

I.- INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

La necesidad de ordenar los residuos generados por la humanidad, ha originado históricamente la preocupación de resolver el dilema de ¿qué hacemos?. Si revisamos la información oficial es posible dimensionar el tamaño del problema. La SECOFI maneja para 1997 una generación estimada de 12'731,647 toneladas anuales (*INTERNET, Sistema Nacional de Información Ambiental, INE*) de residuos industriales peligrosos, solamente en México y para tal efecto, se han propuesto infinidad de alternativas que pudiesen solucionar completamente este problema.

Las propuestas para resolver el problema han sido múltiples y variadas, entre las aportaciones realizadas por mentes inquietas se encuentran, por mencionar solo algunas;

- Alojjar los residuos en el fondo del mar
- Enviar los residuos a la Luna
- Reciclar los residuos a procesos industriales
- Confinar los residuos en áreas poco impactables, con bajo potencial de desarrollo humano y, en general, en condiciones naturales desfavorables para su uso en otros fines.

El presente trabajo está enfocado a aportar soluciones de este último tipo, en una área en particular.

1.2 Antecedentes

En México, actualmente existen dos áreas funcionando, en donde se efectúan actividades de confinamiento de residuos industriales peligrosos; la más antigua se sitúa en el Municipio de Mina, Nuevo León, y el otro cerca de Hermosillo, Sonora (José Alfredo Núñez Cantú – Comunicación Personal).

A su vez, existen en proyecto con su acreditación avanzada, algunos otros sitios; tal es el caso de Guadalcázar, San Luis Potosí, General Cepeda, Coahuila (http://www.ine.gob.mx/dgoeia/p_espec/priori.html, 23/03/98) y para el presente caso, en Méndez, Tamaulipas; cabe mencionar que dichos proyectos presentan similitud con los confinamientos anteriormente mencionados, en relación a que planean recibir residuos industriales peligrosos para su eventual confinamiento.

Sin embargo, existen otros lugares en México (ej. ACUMEX, Ciénega de Flores, N.L.) en donde se efectúan confinamientos en el interior de

algunas plantas que cuentan con celdas revestidas, pero que aparentemente no confinan residuos llegados del exterior. También debe de existir una serie de confinamientos clandestinos no controlados.

De acuerdo con la información del INE (Instituto Nacional de Ecología) consultada en *INTERNET*, actualmente el confinamiento de La Pedrera, en el municipio de Guadalcázar, S.L.P., presenta inactividad debido a que cuenta con la dificultad de realizar una remediación debido a que efectuaron confinamientos sin contar con un diseño adecuado del revestimiento.

De acuerdo con Teorema, 1997; el Atlas del Instituto Nacional de Ecología (INE) revela que exceptuando el Distrito Federal, Yucatán, Quintana Roo y Tlaxcala, en el resto de las entidades federativas del país existen áreas de diferentes dimensiones con vocación para la posible instalación (previo estudio de detalle) de Centros Integrales para el Manejo y Aprovechamiento de Residuos Industriales (CIMARI).

1.3 Objetivos y Alcances

El objetivo general de la presente tesis, es el de establecer la evaluación geohidrológica de dos alternativas específicas para, en su caso particular, determinar la factibilidad constructiva de un Centro Integral para el Manejo y Aprovechamiento de Residuos Industriales (CIMARI).

Los alcances particulares de la evaluación geohidrológica para ambas alternativas son los señalados por la norma ecológica establecida por la SEMARNAP (Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca) a través del INE (NOM-055-ECOL-1996) y cuyos puntos generales a definir son señalados en la sección 1.4

1.4 Normatividad Mexicana en materia Geohidrológica

El marco legal está constituido por las Disposiciones Constitucionales, las Leyes Federales, los Reglamentos y las Normas Oficiales Mexicanas. Referente al ámbito local, también se deben considerar las Leyes locales de Protección al Ambiente (Marco Legal de Residuos, Materiales y Sustancias Químicas, <http://www.ine.gob.mx/dgmrar/marco.htm>, 17/03/1998).

Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)

Es la Ley que reglamenta las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos referentes tanto a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, como a la protección del ambiente, en el territorio nacional y en las zonas sobre las que la nación ejerce soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), fue publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 28 de enero de 1988 y sus modificaciones también fueron publicadas en el DOF, el 13 de diciembre de 1996. La citada Ley se encuentra dividida en seis Títulos y compuesta por 204 Artículos, más 4 Artículos transitorios.

La LGEEPA cuenta con 3 Reglamentos en materia de: Impacto Ambiental, Residuos Peligrosos, Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera y 3 anexos indicados también como Reglamentos los cuales son: para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, para la Protección del Ambiente contra la contaminación originada por la Emisión de Ruido y para Prevenir y Controlar la Contaminación del Mar por vertimiento de desechos y otros materiales.

Los títulos que incluye la Ley, son los siguientes:

- *Título Primero*.- Disposiciones Generales
- *Título Segundo* Biodiversidad
- *Título Tercero* Aprovechamiento Sustentable de los Elementos Naturales
- *Título Cuarto* Protección al Ambiente
- *Título Quinto* Participación Social e Información Ambiental
- *Título Sexto* Medidas de Control y Seguridad y Sanciones

Dentro de Título Cuarto, Capítulo VI de la LGEEPA, se encuentra lo relativo a materiales y residuos peligrosos (artículos del 150 al 153).

La definición de residuo peligroso se encuentra en el artículo 3º fracción XXXII, del Título Primero, Capítulo I; que a la letra dice así: "Todos aquellos residuos en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológico-infecciosas, representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente".

En el Título I, Capítulo II, el Artículo 5° de la LGEEPA, se establecen como facultades de la federación las siguientes:

Fracción V.- La expedición de las Normas Oficiales Mexicanas,

Fracción VI.- "La regulación y el control de las actividades consideradas como altamente riesgosas y de la generación, manejo y disposición final de materiales y residuos peligrosos para el ambiente o los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales, de conformidad con esta Ley, otros ordenamientos aplicables y sus disposiciones reglamentarias".

Fracción X.- La evaluación del impacto ambiental de las obras o actividades a que se refiere el artículo 28 de la Ley, y en su caso la expedición de las autorizaciones correspondientes. En los casos de actividades altamente riesgosas se debe presentar además, un estudio de riesgo (Artículo 30 LGEEPA).

En el artículo 28 Fracción IV, del Título Primero, Capítulo IV, Sección V; se establece que es necesaria la autorización en materia de impacto ambiental de la SEMARNAP cuando se trate de instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos y la Fracción XIII para los casos de obras o actividades que correspondan a asuntos de competencia federal.

El Capítulo VI del Título Cuarto, está dedicado exclusivamente a los residuos peligrosos. El artículo 150 establece que el manejo de los materiales y residuos peligrosos se debe hacer de acuerdo con la Ley, su Reglamento y las Normas Oficiales Mexicanas que expida la SEMARNAP. Asimismo, establece que la regulación de esos materiales y residuos peligrosos incluirá, según corresponda, su uso, recolección, almacenamiento, transporte, reúso, reciclaje, tratamiento y disposición final.

En el Título IV, Capítulo VI, el artículo 151 determina que el manejo y disposición final de los residuos peligrosos corresponde a quien los genera, aún cuando se contrate los servicios de manejo y disposición final de los residuos peligrosos con empresas autorizadas por la Secretaría, caso en el que la responsabilidad es compartida. Asimismo, se establece que las personas que manejen residuos peligrosos deben de hacerlo del conocimiento de la SEMARNAP.

En el Título IV, Capítulo VI, el Artículo 151-Bis, establece que se requiere autorización previa de la SEMARNAP para operar e instalar sistemas de cualquier tipo de manejo de residuos peligrosos.

En el Título IV, Capítulo VI, el Artículo 152 se establece que la SEMARNAP promoverá programas tendientes a prevenir y reducir la generación de residuos peligrosos, así como a estimular su reuso y reciclaje.

En el Título IV, Capítulo VI, el artículo 152-Bis, dice que cuando la generación o manejo de residuos peligrosos produzca contaminación del suelo, los responsables de las operaciones deberán llevar a cabo las acciones necesarias para recuperar y restablecer las condiciones del mismo.

Finalmente, en el Título IV, Capítulo VI, el artículo 153 menciona las condiciones que deben observarse en la eventual importación y exportación de residuos peligrosos.

El Título Sexto, se refiere a las medidas de control y de seguridad y a las sanciones, específicamente en el Capítulo IV se establecen las sanciones administrativas (artículos del 171 al 175-Bis), así mismo en el Capítulo V se menciona el Recurso de Revocación (artículos del 176 al 181), mientras que en el Capítulo VI se establecen los Delitos de Orden Federal (artículos 182 y 188), y finalmente el Capítulo VII menciona la Denuncia Popular (artículos del 189 al 204).

Es importante citar que dentro del Título Quinto del Código Penal para el Distrito Federal en Materia de Fuero Común, y para toda la República en Materia de Fuero Federal, se encuentran ya tipificados los Delitos Ambientales (artículos del 414 al 423).

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos.

De la generación de residuos peligrosos

En el artículo 8° se establece que el generador de residuos peligrosos deberá:

- I. Inscribirse en el Registro que para tal efecto establezca la SEMARNAP,
- II. Llevar una bitácora mensual sobre la generación de sus residuos peligrosos;
- III. Dar a los residuos peligrosos el manejo previsto en el Reglamento y en las normas técnicas ecológicas correspondientes, actualmente normas oficiales mexicanas;
- IV. Manejar separadamente los residuos peligrosos que sean incompatibles en los términos de las normas técnicas

- ecológicas correspondientes, actualmente normas oficiales mexicanas;
- V. Envasar sus residuos peligrosos, en recipientes que reúnan las condiciones de seguridad previstas en este Reglamento y en las normas técnicas ecológicas correspondientes, actualmente normas oficiales mexicanas;
 - VI. Identificar a sus residuos peligrosos con las indicaciones previstas en esta Reglamento y en las normas técnicas ecológicas correspondientes, actualmente normas oficiales mexicanas;
 - VII. Almacenar sus residuos peligrosos en condiciones de seguridad y en áreas que reúnan los requisitos previstos en el presente Reglamento y en las normas técnicas ecológicas correspondientes, actualmente normas oficiales mexicanas;
 - VIII. Transportar sus residuos peligrosos en los vehículos que determine la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y bajo las condiciones previstas en este Reglamento y las normas técnicas ecológicas correspondientes, actualmente Normas Oficiales Mexicanas;
 - IX. Dar a sus residuos peligrosos el tratamiento que corresponda de acuerdo con lo dispuesto en el Reglamento y las normas técnicas ecológicas correspondientes, actualmente Normas Oficiales Mexicanas;
 - X. Dar a sus residuos peligrosos la disposición final que corresponda de acuerdo con los métodos previstos en el Reglamento y conforme a lo dispuesto en las normas técnicas ecológicas correspondientes, actualmente Normas Oficiales Mexicanas;
 - XI. Remitir a la SEMARNAP, en el formato que ésta determine, un informe semestral sobre los movimientos que hubiere efectuado con sus residuos peligrosos durante dicho periodo, y
 - XII. Las demás previstas en el Reglamento y en otras disposiciones aplicables.

Del manejo de residuos peligrosos

En el artículo 12 se establece que las personas autorizadas por parte de la SEMARNAP para instalar y operar sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final deberán presentar, previo al inicio de sus operaciones, lo siguiente:

- I. Un programa de capacitación del personal responsable del manejo de residuos peligrosos y del equipo relacionado con éste;
- II. La documentación que acredite al responsable técnico, y
- III. Un programa para la atención a contingencias.

Para lograr una mejor comprensión de los procedimientos necesarios, con el fin de obtener alguna autorización para el manejo de residuos peligrosos, en la Sección No. 2 de este documento, se encontrará la descripción de los requisitos a cumplir, así como los diagramas de flujo y la información que se debe presentar.

De la importación y exportación de residuos peligrosos

En el Artículo 45 de dicho Reglamento, se establece que la solicitud para obtener la autorización de importación o exportación de residuos peligrosos, deberá presentarse dentro de los 45 días hábiles anteriores a la fecha en que se pretenda realizar la operación de importación o exportación, cuando se trate de la primera operación y en 5 días hábiles en lo sucesivo, cuando se trate de un mismo residuo; para ello deberá contener los siguientes datos y anexos:

- I. Nombre, denominación o razón social y domicilio de quien pretenda importar los residuos;
- II. Nombre, denominación o razón social y domicilio del exportador de los residuos peligrosos y del propietario de los mismos;
- III. Nombre, denominación o razón social y domicilio del o de los transportistas y los datos de identificación de los vehículos a ser utilizados, incluyendo el modo de transportación y el tipo de contenedor a utilizar;
- IV. Nombre, denominación o razón social y domicilio del destinatario de los residuos peligrosos, lugar donde se les procesará, diagrama de flujo y descripción del proceso de reciclaje o reuso que se les dará y utilización lícita de la que serán objeto;
- V. Lista, composición y cantidad detallada de los residuos peligrosos que se pretenda importar o exportar;
- VI. Lugar de partida y destino de los transportes a utilizar y ruta que seguirá;
- VII. Puerto terrestre, marítimo o aéreo por donde se solicita el ingreso o salida de los residuos peligrosos en los casos de importación o exportación, respectivamente;

- VIII. Certificación de las autoridades competentes del país de procedencia, que indique el grado de peligrosidad de los residuos y los requisitos a cuyo cumplimiento se sujetará la autorización de exportación otorgada por las autoridades de dicho país y las medidas de protección;
 - IX. Copia de la documentación en trámite para obtener la autorización del país de destino, en caso de exportación de los residuos peligrosos o la de origen cuando se trate de importación, traducida al español y debidamente certificada y legalizada;
 - X. Descripción del proceso de generación de los residuos peligrosos y características del residuo que queda después del reciclaje;
 - XI. Relación detallada de otras autorizaciones, permisos o requisitos que se estén tramitando o hayan de ser satisfechos ante otras autoridades nacionales competentes en cumplimiento de otras leyes, reglamentos o disposiciones aplicables a la importación o exportación de que se trate, y
 - XII. Descripción de las medidas de emergencia que se tomarán en el caso de derrames en tránsito durante el transporte.
- Normas Oficiales Mexicanas para el manejo de residuos peligrosos, aprobadas por el Comité Consultivo Nacional de Normalización Para la Protección Ambiental y publicadas en el Diario Oficial de la Federación.
 - NOM-052-ECOL-1993, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente (antes NOM-CRP-001-ECOL/93). Es importante citar que esta NOM actualmente se encuentra en revisión.
 - NOM-053-ECOL-1993, que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente (antes NOM-CRP-002-ECOL/93).
 - NOM-054-ECOL-1993, que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993 (antes NOM-CPR-003-ECOL/93).
 - NOM-055-ECOL-1993, que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto los radiactivos (antes NOM-CPR-004-ECOL/93). Dicha Norma será sustituida por el actual

Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-055-ECOL-1996, que establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinarán al establecimiento de confinamientos controlados y Centros integrales para el manejo de residuos industriales peligrosos.

- NOM-056-ECOL-1993, que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos (antes NOM-CPR-005-ECOL/93). Es importante citar que esta NOM actualmente se encuentra en revisión en la cual también se incluirán las normas 057 y 058 – ECOL – 1993.
- NOM-057-ECOL-1993, que establece los requisitos que deben de observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos (antes NOM-CPR-006-ECOL/93). Se debe mencionar que esta NOM, en la actualidad se encuentra en revisión y en proceso de incluirse dentro de la NOM 056-ECOL-1993.
- NOM-058-ECOL-1993, que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos (antes NOM-CPR-007-ECOL/93). Conviene mencionar que esta NOM, actualmente se halla en revisión y en vías de incluirse en la NOM 056-ECOL-1993.
- NOM-087-ECOL-1993, que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico-infecciosos que se generan en establecimientos que prestan atención médica.
- Normas Oficiales Mexicanas 1997 para el manejo de residuos peligrosos y riesgo, en etapa de elaboración y/o modificación.
- Norma Oficial Mexicana NOM-090-ECOL-1994 que establece los requisitos para la ubicación, diseño, construcción y operación de presas de jales. (Esta por concluirse la revisión final de la Norma para su publicación como Norma Oficial Mexicana).
- Norma Oficial Mexicana NOM-101-ECOL-1996 que establece los requisitos y especificaciones para el manejo de lubricantes usados. (Esta por ser publicada como proyecto de Norma Oficial Mexicana).
- Norma Oficial Mexicana para el Manejo y Aprovechamiento de Solventes Residuales. (Esta por instalarse el grupo de trabajo que desarrollará el proyecto de Norma).

- Norma Oficial Mexicana que establece los requisitos de diseño, construcción, operación y monitoreo de un relleno sanitario. (Esta por ser publicada como Norma Oficial Mexicana).
- Anteproyecto de Norma para la reducción de envases usados y residuos de envases en sitios de disposición final de los residuos sólidos municipales.
- Proyecto de Norma Oficial Mexicana para el Almacenamiento de Residuos Peligrosos.
- Proyecto de Norma Oficial Mexicana que establece los requisitos para el Manejo y Disposición de Lodos provenientes de Plantas de Tratamiento. (Esta por instalarse el grupo de trabajo que desarrollará el proyecto de Norma).
- Proyecto de Norma Oficial Mexicana para el Manejo Integral de los Residuos provenientes de la extracción y/o beneficio de Yacimiento de minerales ferrosos y no metálicos. (Esta por instalarse el grupo de trabajo que desarrollará el proyecto de Norma).
- Norma Oficial Mexicana de los "Requerimientos Generales para el Manejo de Bifenilos Policlorados (BPC`s)".
- Norma Oficial Mexicana que establece los requisitos y especificaciones mínimas de seguridad y operación en la realización de actividades altamente riesgosas.
- Norma Oficial Mexicana que establece los requisitos para el diseño, construcción, operación, seguridad y mantenimiento de estaciones de servicio.
- Norma Oficial Mexicana para el manejo integral de sustancias peligrosas en establecimientos industriales, comerciales y de servicio.
- Norma Oficial Mexicana para el Transporte y resguardo de las sustancias peligrosas.

Es evidente, que el tema del Marco Legal que encuadra el tema de Residuos Peligrosos es amplio y hasta la fecha se continúa trabajando para afinar la normatividad basada en las Leyes Federales.

Particularizando en lo que respecta al tema de confinamientos, el presente trabajo de tesis está basado en la NOM-055-ECOL-1996, y específicamente los puntos de "Aspectos Generales" (4.2.3 ⇒Aspectos Geológicos y 4.2.4 ⇒Aspectos Hidrogeológicos) así como de "Procedimientos" (5.4 ⇒Estudios Geológicos y 5.5 ⇒Estudios Hidrogeológicos).

1.5 Metodos

Los métodos empleados para la determinación de las diferentes características geológicas e hidrogeológicas del terreno considerado para la revisión y evaluación de las especificaciones que señala la norma, son múltiples y variados.

Para hacer referencia de los métodos se propuso a la Comisión de Acreditación de Calidad Técnica en Aplicación de Instrumentos de Política Ambiental (para nuestro caso, representado por el Colegio de Ingenieros Geólogos de México, A.C.) las siguientes actividades generales con sus respectivas actividades específicas para cada requisito técnico con énfasis en la estructuración de conocer el modelo geológico e hidrogeológico de los sitios "Los Pescados" y "La Coraza".

