

DISPOSICION DE AGUA DE FORMACION

Autores : Ings. Gerardo Alvarez / Mario Mauricio
Empresa : Pluspetrol Perú Corporation – Sucursal del Perú

Est. CONGRESOS

SUMARIO

Pluspetrol Perú Corporation esta desarrollando actividades en el Lote 8 de la Selva Peruana (Figura N° 1), desde el año 1996. El mecanismo de producción de los reservorios es por impulsión de agua (strong water drive), siendo la salinidad del agua de formación alta.

En el reservorio receptor de agua Miembro Inferior de la Formación Corrientes, se han realizado pruebas de inyectividad, del cual se concluye que es factible inyectar agua de formación tratada y filtrada.

El agua producida del Yacimiento Pavayacu, ha sido sometida a análisis fisico-químico, análisis de compatibilidad, tendencias de incrustamiento, etc. De los resultados se concluye que es factible, previo filtrado y tratamiento, inyectar esta agua de producción.

Los estudios geológicos y de reservorios concluyen que la Formación Corrientes es un excelente receptor de agua, por sus características petrofísicas (altas porosidades y permeabilidades), su continuidad y buen espesor.

Durante el mes de Mayo 1998, se recibió un oficio del Ministerio de Energía y Minas – Dirección General de Hidrocarburos y de Medio Ambiente, que autoriza la ejecución del proyecto Piloto de Disposición de Agua en la Fm. Corrientes del Yacimiento Pavayacu.

Actualmente se está realizando el estudio de Factibilidad correspondiente.

I.- INTRODUCCION

El Lote 8 está ubicado a aproximadamente 1400 Kms al Noreste de la Ciudad de Lima.

La producción actual en promedio, proveniente de 67 pozos en cinco yacimientos es de 27,000 BOPD x 180,000 BWPD (Figura N° 2), 59 pozos están ubicados en los Yacimientos de Corrientes y Pavayacu, que aportan el

90% del total de producción de agua salada, cuya salinidad varía entre 50,000 y 80,000 ppm de cloruros.

El mecanismo de producción predominante de estos reservorios es de Impulsión por Agua (strong water drive). El sistema de extracción es a través de Bombas Electrocentrífugas, desde el inicio de la vida productiva de los pozos.

Actualmente el agua salada, previo tratamiento con separación mecánica y química, es arrojada a los ríos. Se efectúa un monitoreo mensual con reporte a la autoridad competente, cuyo resultado nos indica no causar daño al ambiente. Asimismo, existe una autorización para emplear este sistema.

PLUSPETROL quiere establecer un nuevo sistema acorde con la tecnología actual y en resguardo de una mejora en los estándares de vida de los pobladores de las comunidades nativas, para ello ha emprendido acciones tendientes a disponer el agua en formaciones de subsuelo, acorde también con prácticas internacionales de protección al Medio Ambiente.

Por ello se han realizado pruebas de inyectividad en los reservorios factibles de ser receptores de agua producida; inicialmente se efectuó prueba de inyectividad en los reservorios Vivian y Pozo Basal (profundidades mayores a 2400 metros), encontrándose que la admisión requiere de altas presiones en cabeza de pozo, para caudales relativamente bajos.

Posteriormente, en Enero de 1998, en la Fm. Corrientes del Yacimiento Pavayacu, se realizó una prueba de inyectividad con agua de formación parcialmente filtrada, no tratada, resultando que este reservorio puede admitir volúmenes de hasta 50,000 BWPD a presiones moderadamente bajas (200 psi).

Con estos últimos resultados, se ha iniciado a preparar el Estudio de Factibilidad del Proyecto de Disposición de Agua en el Yacimiento Pavayacu, Formación Corrientes.

II.- DESCRIPCION GEOLOGICA Y DE RESERVORIOS

La formación Corrientes tiene una amplia distribución areal en la Cuenca Maraón, esta compuesta principalmente por arenas y conglomerados no consolidados con porosidades mayores de 30% y permeabilidad del orden de 5 darcies a más, intercalados, en menor proporción, por lodolitas, arcillitas, limolitas y margas.

Regionalmente esta unidad se divide en tres miembros: Superior, Medio e Inferior. El Miembro Superior es principalmente arenoso, el Miembro Medio

es arcilloso y en el Miembro Inferior la proporción de arcillas sobre las arenas es ligeramente mayor. El Miembro Medio tiene extensión regional, pero en el flanco Este del yacimiento Pavayacu es discontinuo, poniendo en contacto los reservorios de los Miembros Inferior y Superior.

Los Miembros Superior e Inferior son reservorios de agua fresca, hidráulicamente comunicados, cuyas aguas subterráneas se desplazan lentamente en dirección Sureste. La presencia del Miembro Medio en el flanco Oeste del yacimiento, con espesores de hasta 22 mts de arcillas, lodolitas y margas impermeables, separa estos dos reservorios, favoreciendo la posibilidad de efectuar en esta área proyectos de inyección de agua en el Miembro Inferior.

Se ha efectuado estudios de muestras de roca de la formación Corrientes para determinar las características geológicas del reservorio y detectar tipos y cantidades de minerales que podrían tener un efecto adverso en la inyectividad.

III.- PRUEBAS DE INYECTIVIDAD

Se ha efectuado múltiples esfuerzos para determinar reservorios potenciales para ser receptores de agua salada producida por los pozos de petróleo.

Resultados Pruebas de Inyectividad en Reservorios Vivian y Pozo Basal.

Entre Setiembre y Octubre de 1997, en los reservorios Vivian y Pozo Basal de los Yacimientos Corrientes y Pavayacu, se han ejecutado pruebas de inyectividad, obteniéndose presiones muy altas de inyección, del orden de 2000 psi y caudales de 12,000 BWPD.

