

*Zejam*



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESTUDIO HIDROGEOQUIMICO DEL AGUA SUBTE-  
RRANEA EN LOS ALREDEDORES DE UNA  
INDUSTRIA PAPELERA EN EL VALLE DE VILLA  
DE REYES, SAN LUIS POTOSI.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERA GEOLOGA**

P R E S E N T A:

**SUSANA GUTIERREZ ANGELES**



México, D. F.

Octubre de 1995.

**FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIRECCION  
60-1-066

**SRITA. SUSANA GUTIERREZ ANGELES**  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Emiliano Campos Madrigal, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**ESTUDIO HIDROGEOQUIMICO DEL AGUA SUBTERRANEA EN LOS  
ALREDEDORES DE UNA INDUSTRIA PAPELERA EN EL VALLE  
DE VILLA DE REYES, SAN LUIS POTOSI**

- I INTRODUCCION**
- II GENERALIDADES**
- III MARCO GEOLOGICO**
- IV MARCO GEOHIDROLOGICO**
- V HIDROGEOQUIMICA**
- VI EVALUACION DE LA CONTAMINACION DEL AGUA  
SUBTERRANEA**
- VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
- BIBLIOGRAFIA**
- ANEXOS E ILUSTRACIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Ciudad Universitaria, a 18 de noviembre de 1994  
EL DIRECTOR

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS'EGLM'tjh.

**ESTUDIO HIDROGEOQUIMICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS  
ALREDEDORES DE UNA INDUSTRIA PAPELERA EN EL VALLE DE VILLA DE  
REYES, SAN LUIS POTOSÍ**

- I.- INTRODUCCIÓN**
- II.- GENERALIDADES**
- III.- MARCO GEOLÓGICO**
- IV.- MARCO GEOHIDROLOGICO**
- V.- HIDROGEOQUÍMICA**
- VI.- EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AL AGUA SUBTERRÁNEA**
- VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**
- ANEXOS E ILUSTRACIONES**

## ÍNDICE

### I.- INTRODUCCIÓN

I.1.- ANTECEDENTES	1
I.2.- OBJETIVOS	2
I.2.1.-ALCANCES.	2
I.3.-METODOLOGIA	3
I.4.-TRABAJOS PREVIOS	4

### II.- GENERALIDADES

II.1.-LOCALIZACIÓN	6
II.2.-VÍAS DE COMUNICACIÓN	6
II.3.-CLIMA VEGETACIÓN Y FAUNA	6
II.4.-ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS	7
II.5.-POBLACIÓN Y CULTURA	9

### III. MARCO GEOLÓGICO

III.1.-MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	10
III.2.-FISIOGRAFÍA	11
III.3.-GEOMORFOLOGÍA	11
III.4.-ESTRATIGRAFIA	12
III.5.-GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	16
III.6.-GEOLOGÍA HISTÓRICA	17

### IV MARCO GEOHIDROLÓGICO

IV.1.-UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	18
IV.1.2.- DISTRIBUCIÓN SUPERFICIAL	21
IV.2.-GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO	21
IV.3.-MECANISMOS DE RECARGA Y DESCARGA	22
IV.4.-CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL ACUÍFERO	23
IV.5.-MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO	24

### V. MARCO HIDROGEOQUÍMICO

V.1.- INTRODUCCIÓN	25
V.2.- METODOLOGÍA.	25
V.3.- MODELACIÓN GEOQUÍMICA	27
V.4.- ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	30

### VI. EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AL AGUA SUBTERRÁNEA

VI.1.-TIPOS DE CONTAMINACIÓN EN LAS ZONA DE ESTUDIO	37
VI.2.-CARACTERÍSTICAS DE LA PAPELERA Y SU EFLUENTE	38
VI.3.-AFECTACIÓN AL SUELO	40
VI.4.-EFECTO DE LA CONTAMINACIÓN AL ACUÍFERO	42

### VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA  
ANEXOS E ILUSTRACIONES

**DEDICATORIA**

**A DIOS.**

**A MIS PADRES**

**JESUS A. GUTIERREZ CHAVARRÍA**

**Mª DEL CARMEN ÁNGELES DE GUTIÉRREZ**

**POR QUE LOS AMO, POR SU INMENSO CARIÑO Y CONFIANZA,**

**A MIS HERMANOS:**

**Mª TERESA, JESÚS Y ALFONSO**

**POR TODO LO QUE HEMOS PASADO JUNTOS, POR SU APOYO  
INCONDICIONAL, POR TODO LO QUE NOS LINE.**

**A MIS PEQUEÑOS**

**FRANCISCO JAVIER, MIGUEL ÁNGEL, ADRIANA Y FERNANDO.**

**POR SU GRAN CARIÑO , POR SER MI ALEGRÍA.**

**A MIS CUÑADOS**

**LAURA Y FRANCISCO**

**POR SER PARTE IMPORTANTE DE MI VIDA FAMILIAR**

**A LA UNIVERSIDAD**

**POR HABERME ALBERGADO EN SUS AULAS**

**A MIS PROFESORES**

**POR SU ENSEÑANZA**

**De manera especial dedico esta Tesis a mis amigos y compañeros.**

**Porque con su apoyo llegué al final con cariño y respeto.**

**ING. CARLOS ALBERTO GUEVARA DE LEÓN**

**SR. JOSÉ TRINIDAD ARCE AVILÉS**

**SR. FIDEL GARCÍA AGUILAR.**

**GRACIAS**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la **Comisión Nacional del Agua** por haberme permitido la elaboración del presente trabajo.

Al **Ing Rubén Chávez Guillén** quien tiene a su digno cargo la Gerencia de Aguas Subterráneas, al **Ing. Oscar Escolero Fuentes**, **Ing. Noel Hernández Laloth** y al **Ing Raúl Becerril Santana** por el apoyo incondicional que me brindaron.

Agradezco a la Gerencia Regional Noreste a los **Ing. Humberto Monsivais Santoyo**, y **Fernando Ruíz Méndez**, así como a todos aquellos que me apoyaron durante las visitas realizadas a campo.

Agradezco al **Ing. Emiliano Campes Madrigal** por la dirección y seguimiento de este trabajo.

De manera especial agradezco el apoyo y asesoría prestada para el presente trabajo a los **Dres. Marcos Adrián Ortega Guerrero** y **Luis Marín S.** así como a la **Ing. Eloísa Domínguez Mariani**.

A los **Ingenieros Hector L. Macías González** y **Fernando Rosique Moreno** por sus atinados comentarios

## INTRODUCCIÓN

## I. INTRODUCCIÓN

### I.1 ANTECEDENTES

Una gran cantidad de agua que se utiliza en el país proviene del subsuelo. Según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), aproximadamente 50%, se extrae por medio de pozos. Por otra parte el incremento de población, ha originado que el índice de contaminación del agua superficial aumente, por lo que en algunos casos no es apropiada para satisfacer las necesidades humanas, debido a lo anterior se ha procedido a la explotación del agua subterránea para cubrir dichas necesidades.

El volumen de almacenamiento y disponibilidad del agua subterránea en una cuenca hidrológica, depende principalmente de parámetros atmosféricos como son: clima, precipitación, evaporación, infiltración y marco geológico. Dentro de este marco se incluye el tipo de suelo, espesor de la zona saturada, litología, geometría del acuífero y otros parámetros como el Coeficiente de Almacenamiento y la Conductividad Hidráulica. Si existen condiciones favorables para el almacenamiento del agua en el subsuelo se pueden llegar a formar acuíferos, los que son explotados posteriormente para satisfacer las necesidades humanas.

La explotación que se tiene en los acuíferos debe estar bien planeada, ya que si esto no ocurre se ocasiona una sobreexplotación de los mismos, que esta en función de la descarga y recarga del acuífero; ya que si la descarga es mayor que la recarga se produce este fenómeno.

En el valle de Villa de Reyes que se localiza en la porción sur del estado de San Luis Potosí y porción norte del estado de Guanajuato, se encuentran ubicadas dos empresas importantes que son: una planta termoeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad y la empresa Productora Nacional de Papel Destintado (PRONAPADE), ambas industrias extraen una gran cantidad de agua por medio de pozos, los cuales tienen profundidades que varían de 350 a 700 m, y han sido perforados de manera particular para llevar a cabo sus respectivas actividades.

El valle de Villa de Reyes se encuentra sobreexplotado debido a que la demanda del agua es cada vez mayor, por el incremento de población y el desarrollo industrial y agrícola. Un problema de consideración en este valle es no sólo la explotación del acuífero que se efectúa en gran medida por estas empresas, sino también por el hecho de que la papelería PRONAPADE, cede sus aguas residuales para que sean reutilizadas para uso agrícola sin darles aparentemente un tratamiento previo, lo que provoca la existencia de contaminación

ambiental y quizás daño al acuífero por infiltración de las aguas de descarga de dicha empresa.

## **I.2 OBJETIVOS DE ESTUDIO.**

Los principales objetivos de estudio en este trabajo son los siguientes:

- 1.- Determinar la composición química del agua subterránea y de las aguas residuales de la empresa papelera PRONAPADE.
- 2.- Determinar la influencia que el agua residual presenta en el acuífero a partir de la infiltración de aguas de descarga.

### **I.2.1 ALCANCES**

Con este estudio se pretende utilizar un modelo geoquímico, para conocer el comportamiento hidrogeoquímico del acuífero.

Por medio del modelo se pueden predecir e interpretar reacciones químicas que suceden entre el agua, ya sea superficial o subterránea, con el tipo de material por el que pasa o sea, determinar la interacción agua-roca, así como conocer las reacciones que suceden entre ciertos minerales y el agua o entre posibles contaminantes. En este caso en particular con la aplicación del modelo, se desea conocer si el agua residual de la empresa papelera, que es utilizada para riego puede provocar una afectación al acuífero debido a infiltración.

Para la utilización del modelo de especiación, se utilizan datos recabados mediante análisis físico-químicos, los parámetros que se ocuparon en la alimentación del modelo fueron: pH, temperatura, pe, concentraciones de aniones y cationes, etc. Con este modelo se pueden conocer las especies acuosas, que se pueden formar en el agua bajo condiciones determinadas, el índice de saturación de un cierto mineral en el agua o de varios minerales, así mismo se puede efectuar la simulación de mezcla de diversas soluciones, lo cual se puede llevar a cabo por pasos, o sea utilizando diferentes proporciones de las soluciones que pretenden mezclarse, también se puede llevar a cabo titulación de las soluciones.

### **I.3 METODOLOGÍA**

El método empleado para la realización de este trabajo se estructuró de la siguiente manera:

1. - Primero se realizó la recopilación bibliográfica y cartográfica del área de estudio, tanto a nivel regional como local, la información cartográfica recopilada fue la siguiente: cartas topográficas, geológicas, climáticas, edafológicas y fisiográfica, las escalas utilizadas fueron 1:50,000 y 1:250,000. También se llevó a cabo recopilación general, que abarca actividades socioeconómicas; demográfica, cultural, además de material específico del área de estudio, relativa con el tema del presente trabajo; geológica, geohidrológica, hidrogeoquímica, climática, edafológica etc.

2.- Se realizó el análisis de la información, con la cual se estableció la geología regional y local en la zona de estudio, al igual que las características geohidrológicas existentes en el valle de Villa de Reyes; así mismo, se definió de manera general el modelo conceptual de funcionamiento del acuífero y la dirección del flujo subterráneo, en función de esto último, se propusieron sitios de muestreo favorables y, posteriormente la realización de análisis físico-químicos y metales pesados del agua subterránea.

3.- Visitas al área de estudio, en donde se llevó a cabo un reconocimiento a nivel local y regional, se efectuó la toma de muestras de agua subterránea en diferentes sitios, propuestos con anterioridad. Los aprovechamientos fueron: pozos, norias y en los efluentes de salida de la empresa papelerera PRONAPADE, los cuales tienen diferentes usos, por lo cual es importante conocer la calidad del agua subterránea para determinar si es apropiada para el uso a la que está destinada. El muestreo se llevó a cabo con ciertas precauciones, dependiendo del tipo de análisis a realizar, esto con la finalidad de preservar las características físico-químicas originales existentes dentro del acuífero, ya que estas deben reflejar la composición química del acuífero del cual provienen.

4.- Realización de análisis Físico-Químicos y Metales Pesados, con los resultados obtenidos de estos, se efectuaron diagramas para llevar a cabo comparaciones entre varios tipos de agua. Se elaboraron diagramas de Piper, Schoeller y Wilcox para conocer la clasificación de la calidad del agua subterránea, con Stiff se llevó a cabo un plano hidrogeoquímico, por medio del cual se puede simplificar el manejo y principales características hidrogeoquímicas del acuífero. Los análisis se realizaron con la finalidad de determinar si los parámetros estudiados se encuentran dentro de normas establecidas, y detectar si algunos de estos se encuentra fuera de los límites de acuerdo al tipo de uso que tenga el agua subterránea.

5.- **Utilización del Modelo Geoquímico.** Con los datos provenientes de los análisis físico-químicos de diferentes aprovechamientos, se llevó a cabo la utilización del modelo geoquímico. Este se utilizó por partes, primero para conocer de manera teórica la especiación acuosa y fases minerales en equilibrio que pueden formarse en los diferentes sitios de muestreo, de acuerdo a características específicas. Esta modelación se efectuó utilizando un programa de computación escrito en Fortran IV que permite realizar simulación de reacciones geoquímicas, que se encuentra basada en un modelo de pareja de iones acuosos.

6.- **Análisis de Resultados.**- El análisis de resultados se efectuó realizando comparaciones de las concentraciones de aniones y cationes con respecto a las normas establecidas de calidad del agua, así como la verificación del comportamiento hidrogeoquímico del acuífero. Para llevar a cabo el análisis del modelo geoquímico se realizaron comparaciones entre las diversas especies acuosas y entre fases minerales en equilibrio encontradas en la modelación de diversos aprovechamientos. Por medio de lo anterior se puede determinar si existe afectación al acuífero por infiltración del agua residual, y de ser esto cierto pueden ser determinados el o los tipos de contaminantes que están dañando al acuífero.

#### **I.4 TRABAJOS PREVIOS.**

Los estudios que se han llevado a cabo en esta zona han sido enfocados principalmente a conocer el comportamiento y desarrollo en la explotación del acuífero de Villa de Reyes, los primeros trabajos realizados en el área son relativos al año de 1979.

**Características del agua subterránea en la zona de Villa de Reyes S.L.P. Realizado por la Comisión Federal de Electricidad en el año de 1979.**

El objetivo del trabajo es conocer la afectación del acuífero de Villa de Reyes con la extracción del agua que se utilizará para el enfriamiento de la torre de la Termoeléctrica, en este trabajo se analiza la extracción que se lleva a cabo, el volumen que se pretende para la termoeléctrica y la cantidad de agua que se planea regresar al acuífero después de haber sido utilizada.

**Un modelo matemático de computación del acuífero de Villa de Reyes, San Luis Potosí, para el análisis de abastecimiento de agua subterránea a la Central Termoeléctrica de San Luis Potosí. Por la empresa Hidrolegro S.C en el año 1983.**

Este trabajo se llevó a cabo por el Dr. Leopoldo Rodarte Ramón, el objetivo principal que se plantea, es la realización de un modelo matemático para lograr definir con mayor precisión las posibilidades de explotación futura al acuífero de Villa de Reyes S.L.P.

**Presente y futuro de las cuencas geohidrológicas de Villa de Reyes y Villa de Arista, S.L.P. Realizado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí en el año de 1983.**

Este trabajo fue realizado por el Ing. Victor Julian Martínez Ruíz, el objetivo es la determinación de condiciones geohidrológicas actuales y futuras del agua subterránea en San Luis Potosí y, con base en balances geohidrológicos realizados en las cuencas de Villa de Reyes y Villa de Arista, conocer el estado de sobreexplotación a la que están sujetas.

**Geohidrología del área de San Bartolo de Berríos, Mpio. de San Felipe Guanajuato. Cuenca de Villa de Reyes S.L.P. Realizado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí en el año de 1987.**

Este trabajo fue realizado por los Ings. Victor Julian Martínez Ruíz y Miguel Angel Aguirre Hernández, el objetivo principal, es definir la continuidad del sistema acuífero denominado Villa de Reyes S.L.P., al mismo tiempo conocer las zonas de recarga y redes de flujo.

**Características geohidrológicas en el área de la Central Termoeléctrica de San Luis Potosí realizado por la Comisión Federal de Electricidad en el año de 1990.**

Este trabajo fue realizado por: M en C. Sergio A Flores C., Ing. Melvin Hernández M y el Ing. Alberto Alcalá A. se presenta como objetivo principal, conocer el comportamiento del sistema acuífero del valle de Villa de Reyes, para la realización de un modelo geohidrológico que permita conocer el comportamiento del mismo para cualquier condición de extracción y tiempos determinados.

## GENERALIDADES

## II. GENERALIDADES

### II.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio se encuentra localizada en el estado de San Luis Potosí, en el municipio de Villa de Reyes, las coordenadas geográficas que definen la zona de estudio son 21° 42' a 21° 48' de latitud norte y los meridianos 100° 55' a 101° 02' de longitud oeste. (Fig. 1).

Colinda al norte con la ciudad de San Luis Potosí al sur con el estado de Guanajuato, al este con los municipios de Santa María del Río y Zaragoza, al oeste con el municipio de Villa de Arriaga.

### II.2 VÍAS DE COMUNICACIÓN

La zona de estudio está comunicada a través de vías férreas, carreteras estatales y federales que comunican a la ciudad de San Luis Potosí con las poblaciones circunvecinas, la carretera principal es la Federal No. 57 México-Laredo, tiene una desviación en el kilómetro 25 de la sección San Luis Potosí-Querétaro, que va al poblado de Villa de Reyes, también se tiene acceso a la zona por medio de la desviación en el poblado San Felipe, de la carretera que une a las ciudades de Dolores Hidalgo Gto. y Aguascalientes Ags.

El poblado de Villa de Reyes cuenta con una estación ferroviaria, del mismo nombre del tren, México-Saltillo Coahuila.

### II.3 CLIMA VEGETACIÓN Y FAUNA

#### Clima

De acuerdo a la clasificación climática elaborada por W. Köppen y modificada por E. García el clima del área de estudio se clasifica como de tipo seco estepario (BS), dividiéndose en los siguientes subtipos:

**BS,(h')w' (e)g:** Clima semiseco estepario, el más húmedo de los semisecos, muy cálido con régimen de lluvias en verano, dominante en el valle de Villa de Reyes.

**BS,Kw (w) (e)g:** Clima semiseco estepario, el más húmedo de los semisecos, templado con verano cálido, presenta régimen de lluvias en verano con escaso porcentaje invernal,

extremoso y la temperatura del mes más cálido se presenta antes del solsticio de verano, este tipo de clima domina en las serranías que rodean el valle de Villa de Reyes.

La temperatura media anual que se encuentra dentro del área de estudio es de 19.5° C con un máximo de 35° C, y una mínima absoluta de -3° C. La temperatura cálida se extiende de abril a septiembre y el periodo frío de octubre a marzo, las heladas se presentan entre noviembre y febrero, aunque con mayor frecuencia en diciembre y enero.

Según la estación climatológica de Gogorrón, que es la más cercana a la zona de estudio, se tiene una precipitación pluvial media anual que varía de 398 a 420 mm, la máxima se tiene en el mes de septiembre con 639 mm y la mínima en el mes de enero con 5.3 mm.

### **Vegetación**

Debido al clima imperante en el área de estudio, el tipo de asociaciones vegetales que se desarrollan son típicas de zonas semidesérticas, se encuentran en regiones templadas frías, por lo cual existen especies como matorrales desérticos, micrófilos espinosos crasirosalifolios espinosos, especie del género opuntia izotal y pastizal.

También se tiene vegetación inducida la cual consiste en los cultivos de la región, en donde se siembra principalmente maíz, frijol, alfalfa, chile ancho, avena, sorgo y camote, de los frutales destacan pera, manzana, durazno, membrillo, higos, morera e infinidad de especies de ornato como álamo, eucalipto, fresno, sauce etc.

### **Fauna**

Debido a la situación climática de la zona y el tipo de vegetación existente, la fauna que se puede desarrollar en esta región no es muy variada, está constituida principalmente por ardilla, conejo, liebre, coyote y venado.

## **II.4 ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS**

La población económicamente activa CPEA del municipio de Villa de Reyes ascendió a 8,203 habitantes según el censo de 1980, lo que representa el 30.16 % del total de la población municipal. La distribución sectorial es la siguiente: el sector primario ocupa 3,474 personas, el secundario a 1621 el terciario a 832 y las actividades no especificadas ocupan a 2270 trabajadores.

A continuación se presentan las diversas actividades económicas por sectores, en donde el sector primario se encuentra constituido por la agricultura y ganadería, el secundario formado por el área industrial y el terciario por turismo, comercio y servicios.

## **Actividades Económicas.**

**Agricultura.-** Es notable la producción de maíz frijol, alfalfa, chile ancho, avena, sorgo y camote, de los frutales destacan pera, manzana, durazno, membrillo higos, morera e infinidad de especies de ornato como álamo eucalipto, fresno, sauce etc.

**Ganadería.-** Existe cría de ganado bovino, porcino, ovino, caprino y equino.

**Industria.-** La industria en el municipio de Villa de Reyes se puede decir se inició en el año de 1976, con la creación de la zona industrial en una superficie de 114.29 hectáreas. Las empresas más importantes establecidas son: Una planta Termoeléctrica que es la más grande de América Latina, una planta de la empresa Productora Nacional de Papel Destintado PRONAPADE, esta empresa genera para el municipio 354 empleos en el medio rural y una planta Procesadora de Alimentos Balanceados para ganado.

**Turismo.-** Cuenta con el centro vacacional Gogorrón y el balneario San Diego, además de la antigua hacienda de San Pedro Gogorrón.

**Comercio.-** En la cabecera de este municipio los pequeños comerciantes de las localidades se proveen de abarrotes, fruta y verduras al igual que de prendas de vestir.

**Servicios.-** En lo referente a la rama de servicios, el municipio cuenta con establecimientos donde se presentan los servicios de hospedaje, talleres mecánicos, gasolineras y otros de menor importancia, etc.

**Servicios Públicos.-** Este municipio cuenta con el servicio de seguridad pública, agua potable, drenaje y alcantarillado, en la cabecera municipal existe un mercado que abastece a las localidades.

**Comunicaciones y Transportes.-** El municipio cuenta con una red camionera de 90 km. La carretera estatal esta constituida por 40 km; de caminos rurales son 50 km, también se cuenta con una red ferroviaria de 42.5 km.

El correo es suministrado a la población a través de una agencia con servicio a las localidades de Bledos y Pardo. El telégrafo se encuentra en la cabecera municipal y no existe ninguna otra agencia en las comunidades.

Existe una red telefónica domiciliaria no automatizada que funciona con 60 aparatos y una caseta de servicio de larga distancia que se encuentra en la cabecera municipal. Hay una línea de autobuses foráneos que cubre la ruta entre San Luis Potosí y la cabecera municipal, beneficiando algunas localidades.

## **II.5 POBLACIÓN Y CULTURA**

El municipio de Villa de Reyes tiene una densidad de población de 24.23 habitantes por kilómetro cuadrado; la población es de 27,196 habitantes que representa el 1.62 % del total estatal.

La composición de población entre hombres y mujeres es de 50.5 y 49.5% respectivamente, según la pirámide de edades el rango mayor es entre 5 a 9 años con un 17.5 % de su población total.

**Educación-Cultura.-** La infraestructura instalada consta de escuelas de niveles preescolar, primaria, secundaria, telesecundaria y Colegio Nacional de Educación Profesional (CONALEP).

**Salud.-** Se cuenta con un centro de salud en la cabecera municipal, una delegación de la Cruz Roja Mexicana y también unidades medicas rurales del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), en cuatro centros de población.