Geología e Hidrogeología Regional.

En este tema, se contó con la valiosa colaboración del Geólogo Jim Whitcom, quien reporta en sus estudios del área un modelo bidimensional utilizando datos de la carta de Hidrología Subterránea G14-8 con escala 1:250,000; sin embargo, debido a la cantidad de datos estimados aleatoriamente, se reconsideró la necesidad de efectuar pruebas directas para afinar el modelo del terreno.

Geología del Sitio.

Las actividades específicas realizadas para establecer el modelo geológico de la alternativa "Los Pescados", consistió en efectuar recorridos en el área, elaborando perfiles geológicos sobre el Río Conchos, el arroyo La Resaca, los caminos de terracería, los linderos y por las brechas de empresas contratistas de PEMEX, la información obtenida se cotejó con los datos previamente publicados por el INEGI (carta geológica G14-8 con escala 1:250,000 editada en 1983) y por López Ramos (1978), de aquí se continuó con el propósito de elaborar la columna estratigráfica del sitio.

Estudios Hidrogeológicos.

En lo referente a este tema, se realizó un Censo de Aprovechamientos del área; seis muestreos y su correspondiente determinación de las características hidrogeoquímicos del agua subterránea; seis perforaciones verticales con muestreo continuo de la litología del subsuelo (dichos pozos fueron convertidos a pozos de monitoreo); 35 pruebas de permeabilidad (K) tipo Lefranc y Nasberg en el interior de los pozos cuando fueron recién perforados; la descripción

litológica de las muestras; 13 mediciones de la capacidad del intercambio catiónico (CIC) del suelo; una prueba de bombeo para determinar algunos de los parámetros hidráulicos del acuitardo como la transmisibilidad (T); piezometría usando el geoposicionador con satélites para confeccionar la red de flujo local; determinación del gradiente geohidrológico local del acuitardo y finalmente la evaluación del potencial de contaminación, usando para este concepto el factor de tránsito de la infiltración (f).

1.6 Descripción General y Funcionamiento de un CIMARI

El término CIMARI, corresponde a las sigla de Centro Integral para el Manejo y Aprovechamiento de Residuos Industriales, el cual contempla dentro de su función metodológica, diferentes actividades generales de las cuales se derivan una serie de actividades específicas.

Dentro de las actividades generales de un CIMARI, se mencionan entre otras, la Recolección y el transporte, las estaciones de Transferencia, el Tratamiento (sistemas de separación, recuperación y reciclaje), el Almacenamiento *in situ*, la Importación o Exportación y el Confinamiento o Disposición final de los Residuos Industriales.

La Recolección involucra los propios procesos de recolección del residuo en la zona donde inicialmente se originó, un plan de transportación de los residuos industriales hacia el CIMARI y la recepción del residuo en el CIMARI, en una fecha previamente determinada.

El Tratamiento cuenta con múltiples variantes, dentro de su proceso industrial, en donde se puede destacar: la separación de los diferentes residuos; la incineración de los residuos líquidos, cenizas y sólidos a granel; la eliminación de los gases; el enfriamiento del aire y del agua y el tratamiento de las aguas residuales y cloacales.

El Almacenamiento básicamente consiste en la colocación de los residuos previamente tratados en contenedores especialmente diseñados para un período largo de hermeticidad.

La Disposición implica que los residuos, almacenados en contenedores son llevados a las celdas para ser confinados.

La inversión estimada para la construcción de un CIMARI, de acuerdo con datos proporcionados por la SEMARNAP y publicados por Teorema, 1997, para la capacidad de procesar 150,000 toneladas anuales, sería una cantidad cercana a los 120 millones de dólares.

Tal cifra comprende una inversión por tonelada, en función de la capacidad instalada, de 800 dólares; sin embargo, el costo de una tonelada procesada es de 450 dólares, apunta el Programa de Minimización y el Manejo Integral de los Residuos Industriales Peligrosos, diseñado por la SEMARNAP (Teorema, 1997).

Se dice también, que para el año 2010, las necesidades de manejo aumentarán a 7 millones de toneladas anuales y si se prevé que la inversión por tonelada es de 800 dólares, sería requerido un volumen de 5,600 millones de dólares para abrir los CIMARI suficientes.

El diseño de la planta TAD de Méndez (Figura N° 1), proyecta una extensión aprovechable de 2,142,000 m² (1,530 x 1,400), de los cuales contempla 20 celdas de disposición de residuos en lo que respecta al confinamiento, dichas celdas tienen un área unitaria de 56,250 m² (188 x 300), la profundidad de la excavación de las celdas se proyecta de 8 m.

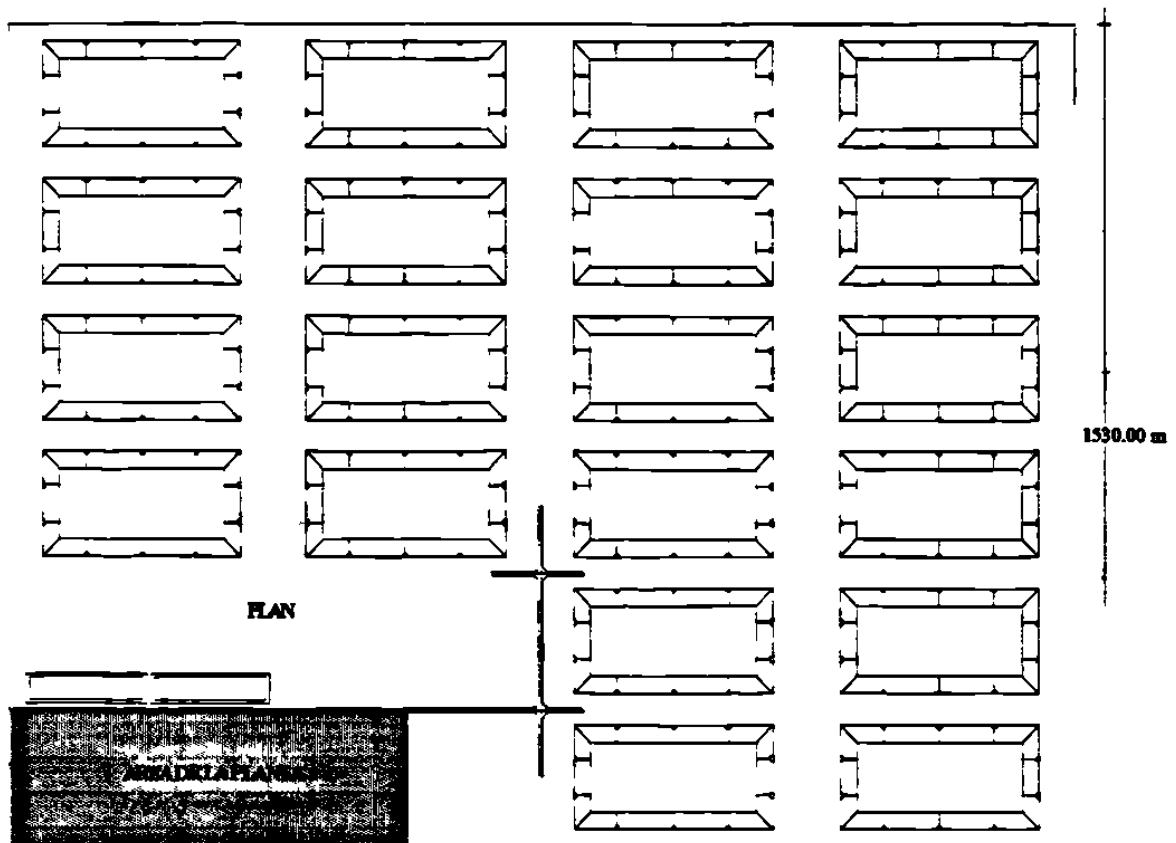


Figura N° 1.- Diseño general del CIMARI para Méndez, Tamps.(TSD de México, 1996).

El área de la planta tiene una superficie de 192,390 m² (Figura N° 2).

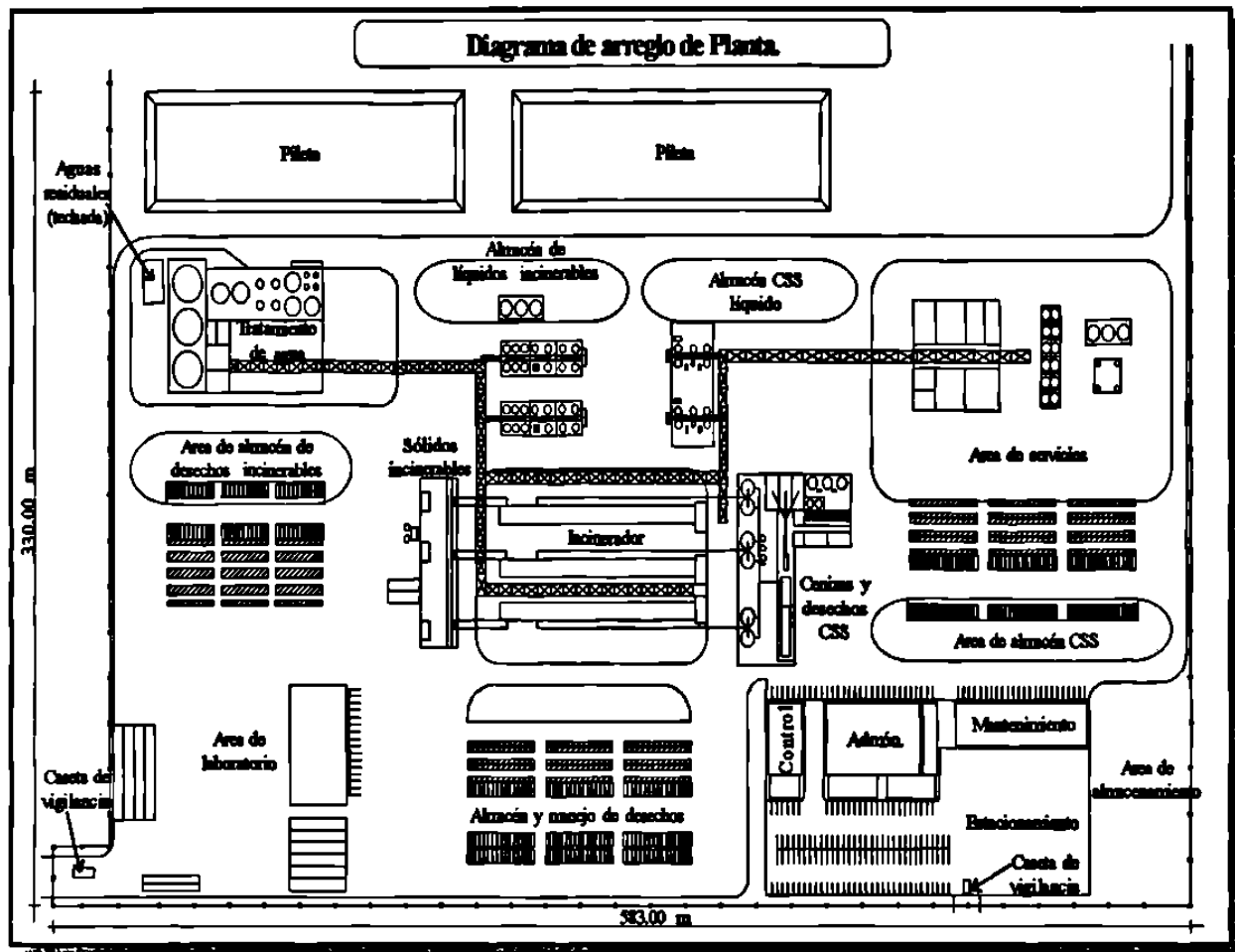


Figura N° 2.- Diagrama de arreglo de planta (TSD de México, 1996).

Como se podrá apreciar, el manejo de los residuos implica toda una serie de pasos que cumplen con el objeto de prepararlos para ser alojados en los los tambores para posteriormente ser confinados en las diferentes celdas destinadas para el cofinamiento.

1.7 Localización y Acceso

Las dos alternativas a evaluar para la determinación de la factibilidad constructiva de la planta en cuestión, se localiza en la parte noroeste del estado de Tamaulipas, aproximadamente a 65 Km al NW de San Fernando, Tamaulipas y a 8 Km al SE de Villa de Méndez, Tamaulipas (Figura N°3).

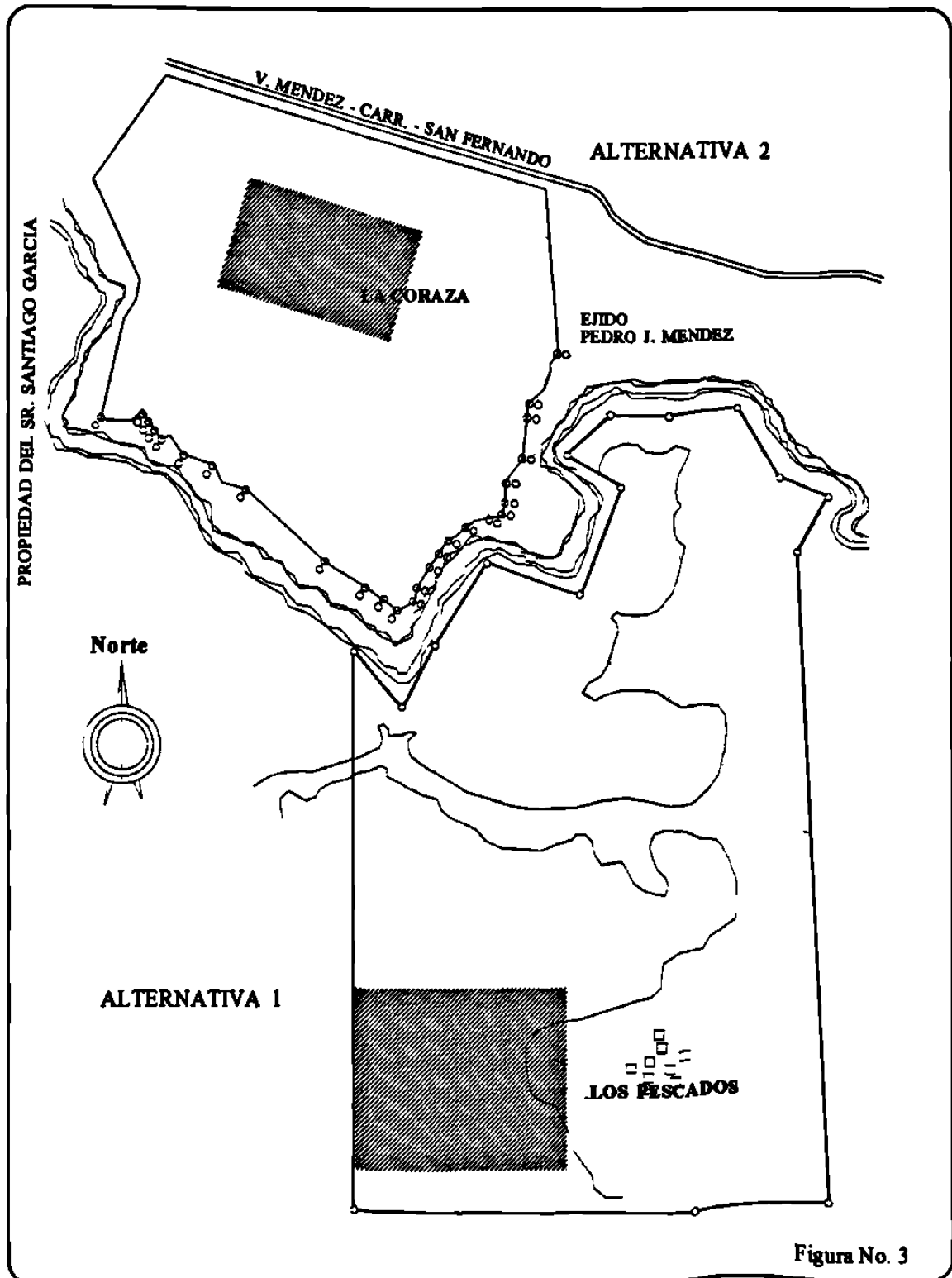


Figura N°3.- Localización de las alternativas "Los Pescados" y "La Coraza".

Las alternativas "Los Pescados" y "La Coraza" tienen como coordenadas geográficas centrales las siguientes:

Tabla No. 1
Coordenadas Geográficas de las Alternativas

Alternativa	Latitud	Longitud
Los Pescados	25° 04'00"	98° 31'45"
La Coraza	25° 06'30"	98° 31'45"

Según la carta topográfica de INEGI escala 1:50,000 de Méndez (clave G14D42).

El área en consideración tiene como fundamental vía de acceso la carretera interestatal China, N.L. – San Fernando, Tamps. en su tramo Méndez – San Fernando, por lo que el acceso se restringe a viajar 65 Km desde San Fernando, o en su otra posibilidad a 110Km desde China, N.L.

A la altura del kilómetro 8 desde Méndez, se encuentra la entrada del predio "La Coraza", entrando y aproximadamente a 700 m se encuentra el área propuesta para esta alternativa.

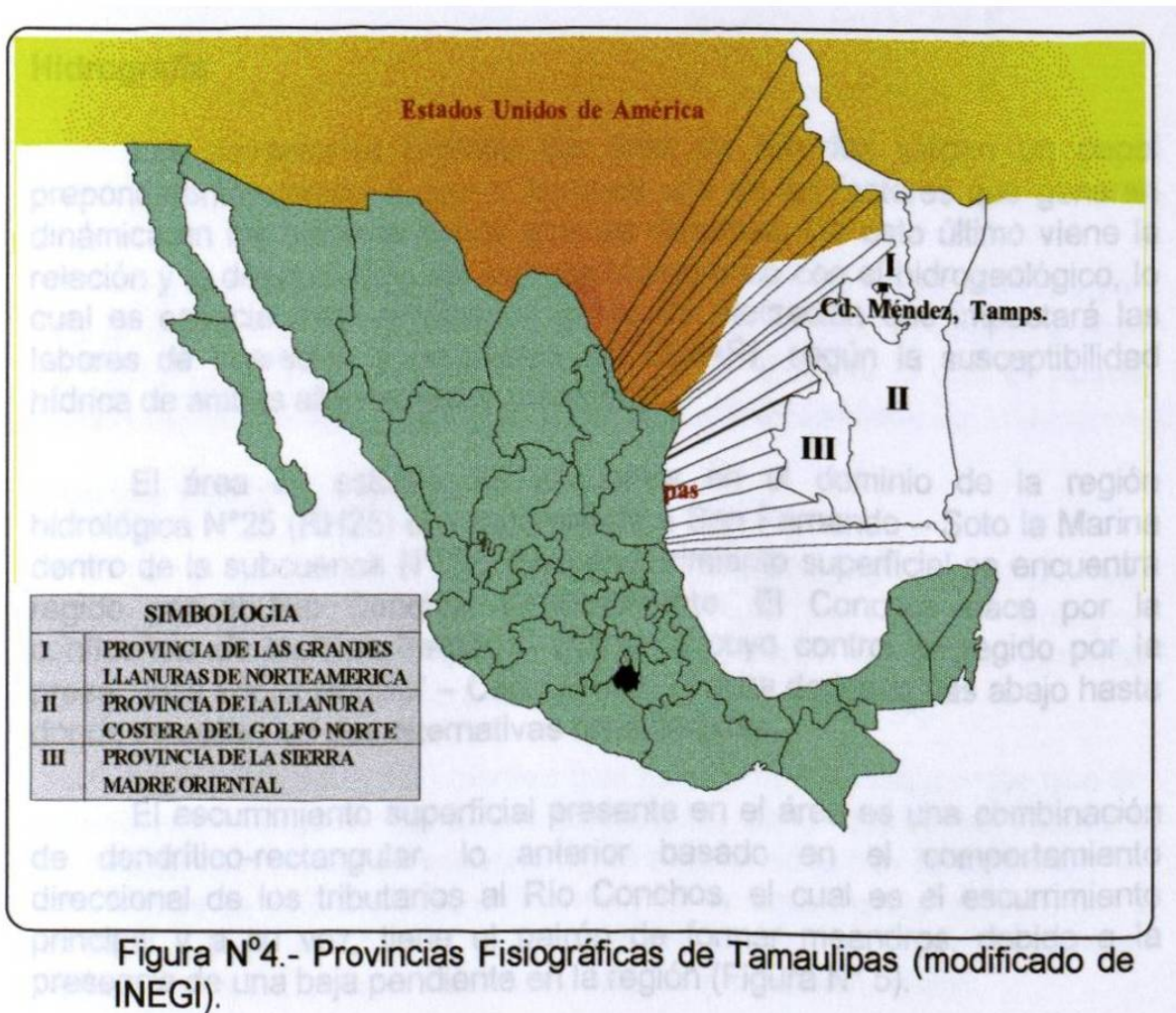
Posteriormente, se encuentra el predio "Los Pescados", cuyo mejor acceso está en el kilómetro 11, desde Méndez. Hay una entrada por un predio llamado "Palo Quemado"; siguiendo el camino de terracería se desciende hacia el lecho del Río Conchos, para posteriormente subir por la margen derecha y seguir la brecha hasta llegar al rancho abandonado de "Los Pescados"; aproximadamente, a 300 m se localiza el área evaluada.