Con estos resultados la implementación de proyectos de disposición de agua sería muy oneroso y de alto costo para la Empresa.

Resultados Pruebas de Inyectividad en Formación Corrientes.

Durante el primer trimestre del presente año, culminaron las pruebas de inyectividad en los Yacimientos Corrientes y Pavayacu, lográndose excelentes resultados de inyectividad.

Evaluación en Yacimiento Pavayacu.

Para hacer la evaluación correspondiente, se seleccionó un pozo temporalmente abandonado desde el año 1994.

El baleo para la prueba de inyectividad fue de 5 tiros/pie, el espesor abierto fue de 21 mts. Previo al baleo se tomó registro de cementación CBL – VDL – GR – CCL, con el cual se seleccionaron los intervalos a abrir.

La primera apertura se hizo en casing de 9 5/8", se baleó 12 mts de espesor. Los resultados mostraron que la inyección alcanzó un volumen de 18,000 BWPD, a presiones de 730 psi en promedio.

Posteriormente se abrieron intervalos superiores (9 mts) de la Fm. Corrientes en doble casing 9 5/8" y 13 3/8" y la admisión fue de 28,000 BWPD con una presión promedio de 700 psi.

En ambas pruebas la parte desfavorable fue la pérdida de presión por fricción, tanto en la línea de inyección en superficie (2"), como en la entrada al pozo. También hubo problemas en la succión de las bombas para inyección.

Evaluación en Yacimiento Corrientes.

A fines de Febrero de 1998, se efectuó una nueva prueba de inyectividad, para ello se seleccionó un pozo cerrado temporalmente.

Los resultados en este caso fueron mucho mejores que en Pavayacu, se alcanzó una inyectividad de 40,000 BWPD a una presión en cabeza de 200 psi (Figura N° 3).

En este caso, la apertura (25 mts), se efectuó en casing de 9 5/8" y se baleó a 12 tiros/pie, con cañones bajados con tubería (TCP), under-balance. Otra ventaja fue que la entrada al pozo en el cabezal fue de 3 1/2", se instalaron dos líneas de 2" conectadas de las bombas de desplazamiento al cabezal. Esto hizo que se minimizará la pérdida de presión por fricción.

La Figura N° 4 presenta el esquema de completación del pozo y los intervalos abiertos).

Con estos excelentes resultados, se procedió a efectuar los estudios detallados geológicos, de reservorios y de fluidos, teniendo conocimiento que la información de la Fm. Corrientes es limitada en el Lote 8.

Se ha efectuado análisis físico-químicos del agua de formación y su compatibilidad con el agua del reservorio receptor, obteniéndose resultados favorables, haciendo viable el proyecto de Disposición de Agua en el Yacimiento Pavayacu - Formación Corrientes.

IV.- HIDROGEOLOGIA

Hidrografía.-

El Yacimiento Pavayacu está situado entre los Ríos Corrientes y Tigre. Ambos ríos se unen a unos 100 Kms al sureste del yacimiento y continúan con el nombre del Río Tigre, hasta desembocar en la margen izquierda del Río Marañón.

Una característica de la mayoría de los ríos del área es su poca pendiente.

Agua producida en la Selva Peruana

Desde los inicios de explotación de petróleo en la Selva, el agua producida previo tratamiento, ha sido vertida a los ríos. En algunos casos el agua se envió a las partes bajas de la zona, originando problemas con la fauna y flora, ello debido a la falta de infraestructura.

Conforme a pasado el tiempo el tratamiento del agua producida ha sido más controlada, cubriendo requisitos de las Leyes en el Perú.

La Figura N° 5, muestra un ejemplo del trabajo de reforestación y mejora de la zona afectada por el agua producida.

Cuenca Hidrográfica, Dirección y Gradiente de Drenaje.-

Los acuíferos de la Fm. Corrientes reciben recarga, a través de sus afloramientos, de la abundante precipitación pluvial que cae sobre amplias áreas al noroeste de Pavayacu y que ocurre principalmente de mayo a diciembre de cada año.

El ingreso de agua meteórica en las áreas de afloramiento de la Fm. Corrientes, es compensado por la descarga natural como flujo subterráneo en las áreas de menor elevación del sureste, como filtraciones en superficie a lo largo de los Ríos Corrientes, Tigre y Amazonas y en las quebradas ó riachuelos tributarios y como evapotranspiración a través de la exuberante vegetación de la selva.

Acuíferos Presentes.-

En el Miembro Superior de la Fm. Corrientes, el predominio de areniscas poco consolidadas y la presencia subordinada de arcillitas y lodolitas, cuya distribución areal no alcanza a cubrir los límites de la Estructura Pavayacu, indican que dichas areniscas constituyen un sólo reservorio saturado de agua.

El Miembro Inferior de la Fm. Corrientes, muestra también saturación de agua dulce, como se deduce a partir de los registros eléctricos, los cuales exhiben la típica inversión de la curva de SP y altos valores de resistividad frente a los cuerpos de areniscas. Este hecho podría indicar que ambos miembros de la Formación Corrientes mantienen interconexión hidráulica y funcionan como un solo acuífero. Sin embargo, la presencia del Miembro arcilloso Corrientes Medio, que abarca unos dos tercios (2/3) del área de la estructura y la ocurrencia de una mayor proporción de intervalos arcillosos en el Miembro Inferior podría estar separando ambos acuíferos, al menos en una escala local.

Nivel Freático.-

La superficie superior de la zona de saturación del acuífero es libre y en contacto con la presión atmosférica (nivel freático) y se encuentra a una profundidad de entre 45 y 50 metros por debajo de la superficie del terreno.