**Vivienda.-** El material predominante en la vivienda particular es el cemento o firme adobe, carrizo, bambú o palma; el tipo característico de la vivienda es una sola planta, contando con tres y hasta cuatro recámaras, la estructura del techo es de una sola caída de agua.

## MARCO GEOLÓGICO

### III. MARCO GEOLÓGICO

#### III.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El valle de Villa de Reyes forma parte de una estructura volcánotectónica tipo graben, el cual se encuentra enmarcado en el Centro de México en los estados de San Luis Potosí y Guanajuato teniendo una orientación NW hacia su porción norte y cambia en la porción sur al NE, quedando limitado en el norte por el paralelo 22°50' y en el sur por el paralelo 21°07' de latitud norte, tiene una longitud aproximada de 200 km con un ancho promedio de 15 km.

El relieve del valle en la porción norte tiene un promedio de 1800 msnm. En el sur, en el estado de Guanajuato, las alturas son mayores, por lo que se puede observar existe una inclinación hacia el norte.

El graben se encuentra relleno por materiales volcánoclasticos depositados en un medio fluvio-lacustre, está limitado lateralmente por fallas normales escalonadas del Terciario Medio (CFE, 1987).

El valle de Villa de Reyes se encuentra limitado al N-NW por la Sierra de San Miguelito y al S-SE por la Sierra de Santa María; ambos sistemas montañosos están formados por rocas volcánicas ácidas. Hacia el NE se encuentra limitado por la Sierra de Alvarez, que tiene un rumbo NW-SE y está constituida por sedimentos marinos que forman estructuras anticlinales y sinclinales.

El valle de Villa de Reyes forma una planicie intermontana orientada noreste-suroeste con elevaciones que varían entre 1770 y 1850 msnm, se continúa superficialmente hacia el noreste en el estado de Guanajuato, teniendo su límite a 27 km al noroeste del poblado de Villa de Reyes. Las sierras limítrofes forman un relieve moderado con alturas del orden de 2500 msnm aproximadamente.

El área presenta dos principales sistemas de fracturamiento, el más importante con orientación NE-SW, teniendo el otro una dirección perpendicular.

Según Vázquez y colaboradores (1990), "Geólogos de la UASLP, han establecido que el agua subterránea en el graben de Villa de Reyes, está controlado por una serie de grabenes menores con rumbo preferencial NE-SW, considerando los límites laterales como impermeables". Perforaciones realizadas en el área vecina a la población de Villa de Reyes (CFE, 1987), indican que las formaciones volcánicas aumentan su potencia hacia el NE, alcanzando hasta 600 m de espesor. Es por ello que se habla de un basculamiento regional hacia el NE de la parte norte del valle, que controla el flujo superficial y

subterráneo de los acuíferos hasta hoy conocidos y localizados en las formaciones volcánicas.

### **III.2 FISIOGRAFÍA**

El área de estudio queda comprendida dentro de la provincia fisiográfica denominada "Mesa Central", la cual se localiza en la porción central de la República, entre la Sierra Madre Occidental y Oriental y al norte del Eje Neovolcánico ( Raisz E.1959) (Fig. 2).

#### **Orografía**

El área de estudio se ubica en un valle, el cual tiene una altitud promedio aproximada de 1800 msnm con una pendiente máxima de 3°, se encuentra rodeado de sierras altas con pendientes escarpadas que presentan altitudes que fluctúan entre 2400 y superiores a 2600 msnm; estas son: la Sierra de San Miguelito con altitud superior a 2600 m, Sierra de Santa María con altitud de 2400 m y la Sierra de Alvarez.

#### **Hidrografía**

El área de estudio se ubica en la región hidrológica 26 denominada "Cuenca del Río Pánuco" que se encuentra dividida en dos porciones Alto y Bajo Pánuco, la zona se localiza en la región hidrológica perteneciente al Bajo Pánuco (Cuenca exorreica de la vertiente del Golfo) (Fig. 3).

En la subcuenca que pertenece al valle de Villa de Reyes, el colector de escurrimientos de esta cuenca es el río Santa María, que nace a la altura de la presa San Bartolo (Guanajuato) con el nombre de río Altamira, posteriormente toma el nombre de Santa María aguas abajo de la presa El Refugio. Los afluentes a este río son controlados por presas y bordos cuyas áreas de embalse suman un total de  $5.5 \times 10^6$  m<sup>2</sup>, entre estos bordos destacan los de San Bartolo, el Refugio y Ojo Caliente, que son almacenadores y reguladores de escurrimientos torrenciales. El área de drenaje la constituye la parte plana del valle y las laderas occidental y oriental del mismo.

### **III.3 GEOMORFOLOGÍA.**

El tipo de relieve que se presenta en el valle de Villa de Reyes es de tipo endógeno y exógeno, el primero de ellos constituye la planicie; el relieve exógeno se encuentra formado por sierras que sirven de límite al valle, en la porción NW se encuentra la Sierra de San Miguelito, en el SE destaca la Sierra de Santa María, hacia el E se localiza la Sierra de Alvarez. Ambos relieves constituyen los principales elementos geomorfológicos, los que presentan las siguientes características: el valle tiene forma alargada con una orientación de N40°E y con elevación de 1850 msnm; se encuentra rodeado por sierras

escarpadas que coinciden por lo general con la traza de la falla y fué originado en el Terciario como un graben relleno de clásticos y material volcánico.

Las características geológicas y estructurales indican que hubo diferentes eventos de tipo orogénico, asociados con actividad ígnea volcánica que actuaron en varias épocas para dar origen a un relieve estructural, que ha sido modificado por diferentes agentes tales como fracturamiento, movimiento de rocas y agua, así como procesos de alteración (suelos residuales), disolución (cavernas y dolomías).

La altiplanicie ha sido modificada por el desarrollo de fallas, lo que ha provocado la creación de un relieve montañoso que representa el límite de valles. Esta porción de la entidad se caracteriza por la presencia de extensas mesetas y aparatos volcánicos, además de planicies constituidas por sedimentos disgregados de las rocas preexistentes. La denudación de los elementos de las sierras ha provocado que existan estructuras como las fajas de abanicos aluviales que bordean las serranías y que han sido recientemente disectadas, así como los potentes rellenos de sedimentos que cubren la mayor parte de la región.

#### **III.4 ESTRATIGRAFÍA**

En el área de estudio están expuestas unidades de roca de composición ígnea y sedimentaria que evidencian un tiempo geológico que abarca desde el Cretácico hasta el Reciente. La columna estratigráfica en el área se puede describir de la siguiente manera empezando de lo más antiguo a lo más reciente, y de acuerdo a la clasificación litoestratigráfica establecida por diversos autores.

#### **SISTEMA CRETÁCICO**

Las rocas correspondientes al cretácico se desarrollaron en dos elementos paleogeográficos que son la Plataforma Valles San Luis Potosí y la Cuenca del Centro de México. La zona transicional entre estas dos unidades denominada prearrecifal está constituida por una interdigitación de rocas sedimentarias de cuenca y plataforma, el límite entre ambas es burdamente paralelo a la Sierra Alvarez. En el área de estudio las unidades correspondientes a este sistema son:

#### **Formación Caracol (Ksc) Coniaciano-Maestriciano**

Esta unidad fue descrita originalmente por Imlay (1936) y designó como su localidad tipo a los afloramientos existentes en el arroyo El Caracol, situado en la Sierra del Angel en la parte oriental de la Sierra de Parras Coahuila. Se encuentra constituida por una alternancia rítmica de lutitas y lutitas calcáreas, dentro del área y hacia el sureste existen pequeños afloramientos que consisten de una alternancia de lutitas fisiles y areniscas de

grano fino a medio de color gris verdoso, se presentan en estratos fuertemente plegados, fracturados y afallados con relleno de material arcilloso.

Estas localidades están en Ojuelos, La Parada, San Miguelito al NW de la Central Termoeléctrica, Cenicera y el Carmen, se desconoce el espesor, ya que no fue medido por presentar numerosos pliegues, sin embargo en el pozo Júpiter perforado por CFE cruzó aproximadamente 250 m de esta unidad; pero no representa su espesor total ya que no aflora su base en el área.

## **SISTEMA TERCIARIO**

### **Fomación Cenicera (Tc) Paleoceno-Eoceno**

Fue descrita originalmente por Labarthe-Tristán (1979) en Villa de Reyes, aflora únicamente en el área de Cenicera que es la localidad tipo. Está constituida por un conglomerado post-orogénico formado por fragmentos mal clasificados de arenisca, caliza y pedernal, en ocasiones se presenta en una matriz arcillo-calcárea y en otras zonas cementada por calcita, presenta un espesor variable de 80 m cercano al área de la CT de San Luis Potosí y, en los Pozos Ojo Caliente y Santa María del Río 200 m de espesor. Esta unidad se considera como impermeable ya que no permite el almacenamiento o flujo del agua subterránea.

### **Ignimbrita Santa María (Tis) Oligoceno**

Descrita originalmente por Labarthe-Tristán (1980) en Santa María del Río, S.L.P. aflora en las sierras al sureste del valle de Villa de Reyes, está constituida por una ignimbrita de color gris rosáceo de textura porfírica con fenocristales de cuarzo y feldespato, se encuentra bien soldada con numerosos fragmentos de pómez, tiene un espesor promedio de 80 m, presenta gran fracturamiento hacia la cima y se va cerrando hacia su base, las fracturas están rellenas de sílice principalmente, puede presentar buena permeabilidad en la intersección del fracturamiento.

### **Traquita Ojo Caliente (Toc) Oligoceno**

Descrita originalmente por Labarthe y Tristán en (1980) en Santa María del Río S.L.P. aflora en las serranías al SE del valle de Villa de Reyes, en el área de Cenicera y Ojo Caliente, consiste de un derrame lávico de composición traquítica de color café rojizo, de textura porfídica con algunos fenocristales de plagioclasas y feldespatos en matriz afanítica devitrificada, presenta un espesor promedio de 180 m, de acuerdo a su emplazamiento y bajo fracturamiento se considera de baja permeabilidad.

### **Latita Portezuelo (Tip) Oligoceno**

Descrita originalmente por Labarthe-Tristán (1978) en San Luis Potosí, aflora en las márgenes de los valles de Villa de Reyes y San Luis Potosí, así como en el centro del valle de Villa de Reyes, es una roca de color gris con textura porfírica, presenta fenocristales de feldespato y plagioclasa en una matriz afanítica, muestra una estructura masiva con líneas de pseudoestratificación, su origen es de tipo extrusivo a hipabisal, el espesor máximo registrado es de 400 m, la presencia de fracturamiento provoca una permeabilidad de media a alta.

### **Riolita San Miguelito (Tsm) Oligoceno**

Esta unidad fue descrita originalmente por Labarthe-Tristán en 1978 en San Luis Potosí, aflora en las sierras al NW y SE del valle de Villa de Reyes, se trata de un derrame lávico de composición riolítica rica en potasio, es una roca de color gris claro, textura porfírica en matriz afanítica, totalmente devitrificada con esferulitas, presenta un espesor promedio de 60 m, sobreyace a la Latita Portezuelo y su edad fue determinada por el método K/Ar y tiene aproximadamente  $10 \pm 1.5$  millones de años.

### **Ignimbrita Cantera (Tic)**

Descrita originalmente por Labarthe-Tristán (1978) en San Luis Potosí, aflora en las serranías al NW y SE del valle de Villa de Reyes, se presenta como intercalaciones de ignimbritas y tobas depositadas por aire. La ignimbrita es de color rosa de composición riolítica de textura porfírica. Se presenta con estructura columnar, en ocasiones se encuentra intercalada con horizontes de arena fina a media, generalmente con gradación masiva, presenta un espesor promedio de 200 m y sobreyace a la Latita Portezuelo.

### **Andesita Calderón (Tac) Oligoceno Tardío**

Descrita por Labarthe y Tristán en (1980) en San Luis Potosí, de esta unidad se tiene un afloramiento local, que se restringe a un aparato volcánico (Calderón), el cual se ubica cercano al poblado del mismo nombre. Consiste en una andesita de color gris verdoso de textura porfídica con fenocristales de feldespato y plagioclasa con matriz afanítica, presenta un espesor máximo de 60 m y no influye en el comportamiento geohidrológico.

### **Riolita Panalillo (Tap-Trp) Oligoceno Tardío**

Esta formación fue descrita originalmente por Labarthe y Tristán (1978) en San Luis Potosí, en las localidades de Pardo, Ojo Caliente y Enramadas. Esta unidad está constituida por un paquete de rocas volcánicas silíceas que se encuentran divididas en tres miembros; el miembro superior está constituido por una ignimbrita de color café rojizo y textura porfírica, en general presenta una estructura columnar formando mesetas, el

miembro intermedio está formado por basalto que es brechoso en la base y vesicular hacia la cima, con un espesor promedio de 30 m aproximadamente, el miembro inferior consiste de intercalaciones de tobas, de color crema a amarillo verdoso de textura piroclástica, se encuentra pseudoestratificada en capas de 10 a 30 cm. En la Fosa de San Luis Potosí se reporta un espesor de 126 m de esta unidad (Labarthe et. al. 1982), las tobas por su constitución litológica se consideran impermeables.

### **Depósitos de Relleno (Tre)**

Se localiza en las partes topográficas bajas y constituye el material de relleno de las fosas de Villa de Reyes S.L.P., Villa de Arriaga, El Obraje y Ojuelos, su extensión es regional, esta constituida por gravas, arenas limos y tobas interestratificadas, así como de algunos derrames de basalto, incluidos en este depósito (material volcanoclástico), los fragmentos se encuentran mal clasificados y se observa una estratificación cruzada en las tobas, lo que indica que el depósito es de un ambiente fluvio-lacustre, el espesor promedio de esta unidad es de 150 m. Por su granulometría se considera que esta unidad tiene alta permeabilidad primaria.

## **SISTEMA CUATERNARIO**

Durante el Cuaternario se han desarrollado importantes depósitos aluviales que van desde arcillas hasta gravas aumentando así el espesor del suelo de la región.

### **Basalto (Qb) Terciario Superior-Cuaternario**

Aflora en las fallas marginales de los valles de Villa de Reyes y Bledos, en el área de Cenicera y Ojo Caliente, es una roca que presenta una coloración que varía de café oscuro a negro con textura afanítica y estructura vesicular. El basalto cubre discordantemente a la secuencia volcánica ácida, solo en el área de la Sierra de Alvarez cubre parcialmente a las rocas sedimentarias, presenta características de permeabilidad media, sin embargo el área de afloramiento es reducido lo que limita su interés geohidrológico.

### **Conglomerados (Qcg) Cuaternario**

Dentro de esta unidad se encuentran agrupados el aluvión y conglomerado, el aluvión esta formado por gravas, arenas y arcillas sin consolidar que se encuentran cubriendo el valle, tiene un espesor variable entre 2 y 10 m, el conglomerado forma parte del relleno y esta constituido por gravas y arenas de subangulosas a subredondeadas en una matriz arcillosa por lo que se disminuye su permeabilidad.

## **Suelos Cuaternarios**

Unidad que consta de tres tipos de suelos, que son producto del intemperismo de zonas volcánicas, formadas por arenas, limos y arcillas que rellena partes planas de las mesetas de origen volcánico lacustre, se localizan en las partes más bajas de los valles donde las corrientes superficiales depositan sedimentos que llevan en suspensión. Los suelos aluviales tienen alto contenido de sales que se explotan industrialmente, contienen gravas, arenas y arcillas producto de la erosión de rocas preexistentes de la región, se encuentran ampliamente distribuidos en la zona.

La columna anteriormente descrita se obtuvo en base a estudios realizados por diversos autores, principalmente de información de la CFE, ya que en la zona de estudio no existen afloramientos de la misma, a excepción de material aluvial y un gran espesor de suelo que se encuentra en una gran porción del área de estudio, así como afloramientos aislados cercanos a la zona de tobas riolíticas. Superficialmente no se puede observar la continuidad de la columna estratigráfica, esto se logra por medio de algunos cortes litológicos cercanos al área, con los cuales se puede inferir que la columna estratigráfica es la misma en la zona de estudio (plano 1).

## **III.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

La principal estructura en el área es el graben de Villa de Reyes, limitado por dos sistemas de fallas normales escalonadas de orientación preferencial  $N40^{\circ}E$ . El graben está formado en su porción NW por la Sierra de San Miguelito y en su porción SE por la Sierra de Santa María del Río, en las que se han determinado tres sistemas principales de fracturamiento, el más importante tiene una dirección preferencial  $N40^{\circ}E$ , en segundo término un sistema de dirección  $N40^{\circ}W$  y el último de dirección N-S.

El salto de las fallas que originaron el graben, estimado por datos de perforaciones es de aproximadamente 500 m. Desde su formación ha constituido una zona de acumulación de los sedimentos provenientes de las partes altas, el espesor máximo detectado es de 300 m de material de relleno.

En la parte central del graben de Villa de Reyes se observa una estructura menor denominada graben de Bledos-Melchor, la cual está delimitada por fallas normales de dirección NW-SE. El papel que juegan geohidrologicamente las fallas y su comportamiento será abordado en el capítulo siguiente.

### III.6 GEOLOGÍA HISTÓRICA

En el valle de Villa de Reyes las rocas que afloran corresponden al Cretácico Inferior (Aptiano-Albiano), durante el Triásico Superior y principios del Jurásico, en la Cuenca Mesozoica se depositó una secuencia de capas rojas, estos sedimentos se deformaron a finales del Jurásico Inferior y posteriormente continuó el predominio de la sedimentación continental en la región.

Durante el Jurásico Medio-Superior se generalizó en el norte y noreste de México una transgresión, que aumenta el aporte de terrígenos, sin embargo en algunas zonas se presentan depósitos de plataforma. Propiamente en esta época se forma el depósito de la Cuenca Mesozoica del Centro de México y con ello se definen los principales elementos paleogeográficos que controlan la sedimentación y las deformaciones tectónicas posteriores, que son: la Cuenca del Centro de México, Plataforma Valles San Luis Potosí y Antiguo Golfo de México.

En el Cretácico Inferior (Neocomiano-Aptiano) ocurrieron depósitos de mar abierto en la cuenca; en la plataforma se depositó una secuencia principalmente evaporítica. En el Albiano-Cenomaniano se desarrolló en la plataforma una franja arrecifal, al inicio del Cretácico y principios del Terciario la sedimentación marina se interrumpió por intensos movimientos que señalan el inicio de la Orogenia Laramide, donde las rocas son plegadas, falladas y emergen para quedar expuestas a la erosión.

Después del plegamiento hubo un reacomodo cortical provocado por esfuerzos tensionales (Tafrogénesis), formando así numerosas cuencas tectónicas que fueron rellenadas por grandes volúmenes de sedimentos clásticos de tipo molasa, que originaron grandes cuencas lacustres Terciarias en el Centro de México.

En el Oligoceno-Mioceno se inicia el magmatismo regional que se extiende desde la Sierra Madre Occidental hasta los límites de la Mesa Central con la Sierra Madre Oriental, dicho magmatismo está relacionado con la geodinámica de la Placa tectónica del Pacífico que subduce a la Norteamericana, posteriormente se efectúa un fallamiento regional acompañado de emisiones fisurales intermedio-ácido y depósitos vulcanoclásticos. El último evento magmático que ocurrió durante el Pleistoceno está posiblemente relacionado con la formación de arcos volcánicos.

## MARCO GEOHIDROLÓGICO

## IV. MARCO GEOHIDROLÓGICO

### IV.1 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

En el valle de Villa de Reyes se pueden diferenciar dos subcuencas subterráneas separadas parcialmente por el alto estructural (La Colmena), que se encuentra constituido por la Latita Portezuelo y se localiza en la porción central del valle, estas subcuencas están comunicadas a través de un paleocanal de orientación NE-SW. El área de estudio se ubica en la porción sur del alto estructural, pertenece a la Región Hidrológica No. 26 correspondiente al Bajo Pánuco y forma una cuenca exorreica con la vertiente del Golfo.

Según la Empresa Geohidrológica Mexicana en el valle de Villa de Reyes se encuentran 508 captaciones de agua subterránea, 353 son pozos, 150 norias y 5 manantiales, al sur del poblado de Villa de Reyes se ubica la mayor cantidad de pozos, se presenta una concentración aproximada de 1.3 pozos por km<sup>2</sup>.

"Según un modelo geohidrológico establecido por el Instituto de Geofísica de la UNAM (Rodríguez et al., 1988) indica que en el Valle de Villa de Reyes se pueden identificar tres diferentes tipos de acuíferos desde el punto de vista geológico". El primer acuífero es superficial y se encuentra ubicado en material aluvial cuaternario cuyo espesor varía de 5 a 25 m, no reviste gran importancia para su explotación, por lo que esta se lleva a cabo solamente por medio de norias.

El acuífero intermedio tiene un espesor aproximado de 200 m, aunque en la parte central del valle llega a tener hasta 400 m. Se encuentra constituido por material de relleno, aluvión y conglomerado así como de clásticos de diferente tamaño con matriz arcillo-arenosa con diferentes grados de compactación y, por la Formación volcánica Riolita Panalillo, la que a su vez está formada por tres miembros que son: miembro superior constituido por ignimbrita, el intermedio formado por basalto y el inferior constituido por tobas arcillosas prácticamente impermeables.

El acuífero más profundo es semiconfinado, se encuentra constituido por las Formaciones Ignimbrita Ojo Caliente e Ignimbrita Santa María, tiene un comportamiento de confinado a semiconfinado, y presenta un espesor promedio de 200 m. Los acuíferos intermedio y profundo son estructuralmente complejos por el intenso fallamiento, presentando horizontes productores a diferente profundidad.

Debido a que no existe ninguna capa impermeable que separe al acuífero superficial del intermedio, además de tener un comportamiento similar entre ambos, a partir de este momento, se denominará como uno solo que será el acuífero superior. Entre el acuífero superior y el inferior se encuentra el miembro inferior de la Riolita Panalillo que está constituido por tobas arcillosas. Estas tobas se presentan como la base de los materiales

de relleno y tienen un comportamiento impermeable, lo que le da al acuífero inferior el comportamiento de semiconfinado.

El comportamiento de las unidades geohidrológicas que existen en la zona de estudio dependen de características tales como litología, fracturamiento, porosidad, grado de intemperismo, disolución, posición estratigráfica y topografía, por lo que dependiendo de los parámetros anteriormente mencionados se pueden agrupar estas unidades en unidades permeables, semipermeables e impermeables. Debido a que (Oropeza Ortiz 1985) ofrece la mejor descripción de las unidades permeables, semipermeables e impermeables, así como su distribución, se reproducen estas unidades casi en su totalidad.

#### **- Unidades Permeables**

Las unidades permeables son aquellas que tienen la capacidad para permitir la circulación del agua a través de ellas. Estas unidades se encuentran constituidas por materiales granulares no consolidados, los cuales se encuentran relleno de las fosas tectónicas de Villa de Reyes, San Luis Potosí, Ojuelos, Villa de Arriaga y El Obrero, debido a la granulometría de sus componentes tienen alta posibilidad para almacenar y ceder agua.

#### **Traquita Ojo Caliente (Toc)**

Esta unidad está constituida por una roca muy fracturada, la cual presenta estructura columnar. Actúa como zona de recarga en las partes topográficamente altas y como unidad almacenadora a profundidad.

#### **Latita Portezuelo (Tip)**

Esta constituida por una roca muy fracturada con un sistema de fracturas inclinadas casi verticales y otro sistema perpendicular a este, actúa como unidad productora a profundidad.

#### **Miembro Superior y Medio de la Riolita Panalillo (Trp y Tb)**

El miembro superior está constituido por una ignimbrita muy fracturada; presenta una estructura columnar con un sistema de juntas horizontales, a profundidad actúa como unidad productora.

El miembro medio está formado por un basalto, que presenta estructura lamosa y tiene un gran fracturamiento. Esta unidad actúa como productora, pero debido a su escaso espesor que es de 30 m no es muy importante su aportación.