2.- MARCO GEOLÓGICO

Es definitivamente importante establecer el entorno al cual se proyecta instalar el CIMARI, ya que el medio geológico permitirá determinar las interrelaciones con las diferentes unidades litológicas, así como la identificación de los procesos geológicos y a través de sus manifestaciones, determinar aquellos que han alcanzado o están próximos a alcanzar una escala riesgosa, que afecte al proyecto. A continuación se hace un breve análisis del medio geológico en el nivel regional.

2.1 Fisiografía

El área en donde se plantea la instalación del CIMARI se ubica en una zona de llanos, que tienden al endorreísmo; dichas geoformas se inscriben en el extremo NW de la Subprovincia Fisiográfica de la Llanura Costera Tamaulipeca de la Provincia Llanura Costera del Golfo de México (Figura N° 4).



Esta Subprovincia colinda al NW con la Provincia de las Grandes Llanuras de Norteamérica, al SW con la Provincia de la Sierra Madre Oriental; la Llanura costera del Golfo de México continúa hacia el Sur por el área de la costa Oriental por los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche, hasta llegar a Yucatán. Mientras que al Norte del Río Bravo, prosigue por los Estados costeros de los Estados Unidos de América.

En forma particular, se observa que en concordancia con la regionalización fisiográfica de México planteada por RAISZ (1964) y rediseñada por INEGI (1978-a), el área de Méndez es donde prácticamente inicia la zona donde se define una especie de "brazo", el cual se encuentra semicircunscrito por la Provincia de las Grandes Llanuras de Norteamérica.

Lo anterior fue un indicativo con el cual se postuló la hipótesis inicial de que el agua subterránea (en caso de encontrarla) eventualmente tendría características de bajo gradiente geohidrológico, lo cual fue posteriormente demostrado con los resultados de las pruebas aplicadas en forma directa en el campo.

2.2 Hidrografía

Las condiciones hídricas del área de Méndez juegan un papel preponderante, debido a que el agua es uno de los factores que generan dinámica en los terrenos donde ésta se desplaza. De esto último viene la relación y la dependencia del sistema hidrográfico con el hidrogeológico, lo cual es esencial para analizar el grado de afectación que impactará las labores de operación y ocupación del CIMARI, según la susceptibilidad hídrica de ambas alternativas a considerar.

El área en estudio, se encuentra en el dominio de la región hidrológica N°25 (RH25) correspondiente a San Fernando – Soto la Marina dentro de la subcuenca N°25b cuyo escurrimiento superficial se encuentra regido por el Río Conchos principalmente. El Conchos nace por la confluencia de los ríos Pabillo – Potosí, y cuyo control es regido por la presa "José López Portillo" – Cerro Prieto – y ésta deriva aguas abajo hasta donde se sitúan las dos alternativas consideradas.

El escurrimiento superficial presente en el área es una combinación de dendrítico-rectangular, lo anterior basado en el comportamiento direccional de los tributarios al Río Conchos, el cual es el escurrimiento principal y a su vez, tiene el patrón de formar meandros, debido a la presencia de una baja pendiente en la región (Figura N° 5).

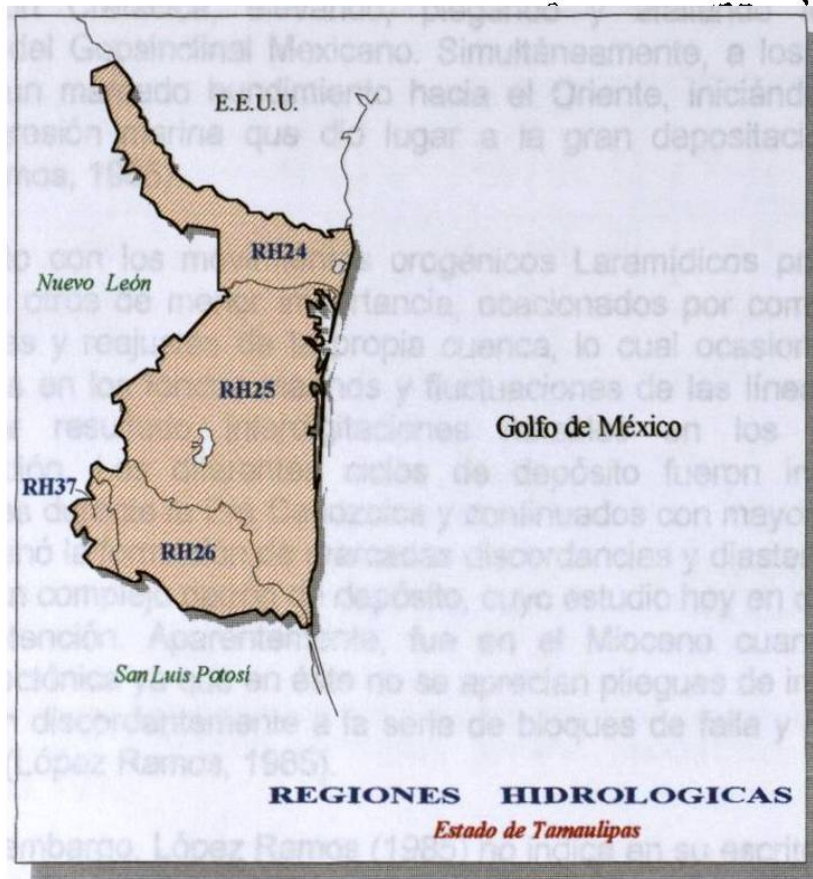


Figura N°5.- Regiones Hidrológicas en Tamaulipas (modificado de INEGI).

Tomando en cuenta la escorrentía superficial, se considera un valor para el coeficiente de escurrimiento del orden de 5 – 10%, según la hoja Río Bravo (G14-8) esc. 1:250,000 del INEGI (1978), por lo que se puede esperar una infiltración superior y un balance hídrico positivo.

2.3 Geología Estructural General

La geología estructural es comprendida en escala regional por una serie de formaciones Terciarias pertenecientes a la Subprovincia Geológica de la Cuenca de Burgos, dichas formaciones tienen un comportamiento litológico clástico, lo cual habla de actividad erosiva elevada.

López Ramos (1985) plantea que estos potentes sedimentos que se extienden a lo largo de la Planicie Costera del Golfo, quedan enmarcados por accidentes tectónicos estrechamente relacionados con la formación de los pliegues de la Sierra Madre Oriental y los levantamientos de las Sierras de San Carlos y Cruillas y la parte Norte de la Provincia Sierras Tamaulipecas o Provincia Alcalina de México (Huberteen, 1985).

Hacia fines del período Cretácico y principios del Terciario la Orogenia Laramide alcanzó su máximo desarrollo, poniendo fin a la

deposición Cretácica, elevando, plegando y afallando los grandes depósitos del Geosinclinal Mexicano. Simultáneamente, a los pliegues se originaba un marcado hundimiento hacia el Oriente, iniciándose así una franca regresión marina que dio lugar a la gran deposición Terciaria (López Ramos, 1985).

Junto con los movimientos orogénicos Laramídicos principales se verificaban otros de menor importancia, ocasionados por compactaciones diferenciales y reajustes de la propia cuenca, lo cual ocasionaba suaves pulsaciones en los fondos marinos y fluctuaciones de las líneas de costa, dando por resultado interdigitaciones notables en los medios de sedimentación. Los diferentes ciclos de depósito fueron interrumpidos varias veces durante la Era Cenozoica y continuados con mayor intensidad, lo cual originó la formación de marcadas discordancias y diastemas locales, así como un complejo patrón de depósito, cuyo estudio hoy en día es objeto de gran atención. Aparentemente, fue en el Mioceno cuando cesó la actividad tectónica ya que en éste no se aprecian pliegues de importancia y solo cubren discordantemente a la serie de bloques de falla y pliegues del Oligoceno (López Ramos, 1985).

Sin embargo, López Ramos (1985) no indica en su escrito valores de rumbo y echado, solamente sostiene la teoría de que "todas las formaciones del Terciario tienen un echado regional predominante hacia el oriente, con deformaciones suaves que forman terrazas estructurales y pequeños anticlinales orientados NW a SE sensiblemente paralelos a los ejes de los pliegues de la Sierra Madre Oriental, indicando que los esfuerzos deformantes provienen de W y SW y otros, como consecuencia de esfuerzos deformantes hacia el Sur" (Figura N° 6).

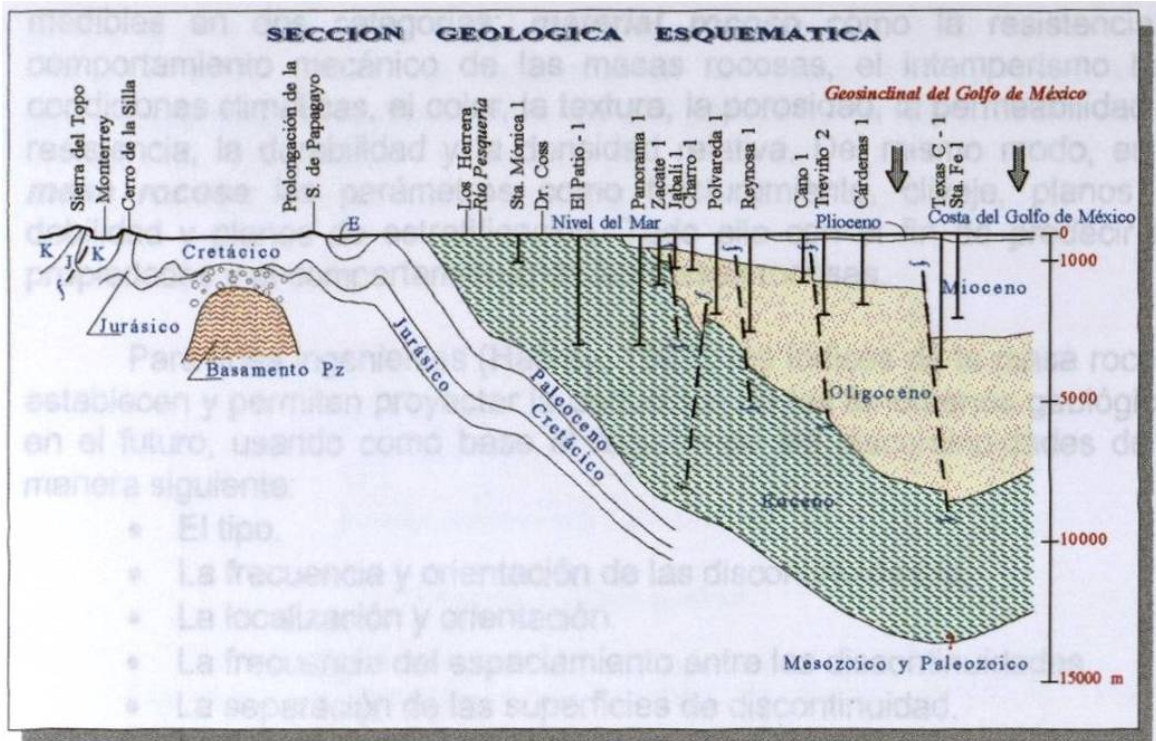


Figura N°6.- Sección Geológica general (modificado de López Ramos, 1985).

2.4 Desglose de los factores Hidrogeológicos para los terrenos idóneos para situar un CIMARI

La complejidad que un ambiente geológico puede poseer origina diferentes características que pueden influenciar en mayor o menor medida para una posible aportación de lixiviado generado en una celda de los confinamientos hacia la zona donde exista agua subterránea, la que puede conducirla hacia áreas donde pudiese provocar un eventual riesgo a la salud antropogénica. Ello obliga a reflexionar sobre qué tipo de características son deseables para que esto no llegue a suceder, y en caso de que pase, ¿cuándo pasaría y en donde?

Lo anterior nos invita a que efectuemos una revisión de los factores hidrogeológicos, buscando aquéllos que sean idóneos para que sea factible la aprobación de un CIMARI como sitio viable.

A continuación, se expondrán los factores que debemos de considerar para un análisis discreto.

TIPOS DE MACIZOS ROCOSOS

Harvey (1993), señala que para fines geotécnicos, un informe sobre la clasificación de los macizos rocosos está de acuerdo con los parámetros

medibles en dos categorías: **material rocoso** como la resistencia y comportamiento mecánico de las masas rocosas, el intemperismo bajo condiciones climáticas, el color, la textura, la porosidad, la permeabilidad, la resistencia, la durabilidad y la densidad relativa. Del mismo modo, en la **masa rocosa** los parámetros como fracturamiento, clivaje, planos de debilidad y planos de estratificación. Todo ello con el fin de predecir las propiedades y el comportamiento de las masas rocosas.

Para fines ingenieriles (Harvey, 1993), los índices de la masa rocosa establecen y permiten proyectar la deducción de los fenómenos geológicos en el futuro, usando como base el registro de las discontinuidades de la manera siguiente:

- El tipo.
- La frecuencia y orientación de las discontinuidades.
- La localización y orientación.
- La frecuencia del espaciamiento entre las discontinuidades.
- La separación de las superficies de discontinuidad.
- La persistencia y extensión.
- El relleno.
- La naturaleza de las superficies

Harvey (1993) asiente además que una discontinuidad es un plano de debilidad dentro de la masa rocosa, a través del cual la roca tiene una baja resistencia a la tensión, o a lo largo del cual hay una baja resistencia al esfuerzo cortante. Los planos incluyen juntas, clivaje, esquistosidad, foliación, vetas, planos de estratificación, fallas o fracturas abiertas causadas por la disolución de minerales formadores de roca solubles (yeso, anhidrita y calcita).

Para fines prácticos, podemos tipificar dos diferentes clases de macizos rocosos (José Manuel Rojas Ruíz – comunicación Personal):

1. Rígidos Fisurados
2. Laxos Deformables

Debido a lo explicado en la estratigrafía de las dos alternativas ALP y ALC (capítulo 3.1), se deduce que el tipo de macizo rocoso involucrado en el terreno en consideración es del tipo 2 (laxos deformable) debido a su alto contenido de arcillosidad, su disposición de los estratos relativamente horizontales y sobre todo a la preconsolidación de los materiales rocosos en donde seguramente la edad relativamente joven de los materiales juega un factor importante en su incompleta litificación.

FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO EN EL SÚBSUELO

La clasificación de los flujos es múltiple y variada. Sotelo (1974) menciona que la clasificación de los flujos en **laminar** y **turbulento** es un

resultado propiamente de la velocidad, la viscosidad del fluido; y no habría distinción entre ambos, en ausencia de la misma. El flujo laminar se caracteriza porque el movimiento de las partículas se produce siguiendo trayectorias separadas perfectamente definidas sin existir mezcla macroscópica o intercambio transversal entre ellas (Figura N°7).

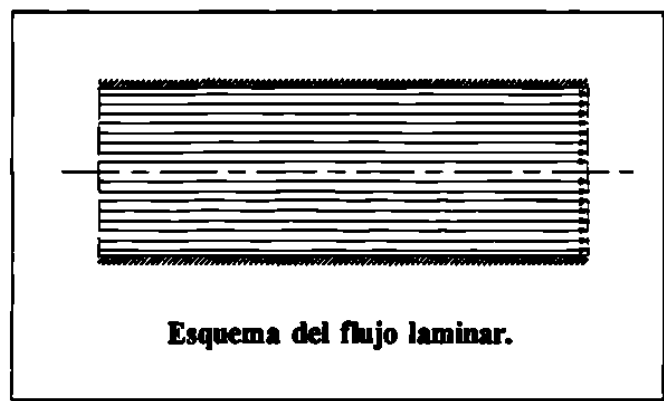


Figura N°7.- Esquema de flujo laminar (modificado de Sotelo, 1994).

En un flujo turbulento, las partículas se mueven sobre trayectorias completamente erráticas, sin seguir un orden establecido (Figura N°8).

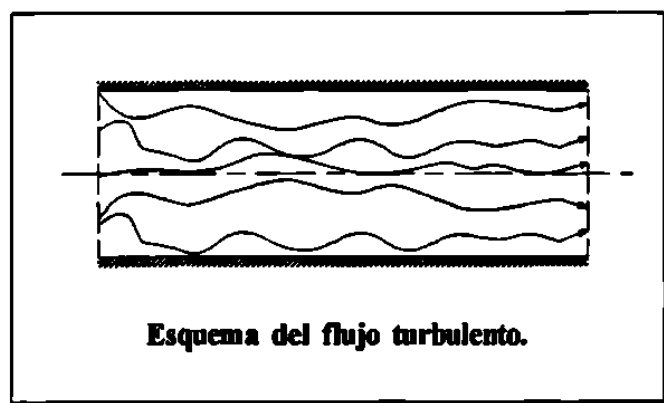


Figura N°8.- Esquema de flujo turbulento (modificado de Sotelo, 1994).

En el agua subterránea, el tipo de flujo que se pudiera presentar para este caso sería el laminar, debido a un gradiente hidráulico pequeño y a la presencia de arcillosidad en los dos sitios.

CLASIFICACIÓN DEL AGUA DEL SUBSUELO Y SU DINÁMICA

Davis y De Wiest (1966) explican que, de acuerdo con la cantidad de agua que puede contener la parte subterránea del ciclo hidrológico, es como se diferencian las zonas existentes de agua en el subsuelo; tales son: la zona de aireación o vadosa y la zona de saturación o freática (Figura N° 9).