Calidad del Agua (reservorio receptor).-

El análisis del agua existente almacenada en la Formación Corrientes, indica que es dulce y es la que discurre por los ríos y riachuelos del área. Un análisis representativo de la calidad del agua se muestra en la Tabla N° 1.

Presiones.-

La presión hidrostática en las arenas del Miembro Inferior se ha calculado en 292 psi a 250 mts de profundidad. La presión litostática correspondiente a esta profundidad es de 780 a 920 psi, dependiendo de la densidad que se considere para la columna de sedimentos.

Para las arenas basales del Miembro Superior, la presión hidrostática calculada es de 203 psi a 188 mts de profundidad. La presión litostática correspondiente a esta profundidad es de 590 a 700 psi.

V.- ANALISIS FISICO - QUIMICO DE LOS FLUIDOS

En el agua producida en la Batería N° 9, no se observa contenido del ion fierro; todas las muestras presentan valores relativamente bajos de iones bicarbonato y sulfato, reduciéndose el riesgo de formación de sales insolubles de sulfato, carbonato de calcio y magnesio.

Se ha efectuado análisis fisico-químico, pruebas de filtración a través de membrana Milipore, a las aguas de formación producidas en las Baterías 5 y 9. Se ha efectuado pruebas de compatibilidad con el reservorio receptor de agua.

Los resultados indican que previo tratamiento, será posible su inyección sin que cause problemas en el reservorio receptor de agua. No se observa signos de incompatibilidad de aguas en todas las mezclas efectuadas.

El rango en el contenido de aceite varía entre 150 y 220 ppm, y constituye un problema a resolver. La presencia de aceite en el agua de inyección : reduce el grado de filtrabilidad del agua a ser inyectada, constituye un medio de aglutinación de sólidos reduciendo la permeabilidad en la cara de la formación inmediata a la pared del pozo y cambia la mojabilidad de la arena de la formación receptora, reduciendo la permeabilidad al agua.

La presencia de aceite, definitivamente debe ser eliminada, en lo posible mediante la instalación de tanques desnatadores provistos de un colchón superior de gas para evitar el contacto del agua con el oxígeno atmosférico y la aplicación de un clarificador químico adecuado. La instalación de otro tipo de equipo como : filtros multi-cama, celdas de flotación con gas, hidrociclones y otros, es también una alternativa válida.

Los resultados de los cultivos indican concentraciones que fluctúan entre 1 a 10 colonias/ml, lo cual se considera aceptable. Adicionalmente la concentración del ión sulfato es relativamente baja, tanto en las aguas a ser inyectadas como en las aguas receptoras, y no se espera un desarrollo preocupante de bacteria sulfato reductora en el agua del reservorio. Sin embargo, será necesario aplicar tratamientos periódicos preventivos con biocidas adecuados.

Se ha efectuado análisis para la determinación de tendencias de incrustamiento en las aguas producidas en las Baterías N° 5 y 9. Muestras de la Batería N° 9, exhiben tendencias muy leves al incrustamiento por carbonato de calcio. En cuanto a la posibilidad de incrustamiento por sulfato de calcio, no existe tendencia a la formación de este tipo de incrustamiento. Los límites de solubilidad exceden largamente la concentración actual de sulfato de calcio.

De manera similar, no existe posibilidad de formación de sulfato de bario y estroncio al no haberse detectado la presencia de bario y estroncio en las aguas producidas en la Batería N° 9. El bario tiende a formar incrustaciones muy difíciles de remover.

Previo tratamiento por carbonato de calcio, la calidad del agua estará lista para su inyección al reservorio receptor.

Por lo anterior y bajo condiciones económicas aceptables, se efectuará el tratamiento adecuado, a fin de que no haya problemas durante el tiempo que dure el proyecto.

La Tabla N° 2 muestra los análisis del agua de salada de formación en la Bateria N° 9.

VI.- FACTIBILIDAD PROYECTO DE DISPOSICION DE AGUA

El análisis geológico efectuado a partir de los pozos perforados en el Yacimiento Pavayacu ha permitido establecer, en los primeros 350 mts de profundidad, la presencia de dos secuencias con características de reservorios: los Miembros Superior e Inferior de la Formación Corrientes, los cuales conformarían un solo reservorio, saturado con agua fresca.

El Miembro Inferior muestra una sección permeable promedio de 15 mts y valores máximos hasta de 25 mts, con porosidad y permeabilidad estimadas en 30% y 5 darcies, respectivamente. Si bien este miembro no se extiende uniformemente en todo el yacimiento, se interpreta que parte de la sección permeable tiene una amplia distribución, con buen desarrollo en el flanco oeste de la Estructura de Pavayacu.

El Miembro Medio constituye una unidad sello para el reservorio del Miembro Inferior, pero su distribución areal no es continua; sin embargo, en el flanco oeste del Yacimiento muestra una continuidad areal mayor a los 9 Km², lo cual constituye un aspecto importante para el análisis de la capacidad de almacenamiento y disposición de aguas.

Capacidad de Almacenamiento de Fluidos.-

La porosidad, el espesor permeable de la secuencia y su extensión areal, determinan la cantidad de fluido que puede almacenarse en un reservorio. Como se trata de secuencias depositadas recientemente no se espera la presencia de fracturamiento natural, que pueda alterar la porosidad y permeabilidad, por lo que se consideran reservorios homogéneos en los cuales la eficiencia de inyección de fluidos debe ser alta.

