para degradar los contaminantes orgánicos en el suelo, las aguas subterráneas, los lodos y sólidos. Los microorganismos descomponen los contaminantes mediante el uso de ellos como una fuente de energía o cometabolizados con una fuente de energía. Más específicamente, la biorremediación implica la producción de energía en una reacción redox dentro de las células microbianas. Estas reacciones incluyen la respiración y otras funciones biológicas necesarias para el mantenimiento celular y la reproducción. Este sistema requiere generalmente: una fuente de energía (donador de electrones), un aceptor de electrones, y nutrientes. Diferentes tipos de aceptores de electrones pueden estar implicados en la biorremediación, tales como oxígeno, nitrato, manganeso, hierro (III), sulfato, o dióxido de reducción de carbono

y sus potenciales redox correspondientes. Las mediciones de potenciales redox proporcionan una idea de la dominancia relativa de las clases de aceptores de electrones (EPA 1999).

Para estimular y mejorar la actividad microbiana, se pueden añadir los microorganismos (Bioaumentación) o enmiendas (Bioestimulación), como el aire, sustratos orgánicos u otros donantes de electrones / aceptores, nutrientes y otros compuestos que afectan y pueden limitar el tratamiento en su ausencia.

La Bioestimulación se puede utilizar donde las bacterias necesarias para degradar los contaminantes están presentes pero las condiciones no favorecen su crecimiento (por ejemplo, las bacterias anaeróbicas en un acuífero aeróbico, las bacterias aerobias en un acuífero anaeróbico, la falta de nutrientes adecuados, donantes de electrones o aceptores).

La Bioaumentación se puede utilizar cuando las bacterias necesarias para degradar los contaminantes no se presentan naturalmente en un sitio o se producen en muy bajas concentraciones de población como para ser eficaz. Luego la Bioestimulación y la Bioaumentación se pueden utilizar para tratar la tierra y otros sólidos, el agua subterránea o agua superficial.

Bajo condiciones adecuadas, la atenuación natural monitoreada (ANM), incluye un proceso de biodegradación intrínseca que depende de los microorganismos para degradar contaminantes indígenas sin enmienda alguna, podrá ser un enfoque apropiado para un sitio.

La biorremediación puede llevarse a cabo in situ o ex situ. In situ son los procesos que tratan suelos y aguas subterráneas en el lugar, sin necesidad de las instalaciones de transporte o eliminación. Este enfoque puede ser ventajoso ya que los costos de manejo de materiales y algunos impactos ambientales pueden ser reducidos. Sin embargo, en procedimientos in situ pueden estar limitados por la capacidad de controlar o manipular el

ambiente físico y químico durante la biorremediación. Los procesos ex situ, por otro lado, implican la extracción de los medios contaminados a un área de tratamiento.

La Biorremediación puede realizarse tanto de manera aeróbica como anaeróbica. La técnica aeróbica involucra reacciones microbianas que requieren oxígeno para seguir adelante. Las bacterias utilizan un sustrato de carbono como donador de electrones y el oxígeno como aceptor de electrones. La Biorremediación anaeróbica implica reacciones microbianas que ocurren en la ausencia de oxígeno y abarca muchos procesos, incluyendo la fermentación, la metanogénesis, dechloración y las condiciones de nitrato y sulfato reductor. Dependiendo del contaminante, un subconjunto de estas actividades puede ser promovida. En el metabolismo anaeróbico, tanto nitrato, sulfato, dióxido de carbono, materiales oxidados, como compuestos orgánicos pueden reemplazar el oxígeno como aceptor de electrones. En biorremediación por cometabolismo, los microbios no ganan energía o carbono por degradar un contaminante. En lugar de ello, el contaminante se degrada a través de una reacción secundaria. (EPA 2006).

El primer paso de cualquier programa de biorremediación es desarrollar un modelo conceptual del sitio (MCS) para evaluar el potencial para la aplicación de biorremediación. Éste tiene en cuenta la naturaleza y el alcance de la contaminación y las características del sitio; hidrogeología, condiciones geoquímicas y de oxidación-reducción; potencial de biodegradación; el destino y transporte de contaminantes; y las vías de los receptores y de exposición. Una vez establecido el MCS y refinado, se puede determinar una caracterización de la comunidad microbiana existente, o las características necesarias para el establecimiento de una comunidad microbiana apropiada. Las actividades realizadas con anterioridad a la puesta en práctica de un programa de biorremediación a menudo implican estudios de trazabilidad, el examen del suelo, la estructura y función de la comunidad microbiana para asegurar que se evitan reacciones indeseables con los contaminantes o sus productos de degradación. El éxito de una aplicación de la

biorremediación depende en gran medida de la caracterización y el seguimiento llevado a cabo antes y durante su ejecución (Hazen 2010).

La ANM conocida también como medidas correctivas intrínsecas, bioatenuación o biocorrección intrínseca, es un método de tratamiento in situ, o sea que se dejan los contaminantes donde están mientras se produce la atenuación natural.

Con frecuencia se utiliza la atenuación natural como parte de la limpieza de un sitio donde también se recurre al control o la extracción de la fuente de contaminación. Es una técnica no invasiva que permite usar productivamente el lugar mientras se realiza la limpieza; a diferencia de muchas técnicas complejas de limpieza mecánica, la superficie del suelo puede seguir usándose mientras se produce la atenuación natural en el subsuelo.

En ciertas situaciones, la atenuación natural es una opción eficaz y económica para realizar una limpieza y la forma más apropiada de corregir algunos problemas de contaminación. A veces se dice erróneamente que la atenuación natural es el método de la "inacción." Sin embargo, la atenuación natural es realmente un método activo centrado en la confirmación y la vigilancia de procesos de corrección natural, en vez de depender totalmente de técnicas "dirigidas."

Los hidrocarburos móviles y tóxicos, por ejemplo, son buenos candidatos para la atenuación natural. Si bien son difíciles de atrapar debido a su movilidad, se encuentran entre los contaminantes que más fácilmente se destruyen con la biodegradación.

Entre los factores que afectan un proceso de biorremediación podemos encontrar las concentraciones de contaminantes que influyen directamente en la actividad microbiana. Cuando las concentraciones son demasiado altas, los contaminantes pueden tener efectos tóxicos sobre las bacterias presentes. En contraste, baja concentración de contaminante puede prevenir la inducción de las enzimas de degradación bacterianas.

Luego, la biodisponibilidad del contaminante depende del grado en que sorbe a los sólidos o es secuestrado por las moléculas en medios contaminados, difunde en

macroporos de suelo o sedimento y otros factores tales como si los contaminantes están presentes en forma líquida en fase no acuosa (NAPL). La biodisponibilidad para las reacciones microbianas es menor cuando los contaminantes son absorbidos fuertemente a los sólidos, encerrados en las matrices de moléculas en medios contaminados, o más ampliamente difundido en macroporos de suelo o sedimentos, o están presentes en forma NAPL (ICSS 2006).

Las características del sitio tienen un impacto significativo en la eficacia de cualquier estrategia de biorremediación. Las condiciones ambientales del sitio importantes a considerar para las aplicaciones de biorremediación incluyen pH, temperatura, contenido de agua, la disponibilidad de nutrientes y el potencial redox. El pH afecta la solubilidad y la disponibilidad biológica de los nutrientes, metales y otros constituyentes; para el crecimiento bacteriano óptimo, el pH debe mantenerse dentro del rango de tolerancia de los microorganismos diana (ESTCP 2005). Para los procesos de biorremediación proceden preferentemente a un pH de 6-8 (ICSS 2006).

Por otro lado los nutrientes son necesarios para el crecimiento microbiano y la división celular (ESTCP 2005). Las cantidades adecuadas de nutrientes traza para el crecimiento microbiano suelen estar presentes, pero los nutrientes se pueden añadir en una forma utilizable o por medio de una enmienda de sustrato orgánico (Parsons 2004), que también sirve como un donador de electrones, para estimular la biorremediación.

La temperatura afecta directamente la tasa de metabolismo microbiano y la consecuente actividad microbiana en el medio ambiente. La velocidad de biodegradación se ve aumentada en cierta medida con el aumento de la temperatura y disminuye con la disminución de la misma (ESTCP 2005).

La ANM puede ser menos costosa que otras opciones dirigidas para el tratamiento de medios contaminados, especialmente las que se usan para el agua subterránea, ya que no requiere una fuente de energía ni equipo especial. Entonces, es efectiva en cuanto a

costos, más benéfica para el ambiente y los contaminantes generalmente son destruidos, por lo que se requiere un mínimo o ningún tratamiento posterior.

En la actualidad hay diferentes protocolos para la selección y posterior remediación de un emplazamiento mediante ANM:

Protocolos Técnicos	Tipo de Contaminantes
RTDF 1997	Disolventes clorados
Wiedemeier et al. 1996, 1998	Disolventes clorados
NOBIS 1998, 2000	Disolventes clorados y BTEX
ASTM 1997	Hidrocarburos de petróleo
AFCEE 1995	Hidrocarburos de petróleo
OSWER 1997, 1999	Hidrocarburos de petróleo

Tabla 1. Protocolos utilizados en USA para evaluar la ANM como opción de remediación.
Fuente: Sinke, A.J.C, 2001 y Brady, P.V., et al, 1999. EPA.

Todo protocolo que apruebe la ANM como medida correctiva debe basarse en dos criterios fundamentales:

1. La ANM tiene que proteger la seguridad y la salud humana y medioambiental.
2. La ANM tiene que ser efectiva en un período de tiempo razonable.

Y éstos se basan en las tres líneas de evidencia dictadas por la directiva OSWER 9200.4-17p de la EPA (U.S EPA, 1999) que por orden de importancia son:

- Primera línea de evidencia: datos químicos históricos sobre la contaminación que demuestren la clara y significativa tendencia decreciente de la masa contaminante y/o concentración respecto al tiempo en puntos de muestreos o monitoreo.

La primera evidencia que indica que la atenuación natural está sucediendo, resulta de la evaluación sobre el comportamiento histórico de la pluma. El comportamiento de las plumas se puede agrupar en cuatro fases:

- En expansión: presencia de una fuente residual. El flujo de los contaminantes excede la capacidad asimilativa del acuífero.
- Estable: cambios insignificantes. Los procesos activos y pasivos de remediación están controlando la longitud de la pluma.

- Se reduce: la fuente residual se ha agotado. Los procesos activos o pasivos de remediación están reduciendo significativamente la masa de la pluma.
- Extenuada: la concentración media de contaminantes en la pluma es muy baja e invariable en el tiempo.

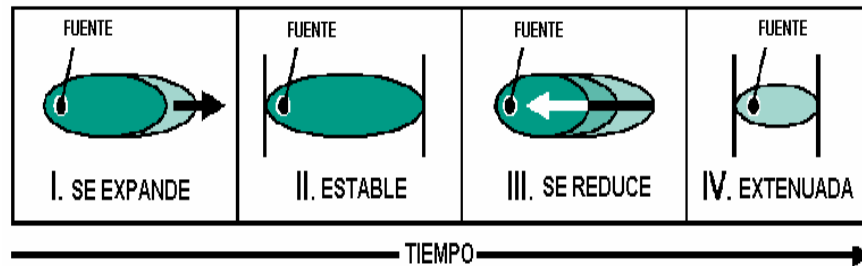


Figura 3: Ciclo de vida de una pluma contaminante que se atenúa naturalmente.
Fuente: Guía técnica de ANM, EPA.

- Segunda línea de evidencia: los datos hidrogeológicos y geoquímicos se utilizan para demostrar indirectamente los diferentes procesos de atenuación natural que se están desarrollando en el emplazamiento y a que tasas esos procesos reducirán las concentraciones de los contaminantes hasta los niveles deseados. Esta caracterización se utilizará para cuantificar las tasas de sorción, dilución, volatilización y biodegradación de los contaminantes del emplazamiento.

Se debe desarrollar un modelo conceptual del flujo de las aguas subterráneas y el transporte de los contaminantes en el sistema y así realizar la cuantificación antes expuesta sobre este flujo. Los datos que se derivan de dichos cálculos permiten hacer un pronóstico del efecto de la ANM en el tiempo.

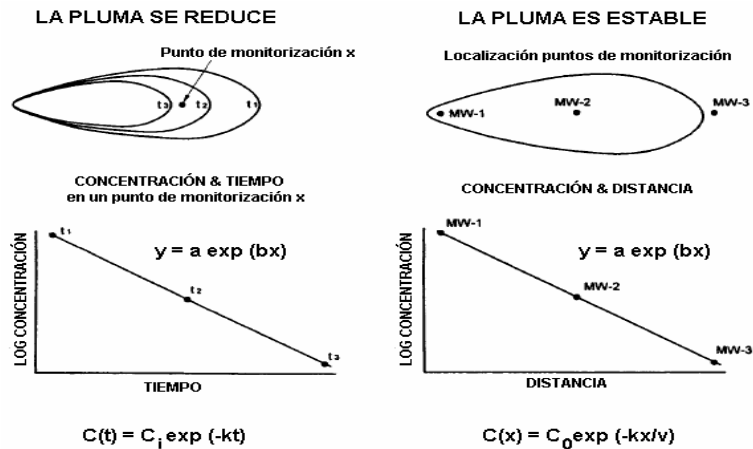


Figura 4: Comportamiento de la pluma, concentración vs tiempo y distancia.
Fuente: Guía técnica de ANM.

- Tercera línea de evidencia: datos adicionales de laboratorio sobre estudios de los microorganismos presentes en el emplazamiento para demostrar directamente la evidencia de los procesos de atenuación natural (en concreto de la biodegradación), y su habilidad en degradar los contaminantes.