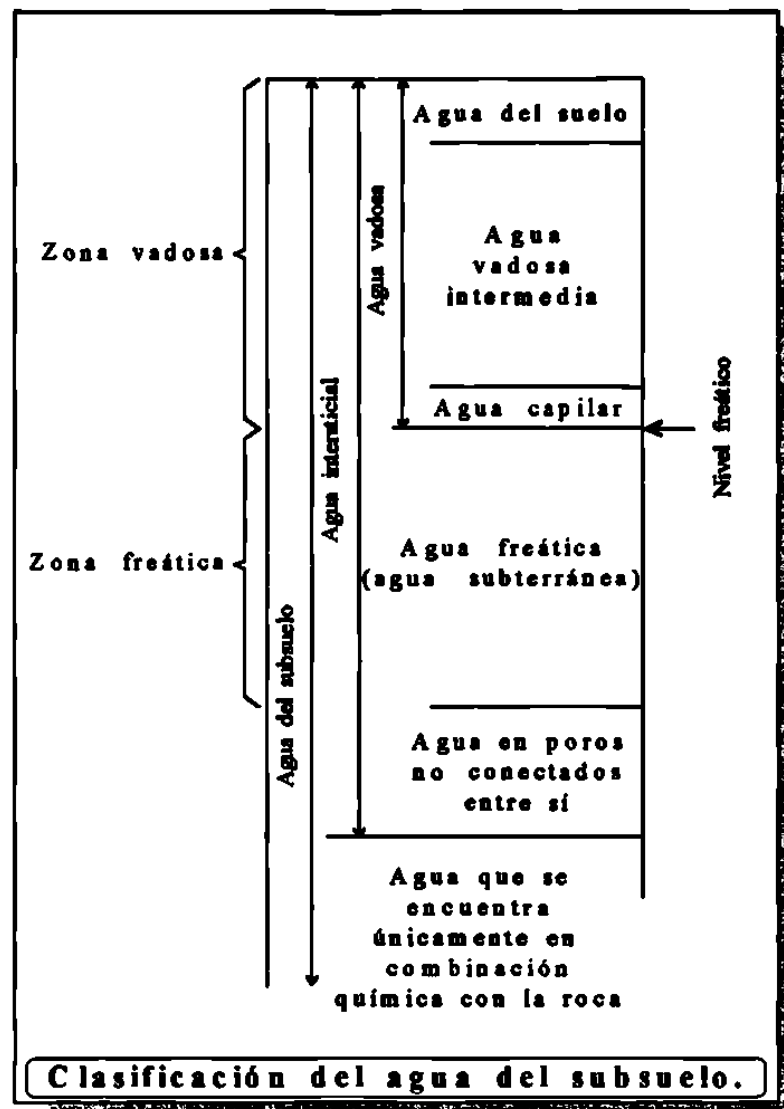


Figura N°9.- Clasificación de agua del subsuelo (modificado de Davis y DeWiest, 1966).

Es importante el mencionar que la franja de **capilaridad** puede tener fluctuaciones ascendentes y descendentes, en donde esta franja de amortiguamiento caracterizada como una subzona, puede jugar un papel importante en el caso de que la franja se localice a una distancia próxima del piso de la celda proyectada.

Las características de la franja de amortiguamiento van a depender de la recarga del agua subterránea dentro de la formación geológica y del tiempo de recarga condicionado por la porosidad efectiva (n_e) y su permeabilidad(K).

POROSIDAD

Freeze y Cherry (1979) explican que si en el total de un volumen unitario V_T de un suelo o roca, la relación entre el volumen de la porción sólida V_s y el volumen total de los vacíos o huecos V_H es definida como **porosidad** (n) y se expresa como:

$$n = \frac{V_H}{V_T} \quad [1]$$

La porosidad es usualmente representada como una fracción decimal o un porcentaje.

A continuación, se muestran varios ejemplos de texturas y porosidad de roca y de suelo. En la figura N°10 se diferencian dos tipos de porosidad: la *porosidad primaria*, la cual es causada por la matriz de la roca y el suelo [(a), (b), (c) y (d)], y la *porosidad secundaria*, la cual puede ser causada por fenómenos como la disolución secundaria (e) o estructuralmente controlada por fracturamiento regional (f).

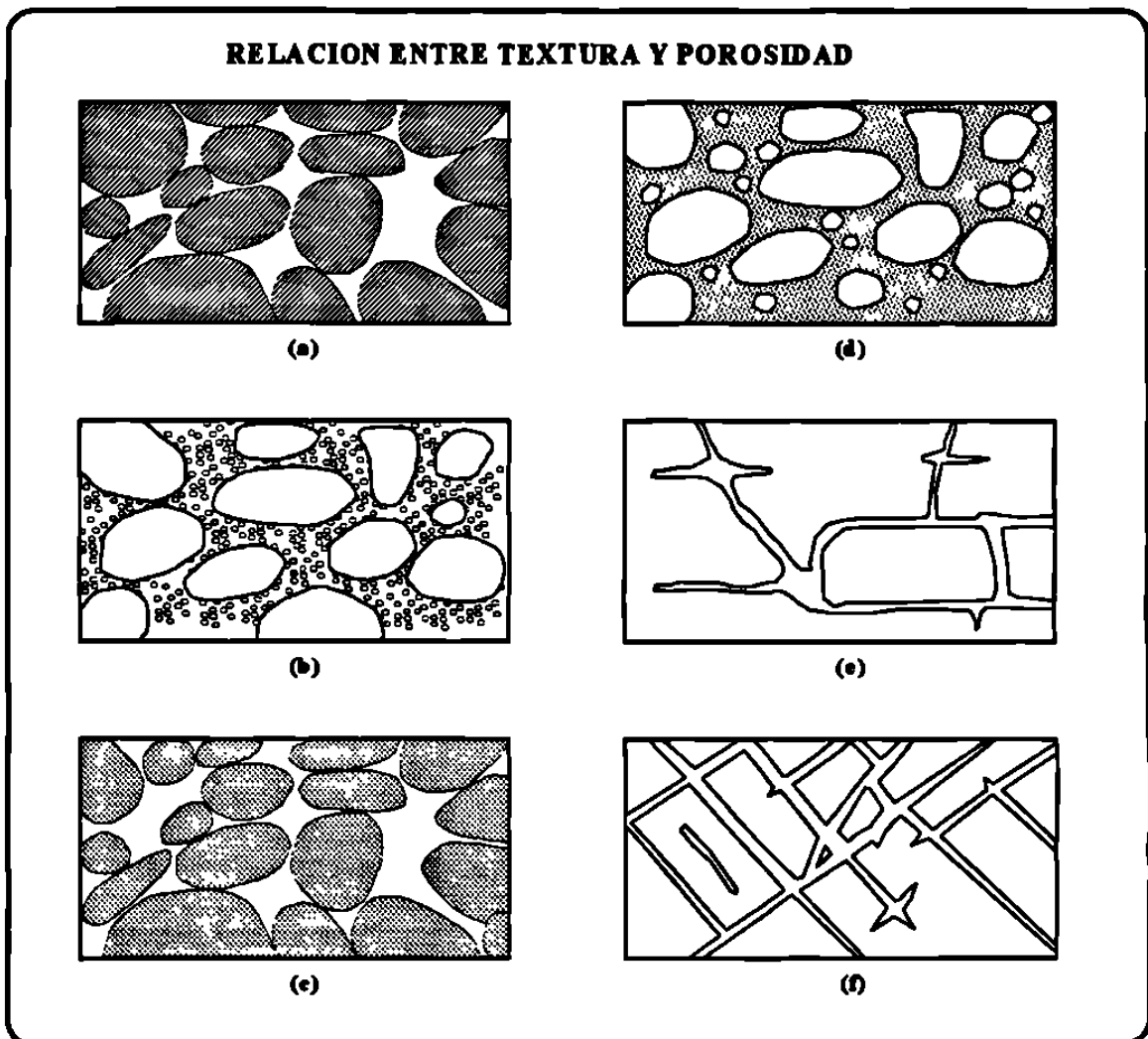


Figura N°10.- Diferentes tipos de porosidad (Davis y De Wiest, 1966).

GRADIENTE HIDRÁULICO

El *gradiente hidráulico* (*i*), también conocido como el *gradiente geohidrológico*, se define como el aumento o la disminución de la carga

hidráulica cuando se pasa de un punto a otro en el espacio definido (el acuífero), por lo que puede expresarse de la siguiente forma:

$$i = \frac{dh}{dl} \quad [2]$$

donde:

- i es el gradiente hidráulico [adimensional]
- h es la carga hidráulica [mts]
- l es la longitud horizontal [mts]

PERMEABILIDAD Y CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

De nuevo, Freeze y Cherry (1979), sostienen que de acuerdo con Hubbert (1956), la constante de proporcionalidad de la Ley de Darcy, la cual ha sido bautizada como la **conductividad hidráulica**, no es solamente una función estrictamente regida por el medio poroso sino además del fluido. Considerando el aparato experimental mostrado en la figura N°11.

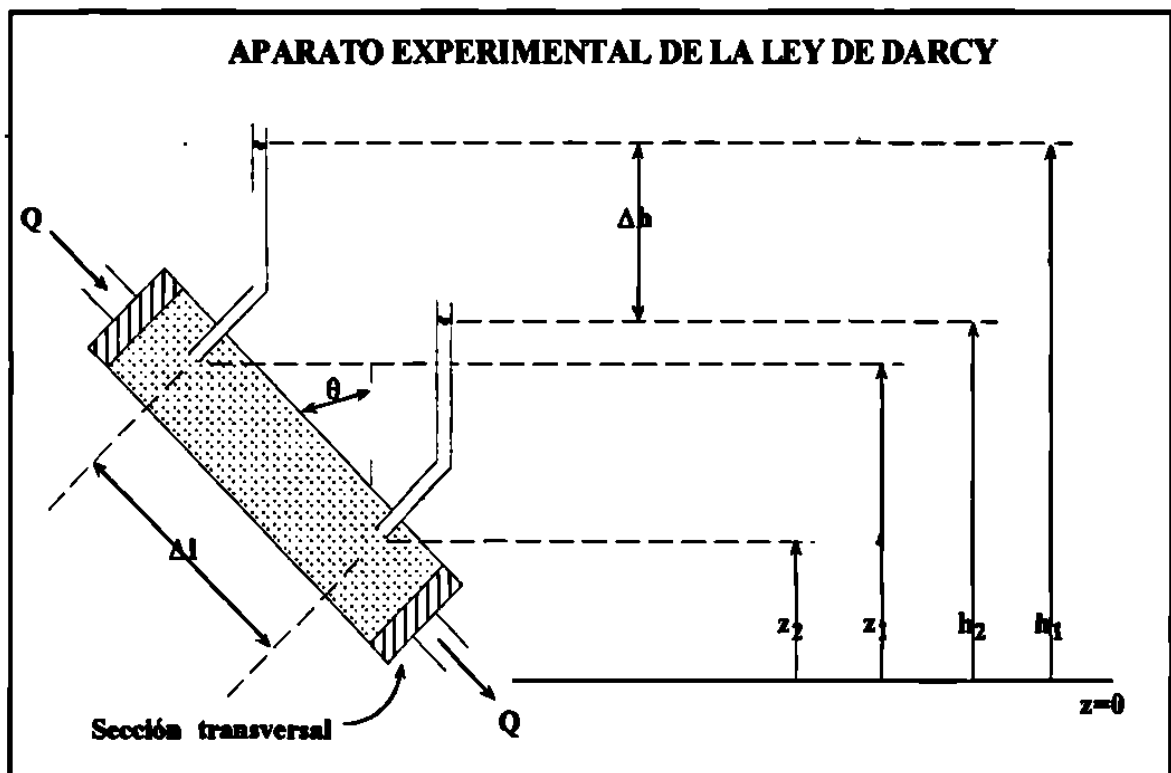


Figura N°11.- Aparato experimental de la Ley de Darcy.

Si Δh y Δl son tomados como constantes por dos caminos usando la misma arena, pero el agua es el fluido en el primer caso y molasses en el segundo, no sería una sorpresa encontrar que la descarga específica v es mucho menor en la segunda corrida en comparación con la primera. Revisando estas observaciones, sería instructivo el buscar el parámetro

que pueda describir las propiedades conductivas de un medio poroso independientemente del tipo de fluido que ocurre a través del mismo.

Para este fin se han hecho experimentos a través de medios porosos ideales, consistentes en vidrio redondeado y uniforme, de diámetro d . Cuando varios fluidos de densidad ρ y la viscosidad dinámica μ son pasados a través del aparato, bajo un gradiente hidráulico constante dh/dl , se observan las siguientes relaciones de proporcionalidad:

$$v \propto d^2$$

$$v \propto \rho g$$

$$v \propto 1/\mu$$

Junto con la observación original de Darcy que $v \propto -dh/dl$, estas tres relaciones conducen a una nueva versión de la ley de Darcy:

$$v = -\frac{Cd^2 \rho g}{\mu} \frac{dh}{dl} \quad [3]$$

El parámetro C es otra constante de proporcionalidad. Para suelos reales se debe de incluir la influencia de otras propiedades del medio que afecten el flujo, aparte del significado del diámetro de los granos: por ejemplo, la distribución de los tamaños de los granos, la esfericidad y redondeo de los granos, y la naturaleza de su empaquetamiento.

La comparación de la anterior ecuación con la ecuación general de Darcy muestran que:

$$K = \frac{Cd^2 \rho g}{\mu} \quad [4]$$

En esta ecuación, ρ y μ son funciones del fluido y solamente Cd^2 es una función del medio. Si definimos que:

$$k = Cd^2 \quad [5]$$

entonces

$$K = \frac{k \rho g}{\mu} \quad [6]$$

El parámetro k es conocido como la **permeabilidad intrínseca o específica**. Si K es siempre llamada conductividad hidráulica, es seguro dejar los adjetivos y referir la k como simplemente la permeabilidad.

Hubbert (1940) desarrolló las ecuaciones [3] y [4] de los principios fundamentales para considerar las relaciones entre las fuerzas de resistencia y las de empuje por conducción, en una escala microscópica, durante el paso del flujo a través de un medio poroso. Las consideraciones dimensionales inherentes a su análisis nos provee con la previsión de incluir la constante g en la relación de proporcionalidad mostrada en la ecuación [5]. En este sentido, la C emerge como una constante dimensional.

La permeabilidad k , es una función solamente debida al medio y tiene dimensiones $[L^2]$. El término es ampliamente usado en la geohidrología y en la industria del petróleo, ésta última, donde se tiene la existencia de gas y agua en sistemas de flujos multifase, haciendo el uso de un fluido libre del parámetro de conductancia.

Por lo tanto, los valores determinados en las pruebas de permeabilidad se referirán a la K en (cm/seg).

TRANSMISIVIDAD

Driscoll (1986) señala, dentro de este concepto, que fue inicialmente introducido por Theis (1935), quien apuntó la conveniencia de usar el producto de Kb como un término simple el cual representa la capacidad de transmisión del espesor total de un acuífero. El introdujo el término "**coeficiente de transmisibilidad**" (T), definiéndolo como la relación de caudal (Q) que pasa a través de una sección vertical de acuífero de ancho unitario y altura igual al espesor saturado, cuando el gradiente hidráulico varía en una unidad. En el Sistema Internacional de Unidades, las unidades de transmisividad son metros cúbicos por día por metro ($m^3/día/m$) o metros cuadrados por día ($m^2/día$) o $[L^2T^{-1}]$.

$$T = Kb \quad [7]$$

Donde:

- T es la transmisividad [$m^2/día$]
- K es la conductividad hidráulica [mts/día]
- b es el espesor del acuífero [mts]

Para conceptualizar la permeabilidad o conductividad hidráulica (K) en diferencia con la transmisividad (T) se presenta la figura N°12.

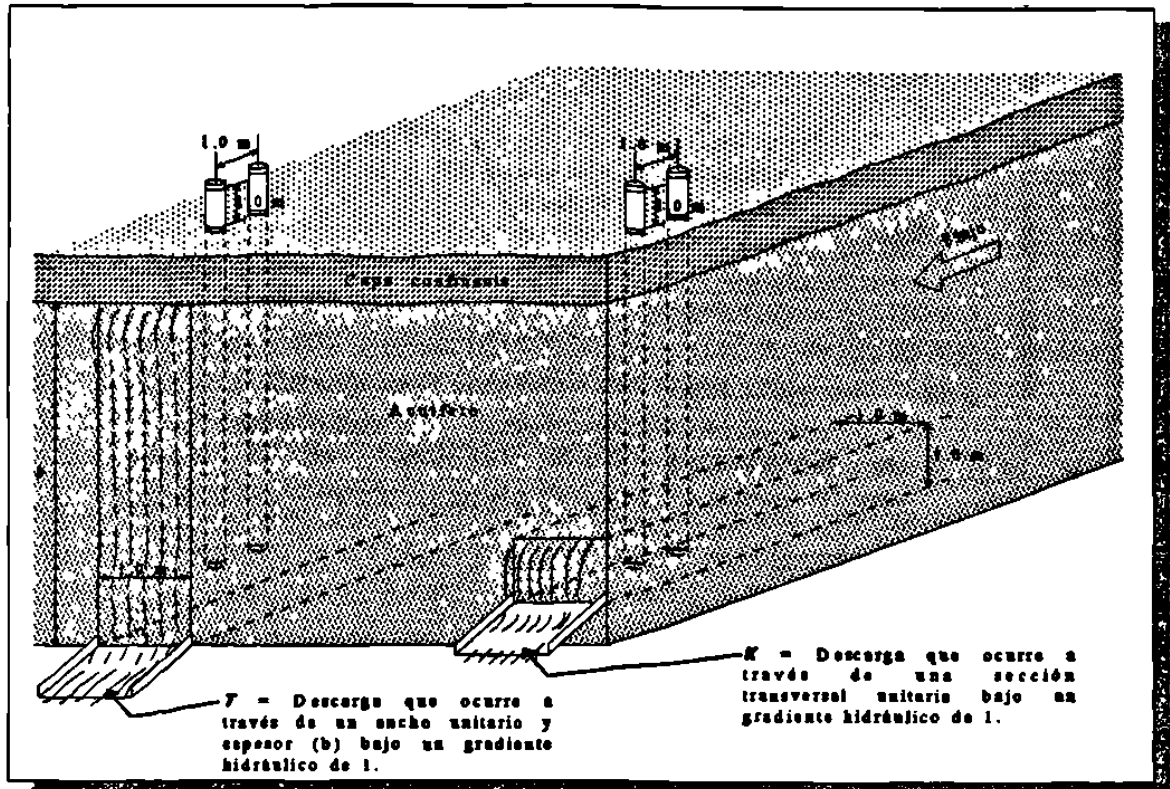


Figura N°12.- Representación de las diferencias entre Transmisividad y Permeabilidad (modificado de Driscoll, 1986).

FENÓMENOS DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL CON EL AGUA SUBTERRÁNEA

Davis y DeWiest (1966), analizan los parámetros más importantes y su influencia sobre los cuatro componentes del caudal de los ríos: **la escorrentía superficial, la escorrentía hipodérmica, las aportaciones de las aguas subterráneas y las precipitaciones caídas directamente sobre los cauces de los ríos.**

En general, se plantean los conceptos de corrientes **influentes** y **efluentes**, para el caso de una corriente influente, su característica principal es que el agua del río aporta flujos hacia el agua subterránea; mientras que en una corriente efluente, la dirección del flujo subterráneo invierte su sentido (Figura N°13).