La capacidad de almacenamiento de fluidos en el área de los pozos perforados en el Yacimiento Pavayacu es:

<u>Reservorio</u>	<u>Capacidad (MM Bls)</u>
Corrientes Inferior	943
Corrientes Superior	5976
Total Formación Corrientes	6920

Capacidad de Almacenamiento de Fluidos Adicionales.-

En el Yacimiento Pavayacu las secuencias correspondientes a los Mbos. Inferior y Superior son reservorios continuos, de amplia extensión areal, buena porosidad y permeabilidad y buen espesor. La disposición de volúmenes de agua mediante inyección es factible debido a la facilidad de desplazar el fluido insitu del reservorio por el fluido a inyectarse.

La capacidad de almacenamiento se ha estimado tanto para la sección permeable del Miembro Inferior como para el Miembro Superior. Se ha considerado valores mínimos en porosidad y sección permeable, con la finalidad de evitar resultados que podrían generar altos riesgos de contaminación.

Para definir la capacidad de almacenamiento adicional en el área de Pavayacu, se ha considerado como base un volumen de agua salada de 182.5×10^6 barriles, equivalentemente a un régimen de inyección de 50,000 barriles por día durante 10 años.

El volumen total a inyectarse puede ser contenido en la unidad permeable del Miembro Inferior en un área de 6.45 Km^2 , en una sección neta permeable promedio de 15 mts y con una porosidad de 30%.

En el caso del Miembro Superior el área sería de 3.87 Km^2 , para una sección neta permeable de 25 mts con una porosidad de 30%.

De disponer el volumen total de ambas secuencias, a razón de 50% del volumen en cada una, el área a utilizar sería 3.22 Km^2 en el Miembro Inferior y de 1.93 Km^2 en la sección correspondiente al Miembro Superior.

Si se compara el total de volumen a inyectarse con respecto a la capacidad de almacenamiento de fluidos de los Miembros Inferior y Superior de la Formación Corrientes obtenidos en el acápite precedente, se tiene que sólo será afectada el 19.3 y 3%, respectivamente, de la capacidad de almacenamiento de dichos reservorios.

Presión de Inyección.-

Para determinar la viabilidad del proyecto de inyección de fluidos adicionales se ha asumido que la parte del reservorio, a ser usado para disposición de agua, se encuentra 50 mts bajo el nivel del mar ó 250 mts bajo el nivel del Río Corrientes, que corresponde a la sección permeable del Miembro Inferior, en la cual se espera obtener mínimo riesgo de contaminación.

La presión del reservorio a nivel de la zona de inyección se estima igual a la presión hidrostática, es decir 292 psi.

En Pavayacu, debido a la baja presión del reservorio (292 psi), no es posible utilizar altas presiones para la inyección de fluidos, de manera que para inyectar volúmenes de 50,000 bls/día, se tendrán que utilizar los parámetros que influyen en el caudal, entre los cuales uno de los más importantes es el área de exposición al flujo de inyección. Para este fin se requiere que un pozo de inyección sea completado, con la mayor área posible para la inyección de fluidos.

Considerando un pozo completado con forros de rejilla ranurada, la inyección de 50,000 bls/día en una sección permeable de 15 mts sólo sería factible aplicando una diferencial de presión inicial de aproximadamente 225 psi. Esta presión se considera moderadamente alta para este tipo de reservorio, teniendo en cuenta que para continuar inyectando el mismo caudal, se tendrá que incrementar la presión conforme al tiempo de inyección, como se analiza a continuación:

La variación de la presión con el tiempo de inyección a caudales constante ha sido estimada simulando el tipo de reservorio y los parámetros petrofísicos indicados en las secciones anteriores.

Considerando volúmenes constantes de inyección de 50,000 bls/día, durante 10 años, en una sección permeable de espesor de 15 mts, la presión en el pozo, a la profundidad del intervalo de inyección estaría variando entre 297 y 325 psi. Ello constituye un bajo a moderado riesgo en la contaminación de las aguas superficiales.

Proyecto de Inyección en el Area de Pavayacu.-

Se han efectuado diferentes opciones, para el proceso de inyección. En todos los casos los parámetros constantes son los siguientes:

Forros de completación : 13 3/8"

Porosidad (%) : 30

Permeabilidad (darcies) : 5

Viscosidad (cp) : 0.85

La descripción de cada caso se explica a continuación:

Caso 1.- Pozo inyector en las arenas permeables del Miembro Inferior.

- Caso 2.- Pozo inyector en las arenas permeables del Miembro Inferior, con presiones de inyección de aproximadamente 200 psi.
- Caso 3.- Pozo inyector a la parte basal 25 metros del Miembro Superior.
- Caso 4.- Pozo de inyección en la parte basal del Miembro Superior (25 m) y en las arenas permeables del Miembro Inferior (15 m).

Descripción	CASOS			
	I.	II.	III...	IV...
Reservorio Corrientes	Inf.	Inf.	Sup.	Inf. - Sup.
Profundidad (mts)	250	250	188	188 / 250
Presión Reserv (psi)	292	292	203	203 / 292
Arena Neta (mts)	15	15	25	40
Max. Caudal(MBls/día)	50	30.8	50	50

Del análisis de los casos, se concluye que la inyección de un volumen base de 50,000 bls/día durante 10 años, en condiciones de menor riesgo posible de contaminación de las aguas superficiales, es factible a través de por lo menos dos pozos de inyección en los intervalos de arenas correspondientes al Miembro Inferior de la Fm. Corrientes. La inyección de agua salada en el Miembro Superior también es factible pero involucra un posible mayor riesgo de contaminación.