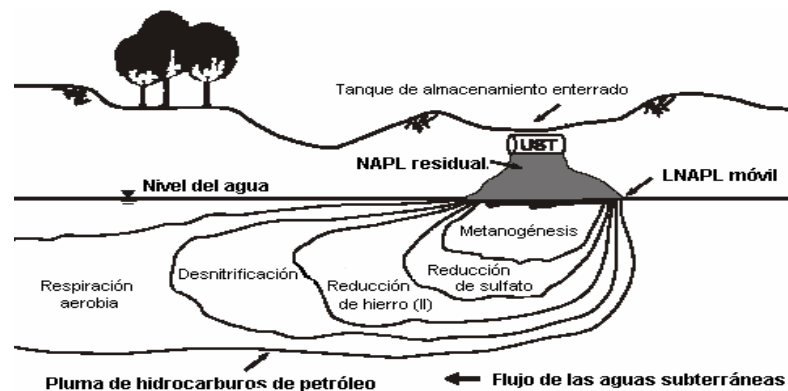


Figura 5: Esquema de la extensión de la pluma y el tipo de procesos que se suceden en ella.
Fuente: Guía técnica de ANM.

No todos los protocolos incluyen este tercer tipo de evidencia. Recientemente se han desarrollado técnicas (Sinke, A.J.C, 2001) que permiten demostrar que la degradación ocurre, prueban la presencia de ciertas bacterias capaces de degradar los contaminantes en el acuífero, tales como: medidas del ratio C^{13}/C^{12} utilizadas para demostrar la degradación de hidrocarburos del petróleo, pruebas de RNA que detectan códigos

genéticos presentes en determinadas bacterias capaces de degradar los disolventes clorados, etc.

Estas líneas de evidencia, en orden de importancia como se han presentado, pueden ser aplicadas en su totalidad o no dependiendo de la calidad y suficiencia de datos que aportan para la toma de decisión sobre la aplicación o no de la ANM como opción de remediación.

Fase	Línea de evidencia	Actividad
1	1	Recopilar información disponible del emplazamiento e identificar y recopilar los datos adicionales necesarios
2	1	Evaluar el potencial de AN y desarrollar hipótesis que la fundamenten
3	3	Experimentos de campo y laboratorio
4	2	Simulación de la AN mediante un modelo de transporte para predecir el comportamiento futuro de la pluma
5	2	Confirmar hipótesis y evaluar el riesgo de las condiciones futuras y presentes de la pluma
6		Plan de monitorización a largo plazo y verificación de la ANM.

Tabla 2: Fases para evaluar la ANM como técnica de remediación de acuerdo con las líneas de evidencia marcadas por la directiva OSWER 9.200.4-17p

Dos componentes son fundamentales en la remediación de un emplazamiento contaminado mediante ANM: el control de la fuente de contaminación y el programa de monitorización.

Una vez que se ha demostrado la posible efectividad de la ANM, se evalúa si el programa de monitorización propuesto es adecuado y suficiente.

La monitorización adquiere una mayor importancia durante la remediación de un emplazamiento vía MNA que mediante otros tipos de remediación, esto es debido a los largos periodos de remediación, al potencial de migración del contaminante, y otras incertidumbres asociadas a la esta tecnología.

Este programa debe especificar la localización, frecuencia y tipo de muestras y medidas necesarias para evaluar la remediación. La monitorización continuará mientras la

contaminación permanezca por encima de los niveles de limpieza requeridos y luego de esto por el tiempo que se determine, de uno a tres años, con el objetivo de asegurar que los niveles de concentración son estables y permanecen por debajo de los niveles requeridos.

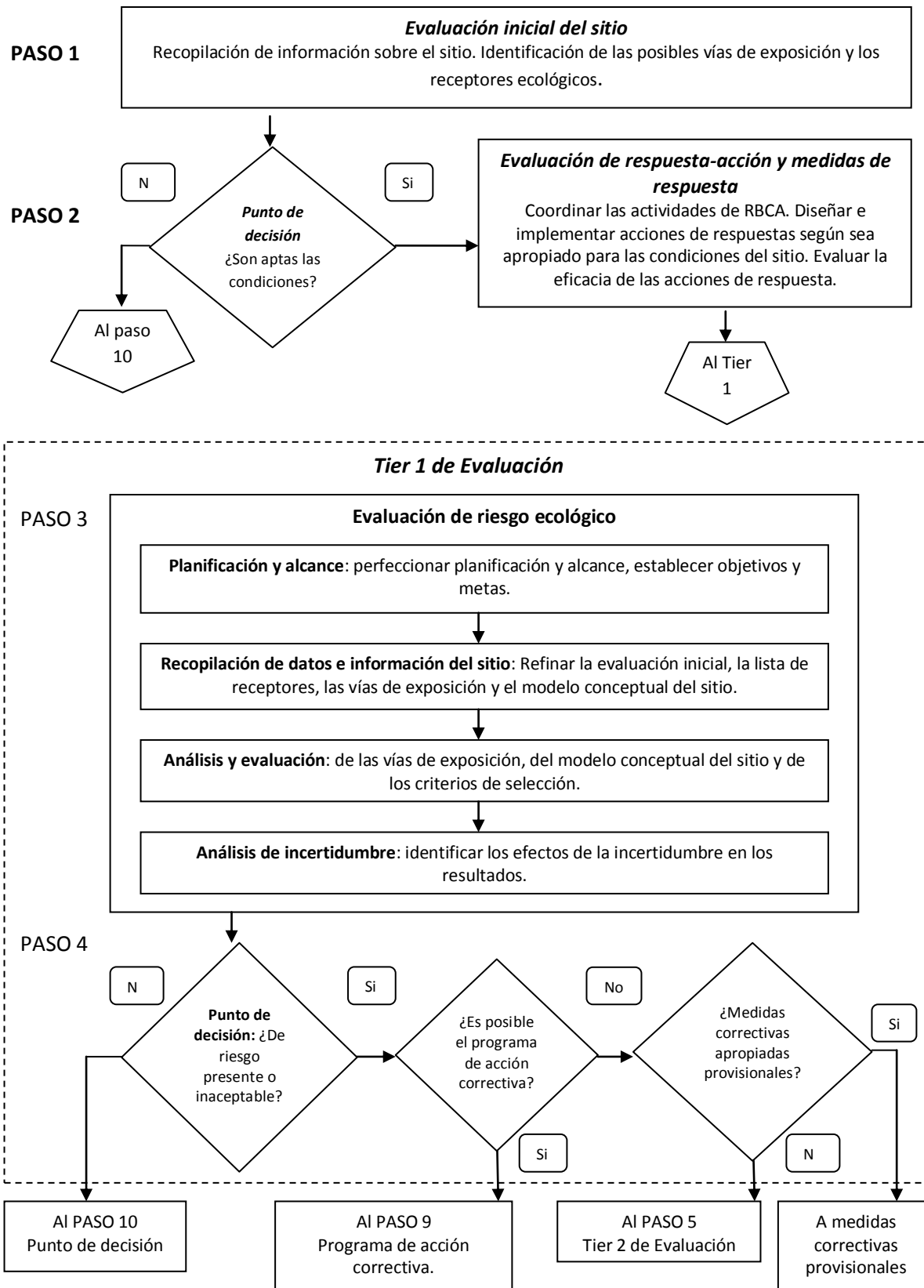
De acuerdo con la EPA (WIEDEMEIER, LUCAS, 2000.) existen tres tipos de monitorización:

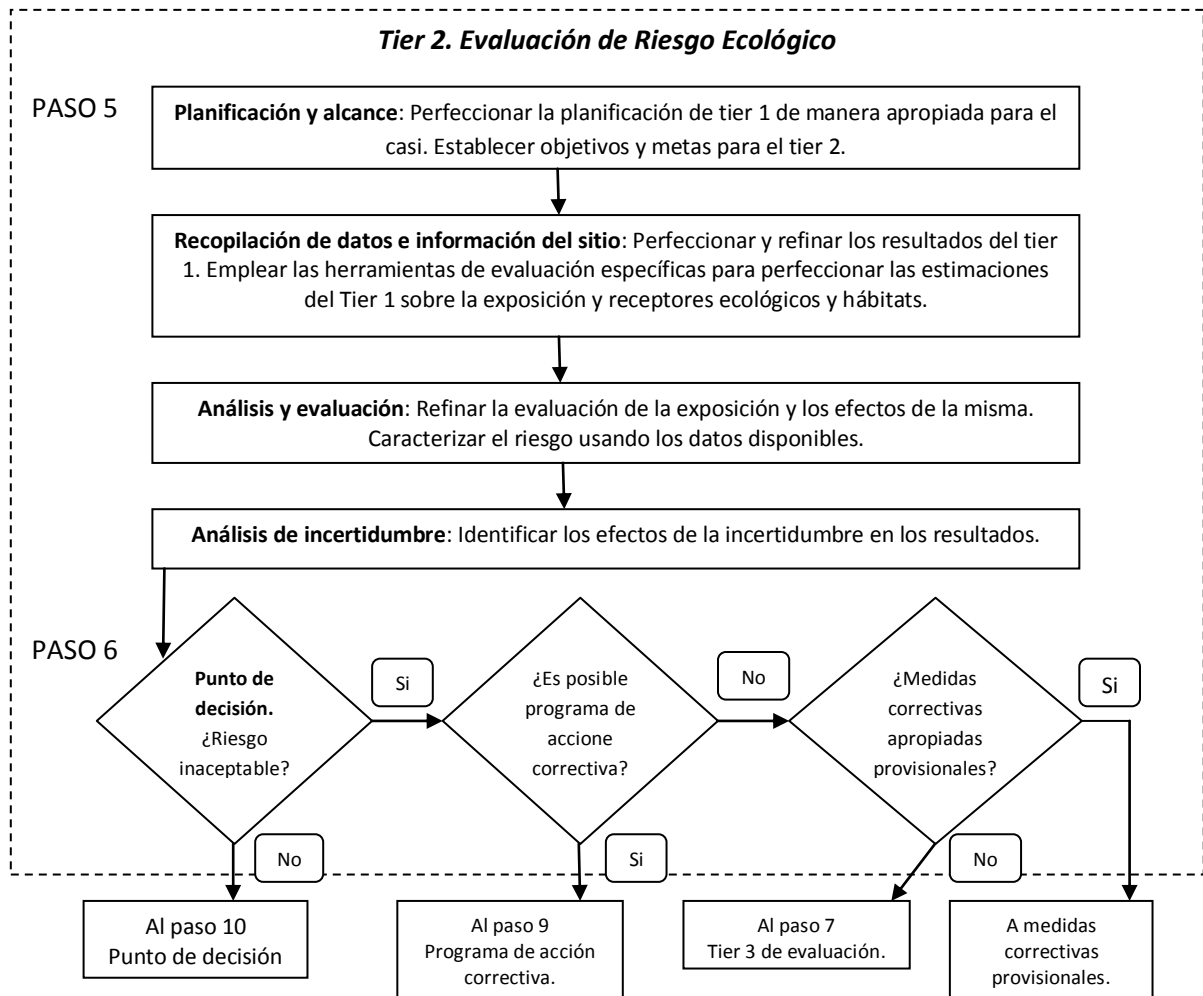
1. Caracterización del emplazamiento: para describir la localización y distribución de la contaminación y pronosticar su comportamiento futuro.
2. Validación de la monitorización: para determinar si las predicciones fundamentadas en la caracterización del emplazamiento son correctas.
3. Monitorización a largo plazo: para asegurar que el comportamiento de la pluma no cambia.

En la bibliografía referida a la temática de la ANM encontramos distintas formas de verificar que es realmente la tecnología apropiada que el caso requiere.

En este caso se utiliza el árbol de decisión para evaluar la ANM como opción de remediación de la Guía Estándar para Acciones Correctivas Basadas en el Riesgo para la Protección de los Recursos Ecológicos (Eco-RBCA; bajo la designación E 2205/E 2205M de EPA). Ésta proporciona un marco flexible para un acercamiento en Tiers (niveles) a la evaluación del riesgo y a la toma de decisiones de gestión de riesgo ecológico en los sitios determinados. (EPA).

Para facilitar la implementación del Eco-RBCA el marco se organiza en diez pasos y tres Tiers de evaluación de riesgo. Comienza de manera relativamente simple y progresan a evaluaciones más complejas, mientras que el sitio condiciona la autorización. Este estándar puede ser seguido en un paso a paso, o verse limitado a completar sólo algunos por factores como materiales, recursos económicos, limitaciones de zona, etc.

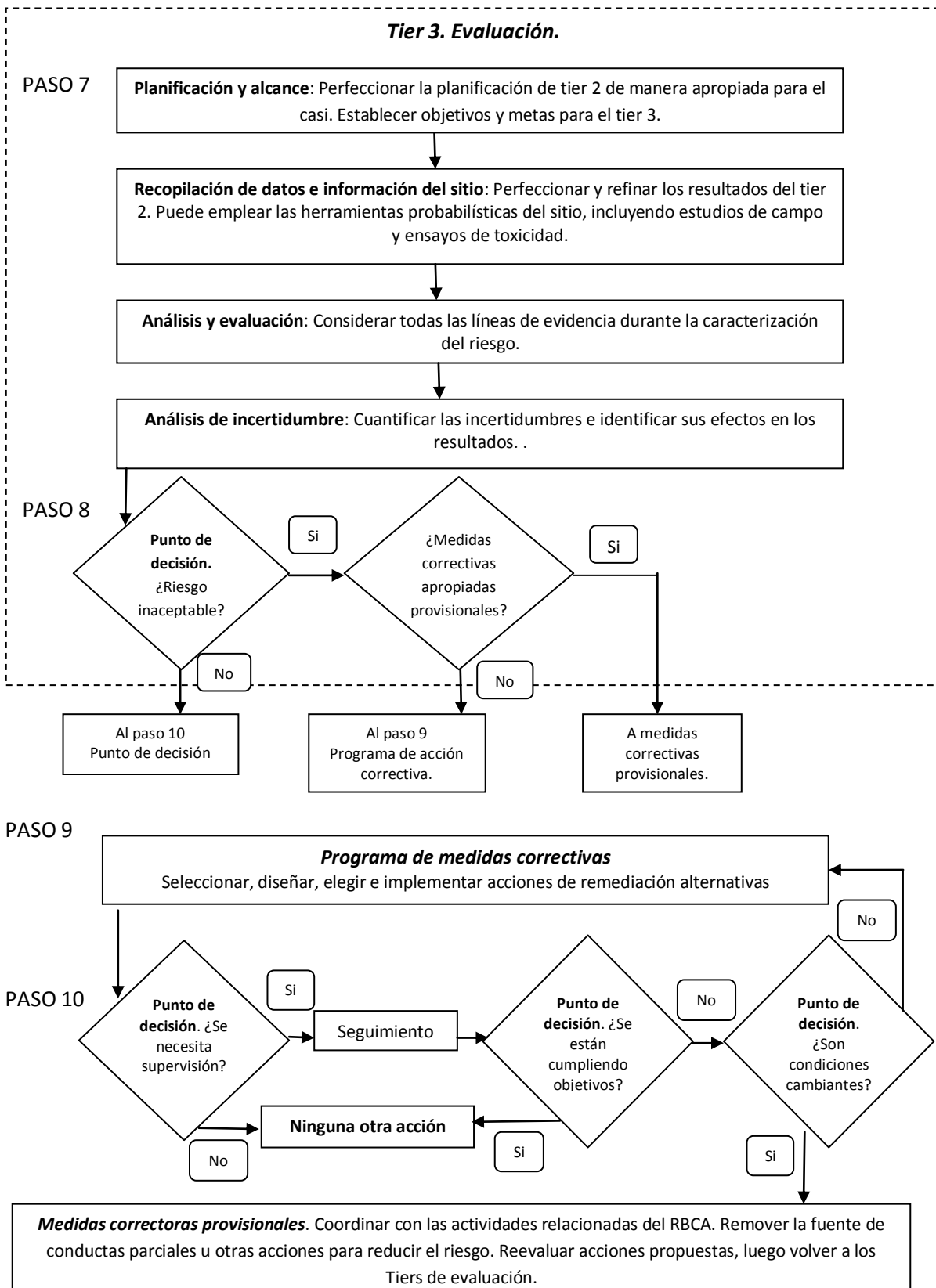




Para cada uno de los Tiers propuestos:

Documentos referidos: Estándares de ASTM.

