

POZOS INYECTORES DE AGUA INDUSTRIAL, UNA SOLUCION CUANDO SE PERFORA EN AREAS AMBIENTALMENTE SENSIBLES

Jorge W. Albeiro¹ y Liliana Berango²

¹ Consultor Independiente. Vucetich 3354, Sexta Sección. (5500) Mendoza. Tel: 0261-4372815.
e-mail: jorgewashingt@yahoo.com.ar

² Licenciada en Geología. Vucetich 3354, Sexta Sección. (5500) Mendoza. Tel: 0261-4372815.
e-mail: lilibertolino@hotmail.com

RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo es analizar las ventajas que se tienen, si se dispone de un pozo inyector, cuando se perfora en áreas sensibles, como son algunas remotas locaciones en zonas de selva, o cuando las locaciones están próximas a zonas pobladas, donde es imposible verter el agua de la operación de perforación, a cauces de agua como ríos, lagos, vertientes, riachuelos, quebradas, etc. por contener, ciertos elementos químicos que la hacen inadecuada para vertimiento, desde el punto de vista ambiental.

1)- Se realiza una caracterización física de los diferentes tipos de aguas, y luego se evalúan las posibilidades que existen para disponer este fluido residual, que resulta de la deshidratación del lodo, limpieza del equipo, agua meteórica, así como las aguas grises y negras.

2)- Se presta especial atención a los procesos químicos necesarios para el tratamiento, antes de disponerlas, así como las causas, factores y mecanismos del impacto ambiental, el grado de perturbación y las medidas que se pueden adoptar, para disminuir los riesgos.

3)- Este trabajo es el resultado de la experiencia propia en áreas altamente sensibles como es la selva, donde en la actualidad se desarrollan numerosas operaciones de perforación.

Introducción

La perforación de pozos de exploración o desarrollo en áreas altamente sensibles, desde el punto ambiental, plantea un reto mayúsculo, al tener que decidir que hacer con el agua, producto del tratamiento del lodo, limpieza del equipo, agua pluvial acumulada en las piletas de cutting, o de los canales perimetrales, a lo que se agregan las aguas grises y negras. A primera vista una opción segura y de bajo riesgo (y costo), parece ser el vertido a cauces y quebradas, una vez que esta agua es tratada convenientemente y cuando se disponen de valores que estén dentro del rango, aceptado por la legislación del lugar. Esta opción si bien es viable y aceptada, conlleva algunos riesgos cuando el agua vertida va a parar a cursos de agua, con una rica flora y fauna itícola, o bien es un curso que es usado por pobladores vecinos como ocurre con algunas comunidades nativas, para las cuales el río o arroyo es la única fuente de provisión de agua y alimentos para toda la población.

En este trabajo se analizan esos riesgos en relación a los cambios que se pueden producir, cuando se lleva adelante este vertido en cursos permanentes, pero al mismo tiempo se analizan las ventajas que se tienen en perforar en el borde de la locación o en un área ambientalmente segura un pozo inyector, para así disponer en forma segura de estos fluidos industriales.

Metodología de Trabajo

- Para completar este trabajo, se analizaron diferentes mecanismos de disposición de estas aguas industriales, es decir vertido en cursos temporales o permanentes, regado de caminos internos de yacimientos, transporte hacia otros puntos, donde existen pozos sumideros, etc.
- Se consultó a especialistas de diferentes compañías operadoras de áreas petroleras, y a responsables del proceso de tratamiento de agua en el sitio de la perforación, a fin de evaluar la mejor manera de esta disposición.

Tipos de Aguas

Para poder entender la magnitud del problema, debemos arrojar luz primero sobre los tipos de aguas que se generan en una locación remota, donde además del equipo de perforación, existe un campamento, donde conviven los trabajadores afectados a la perforación.

Las aguas generadas en este tipo de locación remota, se pueden clasificar en:

- a)-Agua Residual Domiciliaria
- b)- Agua Residual Industrial

Agua Residual Domiciliaria

Esta asociada al campamento donde vive todo el personal del equipo de perforación. Estas aguas las podemos clasificar en:

Aguas Negras: Producidas por el uso de los sanitarios

Aguas Grises: Provenientes de la cocina, lavanderías, y que contienen aceites, residuos de comidas, jabones y detergentes.