## **Conglomerado y Aluvión (Qal)**

El conglomerado se encuentra formando el relleno del valle y está constituido por **gravas y arenas**, empacadas en una matriz arcillosa, actúa a profundidad como unidad de mediana producción.

El aluvión está formado por **gravas, arenas y arcillas** sin consolidar, actúa como unidad productora pero su espesor es pequeño, los conglomerados y materiales de relleno del Terciario Superior que se depositaron antes del miembro inferior de la Riolita Panalillo, actúan como unidad productora.

### **- Unidades Semipermeables**

Estas unidades permeables actúan como acuíferos de baja producción, como unidades semiconfinantes o zonas de recarga. Debido a su litología la Ignimbrita Santa María y el Miembro Inferior de la Riolita Panalillo se consideran como semipermeables por sus características físicas y estructurales, en superficie pueden actuar como unidades de recarga.

#### **Ignimbrita Santa María**

Esta unidad presenta un fuerte fracturamiento abierto hacia su cima y se va cerrando hacia la base, estas fracturas en algunos casos se encuentran selladas por sílice, por lo tanto se considera como semipermeable, debido a que la permeabilidad aumenta sólo en la intersección de fracturamiento.

#### **Miembro Inferior de la Riolita Panalillo**

Está constituida por una toba de grano muy fino depositada por aire, presenta permeabilidad baja. Actúa regionalmente como el límite entre el acuífero superior y el profundo, para este último actúa como una unidad semiconfinante.

### **- Unidades Impermeables**

Las unidades impermeables actúan como barreras del acuífero, por lo que no permiten la circulación del agua y sirven como capas confinantes a los acuíferos.

#### **Formación Caracol**

La Formación Caracol está constituida por una alternancia de lutitas y areniscas, sus fracturas se encuentran rellenas por material arcilloso y calcáreo.

### **Formación Cenicera.**

Esta Formación está constituida, por un conglomerado bien cementado, con sus fracturas completamente rellenas, de material arcilloso calcáreo y silíceo.

#### **IV.1.2 DISTRIBUCIÓN SUPERFICIAL.**

**Unidades Permeables** - Se encuentran localizadas principalmente a lo largo del valle y en las estribaciones de las sierras en donde los arroyos han contribuido a su depósito.

Las Formaciones Traquita Ojo Caliente, Latita Portezuelo, Miembro Superior y Medio de la Riolita Panalillo se encuentran formando gran parte de las sierras límites del valle, constituyendo el 45 % de los afloramientos de estas, también localizadas en la parte central de este.

**Unidades Semipermeables** - Están constituidas por la Ignimbrita Santa María y el miembro Inferior de la Riolita Panalillo, se encuentran aflorando en las sierras límites del valle constituyendo el 50% de estas.

**Unidades Impermeables** - Las Formaciones Caracol y Cenicera constituyen el 5 % de los afloramientos de las sierras límites del valle.

#### **IV.2 GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO**

El valle de Villa de Reyes desde el punto de vista regional se encuentra ubicado en los estados de San Luis Potosí en su porción SW y el estado de Guanajuato en su porción norte. Tiene una dirección preferencial NE-SW, y una longitud de 200 Km de largo por 15 de ancho. La elevación del valle varía de 1800 a 1900 msnm.

Este valle se ubica en un graben, el cual está limitado por sierras que se encuentran constituidas por rocas ígneas ácidas como son: riolitas y tobas riolíticas. El acuífero de Villa de Reyes prácticamente se inicia en la zona de San Bartolo de Berrios-Melchor en el estado de Guanajuato, hasta la zona del ejido de Laguna de San Vicente (LSV) ubicada en el estado de San Luis Potosí. En este valle se encuentran dos acuíferos, los cuales se conocen como acuífero superior e inferior. Las fronteras que tienen estos depende de la litología, fracturamiento y fallamiento de las sierras circunvecinas.

**Acuífero Superior.** Este se encuentra constituido por material de relleno del valle, aluviones y conglomerados, por lo cual no es homogéneo. Esta limitado superiormente por

la superficie freática; lateralmente en la porción NW, SE y SW del valle por las rocas que forman las sierras y las fallas normales que constituyen el graben.

El límite superficial lateral de este acuífero está constituido por las sierras que colindan con el valle, las cuales están formadas por rocas ígneas que presentan un fracturamiento muy denso con orientación preferencial N40°E y N40°W. Dependiendo del fracturamiento que presentan a profundidad servirá para recargar el acuífero superior en forma horizontal y como recarga vertical al profundo. Otro factor importante que determina los límites laterales son las fallas de tipo normal que conforman el graben. Dependiendo del tipo de relleno que presenten los planos de falla se puede tener un comportamiento permeable o impermeable, como en el caso de que el plano de falla se encuentre recubierto por material arcilloso, lo que provoca impermeabilidad pero si existe un fracturamiento secundario en esta zona el comportamiento será permeable.

Horizontalmente el acuífero se encuentra limitado por el miembro inferior de la Riolita Panalillo que está constituido por una toba de grano muy fino depositada por aire, que presenta un comportamiento de semipermeable y sirve como semiconfinante para el acuífero inferior.

**Acuífero profundo.** Se encuentra constituido por rocas volcánicas fracturadas y subyace al acuífero superior, por lo que los límites laterales de este son los mismos. Se encuentra limitado horizontalmente en la cima por el miembro inferior de la Riolita Panalillo y el límite horizontal en su base se considera que está constituido por la Formación Caracol, debido a que no se ha logrado atravesar la secuencia volcánica en su totalidad dentro del área y además de que fuera de ella se tienen afloramientos de la Formación Caracol la cual constituye la base del paquete de rocas volcánicas.

### **IV.3 MECANISMOS DE RECARGA Y DESCARGA.**

"A nivel regional se definen dos áreas de recarga lateral, una localizada en el Ejido de Melchor en donde la dirección del flujo subterráneo es de E-W y la otra a la salida de los escurrimientos subterráneos de la zona de Bledos (CFE 1984)"

La principal fuente de recarga de los acuíferos se debe a infiltración directa por efecto de la lluvia, en donde al existir una precipitación esta escurre por las laderas impermeables de las sierras que circundan el valle, y al llegar a la planicie existe infiltración en el material permeable que se encuentra como relleno y, en las sierras por el gran fracturamiento de las rocas ígneas ácidas que las constituyen. Debido a la gran cantidad de fracturamiento la infiltración del agua sirve como recarga horizontal hacia el acuífero superior, y en menor porcentaje para el profundo.

La principal fuente de descarga se da por el bombeo existente en el valle, en donde se tienen captaciones de norias y pozos de agua potable, de riego e industriales, estos últimos extraen agua del acuífero profundo, como es el caso de la empresa papelera y de la Comisión Federal de Electricidad. El flujo de agua subterránea de manera local presenta una dirección E-W, de forma regional la dirección preferencial es SE-NW, la cual es paralela a las sierras de San Miguelito al noroeste y a la sierra de Santa María al sureste. (Fig. 4)

En 1987 la U.A.S.L.P. reporta en el valle de Villa de Reyes, variaciones de la profundidad del nivel estático en tres zonas; en la porción norte en los límites con el valle de San Luis Potosí el nivel estático es de 50 m, en la parte central la profundidad de los niveles estáticos en el acuífero superior varían de 35 m, disminuyendo hacia el sur en el Ejido El Rosario, donde el nivel es de 65 m, al sur del valle el nivel tiene una variación de 45 a 60 m.

SARH registra un abatimiento de 1972-1980 del orden de 2 a 12 m, encontrándose los máximos abatimientos en San Bartolo de Berrios y Jaral de Berrios ubicados en la porción sur del valle. Los registros de la elevación del nivel estático en el año de 1989 varían de 1800 m en la porción NW de la presa el Refugio y empiezan a descender hacia la porción N y NE de la presa el Refugio, el valor más bajo de la elevación del nivel estático es de 1760 m al este de la presa San Isidro (plano. 2).

La U.A.S.L.P. define que la evolución del nivel estático de 1980 a 1987 para el valle de Villa de Reyes con un abatimiento desde -5 m en la parte sur del valle hasta los -10 m en la parte norte del estado de Guanajuato en el poblado de Pardo.

La evolución del nivel estático de 1988-1989 en la zona de estudio varía de -0.5 en la porción oeste de la Presa el Refugio hasta -3 m en el área de Calderón (plano. 3).

#### **IV.4 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL ACUÍFERO**

Las características hidráulicas de este acuífero fueron definidas a partir de datos de la CFE. Estas son variables, debido a que se trata de un medio no homogéneo, lo cual está en función del régimen de depósito prevaleciente en la zona así como al contenido de arcillas. A partir de registros de abatimiento y recuperación, se calculó la transmisividad por el método de Jacob. La transmisividad se encuentra en los rangos de  $2 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/seg a  $5 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/seg.

Para conocer el coeficiente de almacenamiento se tomaron las mediciones del nivel estático de septiembre y octubre de 1972. Con base en dichos cálculos se obtuvo un valor promedio de 0.012, que se consideró representativo de las condiciones de la zona.

En general los gastos específicos varían entre menos de 1 a 24 l/seg por metro de abatimiento. Las zonas más productivas se encuentran al sur y al norte de la presa El Refugio, en la región de pozos perforados por la Comisión Federal de Electricidad y al oeste de Villa de Reyes. Las zonas de bajos gastos específicos se encuentran hacia los afloramientos de la Toba Riolítica (unidad III).

La permeabilidad vertical se obtuvo a partir de información existente, con el fin de determinar la posible recarga mínima vertical en la zona. Esta permeabilidad vertical es de aproximadamente  $1.25 \times 10^{-6}$  m/s. Por el tipo de material que se tiene (arcilloso) la permeabilidad horizontal se estima en  $1 \times 10^{-3}$ .

#### IV.5 MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO

"Un modelo conceptual se define, como una representación simplificada de la realidad física, para intentar explicar el comportamiento de algunos aspectos que actúan en un determinado sistema, en este caso el sistema de agua subterránea" (Hernández L, 1991).

En el valle de Villa de Reyes se presentan tres acuíferos, que son: el superficial, el intermedio y el profundo. El acuífero superior es considerado como libre y el acuífero profundo como semiconfinado. El carácter de semiconfinado se debe a la presencia de una capa de tobas arcillosas que constituyen el miembro inferior de la Riolita Panalillo, que dividen el acuífero intermedio del acuífero profundo. Entre el acuífero somero y el intermedio no existe una capa que los separe, y su comportamiento hidráulico es muy similar, debido a esto el acuífero somero y el intermedio se comportan como un solo acuífero. (Fig No. 5)

Para el presente trabajo solo se analizará el comportamiento del acuífero superior, la recarga de este acuífero se da por efecto de infiltración de agua de lluvia, esto ocurre de la siguiente manera: al haber precipitación se pueden presentar dos casos, uno que el agua se infiltre en las rocas riolíticas fracturadas que constituyen las sierras que bordean el valle, por lo cual sirve para recargar el acuífero superior en gran medida, el segundo caso es cuando el agua escurre por las laderas impermeables de las sierras que limitan el valle, hasta llegar a la planicie donde existe material permeable, el que permite infiltración de esta agua de lluvia, así mismo este acuífero sufre recarga inducida por riego.

El sistema acuífero profundo semiconfinado a través de su comportamiento piezométrico existe evidencia de un flujo vertical ascendente (CFE, 1990).

## MARCO HIDROGEOQUÍMICO

## V. MARCO HIDROGEOQUÍMICO

### V.1 INTRODUCCIÓN

La geoquímica es la ciencia que estudia las características y el comportamiento en la corteza terrestre de los diferentes elementos químicos, su distribución, sus combinaciones así como sus dispersiones y concentraciones. La hidrogeoquímica es el estudio de las interacciones de agua-roca.

La calidad del agua se determina a partir de análisis físicos, químicos y bacteriológicos, los cuales pueden variar desde la determinación para iones principales, donde se analizan diversos parámetros, hasta análisis complejos que incluyen la determinación de una gran variedad de elementos traza presentes en el agua.

Dependiendo del uso destinado para el agua serán los parámetros a analizar, así como de algunas características observadas en la zona donde ésta se encuentre. Con la finalidad de conocer la calidad del agua para un uso específico, se realizan comparaciones de resultados obtenidos en análisis químicos con normas de calidad o límites máximos permisibles para agua potable.

Para determinar la calidad del agua subterránea se llevó a cabo un muestreo en diferentes aprovechamientos de la zona de estudio; tomando en cuenta la dirección de flujo del agua subterránea, en la cercanía existente entre los aprovechamientos y las zonas de descarga de la papelería. La información acerca de la dirección de flujo se tomó de estudios realizados por la CFE, ya que regionalmente este organismo es el que cuenta con la mayor información de piezometría, debido a la instalación y operación de la Central Termoeléctrica.

### V.2 METODOLOGÍA

En la zona de estudio se efectuó un muestreo en lugares previamente seleccionados con base en la dirección de flujo subterráneo, cercanía con el área de riego y zona de descarga. Los sitios muestreados fueron: pozos para agua potable y riego, norias, y en los efluentes de descarga de la empresa papelería. Se tomaron 14 muestras de las cuales siete se colectaron en pozos, cinco en norias y dos en los efluentes de la papelería. De los pozos muestreados, cinco son utilizados para agua potable y dos para riego, los efluentes de la papelería son utilizados para riego, las norias muestreadas tienen uso doméstico y de abrevadero principalmente (Fig. 6).

Las muestras fueron recolectadas en botellas de plástico duro de un litro de doble tapa, y antes de tomar las muestras las botellas se enjuagaron con el agua de los aprovechamientos. Se procedió a tomar datos de campo con un aparato de medición (Hidrolab), el cual fue calibrado previamente en laboratorio con buffers específicos en el caso del pH. Los datos tomados en campo con este aparato fueron: temperatura, pH, oxígeno disuelto y profundidad del nivel estático.

Sin embargo se tuvieron problemas con el funcionamiento del Hidrolab, ya que el aparato continuamente se descalibraba, y no se llevó a campo otro sensor para corroborar los datos tomados, por lo tanto los valores no se pueden considerar confiables. Debido a lo anterior. Se utilizaron solo datos medidos en el laboratorio para determinar la calidad del agua; los cuales también sirvieron como datos de entrada para el modelo geoquímico.

Posteriormente se tomaron las muestras y las botellas se sellaron y etiquetaron, en cada punto de muestreo se recolectaron dos muestras, una que se utilizó para análisis fisico-químicos y otra para análisis de metales pesados. Esto se llevó a efecto en casi todos los puntos de muestreo a excepción del pozo 520 Las Rusias, en donde sólo se tomó una muestra.

A las muestras destinadas para análisis de metales pesados, se les agregó 5 ml de ácido nítrico con la finalidad de obtener un pH de 2 que es ácido, y poder preservar la muestra hasta llevar a cabo los análisis en laboratorio. Para la preservación de las muestras se refrigeraron hasta la realización de los análisis correspondientes, los cuales se llevaron a cabo en el laboratorio de la Gerencia Regional Noreste en San Luis Potosí y en laboratorios de Calidad del Agua, pertenecientes a la Comisión Nacional del Agua.

Los análisis de metales pesados se efectuaron debido a que las tintas utilizadas en el papel periódico están compuestas por productos químicos que los contienen y, parte del proceso productivo consiste en el lavado del papel. Por lo cual los constituyentes de las tintas quedan, ya sea en solución o en suspensión en las aguas residuales. Los análisis tienen como finalidad detectar si algunos elementos se encuentran fuera de norma en los sitios muestreados. Los resultados de los análisis fisico-químicos se presentan en la (Tabla No. 1). En el análisis de metales pesados se escogieron algunos de los elementos constitutivos de las tintas que se ocupan en el papel periódico. Los elementos analizados son: cobre, zinc, plata, níquel, plomo, mercurio, selenio, cadmio y cromo. Las concentraciones obtenidas en los análisis de estos elementos se presentan en la (Tabla No. 2).

Los resultados de los análisis anteriormente mencionados se compararon con normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Secretaría de Salud (SS) (Tabla No. 3), finalmente se utilizaron algunos de estos resultados como datos de entrada para el modelo geoquímico.

El manejo y estudio de los análisis químicos puede simplificarse con el empleo de diagramas, en especial cuando se trata de hacer comparaciones entre varios análisis de agua, del mismo lugar en diferentes épocas o de diferentes lugares. Son útiles para poner de relieve variaciones temporales o espaciales, o bien para resaltar la composición iónica de un tipo de agua y poder hacer la comparación entre las muestras. Por lo anterior se utilizaron los análisis físico-químicos para llevar a cabo los diagramas de Piper, Wilcox, Schoeller y Stiff, para la realización de los diagramas se utilizó el software Ground Water GW, con excepción del diagrama de Schoeller que se hizo manualmente.

Se realizó el balance iónico utilizando la hoja de cálculo Qpro, versión 4 para determinar si los resultados de laboratorio presentan un porcentaje de error aceptable que es de 5% (Tabla No.4).

Los resultados de análisis físico-químicos, realizados en el área, se ocuparon para la elaboración de los diagramas de Piper, los análisis a nivel regional se utilizaron para la realización de diagramas de Stiff. Estos diagramas se ocuparon para llevar a cabo un plano hidrogeoquímico a nivel regional.

Los diagramas de Wilcox y Schoeller se efectuaron únicamente con los resultados de los análisis químicos realizados para este trabajo, ya que es importante conocer si la calidad del agua utilizada para riego es aceptable, además de poner de manifiesto concentraciones iónicas de algunos sitios muestreados.

Por último se utilizó el modelo geoquímico denominado PHREEQE, (Parkhurst et al, 1990) para conocer las concentraciones de las especies acuosas existentes en los acuíferos, así como para determinar el índice de saturación de varios minerales. Finalmente, se elaboró la simulación de mezcla entre agua del acuífero superior representada por una noria y agua del efluente, la cual proviene del acuífero inferior. Esto se llevó a cabo con el propósito de determinar si existe alguna relación entre el agua de la noria y agua del efluente.

### V.3 MODELACIÓN GEOQUÍMICA

La modelación geoquímica intenta predecir las reacciones que ocurren entre la roca y el agua subterránea, o entre diferentes soluciones. Esto puede ser en sistemas reales o hipotéticos.

Los modelos geoquímicos requieren como datos de entrada análisis físico-químicos del agua. Por medio de estos se puede obtener información de concentración de especies acuosas en equilibrio, índice de saturación con respecto a ciertas fases minerales de acuerdo a la composición de la solución, y determinación de la actividad y el coeficiente de actividad.

Para realizar la modelación se utilizó el programa de computación PHREEQE para llevar a cabo cálculos geoquímicos, recibe este nombre por las iniciales de pH, reducción, ecuaciones y equilibrio. Los autores de este programa son Parkhurst y otros (1990). Se encuentra en Fortran IV, y está diseñado para modelar reacciones geoquímicas, basado en un modelo de pareja de iones acuosos. Puede calcular pH, potencial de reducción, transferencia de masa, composición de soluciones en equilibrio con fases múltiples, también se pueden simular varios tipos de reacciones como son:

- 1.- Adición de reactantes para una solución.
- 2.- Mezcla de dos aguas y
- 3.- Titulación de una solución con otras.

En cada uno de estos casos PHREEQE puede simultáneamente, mantener la solución en equilibrio con múltiples límites de fases. Durante la simulación de la reacción el programa calcula los siguientes datos:

1. pH
2. Potencial electrón
3. La actividad de especies
4. La cantidad para minerales transferidos dentro o fuera de una fase acuosa
5. La especiación geoquímica
6. Los índices de saturación para las fases acuosas con respecto a una fase mineral específica

Para efectuar la modelación, se utilizaron los análisis fisico-químicos de dos norias, un pozo y el efluente principal de la empresa. Estos aprovechamientos fueron escogidos por ciertas características como son: ubicación geográfica y nivel estático.

Los aprovechamientos seleccionados son: las norias El Hundido y Guadiana, el Pozo No. 3 de PRONAPADE y el efluente principal de la papelera. La ubicación de estos sitios se encuentra en la (Fig. 6).

En la noria El Hundido con profundidad del nivel estático de 6 m, y que es utilizada para uso doméstico, se encontró que las concentraciones iónicas son superiores a las registradas en la zona, también se presentan anomalías en los parámetros físicos analizados como son: olor fétido y presencia de sedimento orgánico. Por lo anterior, se podría pensar que existe una cierta influencia del agua de la papelera, hacia esta noria debido a la cercanía de esta con la zona de descarga, así como por la dirección del flujo.

La noria de Guadiana con profundidad del nivel estático de 4 m y se utiliza para uso doméstico, se escogió debido a que se encuentra bastante alejada tanto de la zona de riego como de la zona de descarga. En los análisis fisico-químicos se encontró que las concentraciones iónicas se encuentran dentro de la norma, además no se observa

alteración en los parámetros físicos, por lo tanto se considera que el agua es de buena calidad.

El agua del pozo No. 3 perteneciente a la empresa papelera con profundidad superior a 350 m, se eligió con la finalidad de conocer que tipo de agua se utiliza para uso industrial. Al analizar el agua de este aprovechamiento se puede conocer el tipo de agua existente en el acuífero inferior, ya que la papelera reporta que de este acuífero extrae el agua para su proceso productivo. También se eligió el efluente principal de la empresa, con la finalidad de conocer las similitudes o diferencias que se pueden presentar con las aguas del pozo No. 3 y con la noria El Hundido.

Se utilizó el modelo geoquímico PHREEQE, en cinco *corridos* para determinar las especies acuosas y concentraciones de cada aprovechamiento, conocer las fases minerales y el índice de saturación de estas. Así mismo se realizó la comparación entre los resultados de esta simulación con los análisis físico-químicos, para determinar las similitudes o diferencias existentes entre los aprovechamientos escogidos para la modelación.

Primeramente se ejecutó el modelo para conocer las especies acuosas del acuífero superior representado por dos norias. Por lo tanto se realizó por separado la modelación del agua de las norias Guadiana y El Hundido, esto corresponde a la primera y segunda *comida* respectivamente. Dicha modelación se efectuó con la suposición de que el agua de las norias, debe tener características muy similares, ya que ambas se ubican en el acuífero superior, y la litología no presenta un cambio significativo, que haga pensar en la creación de diferentes especies acuosas.

La tercera *comida* se realizó con los datos del pozo No. 3 para conocer las especies acuosas y fases minerales del acuífero profundo. La cuarta *comida* del modelo se efectuó con los datos del agua del efluente para conocer las características de este y, las similitudes y/o diferencias que se puede presentar con el agua de la cual proviene.

Debido a que el agua utilizada en el proceso productivo proviene del pozo No. 3 se espera que las especies acuosas y fases minerales del efluente sean muy similares a las encontradas en el pozo, a excepción de aquellas que se hayan producido en el proceso productivo.

La última *comida* del modelo consistió en la simulación de la mezcla de dos tipos de aguas. Para esto se utilizó agua de la noria Guadiana, que se ocupa para uso doméstico y agua del efluente principal de la papelera, que es utilizada para riego, dicha modelación se llevó a cabo en varios pasos, con la finalidad de determinar posibles cambios en las concentraciones de especies acuosas y fases minerales.

El agua del efluente principal de la empresa papelera tiene 1645 ppm de sólidos totales disueltos, presenta una temperatura de 39 °C; y el agua de la Noria de Guadiana tiene

406.3 ppm de sólidos totales disueltos y una temperatura de 16.6 °C. La diferencia de temperaturas entre ambos aprovechamientos, se debe a que el agua utilizada en el proceso industrial que origina el efluente, es extraída del acuífero profundo el cual es termal, y no se encuentra ninguna fuente de calor durante el proceso; el agua de la noria Guadiana proviene del acuífero somero del valle de Villa de Reyes.