- Guía E1739 para la Acción Correctiva basada en el Riesgo, aplicada a sitios donde se presentan derrames de petróleo.
- Guía E 1848 para la selección y el uso de los Criterios de Valoración Ecológica para sitios contaminados.
- Guía E 2081 para Acciones Correctivas basadas en el Riesgo.



Cada protocolo presenta un gran número de parámetros a tener en cuenta al momento de caracterizar un emplazamiento y determinar la efectividad de la ANM. Sin embargo, no todos los parámetros listados deben ser caracterizados sino únicamente los que aporten información relevante para la evaluación que se desea realizar. A modo de resumen en la siguiente tabla recopila todos los datos que debe recogerse durante la fase de caracterización del emplazamiento, y su importancia en el proceso de evaluación de la efectividad de la ANM. Estos datos serán necesarios para calcular las tasas de atenuación de los contaminantes en pasos posteriores, y estimar el tiempo necesario para alcanzar los objetivos de remediación.

<i>Datos procedentes de la caracterización del emplazamiento utilizados para evaluar la efectividad de la ANM en aguas subterráneas</i>	
Datos característicos del emplazamiento	Aplicación
Dirección y gradiente del flujo de las aguas subterráneas. Conductividad hidráulica.	Estimar la tasa de migración de la pluma
Caracterización de la litología	Definir las trayectorias preferentes de flujo
Espesor del acuífero	Estimar las tasas de volatilización y modelizar el flujo de las aguas
Profundidad a las aguas subterráneas	Estimar las tasas de volatilización.
Rango de fluctuaciones del nivel de agua	Evaluar: el potencial de alcanzar la fuente; la influencia sobre las concentraciones de las aguas subterráneas; y la variación de la dirección del flujo.
Delineación de la fuente de contaminación de la pluma.	Comparar la extensión esperada sin ANM a la extensión actual
Datos de descarga de contaminantes	Estimar la extensión de migración de la pluma.
Concentración histórica a lo largo del eje de la pluma desde la fuente	Evaluar el estado de la pluma (es estable, se atenúa, o se expande)
Niveles de fondo de los aceptores de electrones aguas arriba de la fuente y de la pluma.	Determinar la capacidad asimilativa del acuífero.
Indicadores geoquímicos de la ANM: Alcalinidad, dureza, pH, Fe (II), Mn (II), sulfatos, nitratos, dióxido de carbono, metano, e hidrogeno disuelto (opcional) y ORP (los dos últimos indicadores medir dentro y fuera de la pluma contaminante).	Evaluar mecanismos y efectividad de los procesos de AN.
Localización de las áreas más cercanas de recarga de las aguas subterráneas (acequias, estanques, presas, etc...)	Identificar áreas de aireación natural de las aguas subterráneas.

Tabla 3: Datos necesarios para evaluar la efectividad de la ANM
Fuente: U.S. EPA, 2004.

La caracterización del emplazamiento permitirá elaborar un modelo conceptual que incluya: fuente(s) de contaminación; distribución tridimensional de los contaminantes de interés y su impacto sobre las aguas subterráneas, y extensión de la pluma contaminante; unidades geológicas que influyan en la migración de la contaminación; profundidad a las aguas subterráneas, dirección del flujo y velocidad; localización de receptores potenciales y vías de migración. (U.S. EPA, 1998).

La opción de la ANM para alcanzar los objetivos de remediación establecidos lleva asociado la evaluación de la necesidad de implementar medidas de control sobre la fuente de contaminación (como eliminación física, tratamiento y estabilización) con tal de acotar el tiempo de remediación y dar viabilidad al proyecto.

V. Área de estudio

El trabajo fue realizado en la Provincia Petrolera conocida como Cuenca Cuyana, localizada en la provincia de Mendoza (fig.1) y se extiende hacia el sur de su ciudad Capital, explotada por varias empresas petroleras (Sec. De Energía, 2014).

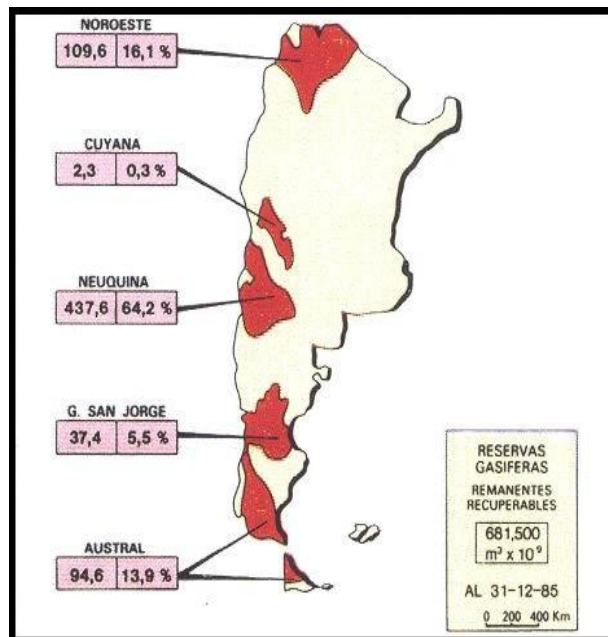


Figura 1. Provincias petroleras de la Argentina.

Fuente: Secretaria de Energía 2014. Distribución de Provincias Petroleras.

Presenta forma elongada en sentido NNO – SSE. El límite occidental lo constituyen dos importantes sistemas orográficos: La Precordillera y la Cordillera Frontal. Al sur oeste está limitada por el Sistema de la Sierra Pintada que desvincula de la Cuenca Mesozoica Neuquina – Sur Mendocina. El límite oriental lo integran rocas metamórficas, rocas ígneas y vulcanitas permotriásicas del Grupo Choiyoi. Por el norte los sedimentos triásicos trascienden los límites de la provincia de Mendoza y afloran en un vasto sector precordillerano de la provincia de San Juan (Figura 2.), (Secretaria de Energía 2014).

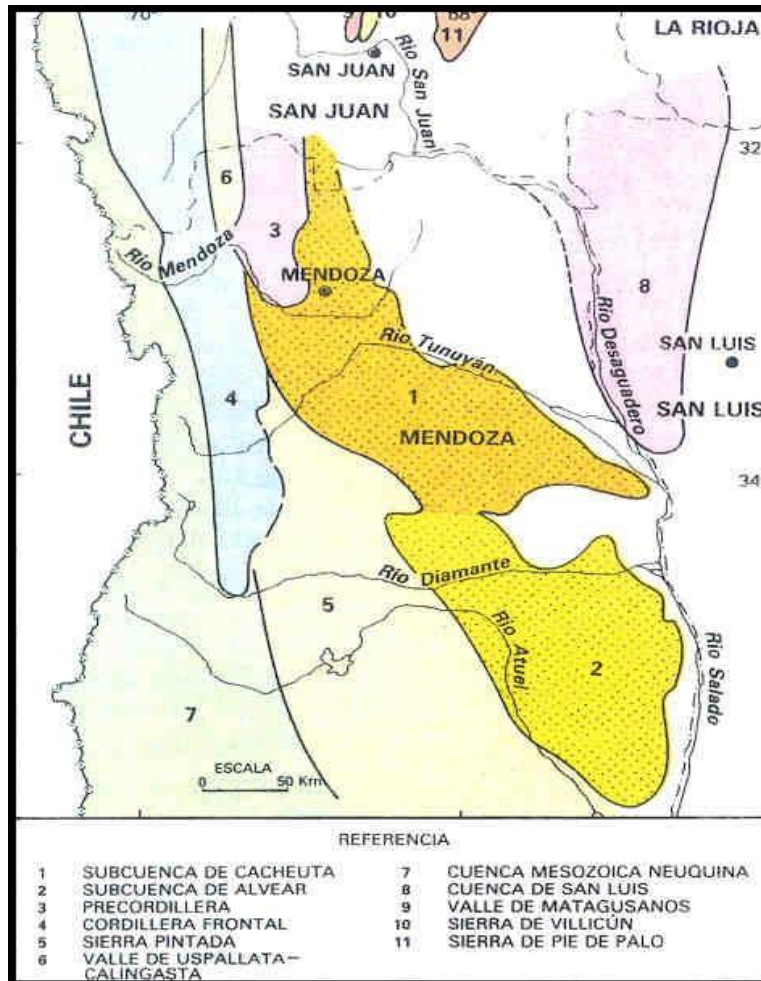


Figura 2. Límites Cuenca Cuyana
Fuente: Secretaría de Energía 2014. Límites.

La historia depositacional de la cuenca se puede resumir como sigue:

1. Durante el Triásico medio se produce el relleno inicial con depósitos epiclásticos y piroclásticos que identifican la Formación Río Mendoza. En relación se dispone un espeso paquete de sedimentitas, representado por las Formaciones Potrerillos, Cacheuta y Río Blanco.
2. A fines del Triásico o, según algunos autores, probablemente en tiempos del Jurásico, y relacionados con los movimientos intermálmicos, el sustrato es reactivado con movimientos diferenciales de bloque y las áreas deprimidas comienzan a ser rellenadas por capas rojas de origen fluvial de alta energía que

caracterizan a la Formación Barrancas. La reactivación se manifiesta fundamentalmente en los bordes de la cuenca, observándose en algunos casos una marcada discordancia. Los límites depositacionales (oriental y occidental) de esta unidad, migran hacia el centro de la cuenca, quedando los bordes expuestos a la erosión.

3. Con posterioridad, la cuenca es sometida a una reactivación general como consecuencia de las orogenias Preandina y Andina, que son las responsables de la configuración estructural actual.

V.1. Geología del Petróleo

El tipo de sedimentación que caracteriza a la "Cuenca Cuyana" determina una escasa variedad de rocas reservorios en las distintas formaciones productivas.

En general son de niveles arenosos que responden tanto a depósitos de cursos anastomosados como meandrosos. La Formación Cacheuta caracterizada por depósitos de ambiente lacustre no se comporta como reservorio aunque en algunos casos al estar fisurada aportó pequeños caudales de hidrocarburos.

El Grupo Choiyoi conocido hasta hace muy poco tiempo como el basamento económico de la cuenca, pasó a tener importancia luego de obtener, en varios sondeos, producciones muy interesantes de hidrocarburos. En general se trata de depósitos tobáceos e ignimbríticos, estos últimos presentan excelentes valores de porosidad efectiva y permeabilidad por fracturación.

La roca madre por excelencia la constituyen las pelitas negras del tercio superior de la Formación Potrerillos y especialmente las lutitas de la Formación Cacheuta que responden a facies lacustres con condiciones euxínicas adecuadas para la preservación de la materia orgánica.

Los espesores atravesados mediante sondeos son variables de acuerdo a la posición que se los haya investigado dentro de la cuenca. En general no sobrepasan los 600 metros.

Como resultado de la interpretación de los recientes estudios geoquímicos se puede afirmar que todos los petróleos de la cuenca son genéticamente iguales, es decir provienen de la misma materia orgánica.

Dicha generación estaría vinculada a posiciones de cuenca bien profunda, en virtud de la escasa madurez que alcanza la materia orgánica en la zona próxima a los yacimientos.

De lo expuesto, se deduce que la relación espacial entre roca generadora y roca reservorio tuvo componentes laterales y verticales importantes.

Casi la totalidad de los yacimientos de la Cuenca Cuyana descubiertos hasta el presente, están asociados a trampas estructurales de tipo anticlinal, hemianticlinal y homoclinal.

Se vinculan a este tipo de estructuras fallas tensionales, compresivas y de desplazamiento horizontal que particularizan a cada uno de los yacimientos. Las estructuras positivas son en general asimétricas.

Si bien el factor estructural es el que ha primado en el entrapamiento, es necesario destacar que descubrimientos de hidrocarburos del último decenio están vinculados a trampas estratigráficas o combinadas.

VI. Materiales y métodos

En una primera instancia se realiza un estudio de base referido a la etapa a implementar como Evaluación de Sitio, recomendado como inicio por la Guía Técnica de Atenuación Natural Monitorizada. En ésta se lleva adelante la búsqueda bibliográfica (tanto en biblioteca de la Facultad de Ciencias Agrarias, Materiales de las distintas materias cursadas durante la carrera de IRNR, como ser Recurso Suelo (Cartografía y SIG), Recurso Agua, Flora y Vegetación, Recurso Fauna, Ecología General y de las Zonas Áridas, Climatología, entre otras), búsqueda en Internet en páginas como Scientific Electronic Library Online, Clu-in.org de United States EPA, etc. y visitas con los equipos necesarios que permiten realizar, para el área de estudio Cuenca Cuyana, una caracterización de la misma, tanto en materia de suelo, clima, sistemas hidrológicos, flora y fauna, como también sobre el sistema social y económico que rige en la región.