Agua Residual Industrial

Es el agua proveniente de los diferentes procesos de la perforación de pozos de petróleo o gas:

- 1- Agua del lavado de equipo: Posee una carga contaminante alta, debido a:
 - Aceites y grasas
 - Sólidos en suspensión
 - Desechos orgánicos
- 2- Agua de canales Perimetrales internos: Tienen escasa carga contaminante, pero todavía poseen algo de lubricante de motores y maquinas que transitan en la locación, y además sólidos en suspensión.
- 3- Agua del proceso de Deshidratación (Dewatering) del fluido de perforación: Estas aguas mantienen una alta carga contaminante debido a:
 - Sólidos en Suspensión
 - Sólidos Disueltos
 - Productos químicos orgánicos (polímeros) e inorgánicos solubles en agua.

Usos del Agua Industrial

El Agua del lavado de equipo y la proveniente de los canales perimetrales, no se utiliza en nada relacionado al lodo de perforación o tratamiento.

En cambio el agua del proceso de Dewatering, debido a la alta carga de químicos, que en su mayoría son constituyente del lodo en uso, se puede re-utilizar para diluir el sistema, en el caso que se requiera bajar el peso del lodo, o bien para preparar nuevo lodo. Este es llamado Sistema Cerrado o Closeloop, como se lo conoce en inglés.

Cuando esta agua recuperada, no se requiere para el sistema de fluidos, se debe recibir en cisternas o tanques, donde se juntan todas las aguas, es decir las Domesticas, mas las Industriales. Es en este punto donde comienza el proceso de Tratamiento primero, para luego poder disponer de

ellas ya sea vertiéndolas al medio ambiente, o como se recomienda aquí, para locaciones remotas, inyectándola a formación.

Tratamiento del Agua

El proceso comienza con la toma de muestras, para poder hacer así la dosificación adecuada de los diferentes productos que se agregan para obtener un agua clara, compatible con el medio ambiente, en un grado que permita verterla o inyectarla, con un grado mínimo de afectación tanto a los suelos, como a las corrientes de agua.

El tratamiento de estas aguas, se realiza con productos de diferente naturaleza:

- 1- **Coagulantes:** Se utilizan sales de Al y Fe, tales como el Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), o el Cloruro Ferrico (FeCl_3). Por una cuestión de costos, el más difundido es el Sulfato de Aluminio, o comúnmente conocido como alumina.
- 2- **Floculantes:** Se emplean polímeros de alto peso molecular del tipo Poliacrilamida, también conocido como PhPa.
- 3- **Oxidantes-Desodorizantes:** Se usa hipoclorito de calcio, producto que oxida y desodoriza el agua.
- 4- **Corrector de Ph:** Se utiliza un álcali. Por manejo, el más difundido es la cal hidratada, conocida en términos químicos como hidróxido de calcio.

Adición de Productos Químicos

Luego de hecha la dosificación, se adicionan los diferentes productos químicos, en solución, de acuerdo a las concentraciones establecidas, previamente. Hasta aquí, solo se ha conseguido un tratamiento preliminar, es decir la separación de los sólidos de la parte líquida, con este proceso se logra remover más del 80% del material sólido contenido en el agua residual.

Ajustes de Parámetros

Lograda la clarificación del agua, a continuación se realizan ciertas pruebas piloto para determinar la condición de la misma. Normalmente este tipo de agua industrial, del mismo modo que el de otras aguas residuales industriales, contienen “**Altas Cargas de Productos Químicos Disueltos**”, que son conocidos como iones. La presencia de estos iones, le da al agua la característica de alta conductividad, la cual puede variar entre 100 a 10000 micro-siems. Cuando el valor de este parámetro o cualquier otro, supera lo establecido en las normas ambientales, se procede a ajustarlos, usando diferentes métodos, el más económico es la dilución.