Pozos de Inyección en el Yacimiento Pavayacu.-

La ubicación de los dos pozos de inyección, se hará en el flanco oeste de la Estructura Pavayacu, en donde el Miembro Inferior tiene el mayor espesor permeable y el Miembro Medio es aceptablemente extenso y potente, lo que disminuirá el riesgo de contaminación del acuífero del Miembro Superior.

La profundidad final estimada de los pozos es de 350 mts hasta la sección superior de la Fm. Maraón. La zona de inyección será el reservorio del Miembro Inferior.

La inyección se efectuaría de acuerdo al Caso 2, con el cual se espera un máximo caudal de 30,800 bls/día por pozo y un volumen total de inyección por pozo en 10 años de 112 MM bls, las presiones no excederían de 200 psi al décimo año.

Con la perforación de estos dos pozos de inyección se alcanzaría el volumen de inyección base, con un mínimo riesgo de contaminación; no obstante es

necesario mantener un monitoreo continuo durante el proceso para evaluar el frente de desplazamiento.

VIII.-CONCLUSIONES

- 1.- La Fm. Corrientes tiene una amplia distribución areal en la Cuenca Maraón y alcanza su mejor desarrollo hacia el área de confluencia de los Ríos Maraón y Ucayali.
- 2.- A nivel regional la Fm. Corrientes se divide en tres Miembros : Superior, Medio e Inferior.

El Miembro Superior es principalmente arenoso, el Miembro Medio es arcilloso y en el Miembro Inferior la proporción de arcillas sobre las arenas es ligeramente mayor.

El Miembro Medio tiene extensión regional, pero en el flanco este del yacimiento Pavayacu, muestra discontinuidad, poniendo en contacto los reservorios de los Miembros Inferior y Superior.

- 3.- La parte superior del Miembro Superior aflora en el yacimiento Pavayacu, mientras que los Miembros Medio e Inferior se profundizan hacia el Sureste, sin posibilidad de afloramiento en las áreas cercanas.

- 4.- Las arenas reservorio de los Miembros Superior e Inferior se encuentran saturadas de agua dulce, indicando la presencia de un acuífero no confinado con un nivel freático a una profundidad entre 45 y 50 mts por debajo de la superficie del terreno. Esta profundidad esta controlada por el nivel del río principal más cercano que es el Río Corrientes.

- 5.- La presión hidrostática en las arenas del Miembro Inferior se ha calculado en 292 psi a 250 mts y la presión litostática correspondiente a ésta profundidad es de 780 a 920 psi.

En las arenas basales del Miembro Superior, la presión hidrostática calculada es de 203 psi a 188 mts y la presión litostática para esta profundidad es de 590 a 700 psi.

- 6.- El Miembro Inferior muestra una sección permeable promedio de 15 metros, con un máximo de hasta 25 mts.

El Miembro Superior tiene un espesor promedio de 120 mts.

La porosidad y permeabilidad en ambas secuencias se estima en 30% y 5 darcies, respectivamente.

- 7.- La capacidad de almacenamiento de fluidos en el Miembro Superior e Inferior es de $1,100 \times 10^6$ m³; de los cuales 150×10^6 m³ corresponden al Miembro Inferior y 950×10^6 m³ al Miembro Superior.
- 8.- Es factible la inyección de agua de formación en el Miembro Inferior de la Fm. Corrientes, sin riesgo de contaminación de las aguas superficiales, siempre que el proceso se efectúe con presiones moderadas que no excedan de 200 psi.
- 9.- Para una proyección de producción de agua salada tratada de 182 MM bls, equivalente a una producción diaria de 50,000 bls/día, durante 10 años, los análisis de presión y caudal de inyección indican que estos fluidos pueden ser inyectados por lo menos en dos pozos, los que pueden estar situados en la parte oeste del yacimiento.
- 10.- Los resultados físico-químicos indican que, el agua salada previo tratamiento, será posible inyectarla, sin que cause problemas en el reservorio receptor.

No se observa signos de incompatibilidad de aguas en todas las mezclas efectuadas.

- 11.- Las pruebas de inyectividad efectuadas en la Fm. Corrientes, han dado excelentes resultados. Se está efectuando la Planificación del Proyecto, considerando al reservorio Corrientes, como un buen receptor de agua de formación.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Subsurface Disposal in Geologic Basins – A study of Reservoir Strata. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 10, 1968. (Edited by John E. Galley).
- 2.- Underground Waste Management and Environmental Implications. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 18, 1972. (Edited by T. D. Cook).
- 3.- Fracturamiento Hidráulico, BJ Services, 1986, BJ Services Research and Technology.
- 4.- Applied Petroleum Reservoir Engineering, B. Craft, and M. Hawkins.
- 5.- Compaction and Fluid Migration. Practical Petroleum Geology. Magara, Kingi, 1978.
- 6.- Hydrology – Ground Water. Movement of Ground Water and Its Relation to Head, Permeability, and Storage, Meinzer, Oscar A. and Wenzel, Leland K., 1942,. (Edited by Oscar E. Meinzer)., p. 444 – 477.
- 7.- Hidrogeología. Stanley, Davis N. and De Wiest, Roger J.M., 1971.
- 8.- Subsurface Saltwater Injection and Disposal – Exploration and Production Department. American Petroleum Institute – 1995.
- 9.- Evaluación Geológica de la Formación Corrientes, para Proyectos de Disposición de Agua de Formación en el Yacimiento Pavayacu (Lote 8). Cia. Consultora de Petróleo – 1998.
- 10.- Tratamiento Químico en Sistemas de Inyección de Agua. A Baker Hughes Company.

RELACION DE TABLAS

Nº

DESCRIPCION

- 1.- Análisis de Agua de la Formación Corrientes.
- 2.- Análisis de Agua de Formación en Bateria Nº 9.