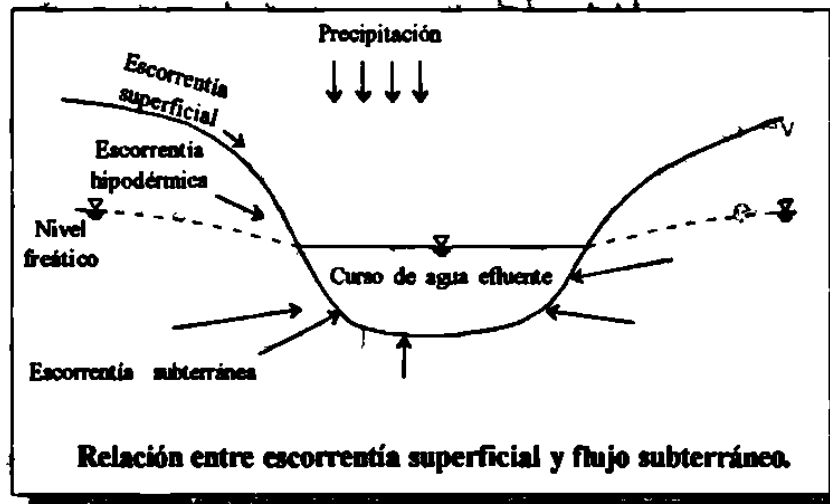


Figura N°13.- Relación entre escorrentía superficial y flujo subterráneo (modificado de Davis y DeWiest, 1966).

3.- GEOHIDROLOGÍA DEL SITIO

De cada una de las alternativas planteadas para ser evaluadas para su respectiva dictaminación geohidrológica, la alternativa "Los Pescados" (ALP) se define en la región de la margen derecha del Río Conchos, aproximadamente a 1,200 m, en distancia lineal, a partir de la parte central del lecho del Río Conchos, y a su vez, a aproximadamente 250 m a partir del arroyo La Resaca (Figura N° 3).

Por otro lado, la alternativa "La Coraza" (ALC) se ubica en la margen izquierda del Río Conchos, aproximadamente a 1,400 m en distancia lineal a partir de la parte central del lecho del Río Conchos (Figura N° 3).

Con el objeto de identificar, en mayor detalle, las características litológicas del subsuelo, se perforaron los pozos 1, 2 y 3 (ALC); así como 4, 5 y 6 (ALP). Posteriormente a la obtención de las muestras recuperadas por la barrenación, se procedió a efectuar el análisis petrográfico macroscópico de tales muestras.

La profundidad de los pozos fue programada a 40.00 m, lo anterior fue propuesto a causa de que los resultados interpretados de tres sondeos eléctricos verticales (SEV's) usando la geofísica de resistividad en su modalidad de dispositivo Schlumberger, dichos SEV's fueron ejecutados en la zona Norte de la ALP, que fue donde originalmente se pensaba en instalar el CIMARI, manifestaron una unidad variable de 14 a 32 m de profundidad con condiciones de saturación hídrica.

Por causas de modificación en la norma anterior a la NOM-055-ECOL-1996 la cual indicaba originalmente que -el sitio debía estar a un mínimo de 500 m de distancia a algún cuerpo de agua permanente- (para nuestro caso el Río Conchos) y en donde el cambio de norma ahora indica que deben de ser mayor a 1,000 m de distancia a partir del nivel de agua máxima extraordinaria (NAME).

Posteriormente se planteo incluir a la ALC dentro del análisis para considerarla como factible en cuanto a cumplimiento de los puntos que indica la NOM-055-ECOL-1996.

3.1 Programa de barrenación aplicada en las alternativas "Los Pescados" y en "La Coraza"

El método de perforación usado en el muestreo de las dos alternativas fue usando barrenas espirales y brocas tricónicas, colectando las muestras con tubo partido hincado, mediante golpes, en correspondencia con la norma ASTM1586-84. Después de concluidos los

pozos, se equiparon como pozos de monitoreo, tomando como base las especificaciones de la EPA (Environmental Pollution Association), utilizando tubería ranurada y lisa que permitiera muestrear, a largo plazo, el manto freático.

Alternativa Los Pescados (ALP)

La litología correspondiente para este sitio involucra básicamente a dos de las tres diferentes unidades litológicas presentes en el área del Río Conchos. La descripción de cada una de estas se hará en orden, de la más antigua a la más joven (Figura 8).

ESTRATIGRAFÍA

CENOZOICO

TERCIARIO

OLIGOCENO

Formación Catahoula (T_{oc})

La revisión bibliográfica acerca de esta unidad litológica, comprende el trabajo de López Ramos (1985), quien menciona que la formación Catahoula se compone de lutitas y arenas con materiales tobáceos, las lutitas son de colores gris claro, gris verdes, de textura fina. Los sedimentos de esta formación están en general bien estratificados y parecen haber sido depositados a lo largo de una zona costera de aguas poco profundas. También se menciona que no existe fauna.

De acuerdo con los recorridos efectuados directamente en el área en consideración, se determinó que los afloramientos analizados en la zona de la localidad de Palo Quemado, tienen los siguientes resultados: la formación Catahoula está integrada por estratos de hasta 1.8 m de areniscas preconsolidadas, hasta arenas color caré claro. Presentan internamente estratificación cruzada, y los granos se disgregan fácilmente. Se intercalan con las rocas predominantes que son las lutitas café rojizo de grano fino, con espesores de hasta 30 cm, y también con lutitas café verdoso con espesores de hasta 20 cm.

PLIOCENO

FORMACIÓN REYNOSA (T_{pr})

De igual manera, López Ramos (1985) señala que la formación Reynosa sea posiblemente equivalente a la formación Goliad, descrita en

otros trabajos efectuados por geólogos petroleros en Texas, y describe que la forman sedimentos de origen continental, compuestos por gravas, arenas y arcillas con trazas de material yesífero, que probablemente fueron depositados por ríos y arroyos caudalosos sobre la superficie del Mioceno en forma de grandes abanicos deltaicos. Menciona que el espesor varía de 15 a 35 m, y señala, además, que hay grandes extensiones formadas de caliche, que llevan también el nombre de Caliche Reynosa.

Las observaciones realizadas en el sitio de los afloramientos de Palo Quemado indican que las rocas son conglomerados polimictos de componentes de pedernal, rocas volcánicas y calizas, principalmente. Estos componentes están unidos por una matriz calcárea y por caliche. Estas rocas se definen en las riberas del Río Conchos y forman además suaves lomeríos, presentando un espesor máximo en afloramiento de 4.60 m.

CUATERNARIO

ALUVIÓN (Q_{al})

El aluvión presente en las alternativas, sobre todo en el área de la ALP, tiene un comportamiento granulométrico preferencialmente hacia los limos arcillosos color café con algunos lentes de gravas y boleos, los cuales alcanzan a tener un espesor máximo en afloramiento del Río Conchos de 3.5 m y en la zona representa aproximadamente el 90% de la superficie que cubre el terreno.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

No existen abundantes afloramientos en el terreno, en cuanto a estratos para medir los parámetros estructurales (rumbos y echados de las diferentes discontinuidades), solamente el afloramiento del Río Conchos, a la altura de Palo Quemado, se presentan rocas poco consolidadas de la Formación Catahoula con una actitud de su estratificación casi horizontal; éstas rocas lateralmente están cubiertas por los aluviones y por la Formación Reynosa.

En cuanto a fracturas o fallas locales presentes en el terreno, no se aprecian evidencias de estas estructuras, de acuerdo con los planos del I.N.E.G.I. (G 14 11 y G 14 8), las estructuras locales producto de distensión más cercanas, se encuentran al SW de la loma San Juan, sin embargo, éstas no inciden en el terreno.

En el nivel de afloramiento, se detecta en el contacto Formación Catahoula/Formación Reynosa, una sensible discordancia angular, la cual seguramente se formó debido a la tendencia de subsidencia por parte del Golfo de México.

BARRENOS

En la alternativa Los Pescados, se programaron tres barrenos denominados como 4, 5 y 6, de los cuales se obtiene el siguiente resultado litológico.

Tabla N°2
Resultados de la Barrenación del Sitio
Alternativa "Los Pescados"

BARRENO	ALUVIÓN (M)	Fm. CATAHOULA (T _{oc}) (M)	ESTRATOS ARENOSOS (T _{oc}) (M)
4	0 – 6.50	6.5 - >40	6.50 – 8.00 9.50 – 13.50
5	0 – 10.00	10 - >40	10.00 – 19.50
6	0 – 6.00	6 - >40	6.00 – 11.00 12.50 – 17.00

La profundidad del agua subterránea varía de 11.50 m hasta 14.50 m, lo cual indica que el espesor del nivel de corte en los confinamientos hacia el nivel freático es relativamente pequeño.

Alternativa "La Coraza" (ALC)

La parte correspondiente a la litología para este sitio, involucra las tres diferentes unidades litológicas presentes en el área del Río Conchos, (Figura 8).

ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía de este sitio, a diferencia de la ALP, sí cuenta con las tres unidades litológicas, en donde, al igual que en la anterior alternativa, presenta las descripciones para la Formación Catahoula (T_{oc}), Formación Reynosa (T_{pr}) y el aluvión (Q_{al}).

BARRENOS

En la alternativa la coraza, se programaron tres barrenos denominados como 1, 2 y 3, de los cuales se obtiene el siguiente resultado litológico:

Tabla N°3
Resultados de la Barrenación del Sitio
Alternativa "La Coraza"

BARRENO	ALUVIÓN (m)	Fm. REYNOSA (T _{Pr}) (m)	Fm. CATAHOULA (T _{oc}) (m)	ESTRATOS ARENOSOS (T _{oc}) (m)
1	0 – 1.00	1.00 – 5.00	5.0 - >40	No Existen
2	0 – 1.50	1.50 – 4.50	4.50 - >40	No Existen
3	0 – 3.00	3.00 – 5.00	5 - >40	6.00 – 9.00

En virtud de que en esta alternativa la arcillosidad es predominante en los cortes litológicos, en donde además del hecho de que solamente el barreno 3 presenta un horizonte de arenas y sin condiciones de saturación hídrica, estos indicativos permiten plantear la hipótesis de que esta alternativa es más atractiva que a la anterior.

Otro factor determinante es la presencia de la profundidad del nivel freático, el cual varía de 37.6 hasta 38.9 m, lo cual, a diferencia de la anterior alternativa, presenta una presencia del agua subterránea a mayor profundidad.

3.2 Resultados de las pruebas de permeabilidad en las alternativas evaluadas

La selección de las pruebas de permeabilidad (K) en su variante Lefranc, fueron empleadas para conocer la propiedades difusivas del medio no saturado y del medio saturado, esto último ayudará para conocer el potencial de contaminación.

Combefort (1962), indica que las pruebas Lefranc, deben de realizarse en medios no consolidados; sin embargo, debido a la poca dureza de los materiales de las unidades litológicas en el subsuelo en las dos alternativas, se tomó la decisión de usar esta técnica.

Debido a la gran cantidad de condiciones que se presentan al realizar este tipo de ensayos, únicamente nos estamos refiriendo al caso en que se cuente con una cámara filtrante. En la mayoría de los casos, la cohesión del terreno no deja una cavidad uniforme, lo cual produce un cierto ruido en el cálculo de la permeabilidad (K).

Las pruebas Lefranc pueden ser de flujo constante y de flujo variable. Las primeras se dividen en ensayos de inyección y bombeo de caudal (Q) constante de

agua, determinando la profundidad a la que se estabiliza el nivel del agua con dicho caudal, haciendo varias observaciones al hacer variar éste.

En el caso de las pruebas de flujo constante, ya sea por bombeo o por inyección de agua, se calcula con los datos de campo el gasto o caudal (Q) en lts/seg y la carga (H) desde el manto freático hasta el nivel estable. Cuando no existe manto freático, la carga variará desde la profundidad del nivel estático hasta el centro de la cámara filtrante. Estos datos son utilizados para calcular el coeficiente de permeabilidad por medio de la siguiente expresión analítica:

$$K = C \frac{Q}{H} \quad [8]$$

Donde:

- K coeficiente de permeabilidad (cm/seg)
- C constante geométrica (adimensional)
- Q caudal o gasto (lts/seg)
- H carga hidráulica monitoreada (cm)

Para nuestro caso, fue considerada la cavidad como una elipse de revolución con un eje corto igual a (D) y una distancia focal unitaria, lo cual se expresa en la siguiente forma matemática:

$$C = 0.366 \frac{\text{Log} \left[\frac{L + (L^2 + D^2)^{\frac{1}{2}}}{D} \right]}{L} \quad [9]$$

Donde:

- C constante geométrica (adimensional)
- L longitud del tramo de prueba (m)
- D diámetro de la perforación (m)

En esta última expresión, el valor de C está dado en 1/m o m⁻¹. Cuando la longitud del tramo de prueba es variable y con 0.108 m de diámetro (φ), fue necesario calcular cada valor de la constante (C).

Combefort (1962) también apunta que para el caso de las pruebas de flujo variable, con ascenso o descenso de la superficie del agua dentro de la perforación, en las que se van obteniendo las profundidades h₁ y h₂ con que va variando el espejo del agua en determinado tiempo de observación, el coeficiente de permeabilidad está dado por la fórmula siguiente:

$$K = 2.3CA \frac{\text{Log} \left(\frac{H_1}{H_2} \right)}{T_2 - T_1} \quad [10]$$

En estos casos el cálculo de la constante (C) es igual al caso anterior, puesto que las dimensiones de la cámara filtrante, pueden ser variables.

De acuerdo con los principios del cálculo del coeficiente de permeabilidad (K), se obtienen los diferentes valores para cada una de las dos alternativas (ALP y ALC), dichos resultados se sintetizan en la siguiente tabla:

Tabla N°4
Resultados de las Pruebas de Permeabilidad

ALTERNATIVA	BARRENO	INTERVALO (M)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (cm/seg)
ALC	1	1.0 – 2.2	3.22×10^{-3}
		7.0 – 12.0	9.12×10^{-6}
		12.0 – 21.0	8.62×10^{-6}
		21.0 – 25.0	9.35×10^{-6}
		25.0 – 30.0	7.08×10^{-6}
		30.0 – 37.0	8.06×10^{-7}
		2	1.0 – 4.0
	6.0 – 14.0		4.54×10^{-6}
	18.0 – 21.0		3.39×10^{-6}
	21.0 – 31.0		1.0×10^{-6}
	31.0 – 40.0		7.6×10^{-7}
	3	2.0 – 4.0	1.53×10^{-5}
		6.0 – 8.0	4.2×10^{-3}
		10.3 – 12.3	3.27×10^{-5}
		12.3 – 16.0	2.28×10^{-6}
		16.0 – 18.0	1.78×10^{-6}
		18.0 – 23.3	9.4×10^{-12}
		23.3 – 28.0	9.37×10^{-10}
	4	3.0 – 4.5	8.76×10^{-6}
		6.0 – 7.0	6.42×10^{-4}
		12.0 – 13.0	1.8×10^{-6}
13.0 – 26.0		4.96×10^{-10}	
26.0 – 33.0		2.11×10^{-10}	
33.0 – 40.0		1.71×10^{-10}	

**EVALUACIÓN DEL ACUITARDO SOMERO EN LA REGIÓN DE MÉNDEZ, TAMPS.
GEOHIDROLOGÍA DEL SITIO**

5	6 - 7.0	5.87×10^{-8}
	16.0 - 18.0	2.61×10^{-6}
	19.4 - 21.0	1.14×10^{-7}
	21.0 - 24.0	9.8×10^{-8}
	24.0 - 30.0	9.8×10^{-8}
	30.0 - 40.0	1.14×10^{-7}
6	6.0 - 7.0	1.9×10^{-6}
	12.0 - 13.0	1.96×10^{-7}
	18.0 - 22.0	2.6×10^{-8}
	27.0 - 32.0	3.73×10^{-8}

El coeficiente de permeabilidad (K) determinado para los diferentes estratos identificados por la barrenación, indica valores bajos debido a la arcillosidad presente en ambas alternativas sobre todo en la alternativa "La Coraza" (ALC).

1.1 Resultados de la topografía de detalle en los pozos de monitoreo y en el Río Conchos

Con el objeto de conocer la red de flujo para el agua subterránea somera detectada en la región de Méndez, para ambas alternativas (ALC y ALP), se utilizó el geoposicionador marca TOPCON modelo GPS TURBO-SII, y los datos medidos por este equipo se corren en un programa de INEGI el cual tiene como referencia el modelo Geodésico - Matemático GRS80.

Tales mediciones para los barrenos 1, 2, 3, 4, 5 y 6, así como para un punto de control sobre el Río Conchos, en el tirante hidráulico (h) del escurrimiento, los resultados de las mediciones se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla N°5
Altimetría para los diferentes puntos seleccionados**

BARRENO NÚMERO	COORDENADAS U.T.M.		ELEVACIÓN SOBRE ELIPSOIDE GRS80
	X	Y	
1	547,634.550	2,776,871.594	57.284
2	547,098.811	2,776,848.124	56.876
3	547,672.820	2,776,530.660	57.628
4	546,976.715	2,771,633.020	50.989
5	548,143.054	2,771,610.734	49.905
6	547,592.461	2,772,784.502	49.266
Pozo de agua La Coraza	547,719.445	2,777,235.498	67.108
Río Conchos	546,494.564	2,775,847.225	35.793

Con los anteriores resultados logramos realizar el análisis de la red de flujo presente en el área de ambos sitios ALP y ALC.

1.2 Resultados de la piezometría calculada en las alternativas evaluadas.

La piezometría consiste de levantar datos de los niveles freáticos de las diferentes aguas subterráneas; las cuales, en medios porosos, tienden a constituir redes de flujo en cierta medida homogéneas, en sitios donde tienen pocos obstáculos geológicos que las perturben.

Con las *alturas* de los brocales (+) de los barrenos efectuados y las mediciones de la *profundidad* (p) del agua subterránea desde el brocal hasta su nivel superior calculamos la *carga hidráulica* (h) de dicho punto discreto.

$$h = + - p \quad [11]$$

Donde:

- h es la carga hidráulica (mts)
- $+$ es la altura del brocal (mts)
- p es la profundidad del agua subterránea (mts)

En donde a su vez, se sabe que de acuerdo con Walton (1970), la h tiene que ver con la ecuación simplificada de Bernoulli que dice:

$$h = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \quad [12]$$

Donde:

- h es la carga hidráulica (mts)
- z es la altura del punto con respecto al NMM (mts)
- p es la presión de la partícula del agua (Kg/cm^2)
- γ es el peso específico del agua ($\text{Kgseg}^2/\text{cm}^4$)
- V es la velocidad de la partícula del agua (cm/seg)
- g es la aceleración de la gravedad del agua (cm/seg^2)

Sin embargo, debido a que en condiciones normales de agua en medios porosos, la relación $\frac{V^2}{2g}$ es muy pequeña en comparación con las

anteriores relaciones por lo que la expresión matemática puede simplificarse como:

$$h = z + \frac{p}{\gamma} \quad [13]$$

Así, tomando como nivel de referencia las alturas de la carga hidráulica y con las coordenadas de los puntos determinados por el sistema GPS, podemos configurar las líneas de energía piezométrica de igual altura usando la interpolación lineal múltiple, en donde se tiene como objeto el trazar las líneas equipotenciales(ϕ), y a su vez, en dirección ortogonal descendente, las líneas de flujo (ψ) con su respectiva dirección, tomando como base el norte magnético.