Asimismo y debido a los productos químicos que se le ha adicionado al agua para su tratamiento, generalmente se presenta un des-balance en el valor de Ph, por lo que se procede a ajustarlo a valores dentro de lo permitido por las leyes. Valores aceptados como normales son entre 5 y 9, mientras que el óptimo es 7.

Disposición del Agua Industrial

De acuerdo a la legislación y leyes de los diferentes países, la conductividad máxima permisible para la descarga, no debe superar los 2500 micro-siems. Si el agua tiene valores superiores, no es apta para vertimiento al medio ambiente, ya sea en cuerpos de agua o quebradas.

Para solucionar esto, se puede proceder de dos maneras, de acuerdo a la legislación ambiental de cada país:

1)- **DILUSION:** Si lo permite la ley, se puede diluir hasta alcanzar la concentración mínima de iones requerida para descargar al medio ambiente.

2)- **INYECCION:** Desde hace poco más de cinco años, este procedimiento se viene generalizando paulatinamente, ya que ambientalmente se ha demostrado que es mucho mas seguro. Sobre este particular nos referiremos en los párrafos siguientes.

Aplicaciones

En el caso de emplear lodos base agua con Cloruro de Potasio, los valores de conductividad pueden ser muy superiores a los descritos anteriormente, y en este caso el proceso de dilución, técnicamente resulta impracticable, porque se requerirían volúmenes de agua fresca muy grande, y que no siempre están disponibles. Este es uno de los casos donde la inyección a formación, es un método que por lo menos merecería entrar en consideración, a la hora de definir el método más seguro de disposición final.

Proceso de Inyección

Preparada y acondicionada el agua para la posterior inyección, se debe tener especial cuidado en la concentración de Sólidos Suspendidos. El valor máximo requerido para poder inyectar y no afectar a la porosidad y permeabilidad de la formación es de 40 mg/lit.

Problemas Potenciales

A la luz de lo antes expuestos es notable observar que si los valores de conductividad principalmente, están muy por encima de la legislación del lugar, el vertido es impracticable, sino se ajustan los valores mediante alguna técnica, que por supuesto va a representar un costo adicional. La situación es todavía mas dramática, en particular si las operaciones de perforación, se llevan adelante en áreas en extremo sensibles, como son muchas áreas en la jungla, donde se pueden generar conflictos no solo con los organismos de monitoreo y control, sino con las comunidades que pudieran habitar en la vecindad del proyecto o cerca de los cursos de agua permanente, donde se pretende hacer el vertido.

Porque perforar un pozo inyector?

La perforación de un pozo sumidero en las inmediaciones de la locación donde se va a perforar un pozo de exploración o desarrollo de gran envergadura, es una solución viable, que aunque significa un costo adicional en el AFE de perforación, minimiza los riesgos que se asumen cuando el agua de la perforación, que ya no va a ser utilizada, es vertida a un cauce o quebrada vecina. Por supuesto que el costo se justifica si:

- ✓ Es un pozo ubicado en un área ambientalmente sensible.
- ✓ Se prevé un pozo prolongado en el tiempo, por la complejidad de la operación.
- ✓ No existen en el área cauces a donde se pueda verter el agua remanente de la operación.

Que puntos se deben tener en Cuenta

La viabilidad de un proyecto de esta naturaleza, esta sujeto como todo proyecto, a un análisis de Costos vs. Beneficios, a lo que se deben sumar consideraciones geológicas e hidrogeológicas.

1 Consideraciones Económicas

Con la tecnología actual, perforar un pozo para inyección, se puede considerar una operación de bajo riesgo, pero a la que se debe prestar toda la atención del caso, para que el pozo cumpla su función, mientras dure las operaciones de perforación y completación del pozo principal, y todavía pueda servir en futuras intervenciones, cuando nuevamente se deba montar un equipo de perforación o workover. El costo se debe asumir, cuando los métodos tradicionales de disposición del agua industrial y domiciliaria, son en esencia, de mediano a alto riesgo, por tratarse como se ha dicho, de áreas sensibles, o donde las regulaciones ambientales directamente no permiten ningún tipo de vertido.