RELACION DE FIGURAS

Nº

DESCRIPCION

- 1.- Mapa del Perú con Ubicación del Lote 8.
- 2.- Mapa de Ubicación del Yacimiento Pavayacu.
- 3.- Gráfico de Prueba de Inyectividad en la Formación Corrientes del Yacimiento Corrientes.
- 4.- Esquema de Completación del Pozo Inyector y los Intervalos Abiertos.
- 5.- Esquema de la mejora realizada en una de las áreas del campo.

TABLA N° 1

ANALISIS FISICO - QUIMICO DEL AGUA

FORMACION CORRIENTES

COMPOSICION		mg/L	meq/L
Propiedades Fisicas :			
pH		7,3	
Gravedad Especifica		1,0	
Total de Sólidos Disueltos		98,0	
Sólidos Suspendidos		0,0	
Petróleo en Agua		0,0	
Aniones :			
Bicarbonato	HCO ₃	18,0	0,3
Cloruros	Cl	50,0	1,4
Sulfato	SO ₄	0,0	0,0
Carbonato	CO ₃	0,0	0,0
Sulfuro	S	0,0	0,0
Sílice	SiO ₂	0,4	0,0
Cationes :			
Dureza Total	CaCO ₃	68,0	1,4
Calcio	Ca	14,0	0,7
Magnesio	Mg	8,0	0,7
Sodio	Na	6,0	0,3
Fierro	Fe	2,0	0,1
Bario	Ba	0,0	0,0
Estroncio	Sr	0,0	0,0

TABLA N° 2

ANALISIS FISICO-QUIMICO - AGUA DE FORMACION

BATERIA N° 9 - YACIMIENTO PAVAYACU

COMPOSICION		mg/L	meq/L
Propiedades Fisicas :			
pH		6,3	
Gravedad Especifica		1,064	
Total de Sólidos Disueltos		92137,5	
Sólidos Suspendidos		3,8	
Petróleo en Agua		200,0	
Aniones :			
Bicarbonato	HCO ₃	220,0	3,6
Cloruros	Cl	56000,0	1579,7
Sulfato	SO ₄	440,0	9,2
Carbonato	CO ₃	0,0	0,0
Sulfuro	S	0,1	0,0
Sílice	SiO ₂	0,2	0,0
Cationes :			
Dureza Total	CaCO ₃	14700,0	294
Calcio	Ca	5120,0	255,5
Magnesio	Mg	464,9	38,2
Sodio	Na	29857,6	1298,7
Fierro	Fe	35,0	1,9
Bario	Ba	0,0	0,0
Estroncio	Sr	0,0	0,0