Dichos resultados son presentados en la figura N°14 para el sitio ALP y la figura N°15 para el sitio ALC, respectivamente.

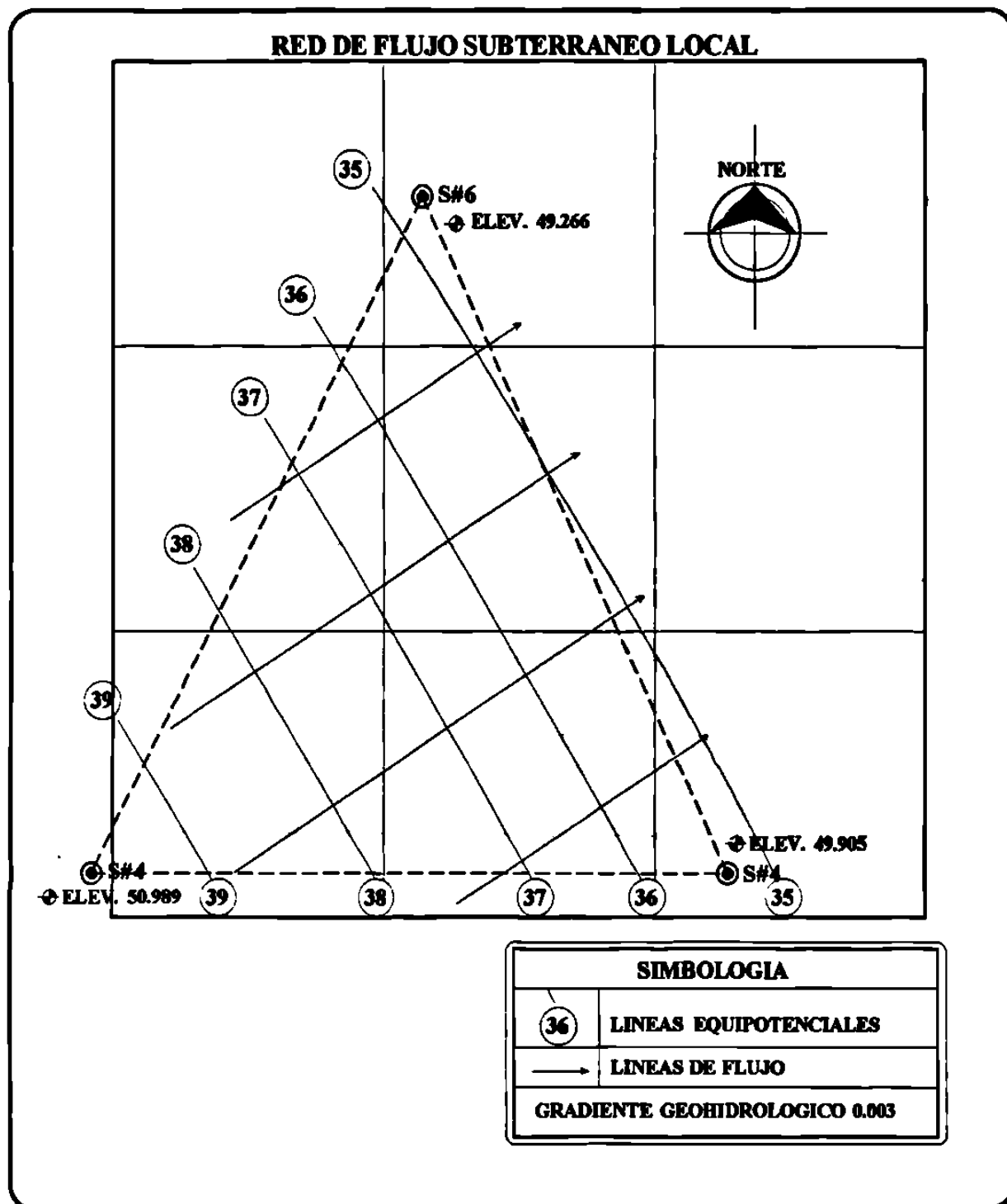


Figura N°14.- Red piezométrica determinada en la ALC.

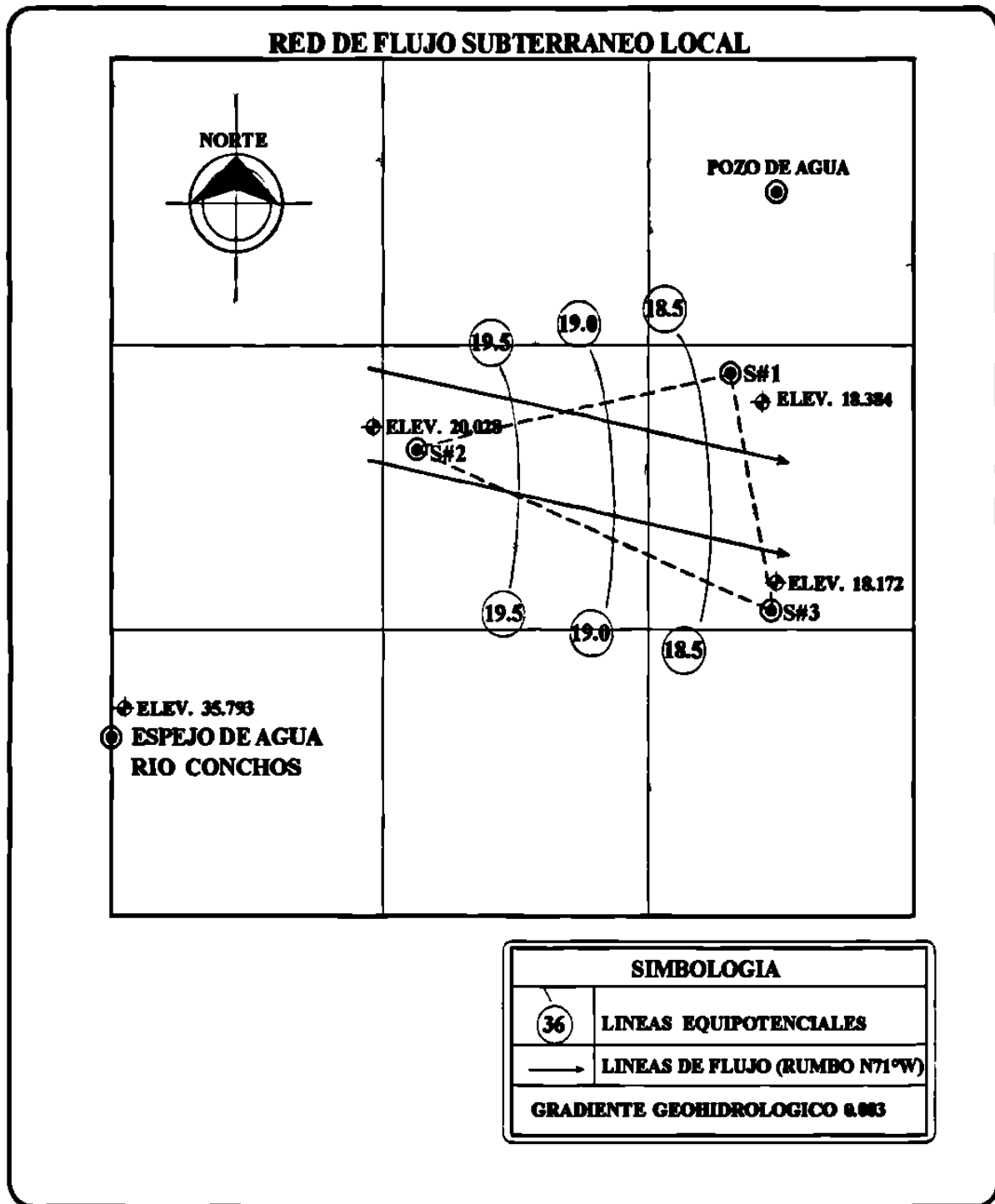


Figura N°15.- Red piezométrica determinada en la ALC.

1.3 Resultados de la prueba de bombeo

Un ensayo por bombeo puede servir para dos objetivos principales, en primer lugar, el ensayo se puede hacer para determinar las características hidráulicas de los acuíferos o de las capas por las que se transporta el agua. A tal tipo de ensayo se le suele llamar *test de acuífero*, ya que lo estudiado, más que la bomba o el pozo, es el acuífero mismo. Cuando se planifica correctamente y se

lleva a cabo cuidadosamente un ensayo de este tipo, puede proporcionar información básica para la solución de muchos problemas, tanto regionales como locales sobre el flujo del agua en el suelo (Kruseman y Ridder, 1975).

En segundo lugar, un ensayo por bombeo puede proporcionar información sobre el rendimiento y el descenso del nivel de agua en el pozo. Estos datos pueden ser utilizados para determinar la capacidad específica o la relación descarga-descenso del pozo, para seleccionar el tipo de bomba y poder estudiar el costo del bombeo. La capacidad específica nos da una medida de la efectividad o capacidad productiva del pozo. A este tipo de ensayo por bombeo a veces se la llama *test del pozo*, ya que se estudia el pozo más que el acuífero.

Para el análisis de ambas alternativas, el realizar un test de acuífero es bastante simple: se bombea agua de un pozo que tiene una parte en el acuífero a estudiar, durante un cierto tiempo y con un cierto caudal; se mide el efecto que el bombeo produce sobre el nivel del agua, tanto en el pozo bombeado, como en algunos piezómetros situados en las cercanías.

Sustituyendo en una apropiada fórmula los valores de los descensos del nivel del agua en los piezómetros, las distancias de éstos al pozo y la descarga del bombeo, se obtienen las características hidráulicas del acuífero.

Usando la solución de Jacob (Cooper y Jacob, 1946), el cual esta basado en la teoría de Theis (1935) que dice:

$$s = h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} \int_0^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \quad [14]$$

Donde:

- s es el abatimiento (mts)
- h_0 es la carga hidráulica antes en $t = 0$ (mts)
- h es la carga hidráulica con $t = x$ (mts)
- Q es el caudal de extracción (m^3/hra)
- T es la transmisividad (m^2/hra)

Y en donde a su vez:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad [15]$$

Donde:

- r es la distancia del pozo b al pozo o (mts)

- S es el coeficiente de almacenamiento (adimensional)
 T es la transmisividad (m^2/hra)
 t es el tiempo (hras)

La solución que Jacob deduce en virtud de simplificaciones:

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta m} \quad [16]$$

Donde:

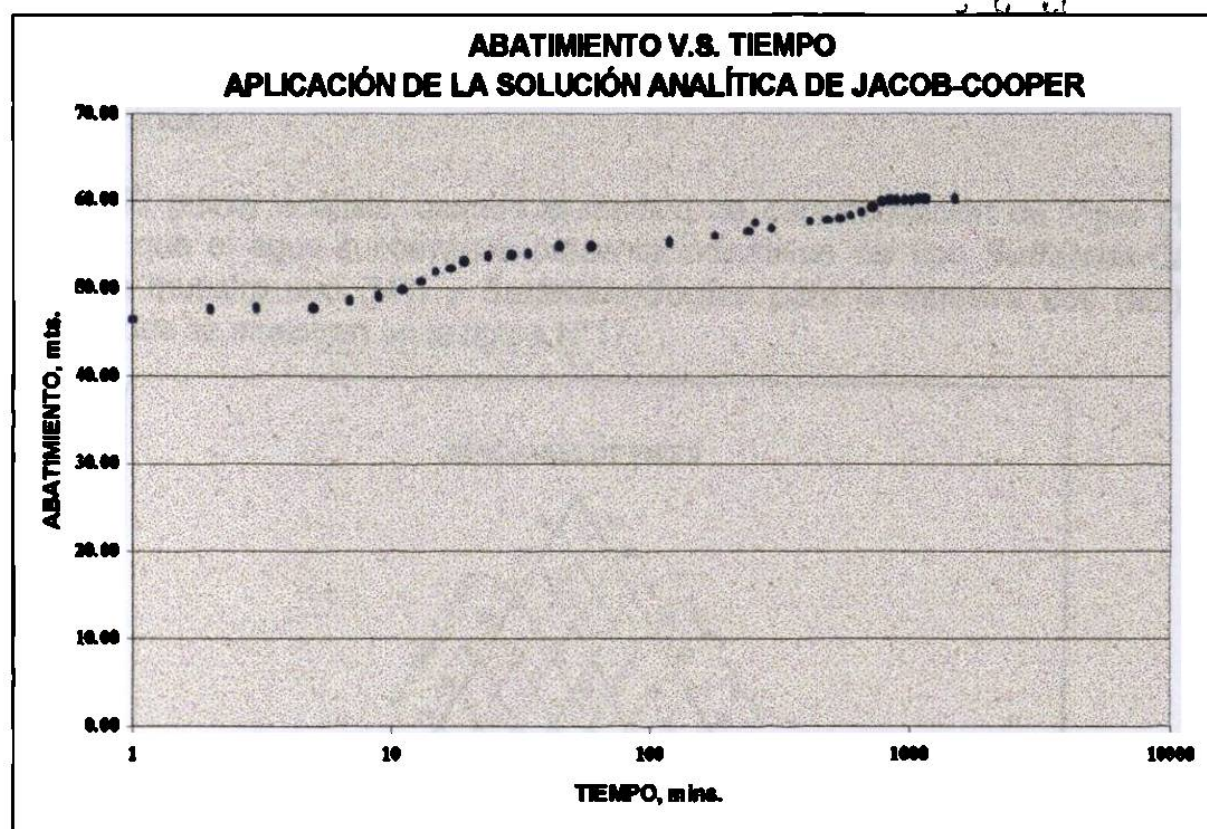
- T es la Transmisividad (m^2/hra)
 Q es el caudal (m^3/hra)
 Δm es la pendiente de la recta

Los resultados de la prueba de bombeo ejecutada en el pozo de agua, demostraron que con un caudal (Q) de 0.1 lps, y un tiempo (t) de 24 hrs de duración de la prueba dan como resultado el siguiente cuadro.

Tabla N°6
Determinación de la Transmisividad, ALC.

POZO	DURACION DE LA PRUEBA (Hrs)	TRANSMISIVIDAD (M^2/Dia)
POZO DE AGUA	24	0.328

De acuerdo con lo anterior, se demuestra que el agua subterránea existente en el área de estudio es característica de un **acuitardo**, es decir, una formación geológica que, aunque almacena agua y la transmite en cantidades significativas a escala regional, no es suficiente para abastecer por sí misma instantáneamente a los pozos (Davis y DeWiest, 1966).



16.- Aplicación del criterio analítico de Cooper-Jacob, en la ALC.

1.4 Resultados del muestreo hidrogeoquímico en los pozos de monitoreo

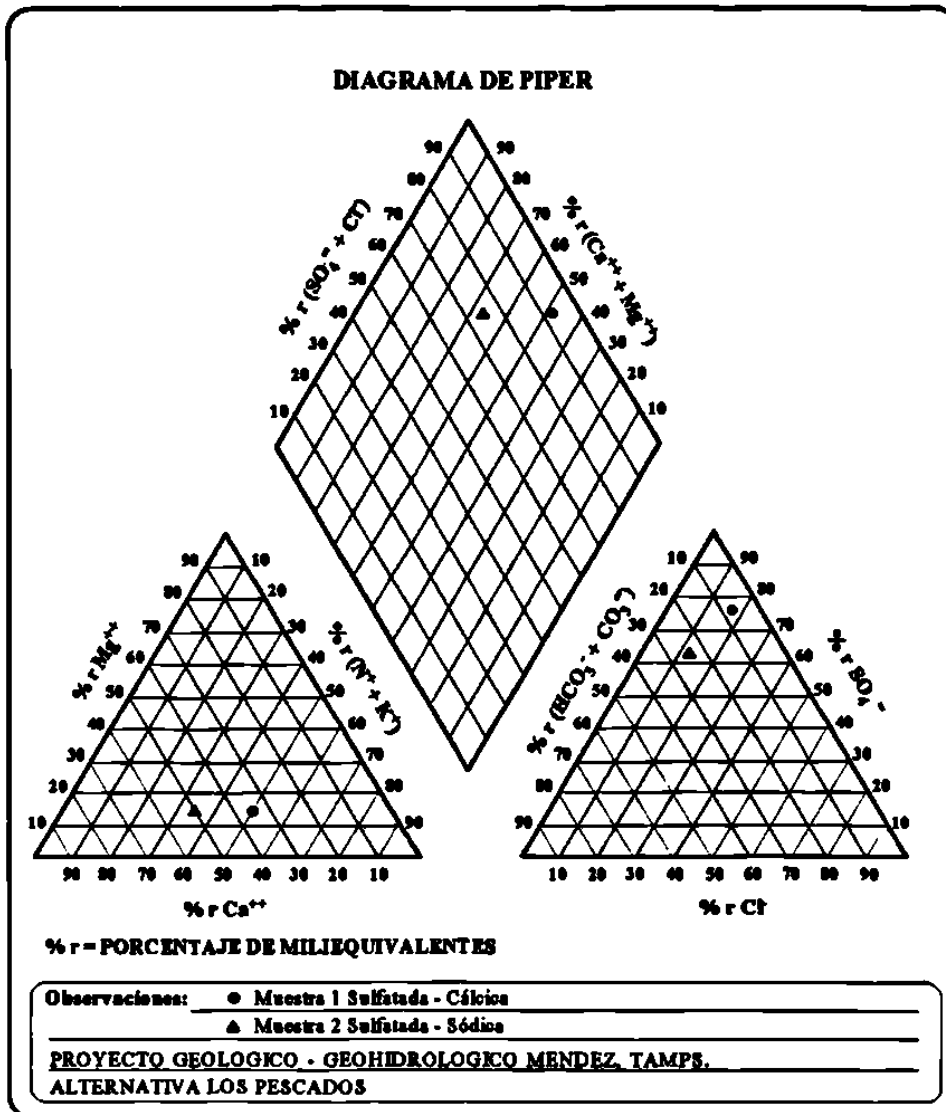
De los resultados del censo de aprovechamientos efectuado en el área de Méndez, se logró establecer que existen relativamente pocos de éstos en la zona de influencia que corresponde a las dos alternativas (ALP y ALC), aproximadamente a 1.5 Km al Oriente de la alternativa ALP, en un lugar conocido como "El Progreso", existen dos norias las cuales presentan un equipo de bombeo mediante papalotes. El agua de dichas norias, extraída del acuitardo, es usada para abrevadero de ganado caprino. Ahí se observó que la cantidad de animales manejados en la temporada de agosto de 1996 a diciembre de 1997 no excede de 25 cabezas. A continuación se presenta una tabla de resultados de los aprovechamientos encontrados en la zona de influencia de la ALP.