Desde otro punto de vista, el costo se puede justificar, cuando se prevé la perforación de un pozo de alta complejidad, con varias secciones de pozo, diferentes tipos de lodos (base agua

principalmente), y que pretenden investigar o desarrollar áreas profundas de una cuenca petrolífera, por lo que se espera un tiempo de perforación prolongado, como sucede con muchos pozos perforados en la faja plegada del noroeste de Argentina, o áreas adyacentes al Chaco Salteño, donde además de una rica biodiversidad, conviven poblaciones nativas (criollos y aborígenes), quienes se verían seriamente perjudicados, si estos fluidos son vertidos a los escasos cauces que surcan la región.

Si se trata de exploración o desarrollo mediante pozos someros, la ecuación económica, puede no resultar alentadora, si se trata de un solo pozo, pero si esta previsto un plan de desarrollo, al menos se debería contar con un pozo inyector a donde conducir el agua, mediante cañerías, o transporte por vía terrestre.

2 Consideraciones Geológicas

Estructura

Es importante, que el departamento de geología de la Cia, nos provea de información estructural de superficie, del área donde se espera perforar el pozo inyector. Muchas veces y particular en áreas con intensa deformación, como ocurre cerca del núcleo de estructuras con expresión superficial, los potenciales niveles reservorios, donde se piensa inyectar, están fracturados, y estas fracturas se comunican con niveles superficiales, portadores de agua dulce, lo cual puede hacer un proyecto inviable, o requiera de hacer un pozo mas profundo.

La Secuencia Aflorante

Del mismo modo que se requiere contar con un plano estructural, es imprescindible contar, con información de las unidades aflorantes en la vecindad, así es posible reconocer, cual o cuales niveles potencialmente pueden ser niveles con capacidad para almacenar el agua que se quiere inyectar. De hecho que un reconocimiento de campo es imprescindible, con toma de muestras, y la participación de un hidrogeólogo, que a priori, nos podrá indicar donde perforar, y que niveles alcanzar para poder inyectar en forma eficiente, con caudales aceptables. Los antecedentes del área son importantes, y se debe contar con información de pozos de agua, si es que existen en la vecindad. Se debe preparar un cuadro que resume la columna estratigráfica simplificada aflorante en distintos puntos de la comarca estudiada.

Geomorfología

Siempre es deseable contar con un relevamiento geomorfológico, de cierto detalle, donde se identifiquen las diferentes unidades geomorfológicas. En muchos casos como en las Sierras Subandinas existe una relación de primer orden entre la forma de las estructuras y el relieve que es una característica fundamental del Sistema Subandino, del noroeste de Argentina, por ejemplo.

Hidrogeología

Es importante conocer la mayor cantidad posible de información de la cuenca hidrogeológica donde se quiere perforar el pozo sumidero, es decir áreas de recarga, niveles reservorios de agua dulce, y tipos de acuíferos si es posible, a fin de poder determinar la profundidad a que se debe perforar, para no afectar a los potenciales niveles reservorios de agua dulce. En este caso y en ausencia de información de primer orden, es probable que se requiere al tiempo de que se construye la locación para montar el equipo, de una campaña de Prospección Geoelectrica, que es rápida, de bajo costo, y a través de la cual un especialista, nos puede dar un detalle de la profundidad de los reservorios, basamento económico, y el sitio mas adecuado para perforar un pozo inyector.

3 Consideraciones Demográficas

Usos del Agua

El agua es un recurso escaso en muchas regiones donde se perfora pozos de petróleo o gas. Los cursos superficiales de agua, se utilizan para recoger este elemento para uso doméstico y para abrevadero de animales, además en muchos casos, es la fuente de supervivencia de una comunidad, por lo que alterar de cualquier modo la calidad del agua que utilizan, puede causar un impacto profundo en esa sociedad, y la Cia operadora queda expuesta a sanciones, por parte de la autoridad competente. En la actualidad el control del medio ambiente y particularmente la conservación de los cuerpos superficiales de agua fresca son un compromiso de todos los habitantes del planeta, para asegurar que la vida perdure en la tierra.