Primeramente se simuló la mezcla de una pequeña proporción del agua del efluente con un gran volumen de agua de la noria. Esta proporción se inició con 80 % de agua de la noria contra 20 % de agua del efluente; estas proporciones fueron variando siguiendo una disminución del agua de la noria. Esto se realizó hasta tener un porcentaje de 20 % de agua de la noria contra 80 % de agua del efluente.

Posteriormente se procedió a la comparación de los modelos, con la finalidad de detectar similitudes y diferencias, entre las especies acuosas y fases minerales de los aprovechamientos elegidos para la modelación.

#### V.4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Durante el muestreo en campo se observó que el agua es cristalina en los sitios muestreados, a excepción de la noria El Hundido y la salida de los efluentes de la empresa papelera. En estos sitios de muestreo el agua es turbia, está acompañada de olor fétido y coloración oscura, en donde se presenta sedimento orgánico e inorgánico.

Los parámetros químicos reportados presentados en la (Tabla No.1) fueron: sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruros sulfatos carbonatos y bicarbonatos. Las concentraciones de los anteriores iones encontrados en los aprovechamientos muestreados, se compararon con normas establecidas para uso potable por la Secretaría de Salud y por la Organización Mundial de la Salud.

Los valores de sodio más bajos reportados dentro de la zona de estudio se localizan en el pozo 420 que se usa para riego en el Ejido de Rodríguez y en la noria ubicada dentro del mismo ejido, con valores de 1.95 ppm. El valor más alto se encuentra en la noria El Hundido con 127.88 ppm. Los límites aceptables permisibles son de 150 ppm, por lo tanto los valores máximos encontrados cumplen con la norma.

Los valores de potasio en la zona varían de 0.4 ppm en el pozo No. 3 que es para uso industrial, perteneciente a la papelera y en el pozo 356 El Jardín, el cual tiene un uso agrícola. Los valores más altos reportados se localizan en la noria El Hundido en Villa de Reyes, este aprovechamiento tiene uso doméstico con 46.8 ppm. Debido a que los valores máximos permitidos son de 12 ppm la noria se encuentra fuera de los límites.

Los valores de calcio encontrados en los análisis fluctúan entre 16.0 ppm a 140.2 ppm. Los datos más bajos se presentan en el pozo 336 que es usado para riego. Los más altos se localizan en la noria de Puente de Tierra la cual tiene uso doméstico y en la noria El Hundido. La norma específica como valores máximos permisibles 200 ppm, por lo tanto se cumple con la norma.

El contenido más alto de magnesio se encuentra en el efluente principal de la papelera, con 1922 ppm. El valor mínimo es de 3.0 ppm y se localiza en la descarga lateral de la papelera. Estos valores no se compararon con la norma ya que el agua es utilizada para uso agrícola.

Los valores máximos de carbonato en el área se localizan en el pozo 358 y 426, presentan valores de 60 ppm y 30 ppm respectivamente, ambos pozos tienen uso agrícola, los valores mínimos son de 6 ppm y se localizan en una gran cantidad de aprovechamientos muestreados alrededor de la empresa papelera. Debido a que los aprovechamientos son para uso agrícola no se realizó comparación con la norma de agua potable.

En los análisis se reportan valores mínimos de bicarbonatos en los pozos 336, 420, 332 y 358, así como en la noria de Puente de Tierra, los anteriores aprovechamientos tienen uso doméstico. Los valores máximos se localizan en el efluente principal y en la noria El Hundido con valores de 366 ppm y 309.9 ppm respectivamente y estos valores se encuentran dentro de las normas establecidas, ya que los valores máximos permitidos son de 800 ppm.

La concentración más baja de cloro se localiza en las norias San Francisco, Camino de Jesús María y Ejido Rodríguez, y en los pozos 420 y 423. Los valores más altos se localizan en la noria El Hundido con 256.25 ppm. Los valores que se presentan en aprovechamientos para uso potable, se encuentran dentro de la norma, ya que los parámetros aceptables son de 200 ppm a 600 ppm.

Los valores más altos de sulfatos se localizan en el efluente principal con 902.4 ppm y en la noria El Hundido con 119.0 ppm, el pozo No. 332 que es utilizado para agua potable tiene un valor de 27.8 ppm, los valores de los aprovechamientos utilizados para agua potable comparados con las normas, se encuentran dentro de los límites establecidos. El valor reportado del efluente no puede ser comparado con estas normas, ya que el agua es utilizada para uso agrícola.

En los diagramas de Piper o triangulares, se pueden representar muchos análisis de agua en un mismo diagrama sin que se tenga confusión, ya que la geoquímica del agua queda bien diferenciada y facilita la comparación de la calidad química. Debido a lo anterior se llevó a cabo el diagrama de Piper con análisis físico-químicos realizados para este trabajo.

En dicho diagrama se presenta un listado de los aprovechamientos utilizados para llevar a cabo este diagrama (Fig. 7.). De acuerdo a la clasificación de Piper se puede observar que en la zona muestreada predominan principalmente las aguas de tipo sulfatado cloruradas y sólo en un aprovechamiento (noria Las Rusias Villa de Reyes) se encuentra agua de tipo bicarbonatada sódica.

Los valores de conductividad eléctrica y RAS son graficados en el nomograma de clasificación, obteniéndose de esta manera la clase de agua para riego, la cual está definida por los parámetros C y S con subíndices en cada uno de ellos, el significado de estos parámetros se presenta en la (Tabla No. 5). Para elaborar el diagrama de Wilcox se utilizaron datos únicamente de los aprovechamientos utilizados para este fin, los cuales son los pozos 420, 336 y los efluentes de la papelera (Fig.8).

En el diagrama de Wilcox se puede apreciar que la conductividad de tres de las cuatro muestras graficadas es menor a  $750 \mu\text{ohms/m}$  a excepción de la muestra perteneciente al efluente de la papelera, que presenta un valor de conductividad de  $1600 \mu\text{ohms/m}$ .

Debido a lo anterior esta muestra tiene una clasificación de  $C_3$  que es altamente salina, por lo cual no debe usarse este tipo de agua en suelos con drenajes deficientes. Con respecto a la alcalinidad las cuatro muestras graficadas presentan valores bajos, por lo tanto su clasificación es de  $S_1$ , lo que significa que esta agua es apta para riego ya que tiene poco contenido en sodio, por lo tanto pueden usarse en casi todo tipo de suelos.

En el diagrama se puede apreciar que el agua tiene buena calidad para riego, por lo tanto no existe ningún problema con su utilización, a excepción del agua del efluente principal de la papelera que presenta valores altos de conductividad, por lo tanto se deben seleccionar plantas tolerantes a las sales.

Con respecto a los análisis de metales pesados que se efectuaron en la zona aledaña a la empresa papelera, se observa que los parámetros analizados se encuentran dentro de los límites establecidos para agua potable en la Gaceta Ecológica del año de 1990. Esto es debido a que no existe contaminación por metales pesados en el acuífero, y en los efluentes de la papelera las concentraciones de estos también son inferiores a las normas, esto puede ser debido a que el efluente no presenta ningún problema con respecto a metales pesados, o bien porque en el momento de muestreo las concentraciones altas de estos no salían en sus aguas de descarga.

Los diagramas de Schoeller consisten en una serie de escalas logarítmicas verticales, las que se utilizan para representar las concentraciones de iones. Por medio de este diagrama se permite agrupar diferentes análisis y comparar concentraciones o relaciones iónicas. En el diagrama de Schoeller que se elaboró, únicamente se representan cuatro de las muestras tomadas en campo, dos de ellas pertenecen a norias, una a un pozo y la última al efluente. Estas muestra fueron escogidas para poder observar más fácilmente las

similitudes en cuanto a las concentraciones iónicas presentes. Las muestras escogidas fueron el pozo No. 3, el efluente principal de la papelera, la noria El Hundido y la noria de Guadiana.

En este diagrama se puede apreciar que existen concentraciones altas de sulfatos y magnesio en el efluente, el agua del pozo No. 3 muestra cierta similitud con la noria de Guadiana, con excepción del contenido de cloro, ya que Guadiana tiene valores más altos que el pozo. A pesar de que el agua del efluente proviene del pozo No. 3 no se aprecia contenido iónico parecido. Lo que respecta a la noria El Hundido, las concentraciones iónicas son mayores que las de el pozo 3 y la noria Guadiana, y se tiene un alto contenido en cloro. (Fig. 9).

En los diagramas de Stiff se pueden apreciar los valores de las relaciones iónicas y su variación, además con este tipo de diagramas se pueden elaborar mapas hidrogeoquímicos. Para este trabajo se efectuó un plano utilizando análisis a nivel regional del valle de Villa de Reyes. Primero se elaboraron los diagramas de Stiff, los que posteriormente se utilizaron para el plano hidrogeoquímico (Plano No. 4).

En dicho plano se agruparon los diagramas de Stiff, y se aprecia que los aprovechamientos que contienen las concentraciones más altas de sulfato, son norias y se localizan en el área de estudio o muy cerca a ella. Las norias se ubican en el acuífero superficial, los pozos por lo general no presentan contenidos altos de sulfatos.

Para la realización del modelo geoquímico se requiere como datos de entrada, los resultados de los análisis físico-químicos del agua. Los datos utilizados son: elementos y concentraciones reportadas en dichos análisis, alcalinidad, pH, pe, temperatura y densidad del agua. Las unidades utilizadas fueron milimoles y los datos que se obtuvieron de salida son: fuerza iónica, balance eléctrico, valencia operacional, alcalinidad total, distribución de especies y fases minerales.

El modelo fue utilizado en cinco ejecuciones. En las cuatro primeras los resultados obtenidos, permitieron conocer la distribución y concentración de las especies acuosas, y las fases minerales de los aprovechamientos escogidos para este fin. En la última corrida se hizo la simulación de la mezcla de dos tipos de agua, esta se efectuó por pasos, con la finalidad de conocer como cambian los parámetros reportados en el modelo, dependiendo del tipo de agua predominante.

En la noria de Guadiana que es utilizada para uso doméstico se encontraron 16 especies acuosas, la gran mayoría son iones en solución, dos especies bicarbonatadas, dos sulfatadas y cinco fases minerales, de las cuales dos son carbonatos, (de calcio y magnesio) y, dos especies sulfatadas. Las fases minerales teóricas encontradas son: calcita, aragonita, dolomita, yeso y anhidrita, todas las fases se encuentran subsaturadas.

En la noria El Hundido que es utilizada para uso doméstico se pueden formar 19 especies, 16 de ellas coinciden con las que pueden formarse en la noria Guadiana y, las especies adicionales que se encuentran en este aprovechamiento son:  $\text{CaHCO}_3^+$ ,  $\text{MgHCO}_3^+$  y  $\text{NaSO}_4^-$ . Se pueden formar las mismas fases minerales de la noria Guadiana; en donde la calcita y la dolomita se encuentran más cercanas al equilibrio que en la noria de Guadiana, lo que significa que en El Hundido existe un aporte mayor de carbonatos de calcio, magnesio y de sulfatos.

En el pozo No. 3 se encuentran 17 especies acuosas, de las cuales tres son bicarbonatadas, dos sulfatadas y las restantes son iones en solución, al comparar estas especies con la noria Guadiana se encontró que difieren en una especie que es bicarbonatada, por lo que se puede pensar que el acuífero inferior presenta contenidos más altos de bicarbonatos, las fases minerales que se pueden formar son calcita, dolomita aragonita, yeso anhidrita, estas fases minerales se encuentran subsaturadas.

En la modelación del efluente principal de la papelera se reportan 20 especies acuosas, cuatro son bicarbonatadas y cuatro sulfatadas, además de iones en solución; las especies acuosas excentes que no se encuentran en el pozo 3 y se localizan en el efluente son:  $\text{KSO}_4$ ,  $\text{MgHCO}_3^+$  y  $\text{NaSO}_4^-$ , esto es debido a que existe mayor abundancia de magnesio, y sulfatos, probablemente el incremento es debido al proceso productivo. Las fases minerales no varían, pero la dolomita se encuentra saturada, en tanto que la calcita está ligeramente subsaturada., por lo tanto pueden precipitarse el carbonato y el magnesio.

En el modelo para conocer la especiación acuosa y fases minerales del pozo 3 y del efluente se encontraron similitudes en cuanto a las especies acuosas, y fases minerales; esto se esperaba ya que el agua del pozo 3 es parte del agua utilizada por la papelera. El agua del efluente se encuentra enriquecida en algunos elementos, esto por efecto del proceso productivo. Las especies acuosas que se encuentran en el efluente y no están en el pozo No. 3 son dos especies sulfatadas (de sodio y magnesio) y una bicarbonatada. Las fases minerales teórica que pueden formarse son calcita, aragonita, dolomita yeso y anhidrita, en el pozo 3 las fases minerales se encuentran subsaturadas y en el efluente se encuentra la dolomita sobresaturada, debido al incremento de magnesio.

Debido a que el material donde se encuentran ubicadas las norias es la misma, se podría esperar que las especies acuosas que pueden formarse fueran las mismas, quizás con pequeñas variaciones en cuanto a concentraciones. Pero con el análisis de las simulaciones antes descritas se observa que tres de las especies excedentes en la noria El Hundido son las mismas que las encontradas en el efluente principal de la empresa, por lo que se nota similitud entre ambos tipos de agua.

En la simulación de la mezcla del agua de la noria de Guadiana y en el efluente principal de la empresa papelera se encontraron los siguientes resultados: En el agua de la noria se

pueden formar 16 especies acuosas y en el efluente 20. En las especies de ambos aprovechamientos existe una gran abundancia de iones en solución y, las especies con concentraciones más altas se localizan en el agua del efluente. Las especies que se encuentran en el efluente y no están en la noria son:  $\text{KSO}_4^-$ ,  $\text{MgHCO}_3^+$ ,  $\text{NaSO}_4^-$  y  $\text{CaHCO}_3^+$ .. Esto como se mencionó con anterioridad es por aporte en magnesio y sulfatos que recibe el agua del efluente.

Las fases minerales presentes en ambos tipos de agua son: calcita, aragonita, dolomita, yeso y anhidrita, aunque esta última fase no se puede tomar en cuenta ya que para su formación se necesitan condiciones orgánicas. De las especies restantes las concentraciones mayores se encuentran en el agua del efluente y la dolomita está sobresaturada.

Con el modelo se logró simular que el agua se empieza a mezclar en diferentes proporciones, dicha mezcla está sujeta a las condiciones particulares de cada tipo de agua, como son: temperatura, pH, concentraciones de los iones, etc., por lo cual los parámetros analizados sufrirán una variación dependiendo de la concentración mayoritaria del tipo de agua.

La mezcla se realizó por pasos para analizar el cambio ocurrido en este nuevo tipo de agua, con la finalidad de comparar los resultados de la mezcla efectuada con los datos reportados en los análisis de la noria El Hundido, y determinar si existe una relación entre ambos tipos de agua. Esta noria se eligió para hacer la comparación debido a las altas concentraciones iónicas encontradas con respecto a los otros sitios muestreados, por la dirección del flujo subterráneo y, por la cercanía con las áreas de descarga.

La mezcla se llevó a cabo en 9 pasos, primeramente se mezcló el agua de la noria en mayor porcentaje que la del efluente, ya que si existe infiltración la cantidad de agua que puede llegar al acuífero es mínima. Posteriormente la cantidad de agua de la noria desciende de manera gradual en varios pasos, hasta que la mezcla esté constituida por mayor cantidad de agua del efluente.

Las aguas se mezclaron con un porcentaje primeramente de 80 % del agua de la noria y 20 % de agua del efluente, los porcentajes de agua de la noria utilizados para realizar la mezcla son: 75, 72.5, 70, 60, 55, 50, 40, 30 y 20 %. Los porcentajes no fueron escogidos de manera arbitraria, primeramente se llevó a cabo la mezcla en una mayor cantidad de pasos. ( Fig. No 10 y 11 )

Al inicio de esta simulación los porcentajes del agua de la noria fueron disminuyendo en intervalos de 5%, pero en este trabajo, se presentan únicamente los porcentajes considerados representativos, debido a que en estos se tienen cambios no solo en las concentraciones, sino también en la formación de especies acuosas .

En los resultados de la mezcla del agua de la noria con el efluente con un porcentaje de 80%, se puede apreciar que las especies acuosas que se pueden formar con esta mezcla, son las mismas que las de la noria de Guadiana más una nueva especie que es  $\text{MgHCO}_3^+$  con concentraciones de  $1.834 \times 10^{-5}$  mol, las fases minerales son las mismas que las encontradas en la noria y el efluente, y se encuentran subsaturadas.

Al mezclar 75% del agua de la noria con el restante del agua del efluente, se forma una nueva especie  $\text{CaHCO}_3^+$ , con una concentración de  $1.225 \times 10^{-5}$  y la especie  $\text{MgHCO}_3^+$  formada en la mezcla anterior presenta una concentración de  $2.057 \times 10^{-6}$  mol.

Cuando se mezcla 72.5% de agua de la noria se forma una nueva especie  $\text{KSO}_4^-$ , con una concentración de  $3.094 \times 10^{-6}$ . Las concentraciones de las especies acuosas anteriormente formadas se incrementan

Al realizar la mezcla con un porcentaje de 55% de agua de la noria, se forma una nueva especie  $\text{NaSO}_4^-$  con una concentración de  $2.837 \times 10^{-5}$  mol. Las concentraciones de las especies acuosas anteriormente formadas continúan incrementándose y, las fases minerales tienen un pequeño incremento pero continúan subsaturadas.

Al realizar la comparación de la mezcla con los resultados obtenidos de la simulación de la noria El Hundido, se puede apreciar que se encuentran tres especies acuosas comunes entre el efluente y la mezcla. Estas especies son:  $\text{CaHCO}_3^+$ ,  $\text{MgHCO}_3^+$  y  $\text{NaSO}_4^-$ . Las concentraciones encontradas en la noria son:  $2.788 \times 10^{-5}$ ,  $2.360 \times 10^{-5}$  y  $1.584 \times 10^{-5}$  respectivamente. Las concentraciones del efluente son:  $1.48 \times 10^{-5}$ ,  $4.38 \times 10^{-5}$  y  $2.84 \times 10^{-5}$ . En estos datos se observa que dos de las especies encontradas en la mezcla son superiores a las de la noria, a excepción de la especie acuosa  $\text{CaHCO}_3^+$ , que tiene una concentración de  $1.48 \times 10^{-5}$ , este valor es menor en la mezcla que el reportado en la noria Guadiana.

Las especies acuosas de la mezcla se obtienen cuando en la simulación se tiene un porcentaje de 45% agua del efluente. En la simulación de la mezcla con porcentajes inferiores de agua del efluente no se forman las tres especies comunes para la noria y el efluente.

La comparación de los datos anteriores se reportan en la (Tabla No. 6), en donde se manejan principalmente los datos de especies acuosas y fases minerales del efluente de la papelera y de la noria de Guadiana, así como los datos reportados en cada mezcla que se efectuó.

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AL  
AGUA SUBTERRÁNEA

## **VI. EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AL AGUA SUBTERRÁNEA**

### **VI.1 TIPOS DE CONTAMINACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO**

El agua superficial se contamina cada vez con mayor rapidez debido a diversas fuentes por lo cual, se tiene una alteración de su calidad para el consumo humano, debido a lo anterior es necesario recurrir al agua subterránea para satisfacer dichas necesidades.

El agua subterránea se encuentra mejor protegida contra la contaminación que el agua superficial esto es debido, al suelo o zona de aereación, que representa una barrera. Las posibilidades de contaminación de los acuíferos dependen de la carga contaminante, clase, intensidad y duración de este, así como de la capacidad de respuesta del medio hidrogeológico o de la vulnerabilidad del mismo, lo cual está en función de un conjunto de características del acuífero, que determinan cuanto puede ser afectado este por la descarga del contaminante.

Los contaminantes pueden ser agrupados en tres formas de acuerdo al origen que tengan, y estos son: Industrial, Agrícola y Urbano.

**Contaminación de origen Industrial.-** Los desechos líquidos que producen las empresas posteriores a sus proceso productivo se conocen como efluentes, estos presentan concentraciones de compuestos orgánicos peligrosos y metales pesados, en algunos casos aunque estas sean bajas pueden resultar tóxicas, cancerogénicas o mutagénicas.

Cuando los efluentes son descargados al medio ambiente, sin haber sufrido un tratamiento previo para reducir los efectos nocivos, pueden penetrar en el agua subterránea por infiltración de aguas superficiales, o por lixiviación de deposiciones en la tierra, en otros casos las sustancias químicas penetran en el subsuelo antes o durante su uso industrial como resultado de derrames o fugas de los tanque y tuberías.

**Contaminación de origen Agrícola.-** Normalmente las zonas de riego se encuentran sobre áreas de recarga de acuíferos, lo que ocasiona que este pueda contaminarse debido a la gran cantidad de fertilizantes y pesticidas que se utilizan, así como por el tipo de aguas utilizadas para uso agrícola, ya que estas contienen cantidades considerables de materia orgánica y en algunos casos algunos productos químicos. Este problema ocurre cuando sustancias tóxicas se infiltran pudiendo dañar al acuífero a corto o largo plazo dependiendo de la vulnerabilidad del mismo.

**Contaminación de origen Urbano .-** Las aguas residuales domésticas y los desechos sólidos contienen altas concentraciones de organismos fecales, materia orgánica y de

compuestos de nitrógeno. Si existe infiltración, el agua subterránea puede contaminarse por patógenos bacteriales y virales incluyendo aquellos que causan diarrea, tifoidea y hepatitis, así como por nitratos, amonias, detergentes, desinfectantes y otras sustancias químicas.

En el área de estudio se pueden presentar dos formas principales de contaminación que son: de origen industrial y agrícola, ambos tipos se encuentran sumamente relacionados, debido que las aguas residuales que descarga la empresa son utilizadas para riego del Ejido el Rosario, el traslado del efluente desde la papelera, que se ubica en el poblado de San Miguel, hasta el área de riego se realiza por medio de canales sin revestimiento, lo que puede provocar que desde que se inicia el recorrido hasta la zona de riego, pueda existir infiltración de estas aguas.

En temporadas que no son de riego las aguas residuales de esta empresa son almacenadas en la presa el Refugio, en el vaso se puede notar la existencia de fracturas con tendencia circular y una depresión de 20 m de diámetro por 8 de profundidad aproximadamente, tanto las fracturas como la depresión se cree han sido provocadas por la sobreexplotación del acuífero.

## VI.2 CARACTERÍSTICAS DE LA PAPELERA Y SU EFLUENTE

La papelera PRONAPADE se encuentra instalada en el kilómetro 28 de la carretera Villa de Reyes-San Felipe, Gto., en el municipio de Villa de Reyes San Luis Potosí desde el año 1974, Productora Nacional de Papel Destintado S.A DE CV (PRONAPADE) es una empresa integrante del grupo industrial y comercial PIPSA; cuya coordinación esta a cargo de Productora e Importadora de Papel S.A. siendo su cabecera de sector la Secretaría de Gobernación. Se encarga del reciclado de papel periódico, con lo que logra una producción de 130,000 a 145,000 toneladas de periódico anuales y genera para el municipio 354 empleos en el medio rural.

Para llevar a cabo el proceso industrial se utilizan: papel periódico, agua en abundancia, aditivos químicos entre los que se encuentra ácido sulfúrico para el lavado del papel periódico y otros productos no especificados en la información que reporta la empresa, además se utiliza energía eléctrica y térmica. La función principal consiste en el destintado de papel para la reutilización (Fig 10).

Posterior al proceso industrial el agua residual es utilizada para uso agrícola en "Ejido El Rosario", en donde se riegan 700 hectáreas aproximadamente. Los datos del volumen de agua que proviene del efluente de esta empresa no son fijos, las cifras reportadas por diferentes instituciones manejan datos de 208 l/s hasta 300 l/s, el excedente de agua que no es utilizada para riego se almacena en la presa El Refugio, desde 1978.