TABLA N°7
CENSO DE APROVECHAMIENTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA ALP

N°	Localización	Tipo de Aprovechamiento	Uso	Sistema de Extracción	Tubería de Salida (pulg)	Caudal Estimado (lts/s)
1	Rancho "El Progreso"	Noria 1.5 x 2.0 m	Abrevadero	Papalote	Manguera 1 1/2"	0.30
2	Rancho "El Progreso"	Noria 1.5 x 2.0 m	Abrevadero	Papalote	Manguera 1 1/2"	0.30

En todos éstos aprovechamientos, se realizaron muestreos en condiciones dinámicas de uso del pozo, con el fin se someterlas a análisis físico-químico, para posteriormente, realizar la caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas.

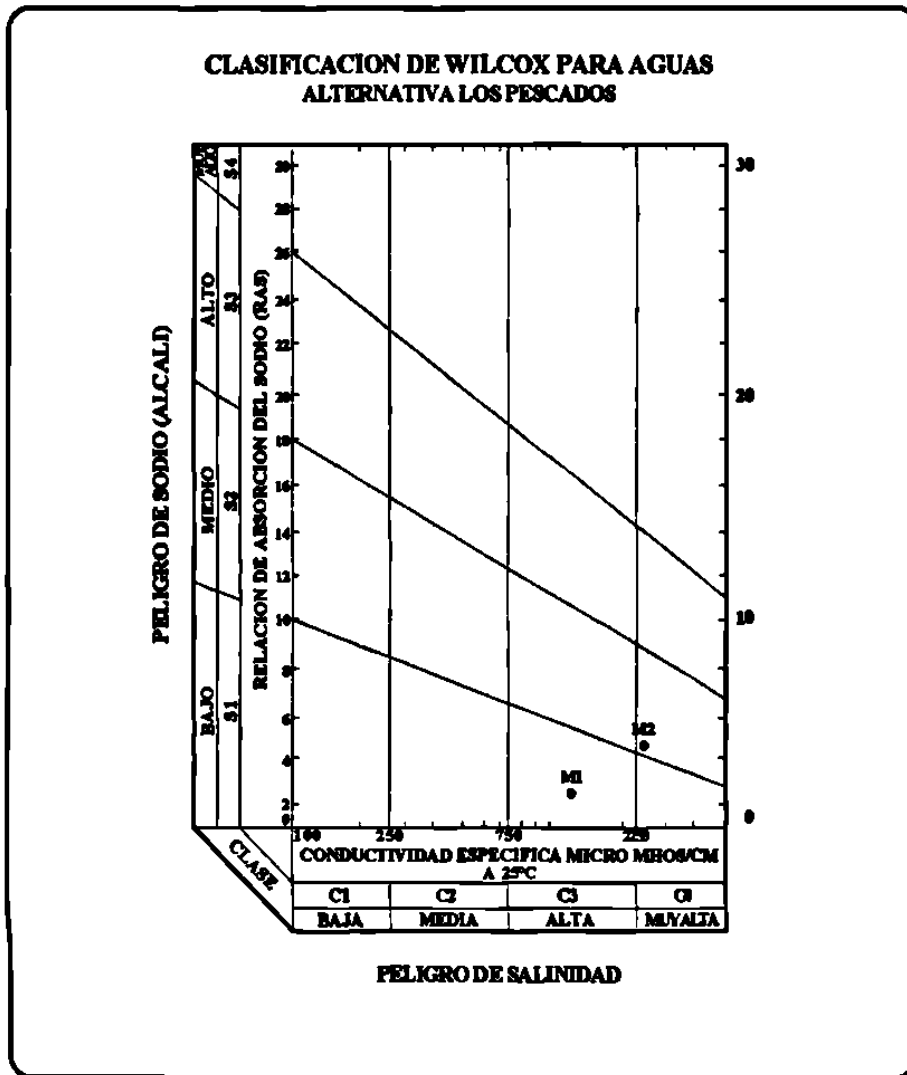
El primer análisis, usando el modelo de caracterización de Piper (1944), señala que el agua subterránea presenta indicativos del tipo *Sulfatada-Cálcica* para la muestra uno (M1) y *Sulfatada-Sódica* para la muestra dos (M2). Los resultados se muestran en la figura N°17.



17.- Diagrama de Piper para las muestras de la ALP.

Para conocer la calidad del agua subterránea del acuitardo en las muestras de la alternativa ALP, usamos el criterio de Wilcox (1948) para definir con los datos de la relación de absorción de sodio (RAS) y la conductividad específica (µmhos/cm).

Los resultados de acuerdo, con Wilcox (1948), son aguas del tipo C4S2 y C3S1, lo cual nos indica que son de alta y muy alta salinidad y no son apropiadas para el riego; además los valores de RAS varían de medio a bajo, el uso de ésta agua para riego es condicionada a textura gruesa con alta permeabilidad; sin embargo, el suelo tiene una textura bastante fina, por lo que no se recomienda usarla para actividades agrícolas en la ALP (Figura N°18).

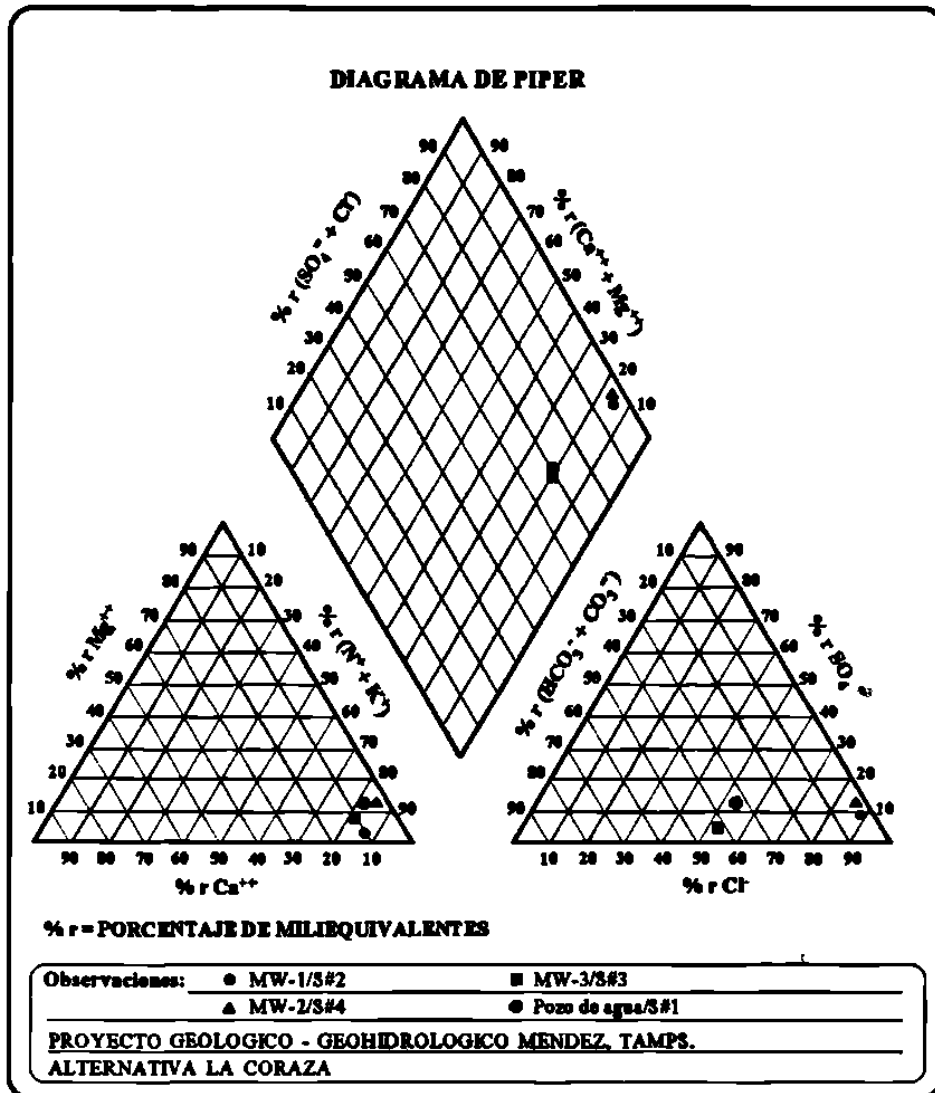


18.- Diagrama de Wilcox para la clasificación de aguas de la ALP.

El censo de aprovechamientos del área de influencia de la alternativa "La Coraza" (ALC), registra igualmente condiciones poco atractivas, el uso es para abrevadero solo ocasional, existe un pozo de agua localizado aproximadamente a 600 m al Norte del área en estudio (Figura N°19).

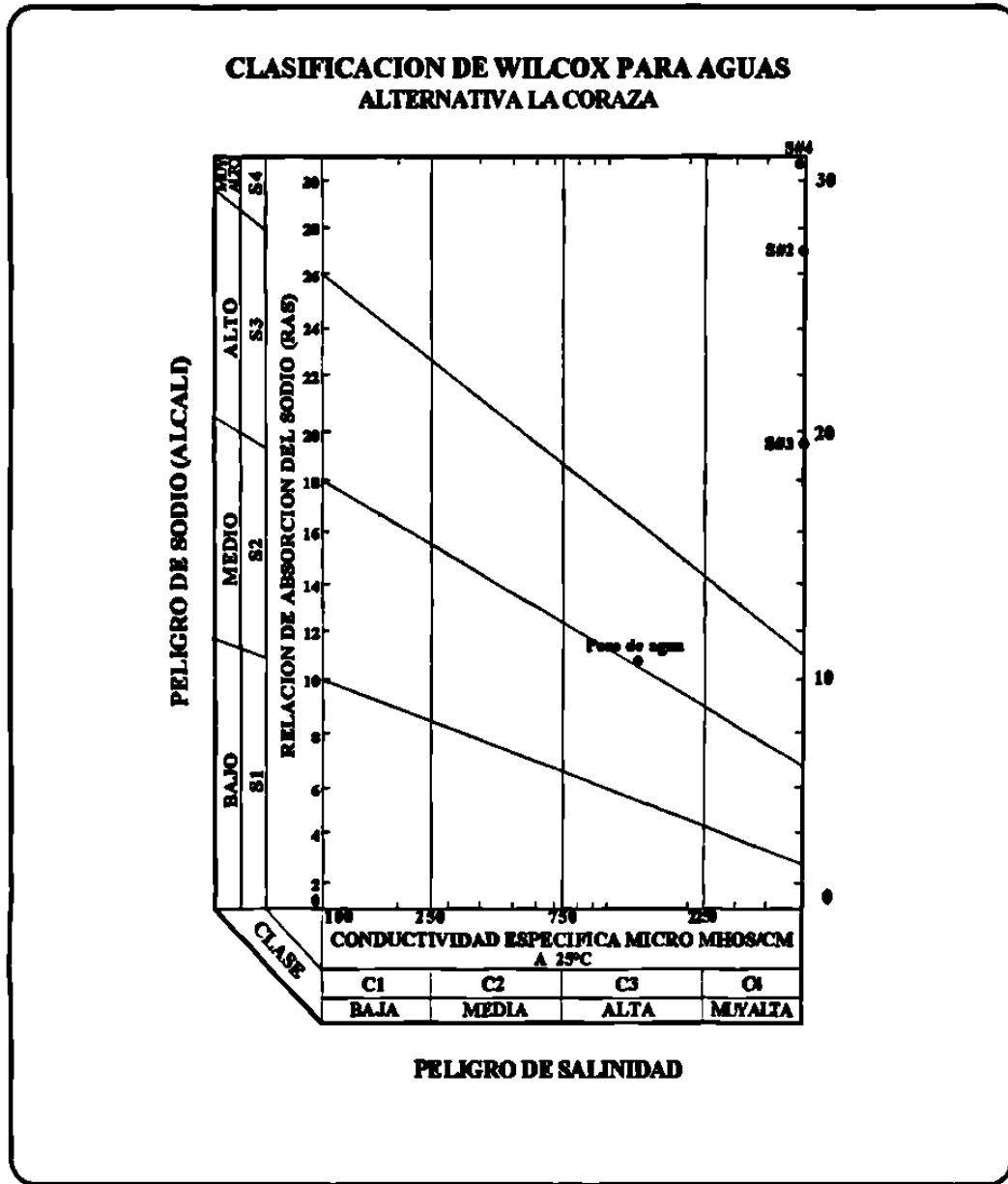
Del mismo modo, la ALC muestra características análogas, predominando de acuerdo con Piper (1944), las aguas *Sódico-cloruradas*, además, estas aguas

muestran valores mayores de sólidos disueltos totales y sensiblemente más salinas, definiéndose igualmente del tipo salobres (Figura N°19).



19.- Diagrama de Piper para las muestras de la ALC.

En lo que respecta a la calidad del agua para riego, los índices de acuerdo con Wilcox (1948) sitúan aguas de las muestras S#2, S#3 y S#4 del tipo C4S4, cuyo uso es no apropiado para el riego y con una RAS muy alto en contenido de sodio, por lo cual se concluye que es inadecuado para riego, mientras que el pozo de agua presenta características similares de altos contenidos en sólidos disueltos totales con alta salinidad C3S3, es decir, de mala calidad (Figura N°20).



20.- Diagrama de Wilcox para la clasificación de aguas de la ALC.

4.- EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN

Hasta el día de hoy, se han tratado de establecer las variables que participan en el movimiento de una fuente de contaminación en la zona no saturada hacia la zona del agua subterránea, Chávez Guillán (1991) menciona que en México se iniciaron en 1986 los primeros intentos formales para atender la contaminación del agua subterránea, en los cuales se propone un procedimiento para valuar el índice de vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación; se mencionan estos parámetros: el tipo de acuífero, la litología, la profundidad del nivel freático. Los grados en dicho índice varían entre: ninguna, baja, moderada, alta y extrema vulnerabilidad.

4.1 Parámetros utilizados

El criterio tomado como base por la NOM-055-ECOL-1996, para la evaluación de las condiciones geológicas y geohidrológicas se fundamenta en la cuantificación del factor de tránsito de la infiltración (f), el cual relaciona la velocidad promedio lineal del agua subterránea contra los diferentes espesores de materiales de la zona no-saturada, incluyendo a la porosidad de ellas, según la siguiente expresión:

$$f = \frac{(K \cdot i)}{(U \cdot d)} \quad [17]$$

En donde:

- f Factor de tránsito de la infiltración (seg^{-1})
- K Conductividad hidráulica promedio de los materiales de la zona no-saturada (m/seg).
- i Gradiente hidráulico (adimensional)
- U Porosidad promedio efectiva de los materiales de la zona no-saturada (adimensional).
- d Espesor de la zona no-saturada (m)

Por otro lado, la velocidad promedio (V) se calcula a partir de la conductividad hidráulica saturada (K) de los materiales del subsuelo en la zona no-saturada, dividida por la porosidad promedio efectiva (U); considerando un gradiente hidráulico unitario (i), de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$V = \frac{Ki}{U} \quad [18]$$

Estos parámetros del sitio se deben representar en la gráfica (Figura N°19), para determinar su aptitud y viabilidad. Los sitios aptos, son aquellos donde el factor de tránsito de la infiltración sea del orden de:

$$f \leq 1 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$$

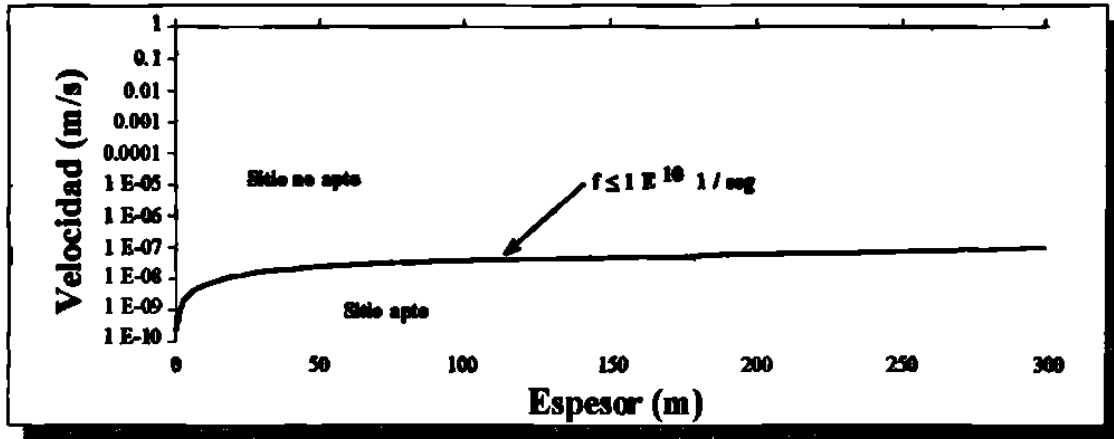


Figura N°19.- Esquema del factor de tránsito de la infiltración.

4.2 Cálculo del factor de tránsito de la infiltración

Tomando en cuenta lo anterior, podemos conjuntar y analizar las características determinadas para cada barreno efectuado en las dos alternativas, con el siguiente resultado:

TABLA N°8
Cálculo del factor de tránsito de la infiltración (f)
Alternativa "Los Pescados"

N° Sondeo	Conductividad Hidráulica (K) m/s	Espesor (d) de la zona no saturada (Crítico) m	Gradiente Hidráulico (I) adimensional	Porosidad promedio (U) adimensional	Factor de tránsito de la Infiltración (f) seg ⁻¹	Evaluación
4	3.2×10^{-5}	3.5	0.003	0.31	8×10^{-9}	
5	5.87×10^{-5}	6.2	0.003	0.29	9.8×10^{-11}	Cumple
6	1.04×10^{-5}	6.2	0.003	0.25	2×10^{-11}	Cumple

Por otra parte, el cálculo de la velocidad promedio (V) del estrato no saturado, nos proporciona los siguientes resultados:

TABLA N°9
Cálculo de la velocidad promedio (V) del estrato no-saturado
Alternativa "Los Pescados"

N° Sondeo	Conductividad Hidráulica (K) m/s	Gradiente Hidráulico (i) adimensional	Porosidad promedio (U) adimensional	Velocidad promedio (V) m/s	Evaluación
4	3.2×10^{-6}	1	0.31	1.03×10^{-5}	
5	5.87×10^{-8}	1	0.29	2.02×10^{-7}	Cumple
6	1.04×10^{-8}	1	0.25	4.1×10^{-8}	Cumple

En lo que respecta al sitio ALC, y de nueva cuenta si discretizamos las características para cada uno de los barrenos (N° 1, N° 2 y N° 3); calculamos el factor de tránsito de la infiltración (f), llegando a lo siguiente:

TABLA N°10
Cálculo del factor de tránsito de la infiltración (f)
Alternativa "La Coraza"

N° Sondeo	Conductividad Hidráulica (K) m/s	Esesor (d) de la zona no saturada (Crítico) m	Gradiente Hidráulico (i) adimensional	Porosidad promedio (U) adimensional	Factor de tránsito de la Infiltración (f) seg^{-1}	Evaluación
1	8.4×10^{-8}	38.9	0.003	0.51	1.27×10^{-11}	Cumple
2	6×10^{-9}	37.6	0.003	0.45	1.06×10^{-11}	Cumple
3	5.4×10^{-8}	38.7	0.003	0.51	8.2×10^{-12}	Cumple

Por último, la velocidad promedio (V) del estrato no-saturado, se calcula usando los valores anteriormente considerados para la otra alternativa, con el siguiente resultado:

TABLA N°11
Cálculo de la velocidad promedio (V) del estrato no-saturado
Alternativa "La Coraza"

N° Sondeo	Conductividad Hidráulica (K) m/s	Gradiente Hidráulico (i) adimensional	Porosidad promedio (U) adimensional	Velocidad promedio (V) m/s	Evaluación
1	8.4×10^{-8}	1	0.51	3×10^{-8}	Cumple
2	6×10^{-9}	1	0.45	6×10^{-10}	Cumple
3	5.4×10^{-8}	1	0.51	1.2×10^{-10}	Cumple

Lo anterior nos demuestra que el sitio "ALC" presenta mejores condiciones geológicas naturales para determinar como factible el proyecto del CIMARI en este sector de Méndez, Tamps.