Población

Normalmente en las áreas de selva donde muchos proyectos en la actualidad, están en una fase de exploración o desarrollo, la población es extremadamente escasa y está restringida solamente a caseríos que se encuentran distribuidos cerca de arroyos y lejos de instalaciones permanentes dedicadas a la separación de gas y petróleo. Estos lugares poblados en general se dedican a la cría de ganado vacuno, y algunas aves de corral, y ocasionalmente a las actividades agrícolas. Estas comunidades (de nativos o criollos), que viven en la tierra de sus ancestros, por naturaleza son cazadores, pescadores, recolectores y profundos conocedores del monte. El vertido de aguas con determinado contenido de elementos “indeseables” puede tener un tremendo impacto sobre las costumbres, y economía del lugar, por lo que se debe prestar especial atención, antes de tomar la decisión de verter aguas industriales, o de cualquier tipo a estos cauces.

Fases de la Operación

Para completar esta evaluación, los siguientes son las fases mínimas de trabajo y que incluyen las etapas de factibilidad, ejecución y evaluación el pozo, desde el punto de vista hidráulico.

- 1- Evaluación del entorno del pozo, de manera que pueda identificarse los medios receptores y los cuerpos de agua sujetos de posible impacto.
- 2- Monitoreo de la perforación del pozo, estableciendo el perfil estratigráfico y el espesor de las arenas acuíferas.
- 3- Determinación de los parámetros hidrodinámicos del acuífero mediante bombeo o prueba de inyección, entre ellos la permeabilidad, porosidad, trasmicividad, coeficiente de almacenamiento, gradiente hidráulico. (k, ϕ , T, S, i).
- 4- Determinar los parámetros hidroquímicos del agua, para lo cual se realizara toma de muestras del agua de formación (pozo) y el agua de inyección.

Consideraciones Operativas

El equipo de Perforación

Para el caso que nos ocupa, la perforación de un pozo somero para inyección, puede ser encarado por un equipo rotary (Foto 1 y 2), de los que habitualmente se utilizan para perforar un pozo de agua, y que pueden alcanzar hasta 500 m de profundidad o mas, si se requiere.

El lodo de Perforación

Es recomendable y apropiado usar un lodo base agua sencillo, del tipo agua bentonita, con una densidad cercana a 8.5 ppg, y bajo contenido de sólidos, para minimizar los daños a la formación donde se quiere inyectar. Si se espera atravesar alguna sección arcillosa, se debería adicionar algún inhibidor como el potasio, para evitar el hinchamiento de arcillas hidratables, con alto contenido de montmorillonita.



Foto 1-2: Equipo Rotary para agua, durante la perforación y entubación de un pozo Inyector

Diseño de pozo y cañerías

Se debe construir un ante pozo, luego cavar un pozo central de diámetro grande a 1,5 m de profundidad, para colocar el caño conductor de 9 5/8". Este caño debe cementarse apropiadamente, y dejarlo en fragüe, mientras se monta el equipo de perforación, piletas y se completan todas las conexiones. Luego con trepano de 8.5 pulgadas, perforar la siguiente sección hasta unos 150- 200 m de profundidad, para entubar cañería de 7 pulgadas. Finalmente con trepano de 6 pulgadas, se va a perforar la sección principal del pozo, hasta alcanzar la profundidad final establecida por programa.

Cementacion de la cañería de 7 pulgadas.

La cementacion de la cañería de 7 pulgadas, es de suma importancia, por cuanto debe aislar hidráulicamente a los niveles donde se van a inyectar todas las aguas residuales del pozo (industrial y domiciliaria), de la sección superior donde se prevee la presencia de niveles con capacidad para producir agua dulce.

Perforación de la Sección de Interés

Se deben extremar los cuidados, durante la fase de perforación de la denominada zona de interés, y que no es otra cosa que la zona donde se va a inyectar. El lodo deberá estar tan limpio como se puede, con bajo nivel de sólidos, y compatible con la zona a perforar, sobre todo si se esperan intercalaciones arcillosas. Es importante construir un registro de los terrenos atravesados por el trepano, para lo cual se graficará el tiempo de perforación por metro y la descripción porcentual e interpretada de las muestras. Para esto se recogerán muestras a intervalos regulares: cada 3 m inicialmente y en zona de interés, una muestra por cada metro perforado. Las muestras

deben ser analizados con lupa binocular, para determinar el tipo litológico, espesor de las unidades, y en zonas de arenas, la composición, el grado de compactación, contenido arcilloso, tipo de cemento, y los que es mas importante, la porosidad visual.