En el año de 1976 se empezó a utilizar el agua de descarga de la empresa para fines de riego, esto ocurrió debido a que hubo un descenso en los niveles de las norias, por lo que el volumen de agua que se podía extraer de estos aprovechamientos era insuficiente para uso agrícola, esto aunado a que la perforación de pozos resulta desfavorable para la economía de los campesinos, por lo tanto se tuvo que recurrir a la utilización de aguas residuales.

El caudal de aguas de descarga son evacuadas por dos sitios, uno localizado en la parte posterior que es el efluente principal de la empresa y el otro en la parte lateral. El efluente principal de la papelera es transportado hasta la zona de riego por medio de canales sin revestimiento, esto ocasiona que parte del agua vertida se evapore y parte se infiltre, lo anterior da como resultado que se forme una costra de celulosa en la superficie del terreno, la incorporación de esta al suelo dificulta la aereación del mismo, con la consecuente disminución en el rendimiento agrícola. El efluente lateral sale a través de un canal rústico de sección variable sin revestir, que termina de manera abrupta en un área donde actualmente el agua se desparrama en la llanura.

Debido a la gran cantidad de agua que se utiliza para el proceso industrial de esta empresa fue necesario perforar pozos profundos los cuales se encuentran ubicados en las cercanías de la empresa, actualmente la papelera consta de 7 pozos, de los cuales extrae agua del acuífero profundo, la profundidad total de perforación varía de 350 a 650 m, el agua que se obtiene para el proceso es de tipo termal con temperaturas que fluctúan entre 45 °C y 55 °C.

En el acuífero de Villa de Reyes se extraen anualmente 130 Mm<sup>3</sup>, en tanto que la recarga asciende a 103 Mm<sup>3</sup>, por lo que existe una sobreexplotación. Actualmente en el lugar existen 102 pozos profundos, extrayendo un volumen anual de 19,907 Mm<sup>3</sup> (CFE 1990). Debido al problema de sobreexplotación en el valle se tiene fracturamiento en algunas zonas y depresiones en otras.

Por lo anterior se han realizado una serie de análisis químicos, con la finalidad de determinar si el agua residual vertida por esta empresa está contaminando al acuífero, ya que gran parte de esta agua se evapora, y otra parte sufre una infiltración. Por lo que dependiendo del comportamiento de la zona de aereación, se puede permitir o no la llegada de contaminantes al acuífero.

Se han realizado una serie de análisis físico-químicos en diferentes épocas, por diversas instituciones como son: la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, SARH, CFE y la empresa. Dichos análisis han servido para monitorear la composición química de las aguas de descarga del efluente de PRONAPADE, ya que por el contenido de productos derivados de las tintas tanto en solución como en suspensión, (celulosa, sulfatos, sales de magnesio, grasas ocasionalmente y sólidos sedimentables, así como productos químicos utilizados en el lavado de papel); pueden ocasionar problemas de contaminación de

manera superficial o subterránea, los resultados de dichos análisis se reportan en la (Tabla No. 7).

A partir del 31 de mayo que se otorgó el permiso a la empresa para descargar sus aguas residuales, para lo anterior se establecieron normas por SEDE para fijar las condiciones particulares de descarga en la cláusula tercera.

Los parámetros analizados, las características específicas para el permiso de descarga, y los valores que se obtienen del efluente se pueden observar en la (Tabla No. 8). La empresa presenta cierta dificultad para cumplir con los parámetros de sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, sólidos sedimentables y coliformes fecales. Debido a lo anterior la empresa solicitó a SEDUE utilizar los parámetros de calidad máxima permisible en aguas para riego, dichas características se observan en la (Tabla No. 9).

Los parámetros en los cuales la empresa tiene problemas para cumplir con las normas establecidas siguen siendo los mismos, aunque se utilicen valores máximos permisibles para riego, por lo tanto se puede distinguir la existencia de un problema de contaminación desde el punto de vista ambiental. Con este trabajo se pretende determinar si puede existir una afectación al acuífero a corto o largo plazo.

### **VI.3 AFECTACIÓN AL SUELO**

La capa que cubre la superficie de la tierra llamada suelo, es un material poroso de muy diversas propiedades. Su fase sólida se compone de productos inorgánicos derivados del fracturamiento de las rocas, material transportado y de productos orgánicos de la flora y la fauna. La importancia del suelo radica en la utilización que de él se hace para cubrir las necesidades básicas del hombre.

Las grandes y fértiles zonas agrícolas para la producción de alimentos se asocian a suelos de ciertas características, la preservación de bosques, selvas y praderas se debe al control de la erosión de los suelos.

El suelo es el conducto de recarga natural de los acuíferos y consta de dos zonas hidrogeológicas, la zona vadosa o no saturada, también conocida como la zona de aereación y la zona saturada, la zona de aereación comprendida entre la superficie del terreno y el nivel freático, está parcialmente saturada y se subdivide en zona de agua del suelo, zona intermedia y zona capilar (Chávez Guillén 1975).

La zona de agua del suelo está constituida por suelos y otros materiales, el contenido de agua está influenciado por lluvias, riego drenaje y evapotranspiración. La zona freática se encuentra inmediatamente arriba del nivel freático; su altura depende del tipo de material y de las fluctuaciones de dicho nivel. En materiales finos la altura capilar puede ser de varios metros, pero el agua asciende lentamente, en materiales gruesos la altura capilar es

del orden de centímetros aunque el agua asciende rápidamente. Entre la zona de agua del suelo y la de capilaridad se encuentra la zona intermedia que contiene agua, llamada pelicular adherida a granos y temporalmente agua "gravitacional" que fluye verticalmente hacia la zona de saturación durante los periodos de infiltración. La figura fue tomada de ("Ground Water Studies". Brown 1972) (Fig No.13).

La zona de saturación tiene como límite superior el nivel freático, la cual está definida por el agua que se encuentra a la presión atmosférica, todos los estratos que se encuentran abajo del nivel freático se encuentran totalmente saturados.

Las condiciones hidrológicas del suelo dependen en gran parte de características físicas del medio, tales como textura, densidad aparente, densidad real, porosidad etc., la textura se refiere al tamaño de las partículas que constituyen la fase sólida del medio. Dentro de las características físicas del suelo, la textura es considerada como una de las más significativas por la relación que presenta con otros aspectos del suelo como infiltración, porosidad, retención de la humedad etc. Los resultados texturales obtenidos se agrupan dándoles nombres que se determinan mediante coordenadas triangulares, en el Triángulo de Texturas.

La Densidad Aparente es el peso del suelo en su conjunto, es decir, la masa de la fracción del suelo incluyendo su espacio poroso. La Densidad Real o peso específico real, a diferencia de la densidad aparente del suelo, su peso específico real indica la masa de la fracción del suelo, esto es, las partículas que lo constituyen específicamente, y este parámetro es importante para la determinación de la porosidad neta. La porosidad tiene un gran significado en las características hidrológicas del suelo, porque dichos espacios son los lugares por donde circula o donde se almacena gran parte del agua.

Se realizó un Estudio Edáfico Climático del Ejido El Rosario y los Potreros el Chivato y Granadillas, en Villa de Reyes San Luis Potosí (Instituto de Geografía 1980), el Ejido El Rosario se localiza a 30 km al sur del poblado de Villa de Reyes sobre la carretera que va a Guanajuato. Dentro de este estudio se ubicaron 7 pozos, se analizaron las características de los perfiles y posteriormente se realizó la interpretación de los análisis de laboratorio, se presenta un corte del suelo del área de estudio. (Fig 14). Los tipos de suelos encontrados dentro de este estudio son los siguientes:

#### **Migajón Arcillo-Arenoso San Miguel**

Suelos delgados que, de acuerdo con su textura dividen al terreno en dos porciones, en la primera se localizan los pozos 1, 3, 4, 6, y 7 que ocupan casi las 3/4 partes del área con textura de migajón arcillo-arenoso hasta los 40-60 cm. de profundidad, color café claro sin grietas, bastante seco con terrenos suaves y pocas raíces, calcio y magnesio sin problemas referentes a salinidad o sodicidad común un pH promedio de 7.6 y otra capa subyacente que va aproximadamente hasta los 75 cm de profundidad, que básicamente está constituida por arcillas con agrietamientos, algo de grava y pocas raíces, ligeramente

más alcalina que la superior, pero también con niveles bajos de materia orgánica calcio y magnesio, a partir de los 75 cm. de profundidad se presenta una capa dura de tepetate en forma de lajas y de color blanco.

En los pozos 2 y 5 se tiene un material que es Migajón Arcilloso, se presentan suelos delgados ligeramente alcalinos con una capa superficial que oscila entre 60 y 80 cm. de espesor con textura de migajón arcillosa color café claro, algo agrietada sin gravas con terrenos duros, también bajo en materia orgánica calcio magnesio y sales; a partir de esta se presenta una capa subyacente que llega hasta 120 cm de profundidad de textura arcillosa, color café amarillento compacta y agrietada, con muy pocas raíces y sin gravas, ligeramente alcalina al igual que la anterior, después de la cual se encuentra la capa constituida por tepetate.

#### **VI.4 EFECTO DE LA CONTAMINACIÓN AL ACUÍFERO**

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos y de metales pesados realizados en el área de estudio, se puede observar que los parámetros analizados se encuentran dentro de las normas establecidas, por la Organización Mundial de la Salud y la Secretaría de Salud, por lo cual se procedió a la utilización del modelo geoquímico PHREEQE, para conocer las especies acuosas y fases minerales teóricas que se pueden formar en los diversos sitios modelados. Con base en esto realizar la simulación de mezcla de agua del acuífero superior e inferior, para determinar las características que se pueden presentar en agua que se encuentran mezclándose con agua del efluente por efecto de infiltración.

Los resultados obtenidos en esta modelación revelaron que existe similitud en cuanto a fases minerales en equilibrio y especies acuosas que se forman en la mezcla y en un aprovechamiento que es la noria El Hundido. Debido a que en el modelo se encontró que las concentraciones de las especies de la mezcla son superiores a las que se encuentran en la noria, se detectó que no existe influencia del agua del efluente hacia dicho aprovechamiento, por lo tanto no afecta el acuífero, esto también se puede corroborar por medio de la velocidad del agua subterránea, aunque la dirección del flujo de manera local es favorable para que en caso de infiltración exista posibilidad de contaminación, el tipo de material que constituye el suelo, no permite el paso de los contaminantes.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## VII. CONCLUSIONES

1. En los análisis químicos y de metales pesados analizados se puede apreciar, que en la noria El Hundido se rebasan las normas establecidas para potasio por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y por la Secretaria de Salud (SS), para agua potable, por lo cual se puede generalizar no hay problema de contaminación que pueda afectar la salud de los habitantes.
2. Las concentraciones más altas de los iones analizados en aprovechamientos para uso doméstico pertenecen a la noria El Hundido, y en sitios para riego los valores más altos pertenecen a las descargas de la papelera
3. Con la utilización de el programa geoquímico PHREEQE se compararon especies acuosas y fases minerales en equilibrio teóricas que se forman en agua subterránea perteneciente al acuífero somero, esta agua está representada por las norias El Hundido y Guadiana; mientras que el agua perteneciente al acuífero profundo está representada por el pozo No. 3. En las dos primeras corridas del modelo que pertenecen a las norias Guadiana y El Hundido, se encontró que en la noria Guadiana se pueden formar 16 especies acuosas y en la segunda noria 19, las especies acuosas adicionales encontradas en la noria El Hundido son dos especies bicarbonatadas y una especie sulfatada.
4. Las fases minerales teóricas que pueden formarse en las norias Guadiana y El Hundido son: calcita, aragonita, dolomita yeso y anhidrita. Estas fases se encuentran subsaturadas en ambos aprovechamientos. Pero la calcita y la dolomita en El Hundido se encuentran más cercanas al equilibrio, lo que significa que existe un aporte de carbonatos en este sitio.
5. Las especies acuosas y fases minerales teóricas que se forman en el pozo No. 3 son 17 y en el efluente 20. Las especies que se pueden formar en ambos sitios son casi las mismas, pero las especies acuosas excedentes que se presentan en el efluente son dos especies sulfatadas (de sodio y potasio) y una especie bicarbonatada. Este incremento en sulfato y bicarbonatos se obtiene durante el proceso de producción.
6. Las fases minerales teóricas que pueden formarse en el pozo No. 3 y en el efluente son calcita, aragonita, dolomita, yeso y anhidrita. En el efluente la dolomita se encuentra sobresaturada debido al incremento de magnesio en el proceso de producción.
7. Se encontraron similitudes entre las especies acuosas que pueden formarse en El Hundido y en el efluente, por lo que se llevó a cabo la simulación de una mezcla por

**pasos, con agua del efluente y la noria Guadiana, esto con la finalidad de comparar los resultados con los reportados en la noria El Hundido.**

**8. Para que se formen las especies acuosas encontradas en la noria El Hundido es necesario que se mezcle 55% de agua del efluente contra el porcentaje restante de agua de la noria, y las concentraciones que se obtienen en esta mezcla son superiores a las encontradas en la noria El Hundido. Por lo anterior se determina que no existe infiltración del agua del efluente hacia el acuífero superior.**

**9. El agua residual de la empresa no afecta a la noria El Hundido, por lo tanto, tampoco representa ningún peligro para el acuífero superficial en el Valle de Villa de Reyes.**

**10. El incremento iónico presentado por la noria El Hundido se puede deber a que la noria no se utiliza de manera regular, o bien por el intemperismo de suelos o por otro agente contaminante.**

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda que se realicen análisis físico-químicos completos, al efluente y a los aprovechamientos cercanos a la zona de descarga de esta empresa de manera periódica, para determinar si la descarga de la papelería sigue teniendo las mismas características o ha variado en su composición, así como a los aprovechamientos cercanos que pueden sufrir influencia por el agua de este efluente, en caso específico verificar la calidad del agua de la noria El Hundido.
- Se lleve a cabo de ser posible un nuevo modelo geoquímico utilizando datos completos de análisis realizados, y realizar la modelación con la suposición de evaporación del agua, y de ser posible utilizar los datos obtenidos en los análisis de metales pesados efectuados para este trabajo.
- Se realice un estudio a nivel superficial para detectar si el agua de este efluente puede afectar a los cultivos o bien, de que manera afecta al suelo la capa de cartón que se ha formado principalmente en la zona de riego .
- Se realicen estudios hidrogeológicos locales con la finalidad de conocer la velocidad movimiento y dirección de aguas subterráneas.

## BIBLIOGRAFÍA

ACTA CIENTÍFICA POTOSINA Vol V 1965., Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

AGUIRRE Hernández Miguel Ángel., 1992 "Geología del Subsuelo de las Cuencas Geohidrológicas del Valle de San Luis Potosí y de Villa de Reyes, en el edo. de San Luis Potosí. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología, Folleto Técnico No. 116.

AGUIRRE Hernández Miguel Ángel., 1993 "El Agua Subterránea en el Desarrollo Sostenible" Comisión Nacional del Agua., Gerencia Estatal San Luis Potosí.

ARCOS Serrano María Esther., 1993 " Estabilización de Residuos Tóxicos en el Efluente de la Industria del Blanqueo de la celulosa, Utilizando Procesos Biológicos ", Tesis Profesional UNAM División de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

CARRILLO Joel., 1982 "Aguas Subterráneas para Plantas Termoeléctricas",. Comisión Federal de Electricidad.

CARRILLO J. J. y Armienta M.A. 1989., "Diferenciación de la Contaminación Inorgánica en las Aguas Subterráneas del Valle de la Ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., México., Instituto de Geofísica Vol. 28-4.

CATALÁN Lafuente José G., 1981 "Química del Agua". Talleres Gráficos Alonso, S.A.

CENTENO Jerónimo Ángel 1987., "Química y Física de las Tintas de Impresión, Trabajo Monográfico de Actualización".

C.F.E., 1979 " Características del Agua Subterránea en la Zona de Villa de Reyes, S.L.P., Anteproyecto P.T. San Luis Potosí Para Abastecimiento de Agua Potable.

CUSTODIO Emilio y Díaz Enrique 1976., "Hidrología Subterránea". Primera Edición, ediciones Omega

CHÁVEZ R. Adolfo y Flores Castro Sergio 1992., "Optimización del bombeo en el acuífero de Villa de Reyes, San Luis Potosí" Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Chihuahua, Departamento de Geohidrología, Comisión Federal de Electricidad.

DREVER James I. 1988 "The Geochemistry of Natural Waters". Prentice Hall

**ESTRADA Ávalos Ramiro** ., "Aprovechamiento de Aguas Residuales en el Municipio de Villa de Reyes, S.L.P.:"

**FLORES Castro Sergio et al.**, 1990 "Características Geohidrológicas en el Área de la Central Termoeléctrica de San Luis Potosí" .,Comisión Federal de Electricidad, Subdirección de Construcción., Gerencia de Ingeniería Civil.

**FREEZE R.A. and J. A. Cherry**, 1979 "Groundwater". Prentice-Hall, New Jersey.

**HERNÁNDEZ Laloth Noel.**, 1991 "Modelo conceptual de Funcionamiento Hidrodinámico del Sistema Acuífero del Valle de León Guanajuato"., Tesis Profesional UNAM, Facultad de Ingeniería.

**HERNÁNDEZ M. Melvin, et al.**, 1990 "Características Geohidrológicas en el Área de la Central Termoeléctrica de San Luis Potosí" Comisión Federal de Electricidad, Subdirección Técnica., Gerencia de Ingeniería Civil.

**HIDROLEGRO, S.C. Contrato 821233.**, 1983 " Un Modelo Matemático de Computación del Acuífero de Villa de Reyes, San Luis Potosí; para el Análisis de Abastecimiento de Agua Subterránea a la Central Termoeléctrica de San Luis Potosí" Informe Final.

**HIDROTEC,S.A.**, 1972 "Informe Final del Estudio Geohidrológico en las Cuencas de Villa de Reyes y San Luis Potosí, S.L.P. Vol I, IV, VI.

**HUPP J. Lugo et, al.** 1991., "Formación de grietas en la margen del antiguo lago al oriente de la cuenca de México" Geofísica Internacional Vol. 30 No. 2 pp. 87-95

**IBARRA Laurel Fabila** 1979., "Resinas Alcídicas, fabricación y aplicación en tintas de impresión y recubrimientos industriales"., Tesis Profesional UNAM, Facultad de Química.

**ITURBE Rosario y Silva Ana Elisa** 1989., "Revisión Bibliográfica sobre Contaminación de Suelo y Acuíferos" Universidad Nacional Autónoma de México., Instituto de Ingeniería.

**LABARTHE H. Guillermo et al.**, 1982 "Revisión Estratigráfica del Cenozoico de la Parte Central del Edo. de San Luis Potosí"., Universidad Autónoma de San Luis Potosí., Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto Técnico No. 85.

**JERZY Rzedowsk** "Vegetación del Estado de San Luis Potosí".

**LAMAS Robles Ramón et, al.** "El uso del efluente de una Empresa Productora de Papel Diario como recurso para la producción agrícola, en el Ejido "La estancia El Rosario"; Municipio de Villa de Reyes San Luis Potosí"

**USERS MANUAL 1988.**, "Ground Water Software Part One Data Bases and Utilities", United Nations, Department of Technical Co-operation for Development Division of Natural Resources and Energy, Water Resources Branch.

**LOS MUNICIPIOS DE SAN LUIS POTOSÍ.**, Colección enciclopedia de los Municipios de México.

**MARTÍNEZ Ruiz Víctor Julián.**, 1983 "Presente y Futuro de las Cuencas Geohidrológicas de Villa de Reyes, San Luis Potosí y Villa de Arista, S.L.P. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto Técnico No. 91.

**MARTÍNEZ Ruiz Víctor Julián 1987.**, "Geohidrología del Área de San Bartolo de Berrios, Mpio. de San Felipe Guanajuato. Cuenca de Villa de Reyes, S.L.P., Folleto Técnico No. 108.

**MATTHES George 1982.**, "The Properties of Groundwater", A Wiley-Interscience Publication. New York.

**MURGUIA Vaca Ernesto.**,1983 "Evaluación Efectos y Solución de la Contaminación del Agua".

**OROPEZA Ortiz María Estela.**, 1985 "Fronteras Hidrogeológicas del Sistema Acuífero del Valle de Villa de Reyes, en el Estado de San Luis Potosí" Tesis Profesional, U.N.A.M - Facultad de Ingeniería.

**PAIG Ignacio** "Gran Formulario Industrial", Editorial Sopena Argentina.

**PARKHURST L. David et al 1990.**, "PHREEQE- A Computer Program Geochemical Calculations" Geological Survey ., Water-Resources Investigations Report 80-96

**PRIETO Santa Anna Elizabeth et al 1992.**, "Química de las Aguas" Apuntes 1. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica Posgrado en Geofísica.

**REYNA Trujillo Teresa et al 1980.**, "Estudio Edáfico Climático del Ejido El Rosario y los Potreros el Chivato y Granadillas, en Villa de Reyes, San Luis Potosí" Instituto de Geografía, Boletín No. 10.

**SILLER López Fernando et al.**, "Toxicidad de Aguas Residuales en San Luis Potosí"

**TEBBUTT T.H.Y.**, 1990 "Fundamentos de Control de la Calidad del Agua". Limusa.

TRISTÁN González Margarito 1986., "Estratigrafía y Tectónica del Graben de Villa de Reyes, en los Estados de San Luis Potosí y Guanajuato, México" Universidad Autónoma de San Luis Potosí., Instituto de Geología., Folleto Técnico No. 107.

SNOEYINK L. Vernon y Jenkins David., 1987 "Química del Agua". Limusa.