Se utiliza el programa Proyect (programa informático que permite obtener un cronograma de actividades) con las distintas visitas al emplazamiento, se realiza un seguimiento y caracterización de los distintos freáticos utilizados, estudio del perfil litológico y de las cotas de suelo, agua y fondo de pozo, con lo que se obtienen datos sobre la presencia de la fase libre no acuosa (FLNA).

En segunda instancia, una vez realizada la caracterización inicial, habiendo delimitado el área de estudio, se dispone el material para iniciar los estudios sobre el emplazamiento en el que es necesario aplicar la ANM y así remediar el área, evaluar la pluma de contaminación y de ser necesario plantear una plan de monitorización para la reducción y /o eliminación de la misma.

Para implementar, monitorear y controlar un proceso de ANM en una determinada pluma de contaminación, se consideran las recomendaciones de la Norma ASTM E 1943-98:

Standard Guide for Remediation of Ground Water by Natural Attenuation at Petroleum Release Sites.

Esta norma considera que la AN puede ser determinada o confirmada mediante tres procedimientos:

- Medición directa de la concentración de contaminantes y pluma de contaminación: se considera positiva cuando la pluma se mantiene estable y disminuye la concentración de contaminantes o la primera disminuye de tamaño. Si la pluma aumenta de tamaño se considera la existencia del proceso cuando la masa total del contaminante disminuye.
- En caso de no poder determinar en forma directa la disminución total de la masa de contaminantes, se consideran mediciones indirectas, como ser actividad microbiana, determinada por:
 - ✓ Recuento de microorganismos aeróbicos, anaeróbicos o facultativos degradadores.
 - ✓ Presencia de O_2 en el agua.
 - ✓ Presencia de CO_2 en el agua como producto de la degradación aeróbica o en la zona no saturada.
 - ✓ Presencia de SO_4^{-2} en el agua y los productos metabólicos del mismo (H_2S o S^{-2}).
 - ✓ Presencia de MnO_2 y su producto metabólico: Mn^{+2} .
 - ✓ Presencia de Fe^{+3} y su producto metabólico Fe^{+2} .
 - ✓ Metanogénesis: la misma se determina por la presencia de metano en el agua.

Las diferentes Determinaciones Microbiológicas aplicadas en esta etapa de caracterización:

- ✓ El recuento de Microorganismos aerobios degradadores de hidrocarburos se realizó con la técnica de recuento en placa de agar (Ingraham e Ingraham, 1998): Se tomaron 10 ml de muestra, se localizaron diluciones decimales seriadas, se dispersó 0.1 mL de solución por caja Petri en medio de cultivo mineral compuesto por (g · L⁻¹): KH₂PO₄ 0,05; NH₄Cl 0,1; K₂HPO₄ 0,1; KH₂PO₄ 0,05; KCl 0,01; MgSO₄ · 7H₂O 0,05; CaCl₂ 0,001; FeSO₄ · 7H₂O 0,001; agar 17. Además, se le adicionaron 0,05 mL de una disolución de oligoelementos de composición porcentual: B (0,026), Cu (0,05), Mn (0,05), Mo (0,006) y Zn (0,07).
- ✓ Los componentes del medio fueron esterilizados en autoclave a 120 °C durante 20 min. Las disoluciones de oligoelemento fueron esterilizadas a través de un filtro de 0,22 µmol/L. Como fuente de carbono se utilizó Gas oil 0,2 % (v/v) emulsionado con 50 microlitros de Tween 80, que se agregó luego de la esterilización.
- ✓ Se incubó a 28°C invertidas en incubadora durante 7 días. Se contaron las colonias por placa y el resultado se expresó como UFC por 100ml.
- ✓ Para el recuento de microorganismos en tubos, se utilizó el Método del Número más Probable (MNP), empleando tubos de 10ml empleando el indicador yodonitrotetrazolium (INT) (Wrein y Venosa, 1996; Hainnes et al, 1996). Se empleó el medio mineral compuesto por (g · L⁻¹): KH₂PO₄ 0,05; NH₄Cl 0,1; K₂HPO₄ 0,1; KH₂PO₄ 0,05; KCl 0,01; MgSO₄ · 7H₂O 0,05; CaCl₂ 0,001; FeSO₄ · 7H₂O 0,001. Además, se le adicionaron 0,05 mL de una disolución de oligoelementos de composición porcentual: B (0,026), Cu (0,05), Mn (0,05), Mo (0,006) y Zn (0,07). Los componentes del medio

fueron esterilizados en autoclave a 120 °C durante 20 min. Las disoluciones de oligoelemento fueron esterilizadas a través de un filtro de 0,22 µmol/L. Se utilizó diesel 0,2 % (v/v), que se agregó luego de la esterilización como fuente de carbono y energía. Una combinación de tubos positivos/negativos de las cinco diluciones realizadas se analizó en el programa Most Probable Number Calculator (v4.04, 1996)

- ✓ La enumeración de Sulforreductoras se realizó siguiendo el método descrito por Zamora et al., 2012, usando el medio de Baar's modificado, en el cual el sulfato de calcio fue sustituido por sulfato de sodio y cloruro de calcio, utilizando una solución de lactato de sodio al 50% en lugar de una solución al 70% como fuente de carbono.
- ✓ Seguimiento microscópico del crecimiento bacteriano: para la determinación de la población microbiana, se utilizó el método de recuento directo en microscopio óptico, mediante la cámara de Neubauer. La visualización de las muestras de agua, se prepararon llevando a cabo tinciones de Gram, técnica de tinción diferencial que permite clasificar las bacterias en Gram positivas y negativas, según el tipo de coloración que adquieran y se observaron las preparaciones en el microscopio óptico. (Casida L. 1977).
- ✓ Actividad Deshidrogenasa: determinada por reducción de sales tetrazolium, su extracción y cuantificación espectrofotométrica de acuerdo al método descrito por Casida (1977). A 10ml de agua se añadió solución de extracto de levadura al 0.1% esterilizada por autoclavado y solución de cloruro de trifenil tetrazolium (TTC) al 3% esterilizada por filtración en frascos de 20ml,

que se cerraron con parafilm y se incubaron a 37°C durante 24hs. Cumplido el periodo de incubación, se extrajo el trifenil formazán formado como producto de la reducción microbiana. Se añadió 2ml de etanol absoluto a cada frasco instalado, efectuándose luego una agitación vigorosa y constante y se efectuó la lectura al espectrofotómetro a 485 nm contra el sobrenadante del blanco. Finalmente, se cuantificó el contenido de la sal reducida mediante una curva de calibración de formazán. Los resultados se expresaron en μg de formazán $\cdot (\text{ml de agua} \cdot 24 \text{ h})^{-1}$. (Casida L. 1977)

- Para la determinación de niveles freáticos y la presencia de fase libre de hidrocarburos sobrenadante, espesor y profundidad se utilizó un detector de interface compuesto, con un alcance de 30 m de profundidad y limite de detección de 1 mm de espesor de hidrocarburos. El mismo presenta sonda infrarroja-conductiva unida a una cinta graduada conductora, alimentado por batería de 9 V con descarga a tierra incorporada. Este equipo permite distinguir entre hidrocarburos (líquido no conductor) y agua (líquido conductor), mediante la indicación luminosa y auditiva (dos tipos de señal para cada fase). La profundidad de cada fase se lee en la cinta y el espesor se obtiene por diferencia de lecturas.
 - ✓ Se determina la profundidad del agua, de la fase libre sobrenadante y por diferencia el espesor de esta última y luego se determina la profundidad del pozo. Este último dato se utiliza para calcular el volumen de agua a extraer para realizar la purga del featrímetro o pozo en estudio.
 - ✓ Pasando así a la segunda fase de toma de muestra de aguas para su caracterización: Se utilizó una bomba electro sumergible, (Foto N° 1), accionada por una batería de 12 V. Esta bomba consta de un cuerpo

sellado que incluye motor, filtro y rotor, por las características de uno, el equipo está blindado a prueba de explosiones.



Foto N° 1. Bomba Electro-Sumergible
Fuente: Propia.

- ✓ Una vez que se calculó el volumen de agua contenido en el featrímetros se acciona la bomba y se toma una muestra de agua para microorganismos sulfatoredutores y otra para degradadores de hidrocarburos. Posteriormente se extrae un volumen de tres veces el volumen del agua contenida en el pozo. Luego con la bomba en funcionamiento se llenan las botellas de agua para los análisis químicos y microbiológicos correspondientes. Las muestras se conservan refrigeradas. Las muestras destinadas a análisis de oxígeno disuelto se trataron en campo para fijar químicamente el oxígeno disuelto.
- ✓ Determinaciones a realizar y métodos utilizados:

Determinación	Método
Contenido de Humedad en suelo	ASTM 2216-71 modif.
pH en agua	SM Parte 4500 H+B
pH en suelo	EPA SW846 Mthd 9045 D
Conductividad en agua	SM Parte 2510 B
Conductividad en suelo	SM Parte 2510 B sobre extracción EPA 9045 D
Alcalinidad en agua	SM Parte 2320 B
Cloruros en agua	SM Parte 4500 CL-B
Sulfatos en agua	Parte 4500 SO4 = C C-
Sodio en agua, suelo o lixiviado	EPA SW846 Mthd 7770

Potasio en agua, suelo o lixiviado	EPA SW846 Mthd 7610
Calcio en agua, suelo o lixiviado	EPA SW846 Mthd 7140
Magnesio en agua, suelo o lixiviado	EPA SW846 Mthd 7450
Lixiviado de suelos	EPA SW846 Mthd 1310
Tratamiento de muestras para metales	EPA SW846 Mthd 3050/3010
TPH en agua o suelo	EPA 418.1 (IR)
BTEX en agua o suelo	EPA SW 486 Methd 5021 + EPA 8260 B (HS-GC/MS)
MTB en agua o suelo	EPA 5021 + EPA 8260 B (HS - GC/MS)
MTB en producto	EPA 5021 + EPA 8260 B (HS - GC/MS)
Caracterización de productos	ASTM D86 + EPA SW 846 Mthd 8015
Hidrocarburos volátiles (VOX) en agua o suelo	EPA SW 846 Mthd 8015 B (GC/FID)
Pb en agua o suelo	EPA SW 846 Mthd 7420 (AA)
Pb en producto	ASTM D 3237

Tabla 4: Análisis y métodos utilizados.

VI.1 Plan de Trabajo

En la Provincia de Mendoza, dentro de los límites de la Cuenca Cuyana, como ya se expuso anteriormente, se presentan grandes extensiones impactadas negativamente con los productos derivados de la industria petrolera. Esta contaminación se manifiesta tanto en suelos y aguas, tanto superficiales como subterráneas.

Este estudio cubre una superficie de 8000 m² aproximadamente, en donde se encuentran dispuestos los diferentes freáticos y dentro de la cual la freática se encuentra a una profundidad promedio de 7 m.

VI.1.1 Etapas a implementar

1. Evaluación del sitio.
 - a. Descripción del sitio
 - i. Suelos.
 - ii. Clima.
 - iii. Sistema Hidrológico.
 - iv. Flora y Fauna.

- v. Construcciones y actividades económicas.
 - vi. Descripción de freáticos.
 - vii. Ubicación de freáticos en área de estudio.
 - viii. Perfil litológico.
 - ix. Presencia de fase libre no acuosa (FLNA).
 - x. Cotas: suelo, agua y fondo de pozo.
- b. Caracterización del agua:
- i. pH
 - ii. Carbono orgánico.
 - iii. DBO
 - iv. DQO
 - v. Aceites y grasas.
 - vi. Identificación de contaminantes y concentraciones (BETEX's, MTB's, Hidrocarburos totales del petróleo discriminados en alifáticos y aromáticos, hidrocarburos parafínicos totales, HAP's.)
 - vii. Dureza, alcalinidad.
 - viii. Contenido de amonio, nitrato, nitrito, nitrógeno total.
 - ix. Sólidos disueltos.
 - x. Contenido de metales: Ley de Residuos Peligrosos.
 - xi. Potencial de Electro Reducción (eH).
 - xii. Aniones y cationes: carbonatos, bicarbonatos, sulfuros, sulfatos, ion férrico y ferroso, fosfatos, cloruros, hierro total, manganeso soluble.
 - xiii. Metano, etano, eteno.
 - xiv. CO₂ y O₂.

- c. Evaluación de la actividad microbiana. Se determinan bacterias sulfatoreductores y microorganismos degradadores de hidrocarburos. Se tomó una muestra antes de purgar cada pozo y otras luego de ésta, designándolas de forma diferenciada.
 - i. Métodos directos como: recuento en placa, siembra en tubos, observación microscópica.
 - ii. Métodos indirectos como: detección de enzimas como la deshidrogenasa.
- 2. Analítica completa :
 - a. Hidrocarburos y gases
 - b. BTEX y MTBE
 - c. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's)
 - d. Metales Pesados
- 3. Test de biodegradación. Determinación de la factibilidad de degradar el contaminante.
- 4. Plan de Monitorización:
 - a. Primera predicción de tiempo de atenuación.
 - b. Evaluación físico química y biológica del agua y del contaminante y del suelo circundante tres meses después de la evaluación.
 - c. Corrección, de ser necesario, del tiempo de tratamiento predicho.
 - d. Monitoreo trimestral de las características físico-químicas y biológicas del agua, del contaminante y del suelo circundante, hasta alcanzar los límites exigidos por la reglamentación vigente para el sitio dado.

VII. Resultados

Por cuestiones de compromiso y acuerdos de confidencialidad con las empresas involucradas en el desarrollo de este estudio, los datos presentados en este apartado han sido ligeramente modificados manteniendo la relación numérica de modo tal que siguen mostrando la tendencia de la evolución de las variables en el tiempo a los fines del cumplimiento de los objetivos planteados. Por la misma razón no se podrán exponer las imágenes satelitales, mapas y coordenadas de los muestreos.