Evaluación de la Sección de Interés

Una vez completada la sección, se debe correr al menos un registro eléctrico básico, como por ejemplo SP-Resistividad, o mejor aún SP-GR-Resistividad. Con esta información, mas el perfil de Control Geológico, estamos en condiciones de definir la ubicación de los niveles permeables, con capacidad para recibir el agua que se quiere inyectar, lo que equivale a decir que podemos definir el programa de entubación final, ubicación de los caños filtros, etc.

Los caños filtro

Para este tipo de pozo se puede emplear cañería recuperada de 5". En la locación de la perforación, el soldador puede preparar la cañería filtro (Foto 3), perforando con electrodos los caños a intervalos regulares, y siguiendo un patrón de distribución uniforme, y un diámetro promedio de ½ pulgada. Esta es una solución simple, pero como toda solución no es aplicable a todos los casos, pues en ocasiones se requiere:

- a)- Bajar caños filtros en forma selectiva, de acuerdo a la ubicación de los horizontes permeables.
- b)- Bajar cañería de producción, cementar y luego punzar los niveles donde se quiere inyectar.



Foto 3: Cañería filtro de 5 pulgadas, preparada en la misma locación.

Bajada de la cañería

En el caso que nos ocupa una vez preparada la cañería de producción o caños filtros, y mientras se perfora el pozo, se puede preparar una reducción o cross over rosca derecha. Con este dispositivo, podemos bajar una cañería tipo liner, y así se ahorra el tramo de la cañería, entubado con 7". De este modo, se enrosca el zapato, los caños filtros calculando un traslape con la cañería de 7" de por lo menos 20 m. Se bajan todos los caños y en el último se enrosca la reducción rosca derecha, luego se empieza a bajar este liner, con el sondeo de perforación, hasta el fondo. Una vez en el fondo, se circula y desplaza parte del lodo de perforación por agua, hasta que esta salga limpia. Finalmente se asienta el liner en el fondo, y se rota el sondeo a la derecha, desvinculando así, el sondeo de la cañería filtro.

Limpieza del Pozo

Bajada la cañería perforada, es necesario limpiar el pozo, antes efectuar la prueba de inyección, evitando inyectar a formación, el lodo de perforación que queda en el pozo. Para esto se bajan caños de 2" hasta el fondo, se bombea aire comprimido, y a través de la "T" de la cabeza de producción, se desplaza el lodo del pozo. Al tener una columna hidrostática aireada, es posible que el pozo produzca agua de formación, y entonces es posible, obtener una muestra de agua, para analizar en todos sus componentes.

Pruebas de Inyectividad

Mientras el equipo esta montado se puede hacer una prueba de inyectividad, con la bomba del equipo. Para esto se enrosca en la cañería de 7 pulgadas, con una reducción apropiada, una cabeza de circulación. Luego se acumula agua en los tanques de lodo, de preferencia agua fresca, o bien agua acumulada y tratada del tipo que se va a inyectar. En la línea de bombeo se intercala un filtro, con la cabeza de pozo cerrada, se prueba la hermeticidad de las líneas, para luego abrir el pozo y establecer el régimen optimo de bombeo, monitoreando en función del tiempo, Caudal y Presión de inyección. Estos parámetros son importantes para luego poder selecciona el tipo de bomba que se va a emplear durante toda la operación de inyección. Adicionalmente a lo anterior, es necesario tener presente el volumen de agua promedio que se va a disponer diariamente, para de esta manera hacer la selección de la bomba adecuada, debido a que en ciertas circunstancias los volúmenes que se manejan diariamente superan los 6300 lt (1000 bbl).

Instalación final

Concluidas las pruebas de inyección, se suelda una tapa en la cañería de 7 pulgadas, con una conexión para 4 pulgadas y una reducción para colocar un manómetro, con el que se va a monitorear la presión de inyección en el pozo. Esto es muy importante para detectar si tenemos problemas durante la inyección, debido a taponamiento parcial de los caños filtro, por ejemplo.