VÁZQUEZ, R.J. et al 1990., " Exploración del Basamento en el SW de San Luis Potosí, México, utilizando datos gravimétricos, aeromagnéticos y sondeos magnetoteluricos"., Depto. de geofísica, Comisión Federal de Electricidad: Instituto de Geofísica UNAM

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

## **ANEXOS E ILUSTRACIONES**

**TESIS SIN PAGINACION**

**COMPLETA LA INFORMACION**

FIG.1	LOCALIZACIÓN
FIG.2	FISIOGRAFÍA
FIG.3	REGIÓN HIDROLÓGICA
FIG.4	DIRECCIÓN DE FLUJO SUBTERRÁNEO
FIG.5	ESQUEMA HIDROGEOLÓGICO
FIG.6	UBICACIÓN DE SITIOS DE MUESTREO
FIG.7	DIAGRAMA DE PIPER
FIG.8	DIAGRAMA DE WILCOX
FIG.9	DIAGRAMA DE SCHOELLER
FIG.10 Y 11	GRÁFICAS DEL MODELO
FIG.12	PROCESO INDUSTRIAL
FIG.13	DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN EL SUBSUELO
FIG.14	CORTE DE SUELO

#### ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	GEOLÓGICO
PLANO 2	ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO
PLANO 3	EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO
PLANO 4	HIDROGEOQUÍMICO

#### ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS
TABLA 2	METALES PESADOS
TABLA 3	NORMA DE O.M.S Y DE S.S.
TABLA 4	BALANCE IÓNICO
TABLA 5	PARÁMETROS DE WILCOX
TABLA 6	RESULTADOS DE LA MEZCLA
TABLA 7	NORMAS COMPARATIVAS DE CALIDAD DEL AGUA
TABLA 8	PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA DESCARGA DE SEDUE
TABLA 9	PARÁMETROS MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EL AGUA DE RIEGO

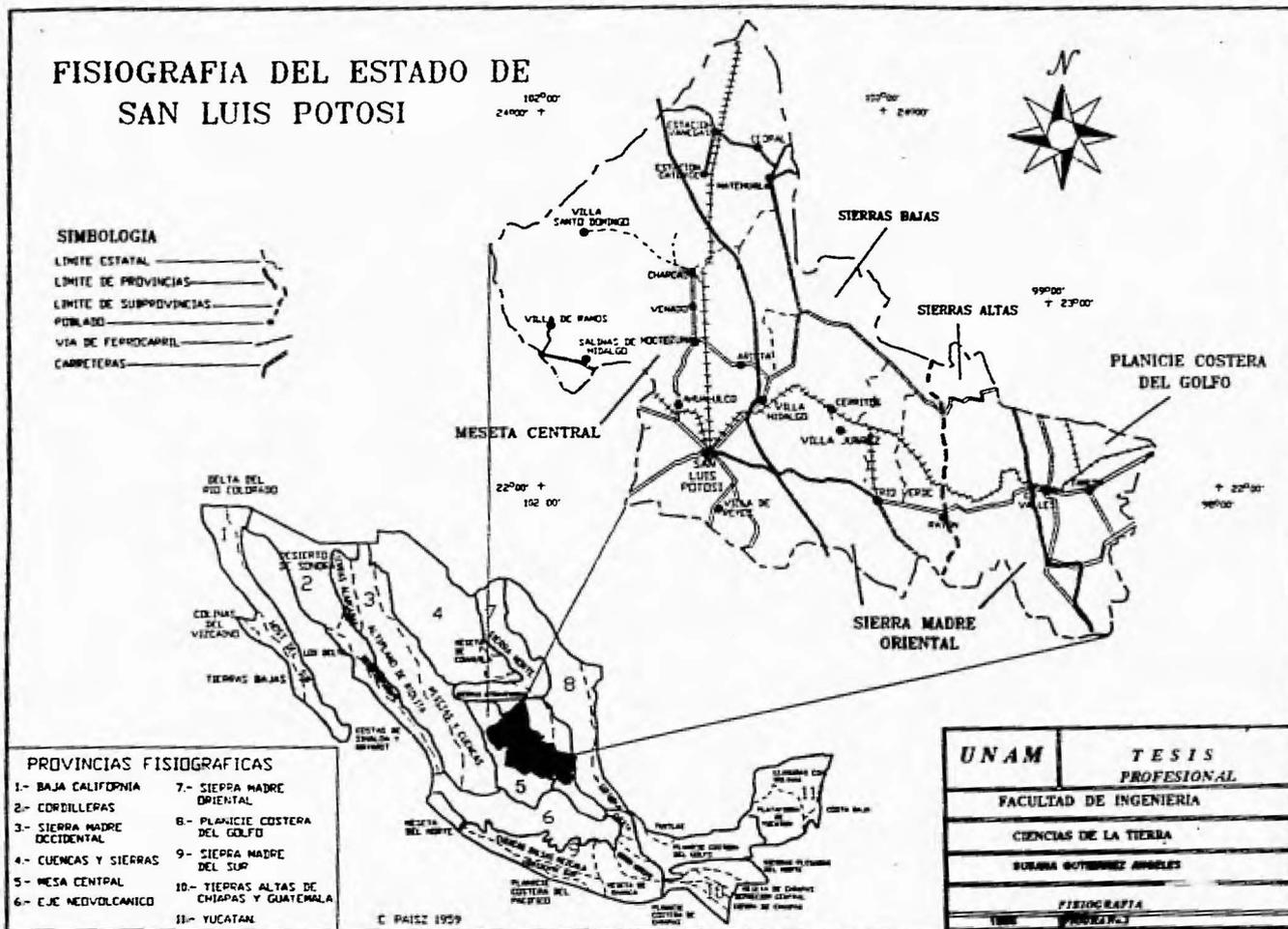
#### MODELACION

<i>CORRIDA 1</i>	AGUA DE LA NORIA GUADIANA
<i>CORRIDA 2</i>	AGUA DE LA NORIA EL HUNDIDO
<i>CORRIDA 3</i>	AGUA DEL POZO No. 3
<i>CORRIDA 4</i>	AGUA DEL EFLUENTE DE LA PAPELERA
<i>CORRIDA 5</i>	SIMULACIÓN DE MEZCLA DE AGUA DEL ACUÍFERO SOMERO Y EL PROFUNDO

**LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO**



# FISIOGRAFIA DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSI



## SIMBOLOGIA

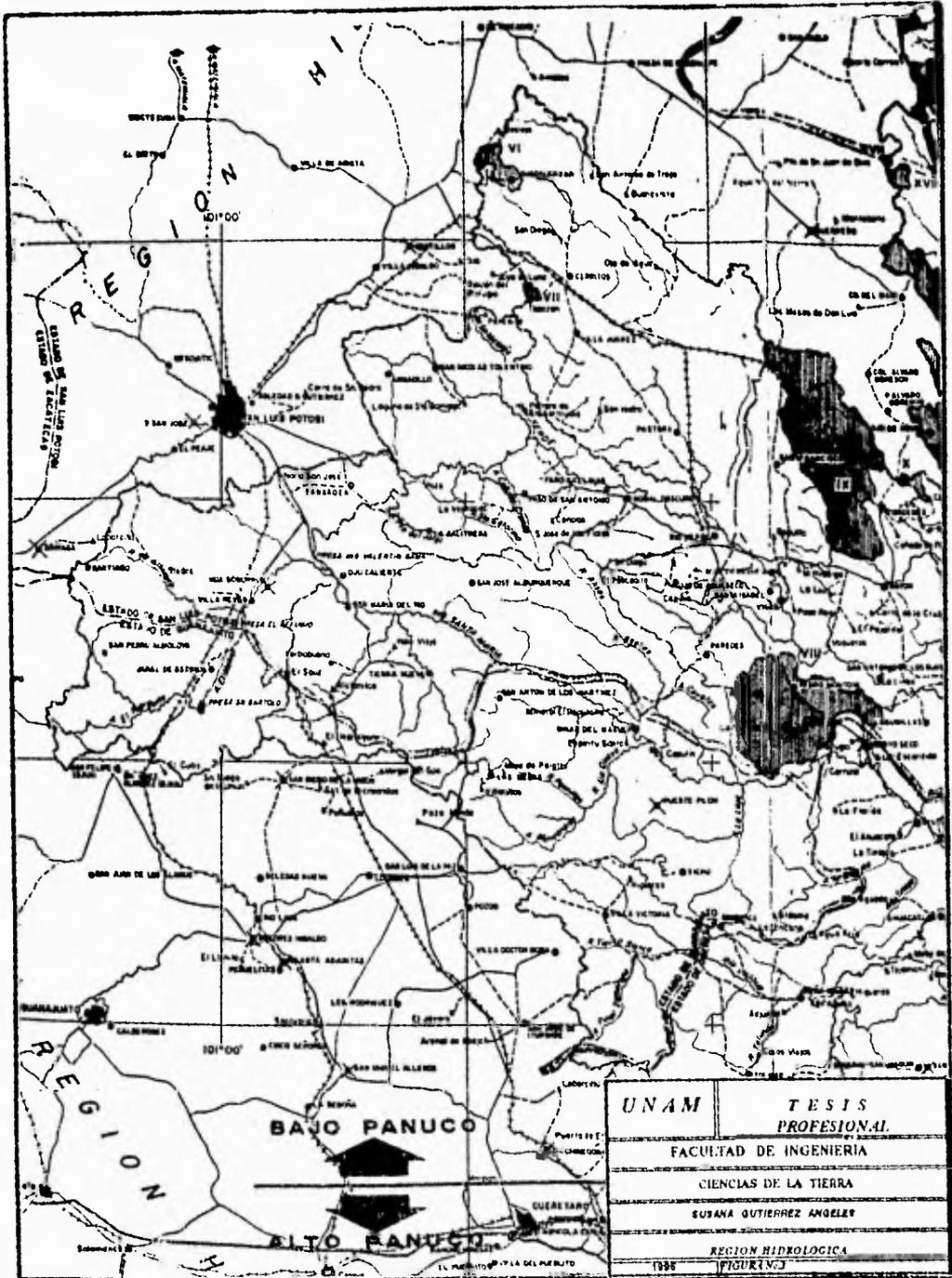
- LIMITE ESTATAL
- LIMITE DE PROVINCIAS
- LIMITE DE SUBPROVINCIAS
- PUEBLO
- VIA DE FERROCARRIL
- CARRETERAS

## PROVINCIAS FISIOGRAFICAS

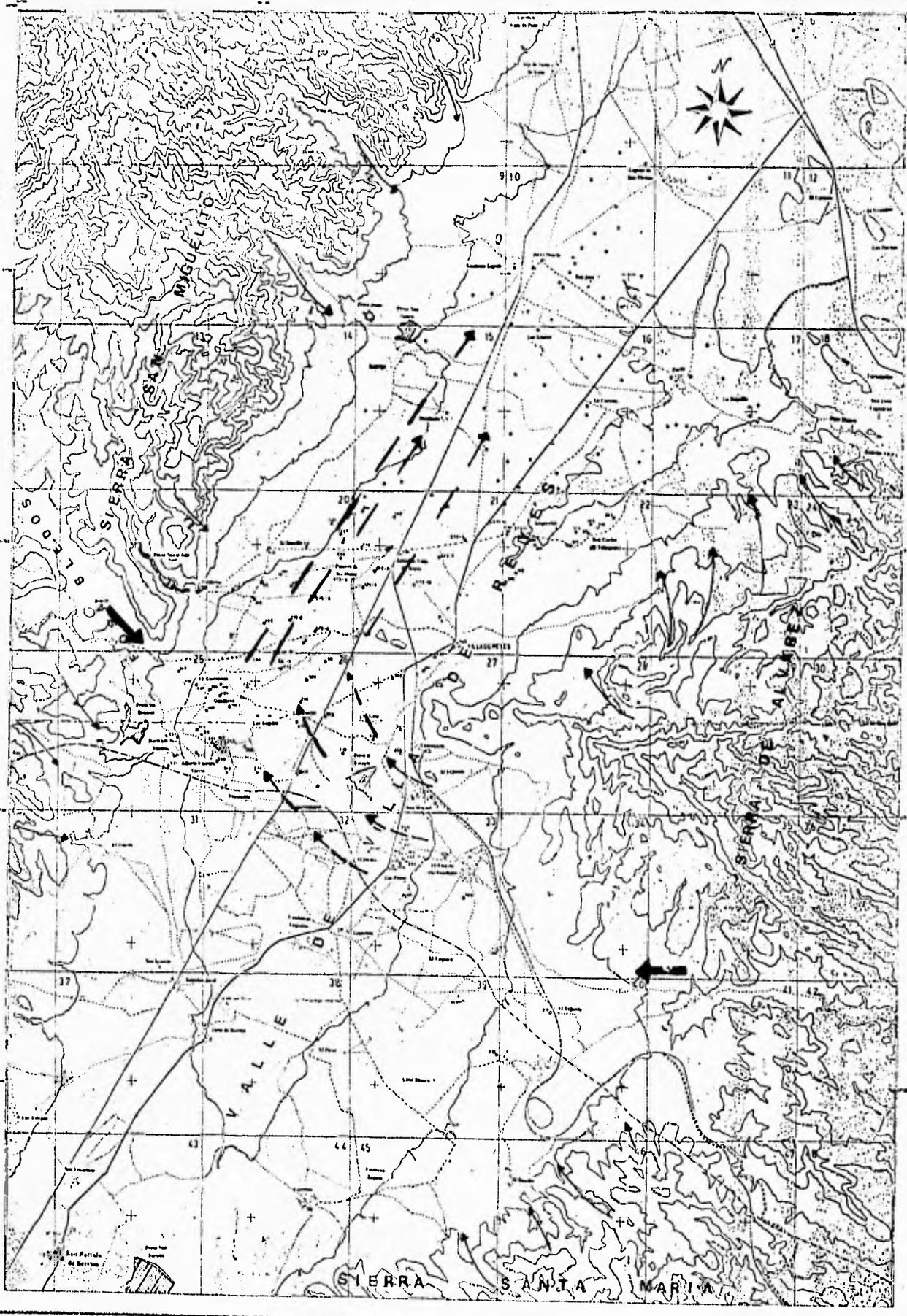
- 1- BAJA CALIFORNIA
- 2- CORDILLERAS
- 3- SIERRA MADRE OCCIDENTAL
- 4- CUENCAS Y SIERRAS
- 5- MESA CENTRAL
- 6- EJE NEOVOLCANICO
- 7- SIERRA MADRE ORIENTAL
- 8- PLANICIE COSTERA DEL GOLFO
- 9- SIERRA MADRE DEL SUR
- 10- TIERRAS ALTAS DE CHIAPAS Y GUATEMALA
- 11- YUCATAN

UNAM	TESIS PROFESIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA	
CIENCIAS DE LA TIERRA	
SUSANA GUTIERREZ ANGELIS	
FISIOGRAFIA	
1988	

© PAISZ 1959



UNAM	TESIS PROFESIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA	
CIENCIAS DE LA TIERRA	
SUSANA GUTIERREZ ANGELES	
REGION HIDROLOGICA FIGURINO	

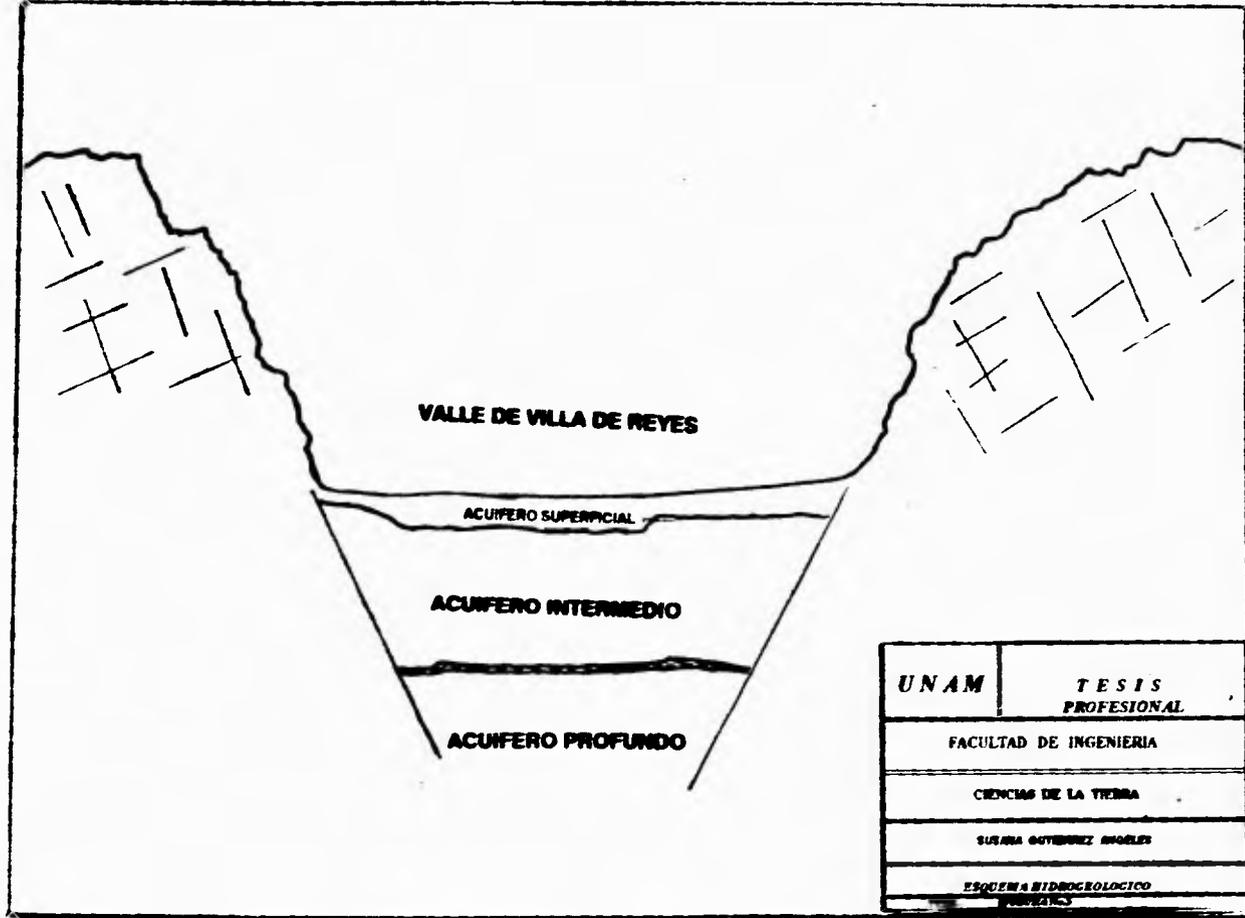


**SIMBOLOGIA**

- POBLADO
- RANCHERIA
- CARRUTERA PAVIMENTADA
- VIA DE FERROCARRIL
- TERRACERIA
- YARDA
- PRESA
- CURVA DE NIVEL
- LMITE DE DESAGUADO
- DIRECCION DE RECOLECCION SUBTERRANEA
- DIRECCION DE FLEJADO SUBTERRANEO
- DIRECCION DE RECOLECCION SUPERFICIAL



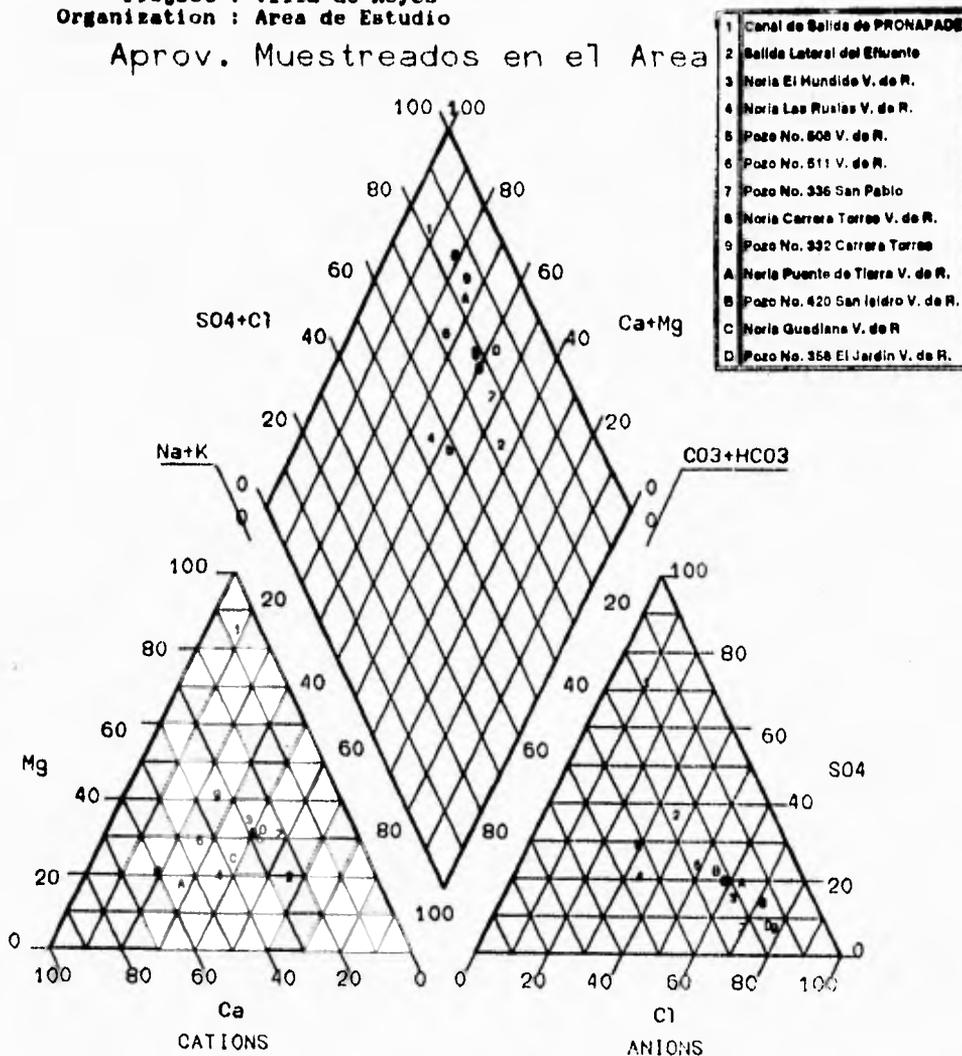
UNAM  
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
 CIENCIAS DE LA TIERRA  
 SIGMA CUBANA  
 DIRECCION DE ASISTENCIA TECNICA





Aprov. Muestreados en el Area de V. de R.  
 Project : Villa de Reyes  
 Organization : Area de Estudio

Aprov. Muestreados en el Area



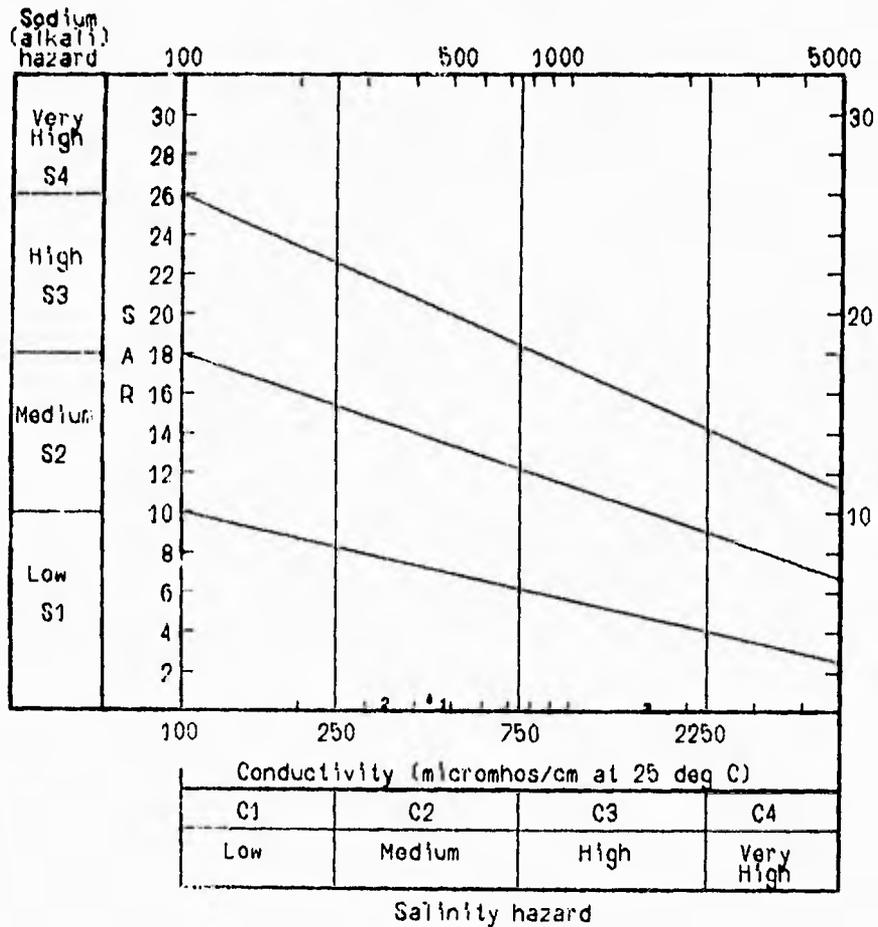
Aprov. Muestreados en el Area de V. de R.