Se obtuvieron en los resultados de la Evaluación Inicial del Sitio:

VII.1 Suelos

En Argentina se presenta la clasificación de suelos del INTA, que sigue los criterios de la Taxonomía Norteamericana o "Soil Taxonomy" (Soil Survey Staff, 1999).

La mayor parte de la superficie de la Provincia de Mendoza está ocupada por dos tipos de suelos:

- Entisoles, suelos de escaso desarrollo, predominantemente arenosos pertenecientes a climas áridos y semiáridos.
- Aridisoles, suelos propios de climas áridos.

Además existen grandes superficies donde no existe el "suelo" en sentido científico, pues sólo existe roca aflorante (por ejemplo en los basaltos de la Payunia o en grandes áreas de la Cordillera Principal, Frontal y Precordillera).

En menor medida se han encontrado otros tipos de suelos:

- Inceptisoles, son suelos con poco desarrollo, pero un tanto mayor que los entisoles.

- Molisoles, suelos con horizonte superficial "mólico", rico en materia orgánica humificada, por lo que es un suelo fértil, en los piedemontes cordilleranos, los más conocidos son los del Valle Las Carreras en Tupungato.
- Histosoles, se trata de suelos orgánicos (vegas de altura, antiguas lagunas de Guaymallén, Capiz de Abajo en San Carlos)

También es posible establecer una clasificación de suelos, según las características climáticas que lo afectan, de acuerdo a la misma fuente anterior:

- Por régimen de humedad
 - **Árido**: Presenta déficit de humedad durante gran parte del año; afecta a la mayor parte de la Provincia.
 - **Ústico**: presenta un déficit de humedad moderado, se localiza sobre todo en el piedemonte de la Cordillera Frontal y en el piedemonte de la Precordillera.
 - **Xérico**: también con déficit moderado de humedad y con precipitaciones invernales, localizado particularmente en el sur provincial.
 - **Údico**: sin déficit de humedad, es más hay un excedente moderado de agua, situados en valles intermontanos y en el piedemonte de la Cordillera Frontal.
 - **Ácuico**: suelo saturado de agua, es dominante en el valle del río Grande y aparece como inclusiones en otros paisajes.

- Por régimen de temperatura
 - Térmico, poseen una temperatura media anual de 15 a 22°, se encuentra en la mayor parte del territorio provincial.
 - Mésico, con una temperatura media anual de 8 a 15°, fundamentalmente en la parte superior del piedemonte de la Cordillera Frontal y Precordillera.
 - Criíco, temperatura media anual de 0 a 8° Ubicados en la parte superior de la Cordillera Frontal y Principal, debido la altitud.
 - Pergélico, con temperatura inferior a 0°

El 60% del territorio irrigado presenta procesos de degradación de suelos, tales como salinización y revenimiento (ascenso freático), causados por actividades de riego intensivo y problemas de drenaje.

El anegamiento de los suelos provoca salinización por falta de aireación con la consecuente pérdida de la productividad y la disminución del valor de la tierra. Cuando la acumulación de sales es tan alta estas áreas terminan siendo abandonadas por su baja o nula producción. En el territorio de la provincia cuyana ha ocurrido con cientos de hectáreas con cultivos permanentes como vid y frutales. Esta situación se presenta en la parte más baja de la mayoría de los valles agrícolas.

También existe salinización producida por el uso de aguas subterráneas contaminadas, proveniente esta contaminación de las distintas actividades industriales de la provincia.

Otro proceso de degradación son los "suelos planchados", causados por incorrectas prácticas de manejo tales como labranza, remoción del suelo, mecanización, monocultivo, riego, contaminación por agroquímicos, efluentes industriales y cloacales, etc. Y los suelos infectados de nematodos y malezas.

La estructura del suelo está dada por la cantidad de una y otra textura. La combinación de las distintas texturas determinan la mayor o menor fertilidad de un suelo.

Los macro elementos que componen el suelo son nitrógeno, fósforo y potasio entre otros. Mientras que los microelementos constitutivos son el cobre, manganeso, hierro, etc...

Uno de los elementos que están presentes es el humus, rico en fósforo y nutrientes, le permite al suelo tener fertilidad y una capacidad de retener agua muy alta. En las zonas áridas en lugar de descomponerse para llegar a convertirse en humus, la materia orgánica sufre una combustión y se mineraliza, por lo tanto son suelos con poca fertilidad.

VII.2 Clima

Según la Clasificación de Koeppen la mayor superficie de la provincia de Mendoza, donde se localiza la Cuenca Cuyana, está dominada por la zona climática del tipo B (Clima Seco). Se basa fundamentalmente en las variaciones de la temperatura y la precipitación, (elementos meteorológicos fácilmente disponibles), sus variaciones estacionales y sus efectos sobre la vegetación natural.

Se caracteriza por identificar a las diferentes regiones climáticas mediante combinaciones de letras que responden a iniciales de palabras derivadas del idioma alemán.

B- Climas secos

- BS seco de estepa
- BW desértico

E- Climas polares

- ET de tundra
- EF de hielos eternos

El límite entre el clima seco estepario y el desértico está determinado por una relación entre la precipitación (en cm) y la temperatura (en °C) dada por las rectas $r = t$ y $r = t + 14$, donde r es la cantidad de precipitación anual y t es la temperatura media anual.

Koeppen construyó un gráfico que permite establecer fácilmente (conociendo r y t) en qué tipo de clima seco está ubicada una localidad. Así, la localidad de el Encón (norte de Mendoza) con $r = 115,6$ mm (11,5 cm) y $t = 18,6^{\circ}\text{C}$ tiene un clima seco desértico; en cambio General Alvear con $r = 297$ mm (29,7 cm) y $t = 15,7^{\circ}\text{C}$ tiene un clima seco estepario.

Se observa que en la región cordillerana el clima es de tipo polar debido a la altura, incluyéndose zonas de clima polar helado (o de hielos eternos). El límite entre el clima de tundra ET y el de polar helado EF está dado por la isoterma de 0°C correspondiente a la temperatura media del mes de enero. El clima ET se caracteriza por no tener árboles, pero sí algunos arbustos al menos en verano. El EF tiene ausencia absoluta de vegetación.

Se observa que en precordillera o el llano los meses de mayor precipitación coinciden con los de la temporada de verano y las lluvias ocurren en forma de tormentas eléctricas. En cambio, en estaciones del sudoeste de la provincia y de la zona de alta montaña, las mayores precipitaciones ocurren en forma de nieve. (Norte, 2000)

VII.3 Sistema hidrológico

La Cuenca Cuyana se encuentra bajo el régimen hídrico de cuatro ríos en toda su extensión:

Los cuatro se encuentran regulados a través de embalses de propósitos múltiples (agua potable, riego, producción energética, protección contra crecidas, recreación, usos ecológicos, etc.) Estos embalses regulan estacionalmente el agua para el riego compensando los déficits de suministro de agua que normalmente se producen en primavera, luego de la época de nevadas y previo al inicio de un franco proceso de fusión nival (J. Morabito, 2009.)

La Cuenca cuyana, así como la región andina a la que pertenece, presenta la particularidad de una ausencia casi total de aportes de precipitación pluvial en el escurrimiento superficial. El caudal base invernal está generado por el agua infiltrada y que aparece en las laderas de los cerros como aporte sub-superficial. El proceso de fusión nival comienza en la primavera (en la segunda quincena de septiembre o primeros días de octubre) y su finalización depende de la cobertura y espesor del manto nival, llegando en casos extremos a fines de febrero. Luego, el hidrograma anual de escurrimiento está comprendido entre julio y junio al año siguiente, produciéndose los caudales máximos a fines de diciembre o principios de enero (J. Morabito, 2009.)



Hidrograma medio anual del río Mendoza.

Figura 6. Hidrograma medio anual del río Mendoza

Fuente: Documento del Centro Regional Andino del Instituto Nacional del Agua (CRA-INA).

Mediante el aprovechamiento del agua, se han desarrollado en la zona de llanura, los oasis de riego que ocupan una superficie de unas 300.000 hectáreas que constituye sólo

el 4% de la superficie total de la provincia. En estos oasis se han conformado núcleos agro-urbano-industriales en los que habita el 98% de la población. El resto de su territorio, son zonas de llanura desértica y cordillera. Esta distribución de la población responde principalmente a la disponibilidad de agua, tanto superficial como subterránea (J. Morabito, 2009).

Las cuencas hidrográficas de curso permanente y las cuencas hidrogeológicas con sedimentos depositados durante la era cuaternaria, con las que aquellas se encuentran asociadas, dan lugar a la formación de distintos sistemas hídricos. En general, estos sistemas tienen un comportamiento similar, pero existen aspectos particulares de cada uno de ellos (J. Morabito, 2009).

La mayor parte del subsuelo de la llanura mendocina, donde se encuentra la cuenca cuyana, corresponde a cuencas sedimentarias modernas (era cuaternaria) que constituyen los reservorios de agua subterránea y acuíferos (estrato formación geológica que permite el almacenamiento y la circulación del agua por sus poros y/o grietas). El agua que allí se encuentra ha sido aportada principalmente por la infiltración que ocurre a través de los lechos de los ríos provinciales. Estos reservorios son explotados por una cantidad importante de perforaciones, la mayoría de ellas ubicadas en las áreas cultivadas (J. Morabito, 2009).

Con el agua de estos ríos y la explotación de agua subterránea se sustentan los oasis cultivados y los crecientes requerimientos de agua potable y uso industrial.

La reserva total del agua subterránea, se ha calculado en forma primaria en unos 650.000 Hm³, de los cuales una porción es explotable en condiciones económicamente apropiadas.

El mecanismo de recarga de acuíferos sería el siguiente: una alícuota del agua infiltrada a través de la superficie del suelo –la que no es devuelta a la atmosfera como consecuencia de los fenómenos de transpiración de los vegetales y evaporación desde el suelo- percola en la profundidad por entre los poros de las formaciones sedimentarias hasta alcanzar la zona saturada donde se almacena el agua subterránea. A partir de allí comienza el movimiento en el sentido de la pendiente hidráulica y queda disponible para su extracción (J. Morabito, 2009).

Normalmente esa recarga de acuíferos se produce, en forma más importante, en los sectores de la cuenca cercanos a la cordillera, donde los materiales depositados (sedimentos) son más gruesos y, por ende, las formaciones sedimentarias son más permeables; además, por allí circula casi la totalidad del agua que proviene del oeste.

La extracción del agua subterránea de estos acuíferos se realiza casi en su totalidad a través de perforaciones privadas provistas de equipos de bombeo, salvo en sectores de la cuenca (zonas de surgencia) donde la presión del acuífero explotado produce la elevación de los niveles estáticos (artesianismo) por encima de la superficie del terreno (pozos surgentes) (J. Morabito, 2009).

Para los horizontes acuíferos explotados actualmente, existe una estratificación hidroquímica vertical en tres niveles diferenciados principalmente por su grado de salinidad, la que en general disminuye con la profundidad. Las recargas de los acuíferos, que se producen a partir de la infiltración en los cursos superficiales principales, son determinantes de la caracterización hidroquímica del agua subterránea. En general el agua es cálcica – sulfatada y sulfatada – cálcica – sódica predominantemente.

A partir de las áreas de mayor recarga, la composición química del agua subterránea evoluciona en su movimiento horizontal sufriendo una mineralización natural progresiva en la dirección del flujo principal, variable para los distintos niveles de explotación y con distinto grado de afectación por acciones antrópicas (J. Morabito, 2009).

Dentro del sistema hídrico, es importante destacar que el agua subterránea tiene la ventaja de estar más protegida que las aguas superficiales frente a una posible contaminación, pero una vez que se ha incorporado el agente contaminante al flujo subterráneo es difícil detectarlo y predecir la extensión de su efecto. Además, en la mayoría de los casos, es de alta complejidad establecer medidas correctivas que produzcan rápida recuperación (J. Morabito, 2009).

A modo de resumen se puede decir que el emplazamiento se ve mínimamente afectado por efecto de ríos, por mínimo aporte de agua y ocasional debido a la construcción de diques para riego de los oasis de la cuenca. Siendo posible, en caso de grandes deshielos o lluvias torrenciales, el anegamiento del acceso al sitio de estudio.

Dado el lugar donde se encuentra, se observa un acuífero libre a una profundidad variable entre 7 y 8 m de la superficie del terreno. La dirección del flujo de agua varía con la estación considerada. Posee una cubierta medanosa formada por arena y limos loésicos.

VII.4 Flora y Fauna

La aridez del territorio determina las especies que crecen y se desarrollan aptas para resistir la diversidad del clima y el suelo. En cuanto a la flora de la Provincia Petrolera Cuyana encontramos distintas regiones:

En la Región Andina, paralela a la cordillera, se encuentran plantas gramíneas y arbustos como los géneros *Urtica*, *Vinagrillo* y *Nicotiana glauca*.

La Región Subandina y Provincia del Monte, al este de la anterior, es muy extensa y abarca el piedemonte, la planicie y la región de las Huayquerías. Las características de esta área es la vegetación arbustiva como los géneros *Larrea*, *Condalia*, *Acacia*, *Prosopis*, *Cereus* y *Opuntia*.



Larrea sp.



Condalia sp.



Acacia sp.



Prosopis sp.



Cereus sp.



Opuntia sp.

Hacia el este se observan *Schinus*, *Bulnesia* y *Geoffroea*, y al noreste *Prosopis*.



Schinus sp.



Geoffroea decorticans



Bulnesia retama

En el sur de la provincia, que incluye la zona de la Payunia, predomina la estepa arbustiva y se observan juncos y gramíneas, chilca (*Baccharis salicifolia*), jume (*Allenrolfea vaginata*) y otros.



Baccharis salicifolia



Allenrolfea vaginata

En la región cordillerana se encuentran plantas gramíneas y arbustos de hojas apretadas, que le permiten resistir las bajas temperaturas. Hacia la llanura encontramos árboles de hasta 20 metros de altura, con predominio de vegetación arbustiva. Hacia el sur se encuentran pastos y arbustos característicos de zonas esteparias y hacia el este prevalecen los espinales.