También, de acuerdo a las pruebas de Inyectividad, nos va a indicar que tipo de material se debe usar para la construcción e instalación permanente de la línea de transporte, desde la bomba hasta la cabeza de pozo. El material seleccionado tendrá una resistencia que es directamente proporcional a la presión que se requiera aplicar para ejecutar el trabajo (Foto 4).



Foto 3: Instalación final de un pozo inyector tipo, listo para recibir el agua para disposición final.

Requerimiento de pruebas.

Para completar la evaluación final del pozo, se requiere tener en cuenta por lo menos las siguientes pruebas:

- a) Propiedades físicas; color, sabor, Ph, Turbiedad, Sólidos Suspendidos, Sólidos Disueltos. Entre las propiedades químicas: Elementos mayoritarios (cationes) Ca, Mg, Na, K, y entre los aniones SO_4 , Cl, CO_3 , HCO_3 , nitritos, nitratos, y dentro de los elementos minoritarios; OD, DQO, DBO_5 , TOC, para evaluar la materia orgánica.
- b) Análisis bacteriológico de las dos fuentes: agua subterránea y agua de vertido para determinar parámetros como; Coliformes totales y fecales, *Escherichia Coli*, que son necesarios para evaluar la contaminación bacteriana.
- c) Pruebas de bombeo a caudal constante si existe agua de formación y si no se hará prueba de inyección por espacio de varias horas. Al finalizar la perforación se requerirá electro bomba para la prueba de bombeo.
- d) Se requerirá de una sonda para medir el nivel de agua dentro del pozo con cable de una longitud mínima de 600 metros, dependiendo de la profundidad del pozo.
- e) Las muestras de agua deben ser recogidos en envases apropiados y deberán ser enviados al laboratorio para su respectivo análisis.

CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

La perforación de pozos sumideros en áreas ambientalmente sensibles, es una alternativa viable, de bajo costo, y en esencia de larga duración, si el pozo se lo mantiene apropiadamente. A pesar que muchas de las zonas donde se perforan, poseen una alta capacidad de absorción de los impactos, si no se realiza un permanente control de los indicadores críticos, se desarrollan planes de mitigación de las afectaciones actuales, y se implementan programas de racionalización de la utilización de los recursos tanto renovables como no renovables, se puede alcanzar una situación de estresamiento ambiental que puede conducir a la región a un estado de colapso de los ecosistemas presentes, en forma inminente. Esto es particularmente importante si además se afectan los recursos hídricos superficiales o subterráneos, de forma peligrosa. Por esta razón, y sobre la base de la experiencia adquirida en áreas de esta naturaleza se puede concluir que:

1)- La utilización del agua residual industrial, en el **Regado** de caminos o locaciones, en áreas de yacimientos, es una solución de bajo costo, pero que afecta en forma lineal, la superficie afectada, cargándola de sales u otros residuos indeseables, como son aceites o jabones. Pero esto no solo afecta el suelo, sino que en algunos sitios donde deambula ganado, este puede usar el agua de los charcos formados, como abrevadero, con el consiguiente daño.

2)- El **Vertido** al medio ambiente si no esta rigurosamente monitoreado, puede causar alteraciones en los puntos donde se produce el vertido, o bien a los cauces fluviales, afectando la calidad del agua, y un deterioro del ecosistema.

3)- La **Evaporación** (Forzada o Natural), es un método poco practico, que puede afectar superficies importantes, que son las destinadas a construir las piletas de evaporación. Este método, es poco efectivo, y en nuestra opinión, aplicable solo cuando los volúmenes de agua, destinados a disposición final, no son grandes.

Propuestas

Cuando las operaciones de perforación se desarrollan en zonas con alto Valor Ecológico y Etnológico, se debe tener especial cuidado con el manejo de residuos de perforación (cutting, lodos residuales base agua o aceite, agua de limpieza de equipos, mantenimiento de bombas y motores, etc.) para lo cual se recomienda implementar sistemas específicos para lograr una reducción de la generación, acondicionamiento de los efluentes para la reutilización, y tratamientos adecuados a las características de los fluidos residuales, que permitan minimizar su impacto al medio ambiente.