C:\user\analisis agua\poza api bat.9.xls

FIGURA N° 1

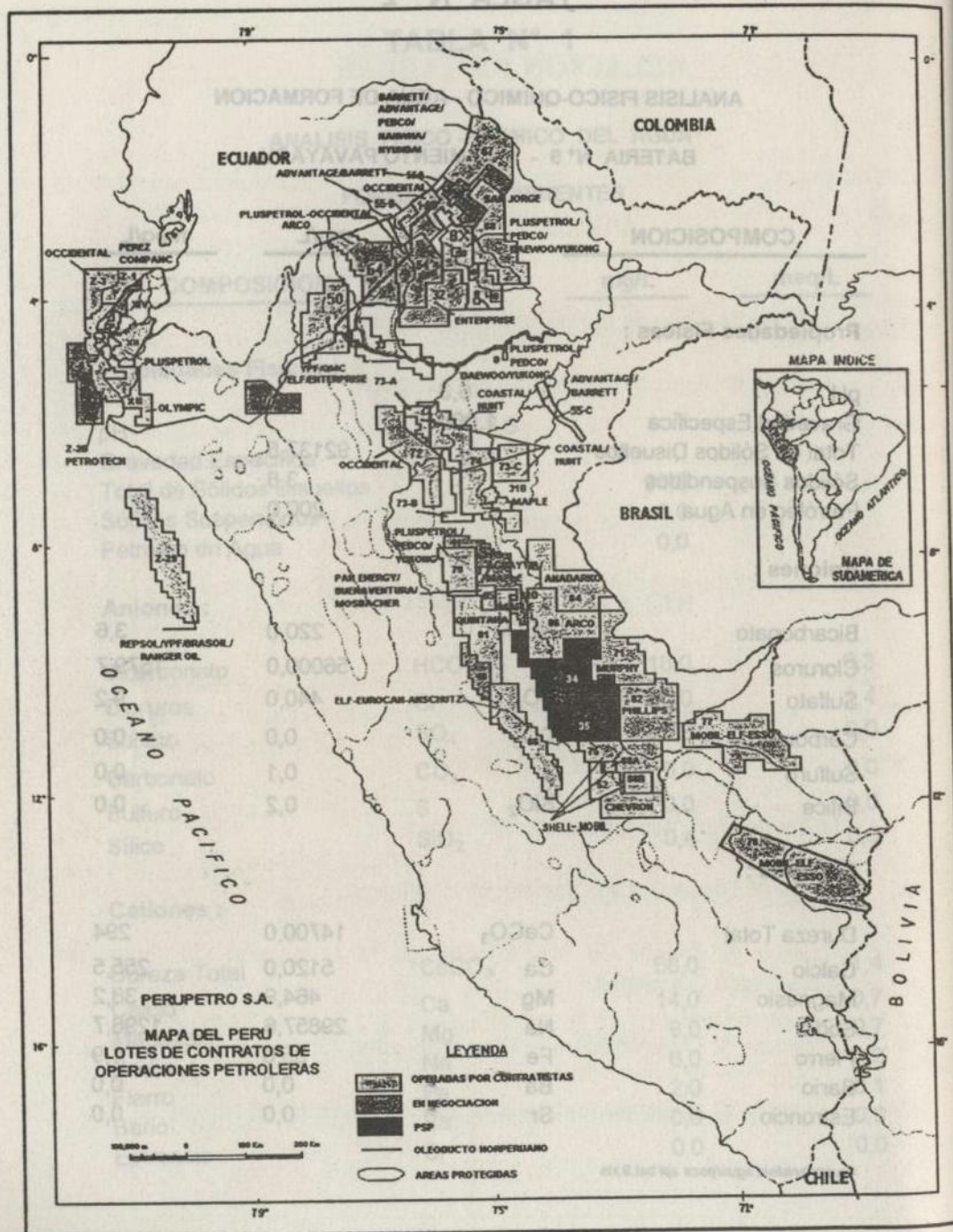


FIGURA N° 2

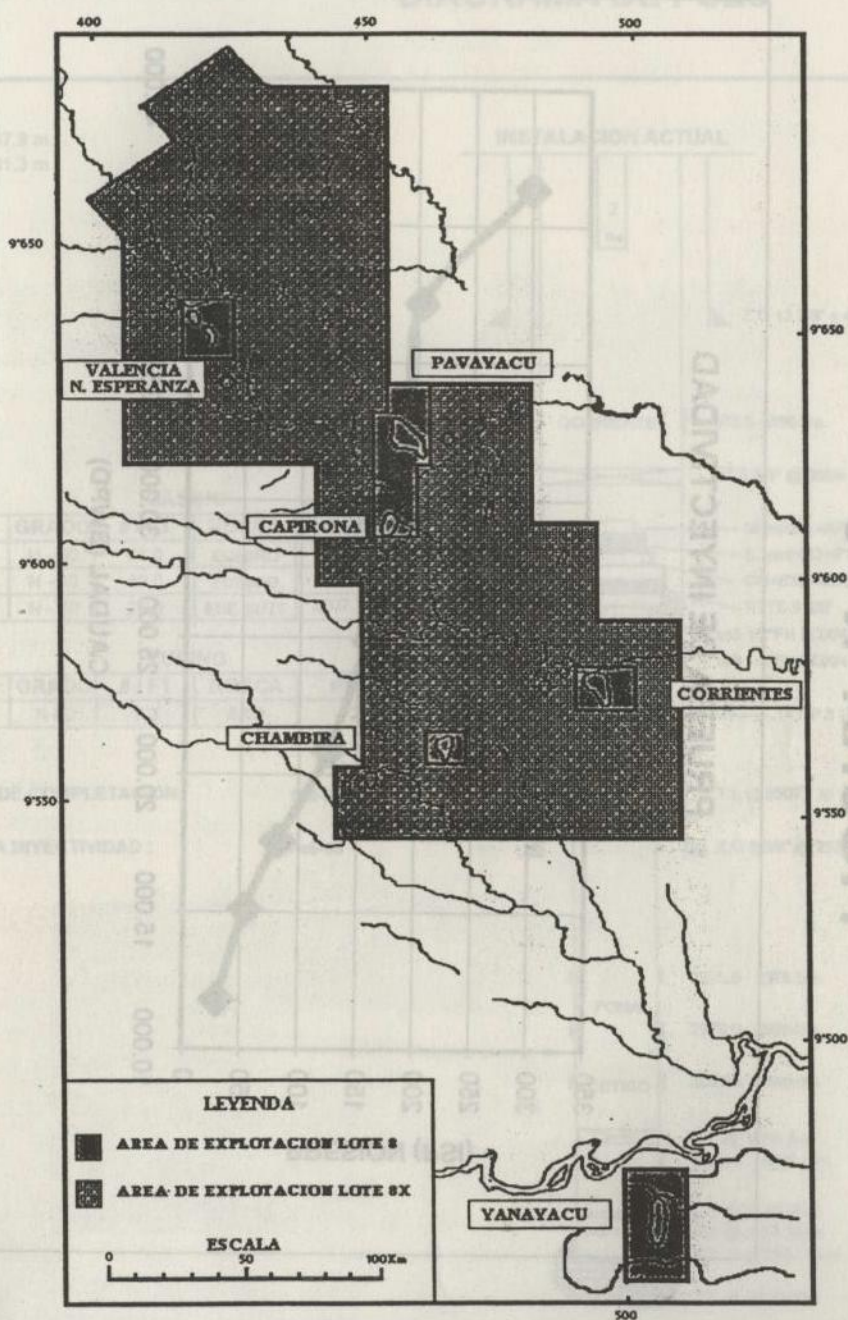


FIGURA N° 3

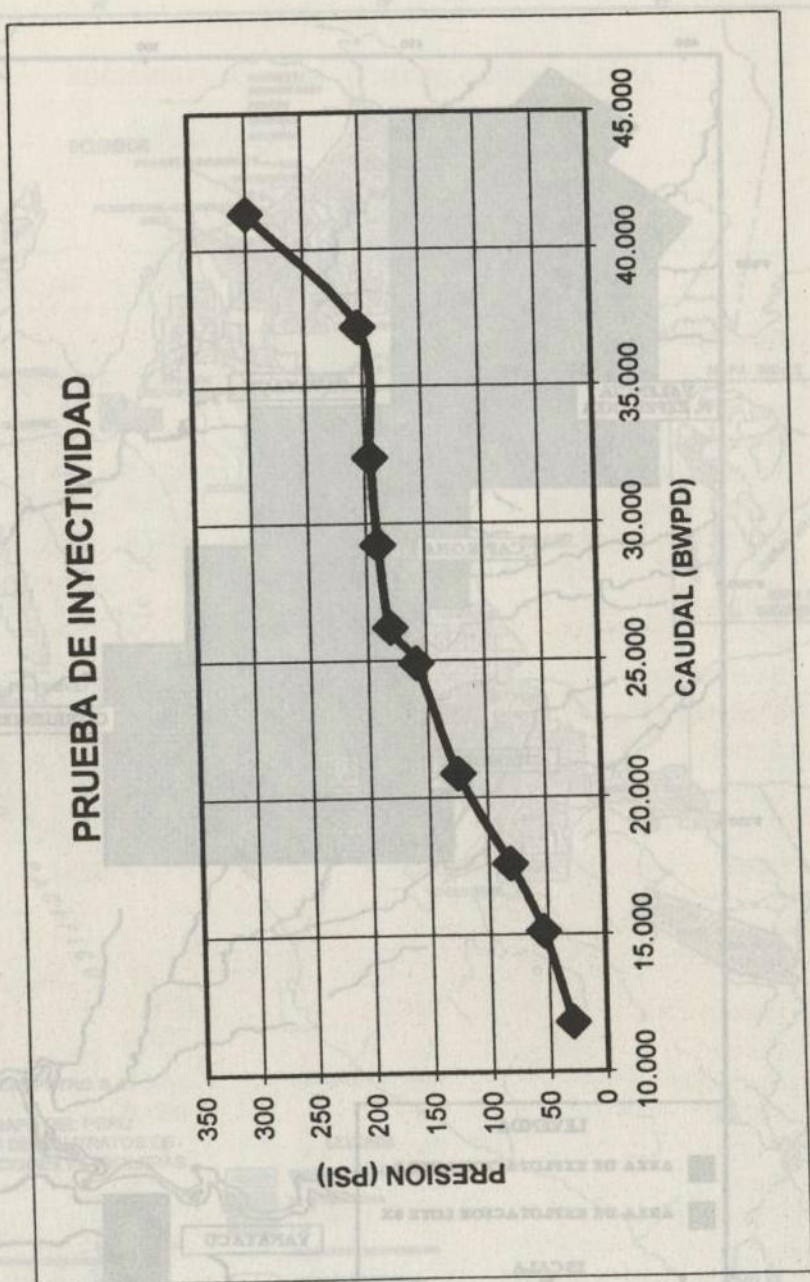


FIGURA N° 4

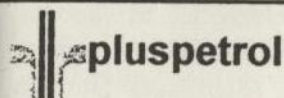


DIAGRAMA DE POZO

K.B : 137.9 m
G.L : 131.3 m

Varios países de América Latina utilizan niveles de acción que fueron establecidos para garantizar la salud humana, sin embargo, hoy día a nivel internacional se están realizando estudios de remediación de suelos y aguas subterráneas para determinar los niveles