FIG No. 7

1	1	Pozo 420 San Isidro, V. de Reyes
2	2	Pozo 336 San pablo cerca a V. de R.
3	3	Efluente principal de la papelera.
4	4	Efluente lateral de la papelera

Aprov. para Riego  
 Project : Aprovech. para riego  
 Organization : Area de Estudio

### Aprov. para Riego



Aprov. para Riego

FIG No. 8

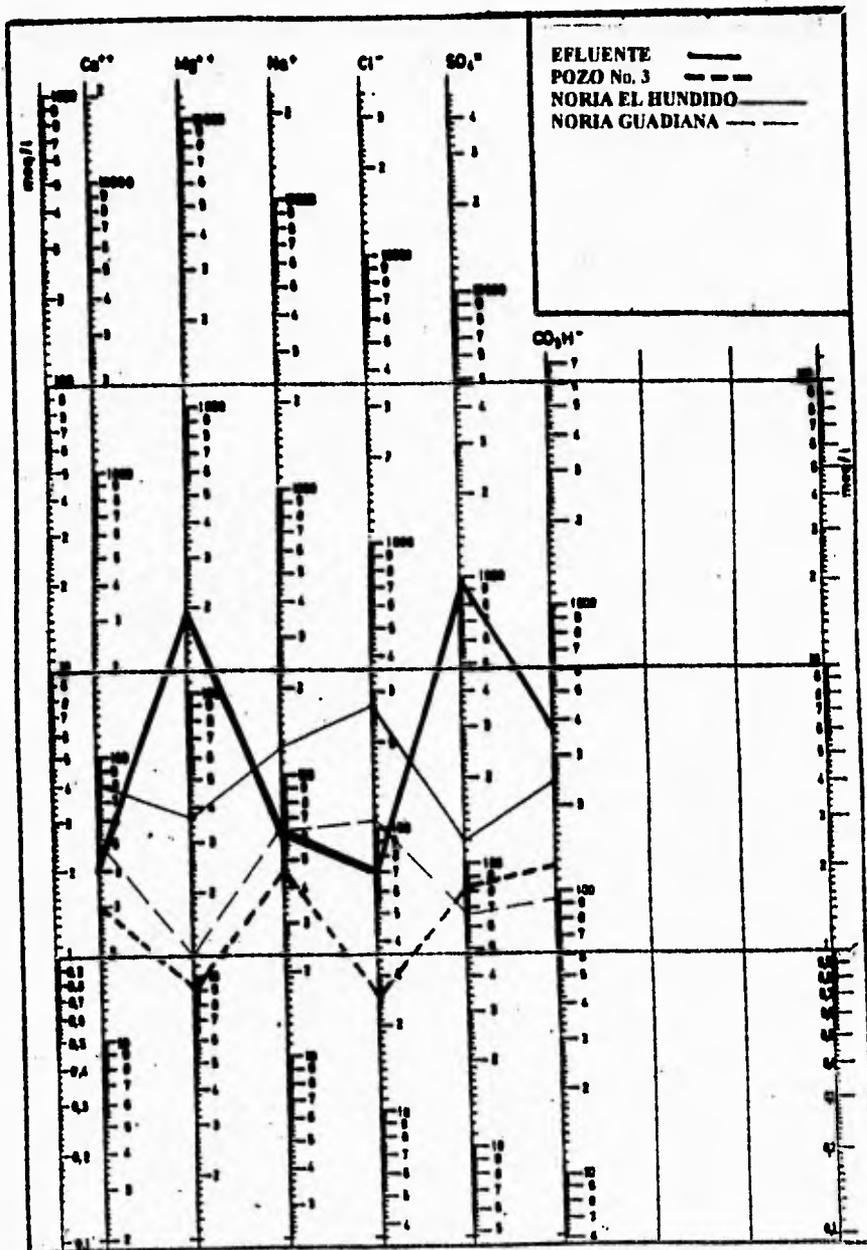


FIG. No. 9

CONCENTRACION DE LAS ESPECIES OBTENIDAS EN LA  
MODELACION DE LA MEZCLA

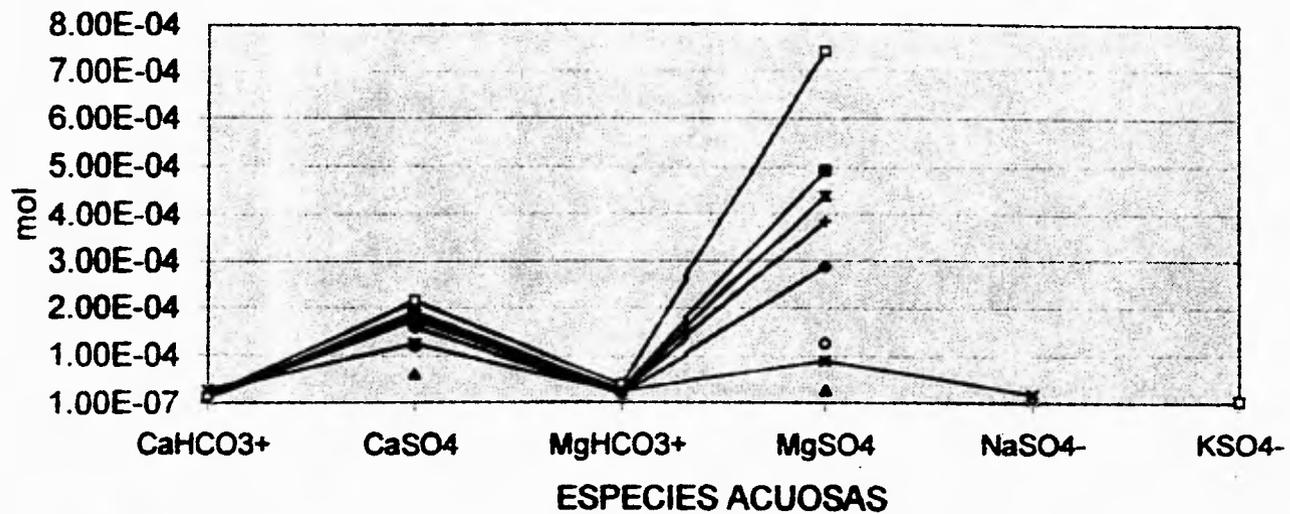


FIG. No.10

CONCENTRACION DE LAS ESPECIES OBTENIDAS EN LA  
 MODELACION DE LA MEZCLA

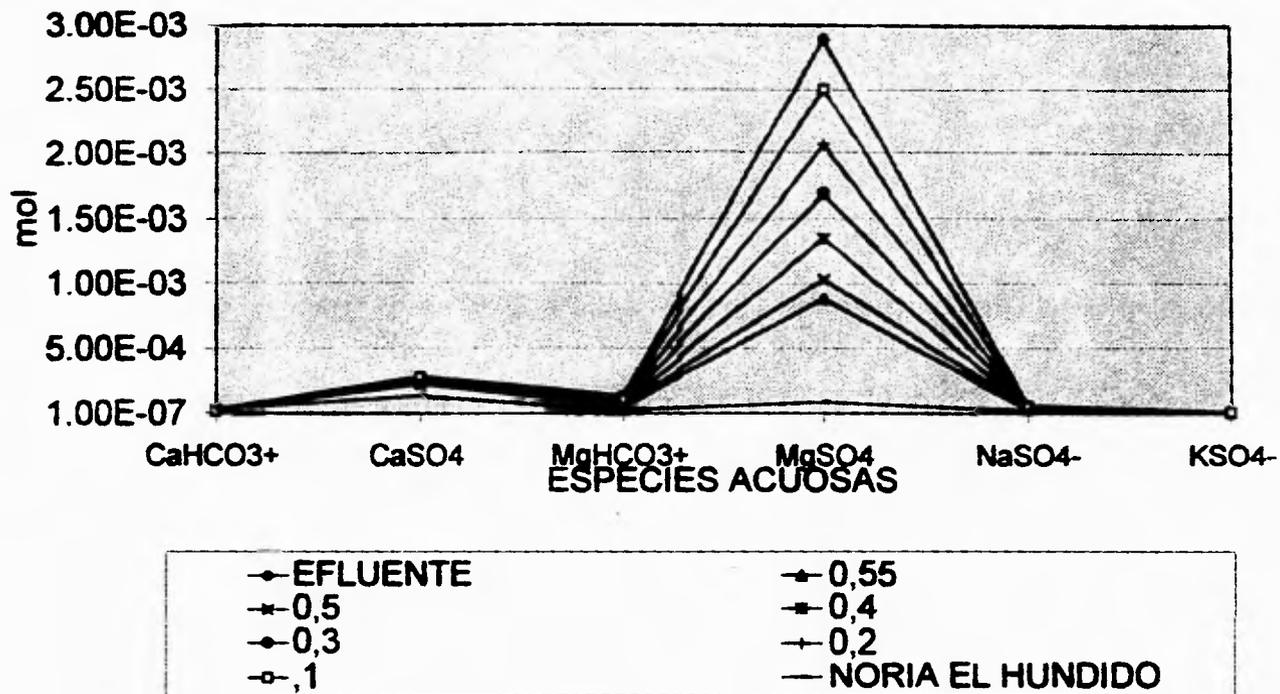
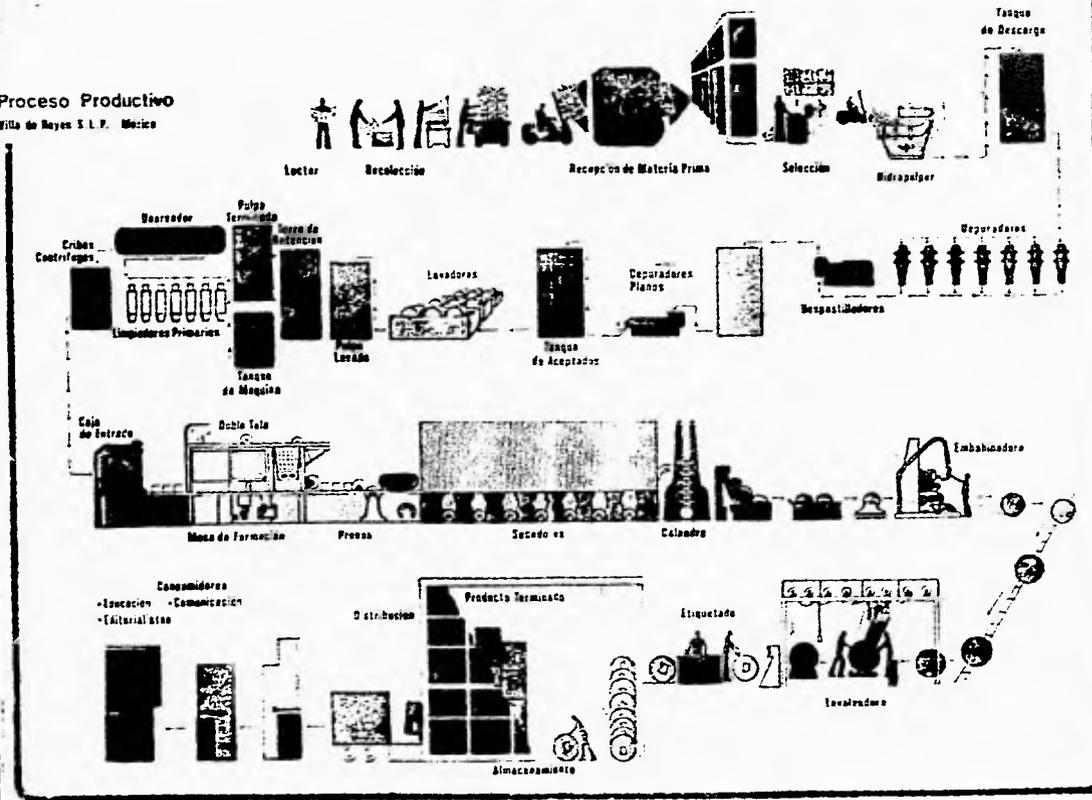


FIG. No. 11

Productora Nacional de Papel Destintado, S.A. de C.V.

Proceso Productivo

Villa de Reyes S. L. P. Mexico



TESTES  
PROFESIONAL

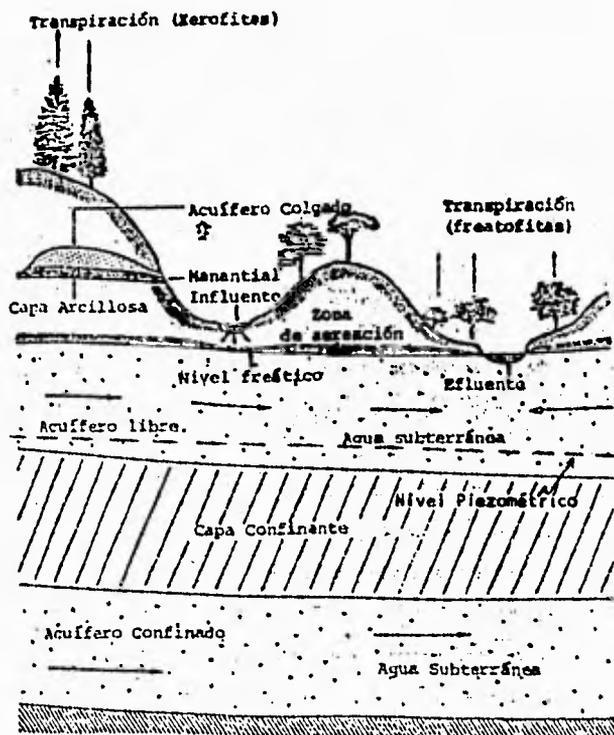
UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA

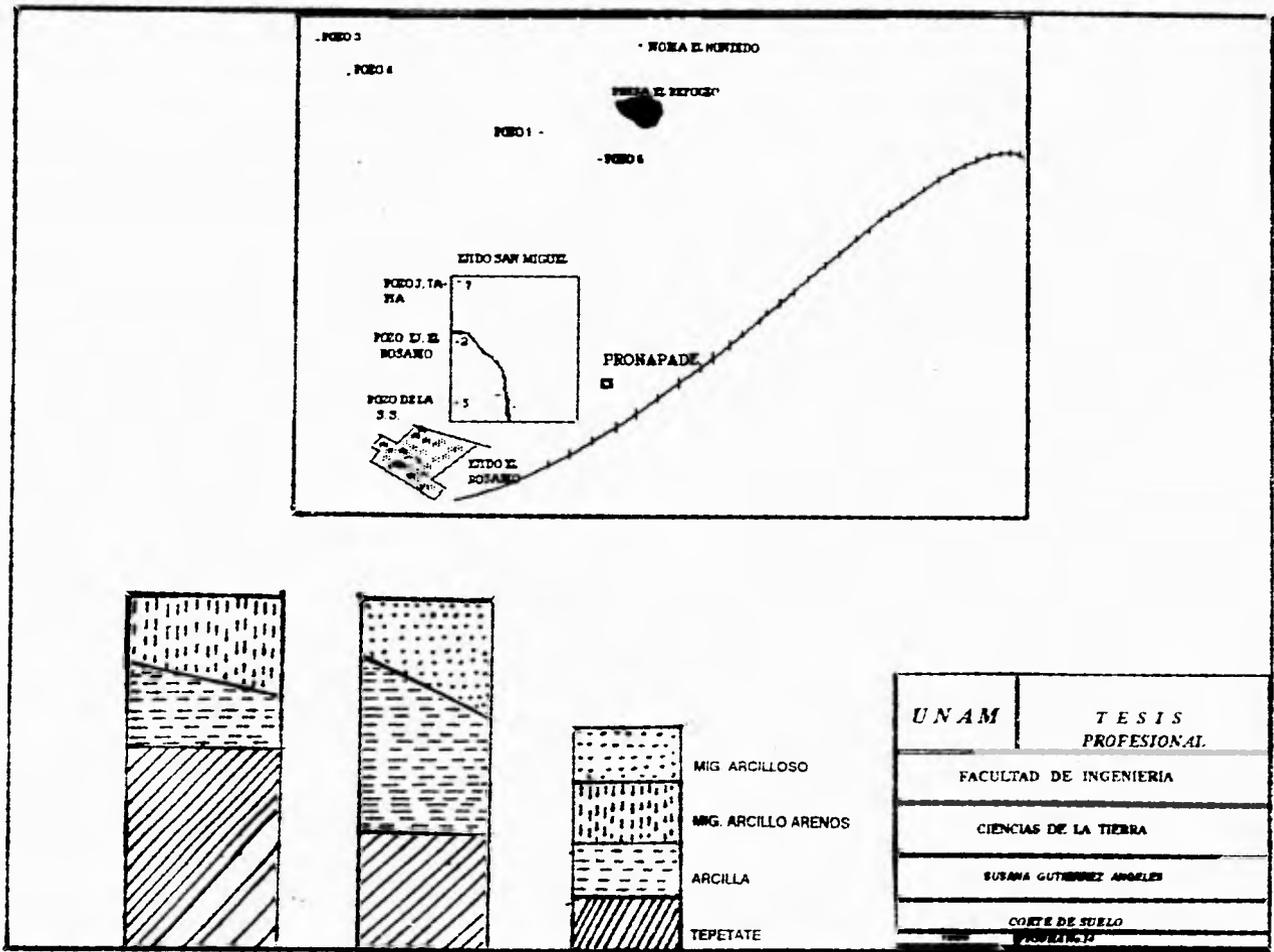
CIENCIAS DE LA TIERRA

SUZANA GUTIERREZ ANGELES

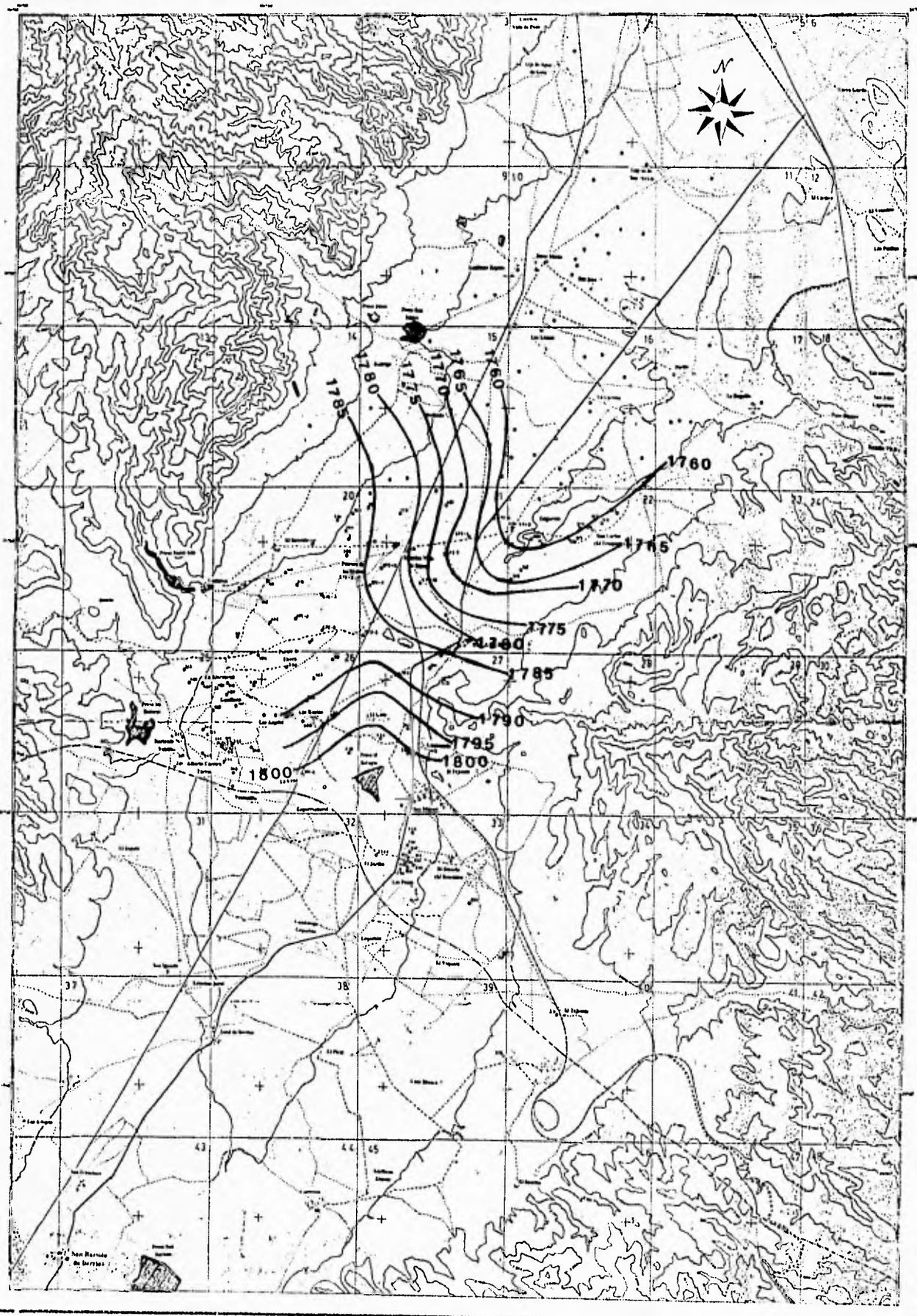
PROCESO INDUSTRIAL DE LA PAPELERIA  
1998



UNAM	TESIS PROFESIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA	
CIENCIAS DE LA TIERRA	
SUSANA GUTIERREZ ANGELI	
DISTRIBUCION DE AGUA EN EL SUBSUELO 1966 (FIGURAS 1)	