En este sentido, y teniendo en cuenta el esfuerzo económico que hacen las diferentes compañías que exploran o desarrollan sus operaciones en áreas en extremo sensibles, para tratar el agua residual de estas operaciones, y visto en el terreno diferentes métodos de disposición del agua, los autores están convencidos que la **Re-inyección** a formaciones no productivas de agua dulce, es un método limpio y seguro, que permite disponer en forma eficiente importantes volúmenes de agua residual que previamente ha sido tratada.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Ing. Carlos Villacís, por la lectura crítica del manuscrito, y por las sugerencias realizadas.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ADAMOLI, J.; NEUMANN, R; RATIER DE COLINA, A; y MORELLO, J.: El Chaco Aluvial Salteño. Revista de investigaciones agropecuarias, INTA, Bs. As. República Argentina. Serie 3, Clima y Suelo. Vol. IX, N° 5, 1972.

BIANCHI, A.: Regiones productivas de Salta y Jujuy. INTA. Panorama Agropecuario. Año XIV, N° 41, 1992.

CHEBLI, G. y SPALLETTI, L., 1987. Editores. Cuencas Sedimentarias Argentinas. Simposio del X Congreso Geológico Argentino. Tucumán.

NADIR, A. Y CHAFATINOS, T., 1990. Los suelos del N.O.A. (Salta y Jujuy). Tomo I, II y III. Salta, Argentina.

MINGRAM, A.; RUSSO, A; POZZO, A. Y CAZAU, L. 1976. Sierras Subandinas. Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba. Tomo I. Pág.:95-137.

ZAPATER, M.: Esquema Fitogeográfico de la Provincia de Salta. Salta, Setiembre de 1985.

Curriculum Resumido

Jorge Washington Albeiro: Licenciado en Geología, Universidad Nacional de San Juan (1984). Postgrado del Instituto Superior de Exploración Petrolera (UNC, 1985-1986), y Técnico Universitario en Perforaciones de la UNSa, Sede Regional Tartagal, Salta (1990). Luego de un breve periodo en la actividad privada, ingreso a YPF en el Distrito Geológico Norte en Campamento Vespucio (Salta), desarrollando actividades como Geólogo de Subsuelo entre 1986 y 1993, fecha en que se desvinculo de la empresa. Como consultor privado desde 1993, ha desarrollado actividades como supervisor de workover, en las principales áreas de YPF en la Cuenca Neuquina, y en las áreas de Pluspetrol, Tecpetrol y CGC en Salta. Ha trabajado como geólogo Wellsite en la Cuenca Paleozoica del Noroeste, para la Cía CGC, Tecpetrol, Shell y para Pluspetrol en el área del Yacimiento Ramos, y también en la Cuenca Neuquina. A nivel Internacional ha trabajado en el proyecto Margarita de la Cía Maxus en Bolivia, en el Proyecto Maracanau de la Cuenca Potiguar en Brasil, para el consorcio Tecpetrol-Petrobras y para el Consorcio Pluspetrol Perú Corporation, que lleva adelante el proyecto de desarrollo de Gas de Camisea. En la actualidad se desempeña como Geólogo Wellsite para la Cia Occidental Petrolera del Peru, adquiriendo amplia experiencia en la perforación de pozos en áreas particularmente sensibles desde el punto de vista ambiental. En asociación con la Lic. Liliana Berango, ha realizado diferentes trabajos de EIA en áreas de selva, y durante diecinueve años ha sido docente de la Carrera de Técnico Universitario en Perforaciones. UNSa-Sede Tartagal.

Liliana Judit Berango: Licenciado en Geología de la Universidad Nacional de San Juan (1992) . En asociación con el Lic. Jorge Albeiro, ha realizado diferentes trabajos de EIA en áreas de selva del noroeste argentino. Ha sido docente de la Carrera de Técnico Universitario en Perforaciones de la UNSa-Sede Tartagal durante diez años.