de acción de remediación de acuerdo a las condiciones generales de cada país y a las características específicas de cada sitio por algunos países de América Latina se han establecido los siguientes niveles de acción:

CASING

OD	GRADO	# / FT	ROSCA	PROFUN.
13 3/8"	H - 40	48,0	EUE8RD	448.5m
9 5/8"	N - 80	40,0	EUE8RD	2370.67m
7"	N - 80	29,0	EUE-BUTT	2307.7- 3164.0m

TUBING

OD	GRADO	# / FT	ROSCA	PROFUN.
3 1/2"	N-80	9,3	8RD	2 Tbg.

FECHA DE COMPLETACION: Set-92

PRUEBA INYECTIVIDAD : Feb-98

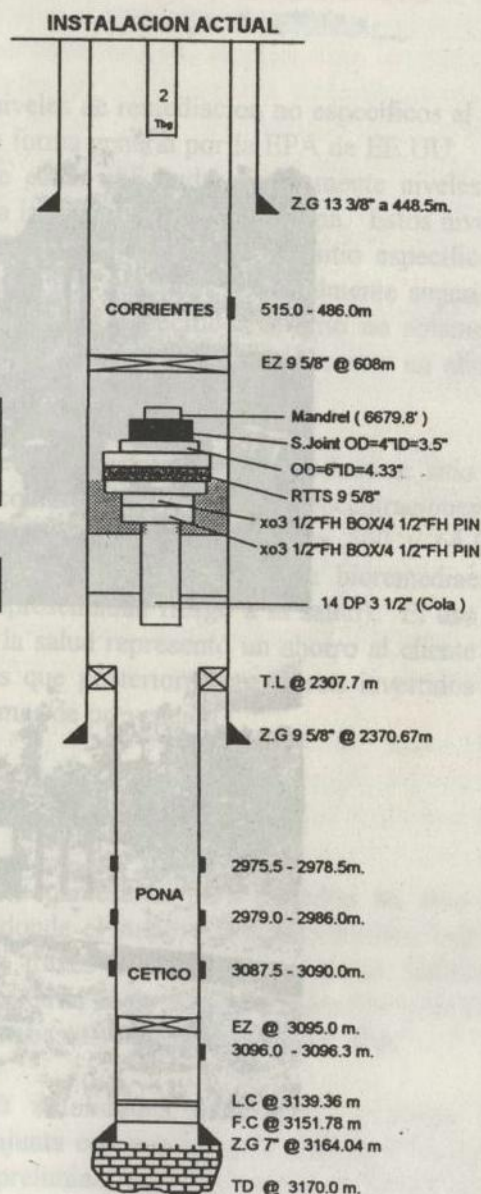


FIGURA N° 5

RESANE DE AREAS EN LA SELVA