En resumen podemos dividir la Flora de la Cuenca en tres estratos, con ejemplos como:

- Estrato herbáceo:
 - ✓ *Trichloris crinita*, "Pasto de hoja" o "Plumerito".
 - ✓ *Aristida mendocina*, nombre común es "Flechilla crespá"
 - ✓ *Aristida adsencionis*, nombre común es "Flechilla".
 - ✓ *Digitaria californica*, nombre común es "Pasto Plateado".
 - ✓ *Pappophorum caespitosum*, nombre común es "Pasto amargo" o "Pasto de hoja".

- Estrato Arbustivo
 - ✓ *Atriplex lampa*, nombre común es "Zampa".
 - ✓ *Atriplex undulata*, nombre común es "Zampa crespa".
 - ✓ *Tessaria absinthioides*, nombre común es "Pájaro bobo".
 - ✓ *Allenrolfoea vaginata*, nombre común es "Jume".
 - ✓ *Suaeda divaricata*, nombre común es "Vidriera".
 - ✓ *Lycium tenuispinosum*, nombre común es "Llaullín espinudo".
 - ✓ *Prosopis alpataco*, nombre común es "Alpataco".
 - ✓ *Larrea divaricata*, nombre común es "Jarilla".
 - ✓ *Larrea cuneifolia*, nombre común es "Jarilla".

- Estrato Arbóreo:
 - ✓ *Geoffroea decorticans*, nombre común es "Chañar".
 - ✓ *Tamarix gallica*, nombre común es "Tamarindo" o "Tamarisco".
 - ✓ *Prosopis flexuosa*, nombre común es algarrobo dulce.

En cuanto a la fauna de la provincia, ésta cuenta con gran variedad de mamíferos. Entre los carnívoros se pueden mencionar el zorro (*Vulpes*), zorrinos (*Conepatus*), hurones y comadrejas (*Mustela*) y pumas (*Puma*). Cuenta además con gran variedad de mamíferos carnívoros cavícolas que se refugian en cuevas durante el día, especialmente pumas o leones de montaña (*Puma* o *Felis* sp).

Hay ejemplares cavícolas que se refugian durante el día en cuevas, como el pichiciego mendocino (*Chlamyphorus truncatus*).



Vulpes sp.



Conepatus sp.



Mustela sp.



Puma sp.



Chlamyphorus sp.

En la región andina se ven condores (*Vultur gryphus*) y en la subandina aves de rapiña como águila de la sierra (*Geranoaetus melanoceus*) y gavilanes (*Harpyhaliaetus*, *Jumara*, entre otros generos), a lo que se suman roedores como ratón de campo (*Akodon longipilis*) y cuis chico (*Microvavia australis*), búhos (*Búho virginianus ñacurutú*), pecho colorado (*Pezites militaris*), entre muchas otras y distintos tipos de ofidios e insectos.



Vultur sp.



Harpyhaliaetus sp.



Búho sp.

Hacia el sur se visualizan zorrinos (*Conepatus chinga*), guanacos (*Lama guanicoe*), perdices (*Nothoprocta penclandí*), ñandúes (*Rhea americana*), y aves como cardenales (*Paroaria conorata*). También habitan la región aves acuáticas como cisne de cuello negro (*Cygnus melanocryphus*), la garza (*Egretta alba*) y los flamencos (*Phoenicopterus andinus*). El ñandú y ñandú petiso (*Rhea pennata pennata*), que es una especie de ave terrestre, típica de zona montañosa.

- Animales de Montaña (Dominios Andino, Subandino y Patagónico):

Al presentar un clima menos extremo y más disponibilidad de refugio y alimento, permite mayor diversidad de especies: choique, inambú silbón, águila mora, aguilucho común, halconcito colorado, búho, palomita dorada, palomita cordillerana, cabecita negra común, comesebo andino, yal plumizo, gaucho serrano, viudita común y chingolo, entre otras aves; y mamíferos como el zorro gris, zorrino, hurón, cuis, rata chinchilla, chinchillón de la sierra, tucu-tucu (o tunduque) y la liebre europea.

- Animales del Piedemonte (entre la zona andina y la Llanura del Este):

Buena diversidad de especies, aunque el número de ejemplares es algo escaso dada la fuerte presión del hombre sobre este ambiente. Pueden encontrarse aves como ñandúes, águilas moras, aguiluchos comunes, halconcitos colorados, lechucitas de las vizcacheras, chimangos, caranchos, gallitos arena, coperotes, jotes, martinetas, loicas, fiofíos comunes, calandrias, cotorras y palomas medianas. También pueden encontrarse mamíferos como piches, ratones de campo y maras (liebres patagónicas).

VII.5 Construcciones y actividad económica

La localidad más cercana al lugar de estudio se encuentra abandonada, siendo utilizada únicamente como base en caso de necesidad de mantenimiento de rutas por los entes estatales.

La ruta a través de la cual se accede al emplazamiento es de uso ganadero y rural, siendo ésta la principal actividad económica del lugar, donde se aprovechan las pasturas naturales que se encuentran entre la vegetación autóctona. La mencionada ruta carece de pavimento y se torna intransitable en caso de lluvias torrenciales. A la misma la acompaña en su trayectoria una línea eléctrica para el abastecimiento de energía de las viviendas rurales.

VII.6 Localización de Freatímetros

Se utilizaron 10 freatímetros (pozos de medición y muestreo) incluidos en un área de 8000 m² habiendo sido construídos en distintas etapas. Del análisis de la información preexistente se seleccionó un grupo de pozos y freatímetros, basándose en la evolución de los espesores de fase no acuosa sobrenadante, localización y dirección del agua subterránea, se seleccionaron así los freatímetros: Fr₁, Fr₂, Fr₃, Pz₁, Pz₂, Fr₇, Fr₉, Fr₁₁, Fr₁₂ y Fr₁₃.



Figura7: Foto de un freatímetro.

Fuente: Propia.

El acceso a los freatímetros no presenta ningún inconveniente debido a que un grupo de ellos se encuentra al costado de la ruta de acceso y los restantes entre la vegetación en claros comunicados entre sí por sendas que utilizan los animales para desplazarse.

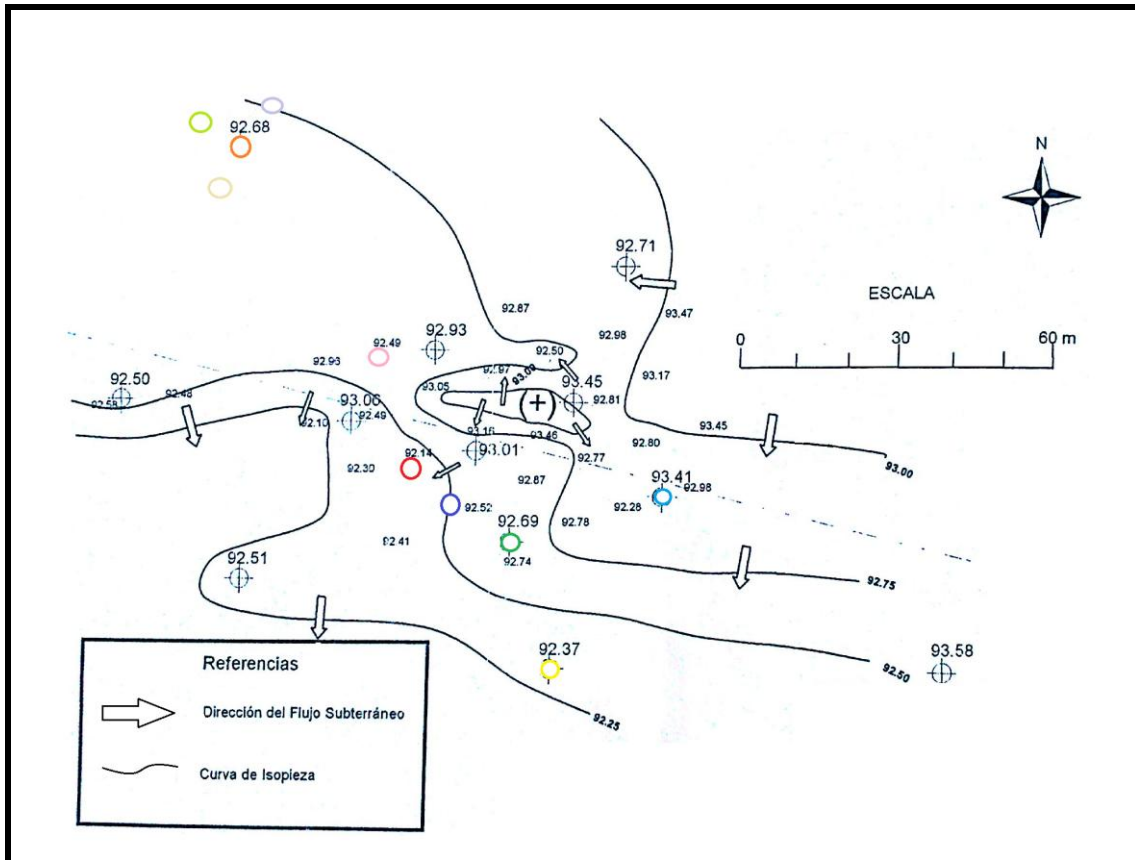


Figura 8: Ubicación de los featrímetros en el área de estudio. Ver colores asignados en la Tabla N°6.

VII.7 Perfil litológico

Obtenido luego de varios estudios del suelo.

Profundidad (m)	Características
0 - 2 m	Arena fina con matriz limosa
2 a 5 m	Limo arcilloso
5 - 7 m	Arcilla plástica con arena fina menor
5,15 m	Inicio zona capilar
7,6 m	Inicio nivel freático
9 m	Arcilla plástica con arena

Tabla 5: Perfil litológico.

Pozo	Espesor FLNA (mm)	Profundidad		Volumen de purga	Analítica
		Agua	Pozo		
Fr1	0	7,711	8,544	26,9	Completa
Fr2	0	7,851	9,412	34	Completa
Fr3	0	7,456	9,576	46,5	Completa
Pz2	0	7,405	8,462	#	Microbiológica
Pz1	0	7,562	8,269	3,9	Microbiológica
Fr7	0	7,68	9,102	7,9	Completa
Fr9	0	7,988	9,376	8,3	Completa
Fr11	0	7,476	8,552	5,8	Completa
Fr12	0	7,367	8,652	8,3	Completa
Fr13	0	7,486	8,572	6,9	Completa

Tabla 6: Presencia de FLNA.

Para definir la dirección del agua se consideró una cota de referencia para la boca de pozo indicada en dos estudios anteriores llevados a delante por diferentes empresas, y a partir de esta cota se calculó la cota de la freática. El agua se desplaza del punto de mayor cota a la de menor cota.

Pozo	Cota suelo (m snm)	Cota agua (m snm)	Cota de fondo de pozo (m snm)
Fr1	435,74	428,56	427,64
Fr2	435,33	427,96	426,47
Fr3	435,36	428,21	426,18
Pz2	435,36	428,36	427,36
Pz1	435,83	428,97	428,31
Fr7	435,42	428,18	427,04
Fr9	435,39	427,97	425,79
Fr11	435,75	428,66	427,65
Fr12	435,66	428,71	427,47
Fr13	435,63	428,58	427,58

Tabla 7: Tabla de cotas referidas al nivel del mar.

VII.8 Caracterización del Agua

Determinaciones	Unidades	Fr9	Fr11	Fr12	Fr13
pH	---	6,7	6,8	6,8	6,9
Conductividad	uS/cm	46450	50621	44872	47932
Dureza Total	mg CO ₃ Ca/L	5862	6059	5932	6083
Alcalinidad pH 4,3	mg CO ₃ H/L	1081	879	910	860
Dióxido de carbono	mg/L	1045	839	827	721
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	64037	69051	65823	66192
Oxígeno Disuelto	mg/L	ND	ND	ND	0,7
DBO	mg/L	149	29	167	71
DQO	mg/L	2698	1335	2979	1769
Sulfuros	mg/L	<1	<1	<1	<1
Nitritos	mg N-NO ₂ ⁻ /L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nitratos	mg N-NO ₃ ⁻ /L	1,99	2,98	1,54	<1
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH/L	<1	<1	<1	<1
Nitrógeno Total	mg N/L	4,37	4,66	8,1	3,68
Fosfatos	mg PO ₄ ⁻³ /L	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Potencial de Electro reducción	mV	149	154	135	139
Manganeso soluble	mg/L	7,5	8,8	17,8	14,3
Manganeso insoluble	mg/L	7,3	7,9	13,9	7,1
Hierro soluble total.	mg/L	0,9	2,1	3,1	2,1

Tabla 8: Caracterización del agua. ND: No Detectado.

Determinaciones	Unidades	Fr7	Fr1	Fr2	Fr3
pH	---	7,1	6,8	6,9	6,8
Conductividad	uS/cm	48623	48298	48700	46823
Dureza Total	mg CO ₃ Ca/L	6081	6365	5641	5893
Alcalinidad pH 4,3	mg CO ₃ H/L	841	759	904	912
Dióxido de carbono	mg/L	659	687	832	851
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	64501	66241	62656	63510
Oxígeno Disuelto	mg/L	ND	ND	0,6	ND
DBO	mg/L	155	41	5	27
DQO	mg/L	2841	859	859	859
Sulfuros	mg/L	<1	<1	<1	<1
Nitritos	mg N-NO ₂ ⁻ /L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nitratos	mg N-NO ₃ ⁻ /L	1,9	1,2	1,8	<1
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH/L	<1	<1	<1	<1
Nitrógeno Total	mg N/L	8,6	2,5	3,1	2,7
Fosfatos	mg PO ₄ ⁻³ /L	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Potencial de Electro reducción	mV	168	153	277	159
Manganeso soluble	mg/L	18,9	0,6	2,1	2,8

Manganeso insoluble	mg/L	5,1	8,5	6,1	6,3
Hierro soluble total.	mg/L	1,3	1,2	1,2	1,3

Tabla 8.1 Caracterización del agua. ND: No Detectado.

De estos parámetros se hallan regulados los nitratos y los nitritos por la OMS. En este caso no superan los límites de calidad de agua para bebida de la OMS (3 y 50 respectivamente). Luego el Decreto N° 820, presenta valores guía de pH: 6,5 – 8,5, encontrándose cada uno de los pozos dentro de éste rango.