4.3 Discusión

Es evidente que el proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-055-ECOL-1996, "que establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinarán para un confinamiento controlado y a la instalación de centros integrales para el manejo de residuos industriales peligrosos", necesita afinar algunas partes de su contexto.

Particularizando algunos puntos de los que serían necesarios incluir, el primero, sería el hecho de incorporar dentro de la estructura que posee el diagrama de flujo en cuanto a los procedimientos, la modelación geohidrológica del proceso de difusión-advención, y el transporte de masa, así como el de energía.

Lo anterior, sería atractivo si se considera que, con los resultados del modelo de transporte geohidrológico se podrían lograr predecir alojamientos, en el subsuelo, de fugas, posibles concentraciones desde el punto de la fuga y a través del tiempo, y así, poder planear en su caso, medidas correctivas.

El hecho de que el factor de tránsito de la infiltración (f) contenga dentro de su límite un valor de $\leq 1 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$, permite fijar junto con el espesor del estrato no-saturado una relación de cierta seguridad; sin embargo, en el caso de que la alternativa ALC muestre cumplir con este requisito, es necesario de cualquier manera, la implantación de un diseño físicamente adecuado, funcional, seguro y económicamente costeable.

Lo anterior, abre la posibilidad de manejar el paso siguiente de esta investigación, el cual es la selección del diseño óptimo para este CIMARI.

En cuanto a la calidad y a la cantidad del agua subterránea contenida en el acuitardo, definido en la región de Méndez, el contenido de alta salinidad le otorga la categoría de agua subterránea salobre y con muy baja transmisividad, estos datos sugieren que el sitio ALC, tiene condiciones aptas para la factibilidad constructiva; aunado al hecho de que los aprovechamientos en esta región son mínimos y se limitan al uso de abrevadero de una cantidad poco significativa de ganado.

Lo anterior, no justifica que, por reunir los requisitos señalados por la NOM-055-ECOL-1996, se descuide el diseño de los revestimientos de las celdas de confinamiento, por lo que ahora se deberán de considerar estos datos en el diseño y, en su caso, apegarse al proceso constructivo del CIMARI.

Los barrenos efectuados en el sitio ALC fueron acertadamente transformados en pozos de monitoreo, siguiendo las especificaciones de la ASTM (American Standard for Testing and Materials) y de la EPA (Environmental

Protection Agency), por lo que servirán para llevar un registro a futuro de la evolución hidrogeoquímica del agua subterránea del acuitardo.

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dadas las siguientes circunstancias:

1.- La localidad de Méndez, Tamaulipas, cuenta con una población de 5,924 habitantes (INEGI, 1997) e históricamente presenta una tasa de crecimiento baja con una alta tasa de migración.

2.- El proyecto CIMARI que se plantea alojar en la región de Méndez, considera dos alternativas "Los Pescados" (ALP) y "La Coraza" (ALC).

3.- La distancia desde Méndez, hacia las ALP y ALC, es de aproximadamente 8 Km y 11 Km, respectivamente, en dirección SE.

4.- Los dos sitios, se inscriben en la Provincia Fisiográfica Llanura Costera del Golfo de México, y en particular, en la Subprovincia de la Llanura Costera Tamaulipeca.

5.- Geológicamente, las rocas que conforman los macizos rocosos en el área de Méndez, pertenecen geocronológicamente al Terciario, y estructuralmente a la Subprovincia de la Cuenca de Burgos, las cuáles presentan en su actitud una disposición de buzamiento general hacia el Oriente, hacia el Golfo de México.

6.- Hidrográficamente, los sitios de la ALP y ALC, se sitúan en la Región Hidrológica N°25, correspondiente a San Fernando-Soto la Marina, y dentro de la Subcuenca N°25b, cuyo escurrimiento superficial se encuentra regido por el Río Conchos, principalmente. Las características del Río Conchos es la de formar meandros y velocidades de escurrimiento bajas debido fundamentalmente a una pendiente topográfica con tendencia a la horizontalidad.

7.- Estratigráficamente, la unidad litológica involucrada en el alojamiento para ambas alternativas es la Formación Catahoula (Oligoceno Tardío).

8.- Los factores hidrogeológicos considerados para seleccionar sitios aptos para un CIMARI son: tipos de macizos rocosos, tipos de flujo presente en el agua subterránea, la clasificación del agua del subsuelo y su dinámica, la porosidad, el gradiente hidráulico, la conductividad hidráulica, la transmisividad y el tipo de interacción existente entre la escorrentía superficial con el agua subterránea. El macizo rocoso es considerado del tipo laxos deformable, dado su gran contenido de arcillosidad.

9.- El macizo rocoso es considerado del tipo laxos deformable, dado su gran contenido de arcillosidad.

10.- Dada la horizontalidad del terreno y al tipo de granulometría de las diferentes unidades litológicas, se deduce que el tipo de flujo del agua subterránea en el subsuelo es del tipo laminar.

11.- El tipo de agua subterránea determinada en la región de ambos sitios es de un acuitardo, del tipo libre, con movimiento en arenas finas y limos de bajo espesor (2mts), con baja permeabilidad ($2.61 \times 10^{-6} - 1.09 \times 10^{-7}$ cm/seg), bajo almacenamiento y baja transmisividad ($0.328 \text{ M}^2/\text{Día}$), el tipo de agua subterránea es del tipo Sódico-Cloruradas y Sulfatada-Sódicas y con alta salinidad (C4S2, C3S1 y C4S4).

12.- La piezometría determinada indica que la dirección del flujo tanto para la ALP (N27°E) así como para la ALC (N71°W), coinciden en determinar que el agua subterránea en esta región corresponde como del tipo influente.

13.- Dentro de los indicativos de la evaluación del potencial de la contaminación, las indicaciones señaladas por la SEMARNAP, se deduce que la alternativa La Coraza (ALC) presenta condiciones más ventajosas para instalar el CIMARI debido fundamentalmente al espesor del estrato no saturado (38 mts), el valor del factor de tránsito de la infiltración es del orden de $1.06 \times 10^{-11} - 8.2 \times 10^{-12} \text{ seg}^{-1}$ y la velocidad promedio de $3 \times 10^{-8} - 1.2 \times 10^{-10} \text{ m/s}$.

14.- De acuerdo con los señalamientos de la SEMARNAP, el paso siguiente para continuar con la factibilidad del sitio, es el de cumplir con la NOM-057-ECOL-1993, que establece los requisitos que deben de observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.

15.- Sería recomendable el ingresar los resultados determinados en este trabajo a un simulador geohidrológico-matemático para intentar corroborar el funcionamiento de una fuga o derrame en distintas series de tiempo, proyectadas en el futuro.

Se concluye que de las dos alternativas, la alternativa "La Coraza" cumple con los requisitos señalados por la normatividad oficial mexicana para instalar un CIMARI, mientras que la alternativa "Los Pescados", no cumple con dichas indicaciones.

6.- BIBLIOGRAFÍA

Fairbridge, R.W. (1972): THE ENCYCLOPEDIA OF GEOCHEMISTRY AND ENVIRONMENTAL SCIENCES, NEW YORK, Van Nostrand Reinhold, 1321p.

Linsley, R.K., Kohler, M.A. y Paulhus, J.L.H. (1984): HIDROLOGÍA PARA INGENIEROS, MEXICO, McGraw-Hill, 386p.

Snoeyink, V.L. y Jenkins, D. (1990): QUÍMICA DEL AGUA, MEXICO, Limusa, 508p.

Juárez, E. y Rico, A. (1993): MECÁNICA DE SUELOS, MEXICO, Limusa, Vol. III, 414p.

Mijailov, L. (1985): HIDROGEOLOGÍA, Moscú, Mir, 286p.

Davis, J.C. (1986): STATISTICS AND DATA ANALYSIS IN GEOLOGY, Second Edition, John Wiley & Sons, 646p., U.S.A.

Goodman, R.E. (1989): INTRODUCTION TO ROCK MECHANICS, Second Edition, NEW YORK, John Wiley & Sons, 562p.

Aparicio, F.J. (1997): FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE, MEXICO, Limusa, 303p.

Sotelo, G. (1994): HIDRÁULICA GENERAL, MEXICO, Limusa, 561p.

CNA (1994): MANUAL PARA EVALUAR RECURSOS HIDRÁULICOS SUBTERRÁNEOS, MEXICO, Hidrolegro, 244p.

Chávez, R. (1991): PRESERVACIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, S.M.M.S., Simposio Geotecnia y Medio Ambiente, p. 29-38., MEXICO, Ed. Regina de los Angeles.

Driscoll, F.G. (1986): GROUNDWATER AND WELLS, Second Edition, Minnesota, Johnson Screens, 1089p.

Freeze, R.A. y Cherry, J.A. (1979): GROUNDWATER, NEW JERSEY, Prentice-Hall, 604p

Harvey, J.C. (1993): GEOLOGÍA PARA INGENIEROS GEOTÉCNICOS, MEXICO, Limusa, 157p.

Davis, S.N. y De Wiest, R. (1991): HIDROGEOLOGÍA, BARCELONA, Ariel, 563p.

López Ramos, E. (1985): GEOLOGÍA DE MÉXICO, Editorial Escolar, Tercera Edición, Tomo II, 454p.,

http://www.ine.gob.mx/degoeia/p_espec/priori.html

<http://www.ine.gob.mx/dqmrar/marco.html>

INE, (1997): FACTIBLE LA INSTALACIÓN DE CIMARI EN MÉXICO, 'MEXICO, p. 54-55, Revista TEOREMA.

TSD de México, (1996): DISEÑO DE PLANTA TAD MÉNDEZ, TAMPS., (Informe Interno Inédito).

INEGI (1997): ANUARIO ESTADÍSTICO DEL ESTADO DE TAMAULIPAS, AGUASCALIENTES, Impreso por INEGI, 500p.

Raisz, E. (1964): LANDSFORMS OF MEXICO, CAMBRIDGE MASS., Geography Branch of the office of Naval Research, Segunda Edición.

CURRICULUM VITAE

DATOS PERSONALES.

Nombre: ROGELIO CHAVEZ SANCHEZ
Fecha de Nacimiento: 25 de Junio de 1968
Lugar de Nacimiento: Monterrey, N.L., México
Nacionalidad: Mexicano
Estado Civil: Soltero
Idiomas: Español, Inglés (85%)

Dirección: Río Colorado No. 2007, Col. México
Monterrey, Nuevo León, México
Tel: (8) 352-4969 ext. 201 (oficina)
Fax: (8) 376-3970 y 376-0477
E-mail: rochavez@ccr.dsi.uanl.mx

Trabajo Actual: Departamento de Geohidrología y Geofísica
del Instituto de Ingeniería Civil, U.A.N.L.,
Monterrey, N.L.
Catedrático de la Maestría de Hidrología
Subterránea, de la FIC, U.A.N.L.
Presidente de la Delegación Nuevo León del
Colegio de Ingenieros Geólogos de México

FORMACION ACADEMICA

FECHA	LUGAR	GRADO ACADEMICO
1985 - 1990	FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA, U.A.N.L.	INGENIERO GEOLOGO
1994 - 1996	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, U.A.N.L.	MAESTRIA EN HIDROLOGIA SUBTERRANEA
1998 – En Curso Actual	FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS, U.A.N.L.	MAESTRIA EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS con especialidad en FÍSICA (EN TRAMITE)

MEMBRESIAS

COLEGIO DE INGENIEROS GEOLOGOS DE MEXICO CIGM
ASOCIACION GEOHIDROLOGICA MEXICANA AGM
SOCIEDAD MEXICANA DE CRISTALOGRAFÍA SMCr

CARGOS PROFESIONALES

PRESIDENTE DE LA DELEGACIÓN NUEVO LEÓN DEL COLEGIO DE INGENIEROS GEÓLOGOS DE MÉXICO (INICIO: MAYO DE 1998)

PRODUCTIVIDAD PROFESIONAL

FECHA	COMPANIA	ACTIVIDADES
1990 - 1990	HYLSA, LAS ENCINAS, COLIMA, COLIMA	VERIFICACION DE ANOMALIAS AEROMAGNETICAS
1990 - 1990	HYLSA, LAS ENCINAS, OJINAGA, CHIHUAHUA	ESTUDIOS GEOLOGICOS PARA EVALUACION PRELIMINAR DE CUERPOS DE HIERRO
1991 - 1991	COLEGIO LINARES LINARES, N.L.	PROFESOR DE SECUNDARIA Y BACHILLERATO
1991 - 1992	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD RESIDENCIA DE ESTUDIOS GEOLOGICOS CD. MADERA, CHIHUAHUA	ESTUDIOS DE INGENIERIA GEOLOGICA, TOPOGRAFIA Y APOYO A GEOFISICA EN UN PROYECTO HIDROELECTRICO
1992 - 1993	COPERLISA, S.A. DE C.V.	TRABAJOS DE PERFORACION PARA POZOS DE AGUA, SELECCION DE SITIOS Y PRUEBAS DE AFORO
1994 - 1994	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD SUPERINTENDENCIA DE ESTUDIOS GEOLOGICOS BOCA DEL RIO, VERACRUZ	ESTUDIOS DE GEOHIDROLOGIA E INGENIERIA GEOLOGICA PARA UN PROYECTO HIDROELECTRICO EN TLAPACOYAN, VER.
1994 - 1995	INEGI, MONTERREY, N.L.	DEPARTAMENTOS DE TOPOGRAFIA Y DE CONCILIACION
1995 - 1996	INSTITUTO DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA MONTERREY, N.L.	GEOLOGO DEL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
1996 - A LA FECHA	INSTITUTO DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOHIDROLOGIA Y GEOFISICA MONTERREY, N.L.	GEOLOGO DEL DEPARTAMENTO DE GEOHIDROLOGIA Y GEOFISICA

PARTICIPACIONES Y CURSOS

TOMA DE EL CURSO "METODOS DE CAMPO DE LAS INVESTIGACIONES DE LA INGENIERIA GEOLOGICA" EN LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA DE LA U.A.N.L. DEL 5 AL 24 DE NOVIEMBRE DE 1990, CON DURACIÓN DE 60 HRS.

TOMA DE EL CURSO "FORMACION DEL REGIMEN Y BALANCE DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS Y SUS METODOS DE ESTUDIO" EN LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA DE LA U.A.N.L. DEL 5 AL 24 DE NOVIEMBRE DE 1990, CON DURACIÓN DE 60 HRS.

PARTICIPACION EN LA VII SEMANA DE INVESTIGACION CIENTIFICA, DE LA FIC U.A.N.L., DEL 25 AL 29 DE MARZO DE 1996, CON EL TEMA: "INVESTIGACIONES DE INGENIERIA GEOLOGICA PARA UNA PLANTA HIDROELECTRICA".

CICLO DE CONFERENCIAS SOBRE EL "DIA MUNDIAL DEL MEDIO AMBIENTE", EN LA DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, DE LA U.A.N.L., EL 5 DE JUNIO DE 1996.

PARTICIPACION EN LA VIII SEMANA DE INVESTIGACION CIENTIFICA, DE LA FIC DE LA U.A.N.L., EL 15 DE ABRIL DE 1997, CON EL TEMA: "INVESTIGACIONES GEOHIDROLOGICAS PARA AREAS CONTAMINADAS POR HIDROCARBUROS EN NUEVO LEON".

CURSO IMPARTIDO AL PERSONAL DE GEOFISICA AMBIENTAL DEL ITESM CAMPUS MONTERREY DE "GEOHIDROLOGIA" EN ABRIL DE 1997.

CURSO TOMADO PARA LA IMPLEMENTACION DE LA CLASE "QUIMICA" EN LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL DE LA U.A.N.L. EN MAYO-JUNIO DE 1997.

ASISTENCIA AL CURSO "APLICACION DE ISOTOPOS EN HIDROLOGIA" EN EL INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA EN JUITEPEC, MORELOS, Y A CARGO DE LA UNAM, EN EL PERIODO DEL 11 AL 15 DE AGOSTO DE 1997, CON DURACION DE 40 HRS.

IMPARTICIÓN DEL CURSO "REMEDIACIÓN DE SUELOS E INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE POZOS" EN LA SUPERINTENDENCIA DE VENTAS ZACATECAS DE PEMEX. EL 21 AL 22 DE AGOSTO DE 1997, CON DURACIÓN DE 16 HRS.

IMPARTICIÓN DE LA CONFERENCIA "GEOHIDROLOGÍA DEL SISTEMA METROPOLITANO DE PROCESAMIENTO DE RESIDUOS MUNICIPALES E INDUSTRIALES NO PELIGROSOS EN EL MUNICIPIO DE SALINAS VICTORIA, N.L." EN LAS INSTALACIONES DE LA MAESTRIA DE INGENIERÍA AMBIENTAL DEL I.T.E.S.M. CAMPUS MONTERREY EL 23 DE OCTUBRE DE 1997.

PARTICIPACION EN LA IX SEMANA DE INVESTIGACION CIENTIFICA, DE LA FIC DE LA U.A.N.L., EL 27 DE MARZO DE 1998, CON EL TEMA: "APLICACIÓN DE ISÓTOPOS NATURALES PARA ESTUDIOS DE RECARGA DE ACUÍFEROS".

RESPONSABILIDAD DE CÁTEDRAS

INSTITUCIÓN	FECHA (MES/AÑO)	GRADO	ASIGNATURA
COLEGIO LINARES	01/91 - 06/91	3 ^o SECUNDARIA	MATEMÁTICAS
	01/91 - 06/91	3 ^o SECUNDARIA	FÍSICA
	01/91 - 06/91	3 ^o SECUNDARIA	QUÍMICA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES, U.A.N.L.	02/96 - 01/98	LICENCIATURA (INGENIERO FORESTAL)	MATEMÁTICAS I
	02/96 - 01/98	LICENCIATURA (INGENIERO FORESTAL)	FÍSICA
	02/96 - 06/97	LICENCIATURA (INGENIERO FORESTAL)	MATEMÁTICAS II
	08/97 - 01/98	LICENCIATURA (INGENIERO FORESTAL)	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, U.A.N.L.	02/95 - 06/95	LICENCIATURA (INGENIERO CIVIL)	GEOLOGÍA
	02/97 - 06/98	MAESTRÍA EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA	GEOHIDROLOGÍA
	02/97 - 06/97	MAESTRÍA EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA	ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS HIDRÁULICOS SUBTERRÁNEOS
	08/98 - 12/98	MAESTRÍA EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
	08/97 - 12/97	MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL	APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ATENTAMENTE

1998-10-02



ING. ROGELIO CHAVEZ SANCHEZ