VII.9 Evaluación de actividad microbiana

- ✓ Determinación de Microorganismos degradadores de hidrocarburos y sulfato reductores.

Microorganismos	ufc	Fr7/A	Fr7/D	Pz2	Fr9/A	Fr9/D
Bacterias sulfato reductoras	/100 ml	ND	ND	P	P	ND
Degradadores de hidrocarburos	/100 ml	ND	ND	ND	5	17

Microorganismos	ufc	Fr11/A	Fr11/D	Fr12/A	Fr12/D	Fr10/A
Bacterias sulfato reductoras	/100 ml	ND	ND	ND	ND	P
Degradadores de hidrocarburos	/100 ml	ND	>80	ND	7	>80

Microorganismos	ufc	Fr2/A	Fr2/D	Fr7/A	Fr7/D	Pz1/A
Bacterias sulfato reductoras	/100 ml	<3	23	<3	<3	ND
Degradadores de hidrocarburos	/100 ml	>80	ND	45	7	ND

Microorganismos	ufc	Fr13/A	Fr13/D	Fr1/A	Fr1/D	Pz1/D
Bacterias sulfato reductoras	/100 ml	ND	ND	ND	P	ND
Degradadores de hidrocarburos	/100 ml	ND	52	39	ND	ND

Tabla 9: Mediciones de Microorganismo en los diferentes pozos y freáticos.

ND: No detectado

P: Presencia

/A: muestreo antes de la purga

/D: Muestreo después de la purga

Se han detectado bacterias sulfatoreductoras en el agua contenida de varios freáticos tanto antes como luego de la purga. En estos últimos los que demostraron presencia fueron menos.

Las bacterias degradadoras de hidrocarburos se encuentran en el agua de varios de los pozos, tanto antes como después de la purga, esta última sería el agua de la napa.

VII.10 Análisis de hidrocarburos en agua:

- ✓ Hidrocarburos y gases: se han analizado hidrocarburos parafínicos totales, hidrocarburos alifáticos y aromáticos discriminados por fracciones, dióxido de carbono, metano, etano y propano.

Parámetro / Muestra (mg/L)			Fr9	Fr11	Fr12	Fr13
Dióxido de Carbono			326	223	306	266
Propano			<0,05	ND	ND	ND
Hidrocarburos Parafínicos Totales			8,99	3,23	2,43	2,69
HC. Aromáticos	Benceno	C6	1,5	<1	<1	0,98
	Aromáticos	C7- C8	<2	<2	1,98	<2
	Aromáticos	C9- C10	4,92	6,82	4,56	3,32
	Aromáticos	C11- C12	ND	ND	<2	ND
HC. Alifáticos	Alifáticos hasta	C6	ND	ND	ND	ND
	Alifáticos	C7- C8	1,98	<2	ND	<2
	Alifáticos	C9- C10	8,95	8,35	9,91	7,43
	Alifáticos	C11- C12	<2	<2	<2	ND

Tabla 10: Medición de HC y gases en aguas subterráneas.
ND: No Determinado

Parámetro / Muestra (ug/gps)			Fr7	Fr1	Fr2	Fr3
Dióxido de Carbono			368	395	376	250
Propano			<0,05	ND	ND	ND
Hidrocarburos Parafínicos Totales			6,8	0,74	0,37	2,49
HC. Aromáticos	Benceno	C6	0,79	0,98	<1	1,98
	Aromáticos	C7- C8	<2	<2	ND	<2
	Aromáticos	C9- C10	4,98	3,78	4,38	3,05
HC. Alifáticos	Alifáticos hasta	C6	ND	ND	ND	ND
	Alifáticos	C7- C8	<2	<2	<2	<2
	Alifáticos	C9- C10	9,03	8,21	7,98	7,43
	Alifáticos	C11- C12	<2	<2	ND	ND

Tabla 10.1: Medición de HC y gases en aguas subterráneas.

ND: No Determinado

^a. Valor que supera al sugerido como nivel guía para suelos y agua de uso Industrial por Legislación citada.

Se puede observar en la tabla que los valores no superan los determinados como nivel guía para suelos y aguas de uso industrial por la Ley Nacional 24051 de Residuos Peligrosos, Ley Provincial N° 5961 y su Decreto Reglamentario N°820 y el Decreto Provincial N° 1494 de Parámetros de calidad de suelo y técnicas analíticas de determinación. En todos los pozos y freáticos analizados se ha encontrado dióxido de carbono e hidrocarburos. En algunos casos propano. En ninguna de las muestras analizadas se han detectado metano y etano.

- ✓ BTEX y MTBE: Se ha efectuado una determinación de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos y metiliterbutileter.

Parámetro/muestra (ug/gps)	Fr9	Fr11	Fr12	Fr13
MTBE	<0,05	ND	ND	<0,05
BTEX				
Benceno	2,1 ^a	1,4 ^a	0,8 ^a	1 ^a
Tolueno	0,2	<0,1	<0,1	0,8 ^a
Etilbenceno	0,54 ^a	0,27	1,2 ^a	0,29
Xilenos	1,3 ^a	0,67 ^a	1,57 ^a	0.89 ^a

Tabla 11: Medición de MTBE y BTEX en aguas subterráneas.

ND: No Determinado

^a: Valor que supera al sugerido como nivel guía para suelos y agua de uso Industrial por Legislación citada para uso Industrial u OMS.

Parámetro/muestra (ug/gps)	Fr7	Fr1	Fr2	Fr3
MTBE	ND	<0,05	ND	ND
BTEX				
Benceno	1,5 ^a	1,4 ^a	0,8 ^a	1,3 ^a
Tolueno	<0,1	<0,1	ND	0,3
Etilbenceno	0,29	0,25	0,3	0,4 ^a
Xilenos	0,75 ^a	0,87 ^a	<0,1	1,2 ^a

Tabla 11.1: Medición de MTBE y BTEX en aguas subterráneas.

ND: No Determinado

^a: Valor que supera al sugerido como nivel guía para suelos y agua de uso Industrial por Legislación citada para uso Industrial u OMS.

El nivel de benceno supera en todos los freáticos el nivel de guía establecido por la Ley Nacional N° 24051 de Residuos Peligroso para el uso agrícola, que es de 0,05 ug/g peso seco, como así también el valor guía de la OMS (Organización Mundial de la Salud) que presenta el valor de 0,01 para agua potable. En cuanto al uso Industrial no supera el valor guía de 5 ug/g peso seco determinado por la Ley N° 24051.

Los valores del tolueno se encuentran por debajo de los valores guía propuestos por la Ley N° 24051 para uso industrial (30 ug/gps), pero son superiores a los de uso Residencial (3 ug/gps) los freáticos Fr9 y Fr13, al igual que para uso agrícola (0,1

ug/gps). En cuanto a la OMS solo el pozo Fr13, con valores de 0,8, supera al valor guía de 0,7.

Los valores de etilbenceno se encuentran en todos los freáticos por encima de los valores de uso agrícola (0,1 ug/gps) y por debajo del uso residencial e industrial (5 ug/gps y 50 ug/gps respectivamente) de la Ley N° 24051. Y sólo los pozos Fr9, Fr12 y Fr3 se encuentran por encima del valor guía de la OMS (0,3 ug/gps).

En cuanto al xileno, exceptuando el freático Fr2, todos se encuentran por encima del valor guía para uso agrícola de la Ley N° 24051, mientras que para uso Residencial e Industrial todos se encuentran por debajo. Y teniendo en cuenta los valores de la OMS (0,5 ug/gps) exceptuando el Fr2, todos los demás se encuentran por encima de este valor.

- ✓ Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's): Sólo se detectaron pequeñas concentraciones de Naftaleno (Fr9: 0,009 y Fr7:0,007) y Fenantreno (Fr12: 0,002 y Fr7:0,001) los cuales se encuentran por debajo de los valores guía de la Ley N° 24051 tanto para el uso agrícola (0,1) como residencial (5) e industrial (50). El resto de los HAP's (Pireno, Benzo Antraceno, Benzo Pireno, Benzo Fluorenteno, Indeno pireno, Dibenzeno, todos regulados por esta ley), no han sido detectados en las muestras obtenidas.
- ✓ Metales pesados: Sólo se presentan los resultados de los metales detectados por el método analítico empleado.

Parámetro / Muestra Ug/gps	Fr9	Fr11	Fr12	Fr13
Arsénico	0,1	0,051	0,092	0,076
Cadmio	0,12	0,12	0,12	0,12
Níquel	0,53	0,64	0,64	0,65
Plomo	0,9	1,2	1,2	1,2
Zinc	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Tabla 12: Medición Metales Pesados en aguas subterráneas.

Parámetro / Muestra Ug/gps	Fr7	Fr1	Fr2	Fr3
Arsénico	0,041	0,062	0,12	0,076
Cadmio	0,12	0,12	0,12	0,12
Níquel	0,53	0,55	0,48	0,5
Plomo	0,84	1,1	0,89	0,93
Zinc	<0,1	0,21	<0,1	<0,1

Tabla 12.1: Medición Metales Pesados en aguas subterráneas.

Todos aquellos metales determinados, exceptuando el Zinc que no se encuentra regulado, sus concentraciones superan los valores guías propuestos por la OMS en todos los pozos analizados. (Arsénico: 0,01; Cadmio: 0,7; Níquel: 0,07; Plomo: 0,01).

VIII. Discusión

Anteriormente se propone la implementación, en el marco del Eco-RBCA, de diez pasos en tres tiers que organizan las evaluaciones del sitio, las tomas de decisiones, la implementación del programa de acción remediadora y el programa de monitoreo.

Los 10 pasos antedichos se pueden aplicar de manera flexible, pudiendo no ser necesario aplicar y responder cada uno de ellos, ya que se siguen de acuerdo al surgimiento de nuevos riesgos ecológicos, la necesidad de replantear objetivos o especificar información necesaria para cumplir con la remediación necesaria.

En base a los resultados obtenidos a lo largo del presente estudio, se pudo dar respuesta a diferentes pasos del marco del Eco-RBCA:

En primera instancia se desarrolló la Evaluación Inicial del Sitio, se llevó adelante la recopilación de información sobre el emplazamiento permitiendo identificar las posibles vías de exposición y los receptores ecológicos. Se pudo analizar que la pluma de contaminante se encuentra confinada en el acuífero estudiado, alejado de toda civilización y sin posibilidades presentes de expandirse a nuevos acuíferos u otros posibles receptores. Por lo tanto se denota que el área de estudio presenta condiciones adecuadas para la implementación de la ANM.

Luego se estudió la posibilidad de que esté sucediendo la ANM, disminuyendo el riesgo ecológico de la zona y dando la posibilidad de estudio de la misma para la posible implementación en otras áreas afectadas.

Dado cada uno de los resultados expuestos y las conclusiones a las que se llega en cada caso particular, como es el tipo de Recursos Naturales presentes en la zona, la lejanía de la zona urbana y/o cualquier potencial receptor, los usos de esas tierras y los resultados

puntuales de los análisis hechos sobre las muestras tomadas a lo largo del estudio, como ser la presencia de microorganismos degradadores de hidrocarburos, los bajos o nulos niveles de contaminantes para usos agrícolas o residencial, la presencia de hidrocarburos, propano y dióxido de carbono, se puede responder en base a éstos estudios del área y del conocimiento sobre el accionar de la ANM, directamente el paso 10 del marco de implementación del Eco-RBCA. En éste se plantea llevar adelante el seguimiento del punto de estudio y la implementación de un plan de monitoreo que asegure el saneamiento en la totalidad del emplazamiento afectado y teniendo la seguridad de continuar sin riesgos ecológicos como hasta el momento. De igual forma se plantea la posibilidad de que durante el plan de monitoreo surja la necesidad de implementar las tecnologías auxiliares de la ANM, como lo son la Bioaumentación, Bioestimulación, Fitorremediación, etc.

El plan de monitorización a seguir para el emplazamiento estudiado que se propone, incluye lo siguiente:

- Monitorear los HC disueltos en agua durante el año siguiente al menos luego de los primeros de tres a seis meses en todos los pozos y freáticos a los efectos de poder verificar que se hayan alcanzado o no los niveles de calidad de agua establecidos por la Ley Nacional N° 24.051, el Decreto Reglamentario Provincial N° 820, El Decreto Reglamentario Provincial N° 1494 y la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- En caso de que no se hubieran alcanzado los niveles de calidad de agua de acuerdo a la legislación mencionada; se deberá repetir el monitoreo en los siguientes tres a seis meses de los parámetros fijados en las mismas (Hidrocarburos parafínicos totales, BTEX, MTBE, plomo total, etc.).

- Exponer posibles alternativas de aplicar tecnologías auxiliares en caso de que los contaminantes persistan. En este caso volver a plantear cada tiers del Eco-RBCA para la tecnología seleccionada como óptima de acuerdo a las condiciones del sitio.
- Estudiar, mediante sondeos, el contenido de hidrocarburos que pueda estar aportando el suelo en contacto con la freática, si los análisis de agua indican un posible aporte de hidrocarburos proveniente de la zona no saturada. Verificar así que los niveles de contaminantes están decreciendo.

Los procesos de atenuación natural se están desarrollando a tasas suficientes para proteger a receptores potenciales aguas abajo según las expectativas, y por supuesto que la pluma contaminante, o lo que de ella queda a modo de residuo, no migre más de lo esperado, ni en una dirección no esperada; coincidente con lo que propone Brady, P.V. 1999.

Luego se deberán monitorear pozos extras que rodeen la pluma, como mínimo uno por encima y otro por debajo de la pluma del contaminante, cerca del borde de ésta, tal como lo propone U.S. EPA 2004. Asimismo, se deberá colocar como mínimo un punto centinela o de contingencia destinado a asegurar que la pluma no se está expandiendo mas allá de los límites estimados. Este tipo de pozos se localizan fuera de los límites máximos (tanto laterales como aguas abajo) de la pluma, así como inmediatamente aguas arriba de potenciales puntos receptores, para evitar que la pluma represente peligro alguno a la salud humana o medioambiental.

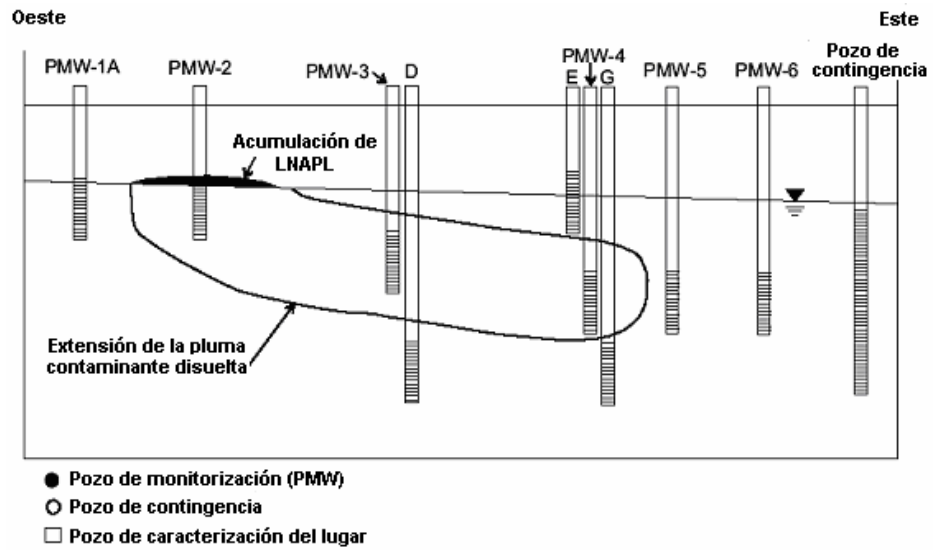


Figura 8: Esquema de los distintos pozos de monitoreo posibles.
Fuente: Guía Técnica de ANM.

IX. Conclusiones

En base a todo lo estudiado a lo largo del presente trabajo, la bibliografía utilizada, las comparaciones realizadas, el paso a paso del Eco-RBCA y en base a los análisis realizados, se puede concluir lo siguiente:

- La evolución de los espesores de la fase libre sobrenadante no acuosa en los pozos y freáticos monitoreados indica una disminución de ésta, pudiendo llegar gracias a las condiciones bajo las que se encuentra a su eliminación total.
- La evolución de las concentraciones de hidrocarburos parafínicos totales disueltos indican una disminución de las mismas, aunque aún hay presencia de estos compuestos en los pozos monitoreados.
- Se ha detectado presencia de microorganismos degradadores de hidrocarburos y sulfato reductores. Además el potencial de oxidorreducción medido indica la factibilidad de desarrollo de microorganismos anaerobios facultativos, los que tienen la particularidad de desarrollarse en presencia de oxígeno o en presencia de otro aceptor de electrones, tal como sulfatos o nitratos.
- Se ha detectado presencia de dióxido de carbono disuelto en todos los pozos y freáticos. El mismo puede ser producto de la actividad microbiana sobre los hidrocarburos disueltos.
- Se han detectado Nitrato, Hierro soluble y Manganeseo soluble, los que pueden actuar como aceptores de electrones en los procesos metabólicos anaeróbicos.
- Se han detectado Sulfuros que son subproductos de la acción de las bacterias sulfatoreductoras sobre el sulfato presente.

Los estudios y análisis realizados sobre la caracterización del contaminante, del suelo, de las condiciones climáticas, del tipo de acuífero y del flujo y su dirección de movimiento, a través de los estudios históricos y presentes, sumado a la evidencia de la presencia de microorganismos que contribuyen a la disminución de la pluma de acuerdo a la disposición de los diferentes freáticos y los datos que éstos han arrojado, evidencian que el proceso de atenuación natural se está manifestando en el emplazamiento estudiado bajo las condiciones de la Cuenca Cuyana y sin presentar riesgos ecológicos para la zona.

Habiendo llegado al final del estudio, con resultados positivos y teniendo en cuenta las bondades de la Atenuación Natural Monitorizada como tecnología de remediación desde el punto de vista ambiental y social, se expone como conclusión que es una buena opción como tecnología para el manejo óptimo de Recursos Naturales Renovables suelo y agua subterránea contaminados con hidrocarburos del petróleo.

X. Bibliografía

Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos U.S. EPA, 1999, por la Directiva 9200.4-17, *“Use of Monitored Natural Attenuation at Superfund, RCRA Corrective Action, and Underground Storage Tank Sites”* de la OSWER (Office of Solid Waste and Emergency Response).

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América U.S. EPA, 2006. “Atenuación Natural Monitorizada”.

Benavides, Livia y Rincones, María, 1990. Memoria de la Primera Reunión del Núcleo Técnico en Manejo de Residuos Peligrosos. CEPIS, Lima.

Brady, P.V., et al. 1999. Site Screening and Technical Guidance for Monitored Natural Attenuation at DOE Sites. SAND99-0464. U.S. Department of Energy, Sandia National Laboratory.

Casida L. 1977. Microbial metabolic activity in water as measured by dehydrogenase determinations. Applied and Environmental Microbiology. 34(6): 630-636.

CETESB 1985. Residuos Sólidos Industriales, Convenio CETESB/ASCETESB. Sao Paulo, Companhia de Tecnología de Saneamiento Ambiental.

Chambouleyron J. 2005. Riego y drenaje. Tecnicas para el desarrollo de una agricultura regadía sustentable. Tomos I y II. EDIUNC. Universidad Nacional de Cuyo. 2005.

COLOMBIA. Leyes, decretos, etc. 1986. Resolución Número 02309 del 24 de febrero de 1986, Ministerio de Salud.

Decreto Reglamentario No. 820/2006 “Visto el expediente N°1610- S-05-01282, en el cual se tramita la reglamentación de la Ley Provincial N° 5961 y modificatorias, Preservación del Ambiente en todo el territorio provincial, en aquellos aspectos vinculados a la protección ambiental para la actividad minera”.

Environmental engineering and management journal November 2011, Bioremediation of petroleum sludge under anaerobic Microenvironment: influence of biostimulation and Bioaugmentation. vol.10, no. 11, 1609-1616.

Environmental Protection Agency 1976. Resource Conservation and Recovery Act (RCRA), Public Law 94-580, 94th Congress, October 21, 1976, Washington, D.C.

Environmental Protection Agency 1980. Hazardous Waste Management System, Part III, Identification and Listing of Hazardous Waste, Federal Register, 45 (98): 40 CFR Part. 261, Monday, May 19, 1980.

Environmental Security Technology Certification Program (ESTCP)

2005. Bioaugmentation for Remediation of Chlorinated Solvents: Technology Development Status and Research Needs.

España. Leyes, decretos, etc. 1986. Ley 20/1986 de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, Madrid. Gemeinsames Ministerialblatt, GMB (1990).

Fernández, P., J. Maza, A. Vargas Aranibar 1994. "Prediction of Floods from a Mountain River with Glacierized and Snow Covered Areas". 2º Internacional Conference on River Floods Hydraulics, York. Jhon Willy & Sons.

Furlani de Civit M. E., Gutiérrez de Manchón M. J. 1999. "Mendoza: una geografía en transformación, segunda parte." Facultad de filosofía y letras UN de Cuyo.

Gasparotti C., 2010. Risk assessment of marine oil spills, *Environmental Engineering and Management Journal*, **9**, 527-534.

Hazen, T.C. 2010. In Situ Groundwater Bioremediation. Chapter 13 in Part 24 of the Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN: 978-3-540-77587-4, p 2584-2596.

Honorable Cámara de Diputados de Mendoza el 12 de August de 2014 - "Creación de la subsecretaría de hidrocarburos de la Provincia de Mendoza – Cuenca Cuyana"

- Hueber, Dietrich 1989.** Informe de la Misión pericial realizada en CEPIS. Agencia Alemana de Cooperación Técnica, GTZ.
- Ingraham, J. L., y C. A. Ingraham. 1998.** Introducción a la Microbiología. Volumen 1. Editorial Reverté. Barcelona, España. 328 p. Apéndices.
- Instituto Nacional del Agua (INA) – Centro regional de aguas subterráneas (CRAS), 1969 -2009.** Catálogo Bibliografico. Investigaciones Hidrogeologicas realizadas en la Provincia de Mendoza, San Juan, Argentina.
- Instituto Nacional de Ecología (INE), 2007.** Delegación Coyacán Mexico DC.
- International Centre for Soil and Contaminated Sites (ICSS), 2006.** Manual for Biological Remediation Techniques
- Koeppen. 1948.** Climatología
- Ley No. 5.917, 2000.** Residuos Peligrosos, Mendoza (1992), Decreto Reglamentario No. 2625/99. Boletín Oficial de la Republica Argentina, 08 de febrero de 2000.
- Ley Nº 5961, 1992.** “Preservación del Medio Ambiente” Mendoza, B. Oficial: 25/02/93 Nro. arts.: 0050. El Senado y Cámara de diputados de la Provincia de Mendoza.
- Ley No. 24.051, 1992.** Residuos Peligrosos. Argentina, Leyes y decretos. Boletín Oficial de la República Argentina, año C, viernes 17 de enero de 1992, Buenos Aires.
- María Concepción Román Román Source: OAI, 2002.** Guía técnica de Atenuación Natural Monitorizada en emplazamientos contaminados. Técnicas de bioestimulación y Bioaumentación para la potenciación de la biodegradación de contaminantes.
- Maza, J.; Fornero; H. Yañez, 1995.** “Simulacion Matematica de la Fusion Nival y Pronostico de Escurrimiento “. Bulletin de l’Institut Francais d’Estudes Andines (ISS 0303-7495), Tomo 24 N°3. Lima, Perú.
- México. Leyes, decretos, etc. 1992.** Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. En: Leyes y Códigos de México, Ley General del Equilibrio Ecológico y

la Protección al Ambiente. 6a. Edición, Editoria Porrúa, S.A., México (Originalmente publicada en el Diario Oficial de la Federación, 28 de enero de 1988).

Morabito J., 2009. Documento del Centro Regional Andino del Instituto Nacional del Agua (CRA-INA) sobre: El Agua en Mendoza y su problemática ambiental. Diario Los Andes, Mendoza Argentina.

Norte Federico, 2000. Catalogo de recursos humanos e información relacionada con la temática ambiental en la región andina argentina centro regional de investigaciones científicas y tecnológicas (cricyt - mendoza).

Oprea Ion, 2009. Reserch on the combustión of crude vegetable oils for energetic purposes. "Gheorghe Asachi" Technical University of Iasi, Romania.

Organización de las Naciones Unidas 1991. Recommendations on the Transport of Dangerous Goods. 7th Revised Edition, (ST/SG/AC.10/1/Rev.7), United Nations, New York.

Parsons, 2004. Principles and Practices of Enhanced Anaerobic Bioremediation of Chlorinated Solvents. AFCEE, NFEC, ESTCP 457 pp, August 2004.

Pazos, J. A.; J.L. Bessone; J.A. Vivas; A. Vaca; C. Wetten y C.E. Valero, 1993. Recursos hídricos subterráneos y aguas termales. Relatorio XII Congreso Geológico Argentino. Geología y Recursos naturales de Mendoza: 551-559. Buenos Aires Argentina.

Pozzoli José et al, Mendoza 1999. "Guía de Educación Ambiental, Flora y Fauna de Mendoza" Ministerio de Ambiente y Obras Publicas y Dirección General de Escuelas.

PNUMA, 1989. Convenio de Basilea Sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación, Acta Final. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 1989. pp. 62-68.

Ricardo G. Capitanelli, et al. Mendoza-ECOGEO, 1997. “Problemas Medio Ambientales de la Provincia de Mendoza”.

Romina Romaniuk; Juan Felipe Brandt; Paola Ruth Rios & Lidia Hiuffré, 2007. Atenuación natural y remediación inducida en suelos contaminados con hidrocarburos. Edafología-fauna - av. San Martín 4453 (1417). Buenos Aires. Argentina. Bioservices group s.a. manzanares 1831 (1429). Buenos Aires. Argentina.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación, 2000. Gobierno de Mendoza. Departamento General de Irrigación – Proyecto PNUD/FAO/ARG/00/008. Plan Director de Ordenamiento de los recursos Hídricos – Cuenca el Río Mendoza. Anexo N° 1: Aguas subterráneas. Mendoza, Argentina.

Sinke, A., Lehecho, I., Noviembre 1999. Monitored Natural Attenuation: review of existing guidelines and protocols. TNO-MEP R 99/313. TNO-NICOLE. The Netherlands.

Sinke, A.J.C. Monitored Natural Attenuation, 2001. Moving Forward to Consensus. Land Contamination & Reclamation. Volume 9. Number 1. TNO Environment, Energy and Process Innovation. The Netherlands.

Soil Survey Staff, 1999. Taxonomía Norteamericana, "Soil Taxonomy".

Sub-Secretaría de Recursos hídricos 2004. Estadísticas Hidrológicas – República Argentina –Ed. Evarasa 1ª ed. – Buenos Aires.

Venezuela, 1988. Instructivo Sobre Criterios Técnicos y Procedimientos para el Control de la Generación y Manejo de Desechos Tóxicos o Peligrosos no Radiactivos. Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 11 de agosto de 1988.

Wiedemeir T.H., Lucas, M.A., Enero 2000 Texas. Designing Monitoring Programs to Effectively Evaluate the Performance of Natural Attenuation. Air Force Center for Environmental Excellence, Technology Transfer Division.

- Wrein, B.; Venosa, A. 1996.** Selective enumeration of aromatic and aliphatic hydrocarbon degrading bacteria by a most probable number procedure. *Journal Microbiology*. 42. 252-258.
- Yakowitz, Harvey, 1985.** Hazardous Waste Management: An International Overview, presentado en Conference on National Strategies for Managing Hazardous Waste, Melbourne, Australia, 18-21 Noviembre, 1985.
- Yakowitz, Harvey, 1988.** Identifying, classifying and describing hazardous wastes, *Industry and Environment*, 11 (1): 3-10.
- Zamora, E., Zuñiga Dávila, D. 2012.** Soil microbial activity in response to different conditions of moisture, temperature or ph. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*; 32:121-125.