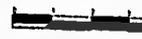




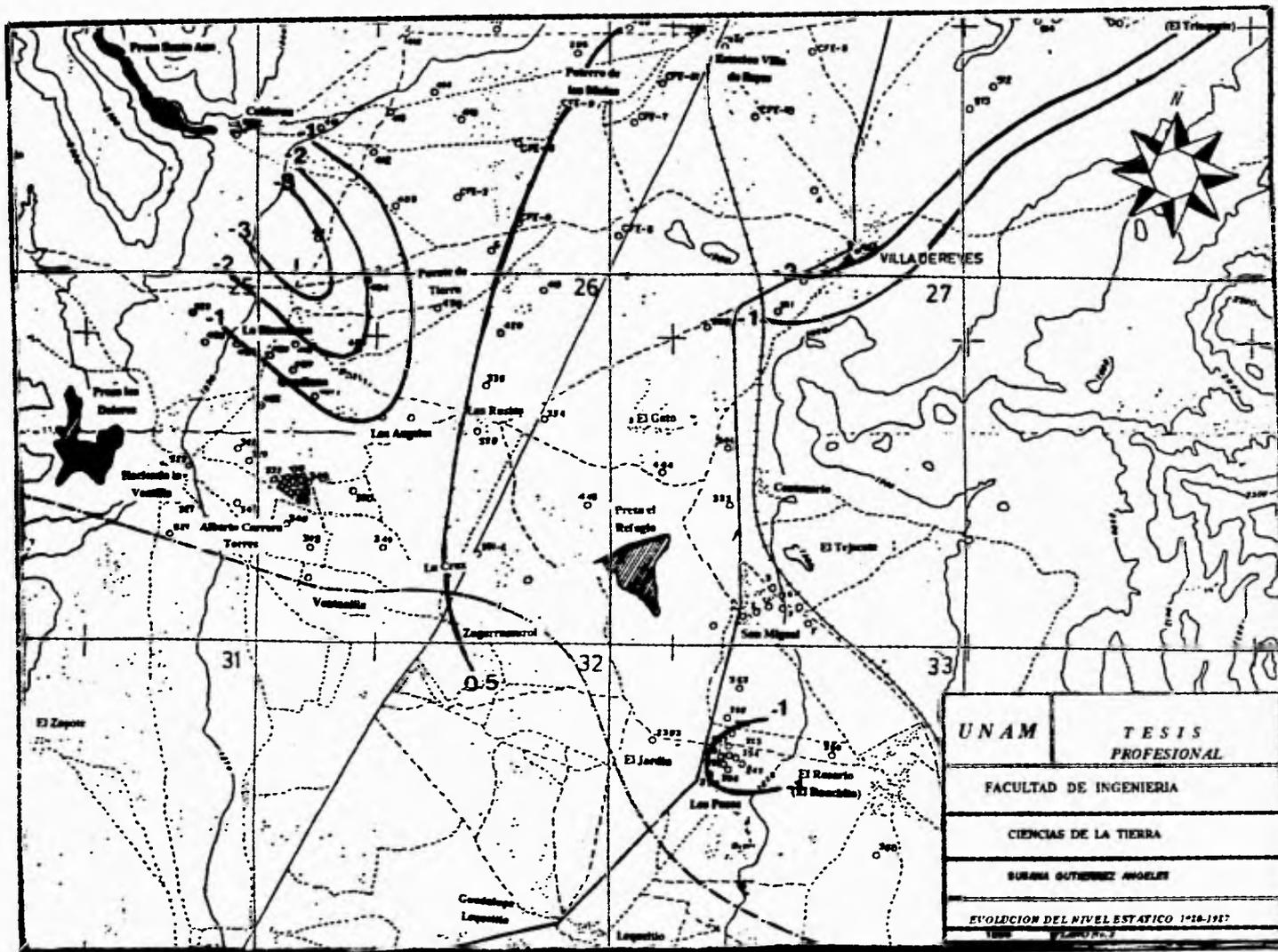


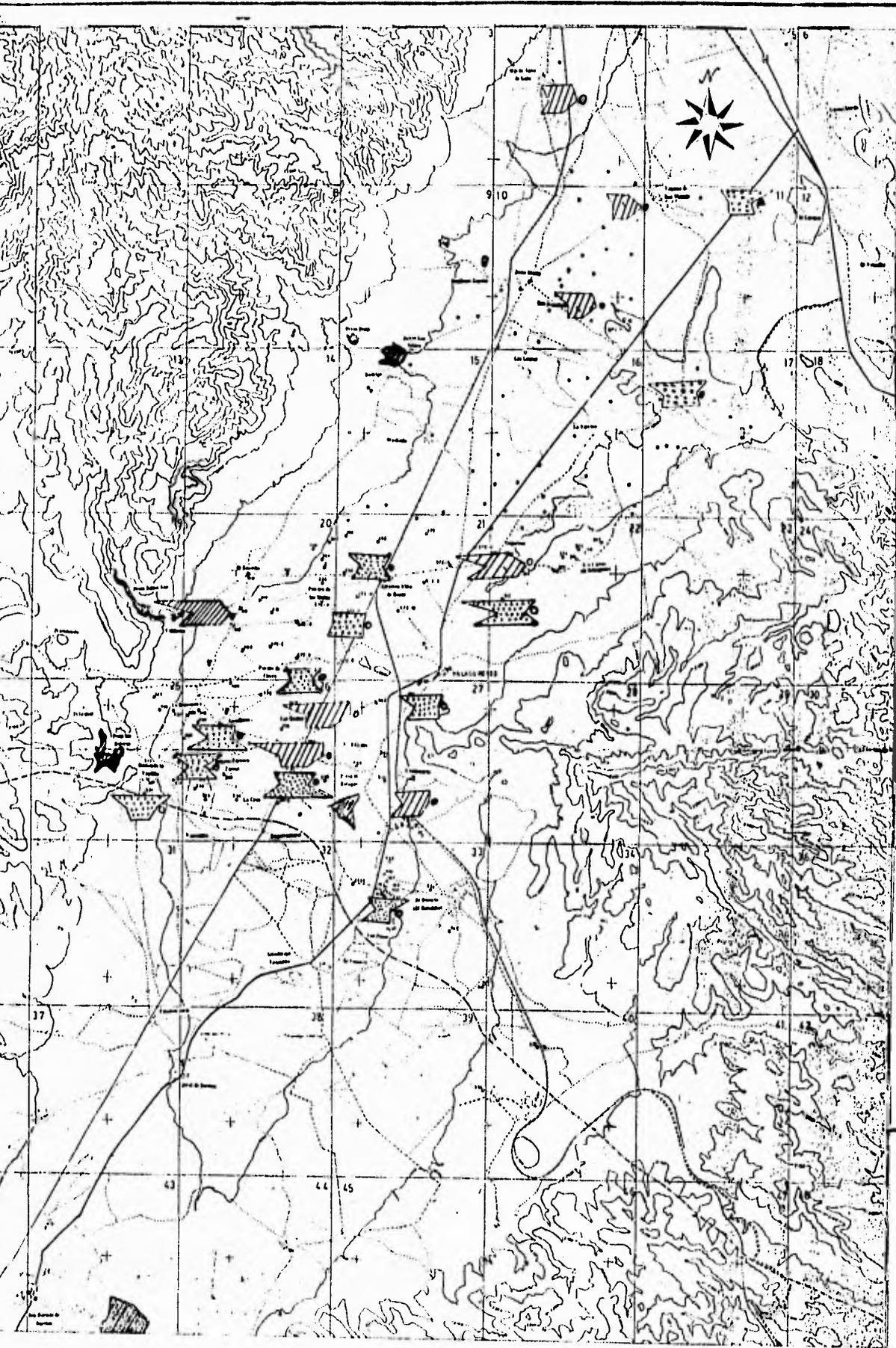
**SIMBOLOGIA**

- PUEBLADO
- RANCHERIA
- CARRERA PAVIMENTADA
- VIA DE FERROCARRIL
- FABRICA
- VAREDA
- PRESA
- CURVA DE NIVEL
- LIMITE DE ESTADO



UNAM	T
FACULTAD DE INGENIERIA	
CIENCIAS DE LA TIERRA	
SUSANA GUTIERREZ ANTONIO	
REVISION DEL DISEÑO DE ESTADISTICA	





**SIMBOLOGIA**

- POBLADO
- MINERAL
- CORRIERA PALEONTOL
- VIA DE FERRO LIRIA
- TERMINA
- FORO
- PRESA
- CURVA DE NIVEL
- LIMITO DE PASIVO
- POZO
- NORIA
- LAGUNA



Diagrama de St



UNAM	T E PROFE
FACULTAD DE INGEN	
CIENCIAS DE LA TIERRA	
SERVIO OUTORRIZ ANOS	
HIDROGEOLOGIA	

**TABLA No. 1** **RESULTADOS DE LOS ANALISIS FISICO-QUIMICOS EFECTUADOS EN EL AREA DE ESTUDIO**

PARAMETROS ANALIZADOS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7	MUESTRA 8	MUESTRA 9	MUESTRA 10	MUESTRA 11	MUESTRA 12	MUESTRA 13
Tipo de Acrov	Encharca de agua de PROMAPE	Descarga de agua de PROMAPE	Nota	Nota	Pozo 501	Pozo 511	Pozo 502	Nota	Pozo 502	Nota	Pozo 502	Nota	Pozo 504B
Loc de Muestreo	El Huelmo	El Huelmo	El Huelmo	Las Russas	Municipio de Villa de Reyes	Municipio de Villa de Reyes	San Pedro	Carrera T	Carrera T	Puente de Tama V	San Pedro	Quedano	El Jaran
Turbera	Muy Turba	Crabaina	Turba	Crabaina	Crabaina	Crabaina	Crabaina	Crabaina	Crabaina	Crabaina	Crabaina	Crabaina	Crabaina
pH	7.20	6.40	7.60	7.10	7.60	7.30	6.90	6.70	7.10	7.10	7.20	7.10	7.40
Cond. Electrica	1600.00	440.00	1400.00	700.00	500.00	480.00	340.00	1100.00	480.00	420.00	480.00	690.00	410.00
Clor	0.82	3.08	2.97	1.98	2.98	1.25	2.30	0.88	1.25	1.07	2.07	2.08	2.31
Temperatura	39.00	38.00	13.34	20.27	25.00	30.50	24.00	19.50	24.00	15.00		16.63	29.00
Titul	2.75	2.65	5.56	2.98	2.65	1.85	1.98	2.30	1.85	1.30	2.30	2.74	2.48
Forma	0.26	0.04	0.86	0.67	0.14	0.14	0.09	0.41	0.11	0.22	0.28	0.26	0.04
Alcali	2.00	1.00	4.00	3.60	1.50	2.50	0.80	7.00	2.00	2.50	1.50	2.50	1.30
Reserva	16.00	0.24	3.30	1.00	1.00	1.00	0.70	1.50	1.50	0.50	1.00	1.00	1.00
Carbonatos	0.00	0.70	0.70	0.20	0.70	0.70	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Carbonatos	6.00	1.50	4.00	3.00	2.00	1.50	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sulfatos	2.00	1.50	7.50	1.50	1.00	2.00	2.00	7.00	4.00	3.00	2.00	3.00	4.00
Sulfatos	18.00	2.00	2.48	1.25	1.30	1.30	0.36	1.88	0.88	1.25	1.11	1.38	0.58
Alcali Total	11.40	2.54	8.74	2.13	1.67	2.67	2.88	7.94	4.79	3.63	2.95	3.70	4.29
Alcali Equiva	8.80	3.68	9.32	4.85	3.19	2.79	2.68	4.21	4.18	2.85	3.58	4.00	4.38
% de Sodio Posible	31.38	72.00	58.65	84.08	80.07	69.13	69.23	64.63	39.67	45.61	64.80	68.80	56.62

\* LOS DATOS DE ANIONES Y CATIONES ESTAN DADOS EN mg/L

TABLA No. 2

ANÁLISIS DE METALES PESADOS

PARAMETROS ANALIZADOS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7	MUESTRA 8	MUESTRA 9	MUESTRA 10	MUESTRA 11	MUESTRA 12	MUESTRA 13	MUESTRA 14
Ubicación	Canal de salida de PRONAPADE	SANSA 1st del efluente PRONAPADE	Noria Hundido V de Reyes	Noria Las Rusias V de Reyes	Pozo 520 Las Rusias V de Reyes	Pozo 508 Vila de Reyes	Pozo 511 Vila de Reyes	Pozo 336 Carrera T Vila de R	Noria Carrera T V de Reyes	Pozo 332 Carrera T V de Reyes	Noria de Puente de Tierra	Pozo 420 San Isidro V de Reyes	Noria Guadalupe V de Reyes	Pozo 358 El Jardón V de Reyes
Cobre	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03
Zinc	1.2	0.06	0.03	0.21	0.11	0.36	0.44	0.13	< 0.02	< 0.02	0.4	0.07	0.34	0.05
Plata	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03
Niquel	0.067	0.019	0.038	0.029	0.022	0.012	0.016	0.009	0.029	0.012	0.012	0.016	0.012	0.012
Plomo	0.0244	0.0115	0.0044	0.0062	0.0057	0.0062	0.0053	0.0044	0.0071	0.0048	0.0057	0.0052	0.0051	0.0051
Mercurio	< 0.0005	< 0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	0.0005	0.0005	< 0.0005	0.0011	0.0011	0.0005
Selenio	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005
Cadmio	0.0018	0.0113	0.0018	0.0016	0.0015	0.0018	0.0018	0.002	0.0016	0.0014	0.0031	0.0024	0.0025	0.002
Cromo	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04

LOS DATOS ESTAN EN mg/l

**TABLA No. 3**

**PARAMETROS QUIMICOS**

CARACTERISTICAS QUIMICAS	O.M.S (1971)		S.S. (1988)
	CONCENTRACION MAXIMA ACEPTABLE	CONCENTRACION MAXIMA PERMITIDA	CONCENTRACION MAXIMA PERMITIDA
	ppm	ppm	ppm
Alcalinidad Tot. como CaCO <sub>3</sub>	.....	.....	400
Aluminio	.....	.....	0.2
Arsenico	.....	0.05	0.05
Bario	.....	1	1
Bicarbonatos	350	800	.....
Cadmio	.....	0.01	0.005
Calcio	75	200	.....
Cianuro como ion CN-	.....	0.05	0.05
Cobre	0.05	1.5	1.5
Cloro Libre:			
en agua clorada no menos de	.....	.....	0.2
en agua sobreclorada no menos de	.....	.....	.....
ni mas de			1
Cromo Hexavalente	.....	0.05	0.05
Dureza Total como CaCO <sub>3</sub>	100	500	.....
Dureza de Calcio como CaCO <sub>3</sub>	.....	.....	300
Dureza Permanente o de No Carbonatos	.....	.....	.....
Fenoles	0.001	0.002	0.001
Hierro	0.1	1	0.3
Fluoruro como elemento	0.6	1.7	1.5
Magnesio	30	150	125
Manganeso	0.05	0.5	0.15
Mercurio	.....	0.001	0.001
Nitratos como Nitrogeno	.....	.....	5
Nitritos como Nitrogeno	.....	.....	0.05
Nitrogeno Proteico	.....	.....	0.1
Nitrogeno Amoniacal	.....	.....	.....
Oxigeno consumido en medio acido	.....	.....	3
Oxigeno consumido en medio basico	.....	.....	.....
Sodio	20	125	.....
Solidos Totales Pref. 500	0	1500	.....
Sulfatos como SO <sub>4</sub> = hasta	200	400	250
Cloruros como Cl- hasta	200	400	.....
Plomo	.....	0.1	0.05
Potasio	10	12	.....
Selenio	.....	0.01	0.05
Zinc	5	15	5
SAAM (Sustancias activas al azul de metileno)	0.2	1	0.5
ECC (Extractable carbon-clorolormo)	0.2	0.5	0.3
ECA (Extractable carbon-alcohol)	.....	.....	1.5

<b>TABLA No. 3 Cont</b>			
<b>PARAMETROS BIOLÓGICOS Y FÍSICOS</b>			
<b>CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS</b>	<b>O.M.S (1971)</b>		<b>S.S. (1988)</b>
	<b>CONCENTRACION MAXIMA ACEPTABLE</b>	<b>CONCENTRACION MAXIMA PERMITIDA</b>	<b>CONCENTRACION MAXIMA PERMITIDA</b>
	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>
Coliformes Totales NMP/100 ml			2
Coliformes Focales			0
Organismos de los grupos: coli y coliforme/litro			20
Colonias Bacterianas/cm <sup>3</sup>			< 200
Colonias Bacterianas Licuantes de la gelatina cromogéneas o fétidas			Ausencia
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>			
Turbiedad Esc. Silice	5	25	10
Color Esc. Pt-Co	5	50	20
Sabor	No	No	Característico
Aspecto	.....	.....	Líquido
pH	7-8.5	6.5-9.2	6.9-8.5
Olor	.....	No	.....

BALANCE IONICO DE APROVECHAMIENTOS MUESTREADOS											
APROVECHAMIENTOS	CATIONES				ANIONES				SUMA DE CATIONES	SUMA DE ANIONES	ERROR E (%)
	Na (Meq/lit.)	K (Meq/lit.)	Ca (Meq/lit.)	Mg (Meq/lit.)	CO3 (Meq/lit.)	HCO3 (Meq/lit.)	Cl (Meq/lit.)	SO4 (Meq/lit.)			
POZO 7 C.F.E.	1.57	0.08	1.52	1.52	0.00	2.03	1.41	1.42	4.69	4.86	1.78
POZO 586	0.98	0.14	3.04	1.46	0.00	3.04	0.70	1.42	5.62	5.16	4.27
POZO 520	0.67	0.41	4.32	1.52	0.00	3.04	1.17	2.92	7.12	7.13	0.07
POZO 513	3.22	0.14	4.56	0.76	0.00	3.04	3.29	1.96	8.68	8.29	2.30
POZO 511	1.65	0.14	2.50	4.00	0.20	1.50	2.00	1.33	5.29	5.03	2.52
POZO 458	1.57	0.11	1.52	0.76	0.00	1.52	0.47	2.08	3.96	4.07	1.37
POZO 457	.93	0.59	2.28	1.52	0.00	3.04	0.94	0.84	4.39	4.82	4.67
POZO 448	1.48	0.08	2.28	0.76	0.00	2.03	1.41	1.42	4.60	4.86	2.75
POZO 420	0.20	0.05	1.52	0.00	0.00	0.51	0.47	0.96	1.77	1.94	4.58
POZO 373	2.61	0.17	3.80	0.76	0.00	1.52	2.35	3.34	7.34	7.21	0.89
POZO 356	1.91	0.01	1.52	0.76	0.00	2.54	0.70	0.72	4.20	3.96	2.94
POZO 332	1.80	0.08	2.28	0.76	0.00	2.54	1.88	0.84	4.92	5.26	3.34
POZO 327	1.57	0.14	3.04	1.50	0.00	3.04	1.88	1.76	8.25	6.68	3.33
POZO 3 PRONAPADE	2.02	0.01	1.52	0.76	0.00	2.03	0.70	1.76	4.31	4.49	2.05
NORIA SAN FRANCISCO	0.54	0.22	2.28	0.76	0.00	1.52	0.47	1.96	3.80	3.95	1.94
NORIA LAS RUSIAS	0.83	0.59	3.80	1.52	0.00	3.04	0.94	2.92	6.74	6.90	1.17
NORIA LAGUNA DE S. V.	0.54	0.11	1.52	0.76	0.00	0.51	0.47	2.08	2.93	3.06	2.17
NORIA GUADIANA	2.74	0.28	2.50	1.00	0.20	1.47	3.00	1.39	6.50	6.06	3.50
NORIA EL HUNOIDO	5.56	0.86	4.00	5.00	0.20	4.00	7.50	2.48	13.42	14.18	2.75
NORIA CALDERON	1.74	0.33	4.56	0.76	0.00	2.03	1.88	3.04	7.36	6.95	3.07

TABLA No. 4 Cont.

## BALANCE IONICO DE APROVECHAMIENTOS MUESTREADOS

APROVECHAMIENTOS	CATIONES				ANIONES				SUMA DE CATIONES	SUMA DE ANIONES	ERROR E (%)
	Na (Meq/lit.)	K (Meq/lit.)	Ca (Meq/lit.)	Mg (Meq/lit.)	CO3 (Meq/lit.)	HCO3 (Meq/lit.)	Cl (Meq/lit.)	SO4 (Meq/lit.)			
POZO 408	2.02	0.04	2.52	0	0	1.52	2.35	0.96	4.56	4.63	2.66
POZO 453	0.83	0.11	2.26	0	0	1.52	0.94	0.84	3.20	3.30	1.54
PRESA SAN ISIDRO	0.17	0.08	1.52	0.76	0	0.51	0.47	1.26	2.53	2.24	6.06
POZO 423	0.52	0.19	2.28	0	0	2.03	0.47	0.56	2.99	3.06	1.16
POZO 5 CFE	2.02	0.05	3.04	0	0	0.51	1.41	3.34	5.11	5.26	1.45
POZO 20 CFE	3	0.19	3.8	0	0	2.54	2.35	1.76	6.99	6.65	2.49
POZO 381	0.98	0.26	2.28	0	0	2.54	0.94	0.25	3.52	3.73	2.90
POZO 508	3	0.14	3.04	0	0	2.03	2.35	2.08	6.18	6.46	2.22
POZO 348	1.15	0.22	3.04	0	0	2.03	1.41	1.42	4.41	4.86	4.85
POZO NUEVO	1.37	0.11	3.04	0	0	2.03	1.41	1.42	4.52	4.86	3.62
POZO 508	2.65	0.14	1.5	1	0.2	2	1	1.33	5.29	4.53	7.74
POZO 336	1.98	0.08	0.8	0.7	0.2	1	2.5	0.36	3.56	4.06	6.56
POZO 332	1.65	0.11	2	1.5	0.2	1	4.5	0.5	5.26	6.20	8.20
POZO 420	2.3	0.26	1.5	1	0.2	1	2	1.11	5.06	4.31	8.00
POZO 356	2.48	0.04	1.3	1	0.2	1	4	0.58	4.82	5.78	9.06
NORIA OJO DE GATO	0.35	0.08	1.52	0	0	0.51	0.94	0.5	1.95	1.95	0.00
NORIA CAMINO DE JESUS M	0.3	0.08	1.52	0	0	0.51	0.47	0.96	1.90	1.94	1.04
NORIA EJIDO RODRIGUEZ	0.2	0.17	0.78	0	0	0.51	0.47	0.5	1.13	1.48	13.41
NORIA VILLA DE REYES	0.74	0.31	3.04	1.52	0	3.04	1.88	0.06	5.61	4.98	5.95
NORIA EL HUNDIDO	3.85	1.21	9.9	1.52	0	5.08	4.71	4.88	16.48	14.75	5.54
NORIA LAS RUSIAS	2.98	0.67	3.5	1	0.2	3	1.5	1.25	8.15	5.95	15.60
NORIA DE CARRERA T.	2.3	0.41	7	1.5	0.2	2	7	1.88	11.21	11.08	0.58
NORIA DE PUENTE DE T.	1.3	0.22	2.5	0.5	0.2	1	3	1.25	4.32	5.45	9.33
EFLUENTE PRINC. DE SALID	2.76	0.26	2	16	0	6	2	18.8	21.02	26.80	12.08
EFLUENTE LATERAL	2.65	0.04	1	0.24	0.2	1.5	1.5	2.08	3.93	5.28	14.86

<b>TABLA No. 5</b>		<b>PARAMETROS PARA AGUA DE RIEGO</b>	
		<b>S.R.H 1976</b>	
<b>C1 Baja Salinidad</b>		Puede usarse para riego en la mayoría de los suelos y para casi todas las plantas, con pocas posibilidades de que aumente la salinidad.	
<b>C2 Salinidad Media</b>		Puede usarse, si se realizan lavados moderados. Se pueden sembrar plantas moderadamente tolerantes a las sales, en la mayoría de los casos, sin efectuar practicas especiales para el control de la salinidad.	
<b>C3 Altamente Salina</b>		No puede usarse en suelos de drenaje deficiente. Aun con drenaje adecuado se requiere un manejo especial para el control de la salinidad, además de seleccionar plantas que sean bastante tolerantes a las sales.	
<b>C4 Muy Altamente Salina</b>		No es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, aunque puede usarse en ocasiones bajo circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado y el agua para riego debe aplicarse en exceso con el fin de llevar a cabo un lavado fuerte. Las plantas que se seleccionen deben ser muy tolerantes a las sales.	
<b>S1 con Poco Sodio</b>		Puede usarse para riego en casi todos los suelos, con poco peligro de que el sodio intercambiable llegue a niveles perjudiciales. Sin embargo las plantas sensitivas al sodio como algunos frutales (fruto con hueso) y aguacate pueden acumular concentraciones superiores de sodio	
<b>S2 con Contenido Medio</b>		Es peligroso en suelos de textura fina y en aquellos que contengan una alta capacidad de intercambio de cationes especialmente bajo condiciones de lavados leves, a menos que haya yeso en el suelo. Esta agua puede usarse en suelos organicos o de textura gruesa con buen permeabilidad.	
<b>S3 con Alto Contenido</b>		Conducira a niveles peligrosos de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos por lo cual se requerira de un manejo especial, buen drenaje lavados fuertes y adicionales de materia organica. Los suelos yesiferos no desarrollaran niveles perjudiciales de sodio intercambiable. Los mejoradores quimicos deberan usarse, para el reemplazo de sodio intercambiable, excepto en el caso de que no sea factible el uso de mejoradores en agua de muy alta salinidad.	
<b>S4 con Muy Alto Contenido</b>		Generalmente no es apropiada para el riego, excepto en casos de baja y quizas media salinidad, donde la solucion de calcio del suelo o el empleo de u otros mejoradores en aguas de muy alta salinidad.	

TABLA No. 6		RESULTADOS DE LA MEZCLA										
MEZCLA ENTRE EL EFLUENTE Y LA NORIA GUADIANA	PORCENTAJE DEL AGUA DE LA NORIA vs. EL EFLUENTE	ESPECIES ACUOSAS						FASES MINERALES				
		CaHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	CaSO <sub>4</sub>	MgHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	MgSO <sub>4</sub>	NaSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	KSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	CALCITA	ARAGONITA	DOLOMITA	YESO	ANHIDRITA
NORIA GUADIANA	1		6.27E-05		2.57E-05			-1.02112	-1.1712	-2.4232	-1.3122	-2.1229
MEZCLA 1	0.90		1.18E-04		1.27E-04			-0.8999	-1.0481	-1.7448	-1.6187	-1.8596
MEZCLA 2	0.80		1.59E-04	1.83E-05	2.87E-04			-0.8062	-0.9528	-1.1365	-1.5014	-1.7351
MEZCLA 3	0.75	1.23E-05	1.75E-04	2.29E-05	3.85E-04			-0.7664	-0.9122	-1.1448	-1.4638	-1.6939
MEZCLA 4	0.73	1.26E-05	1.82E-04	2.53E-05	4.38E-04		3.09E-06	-0.7479	-0.8933	-1.0663	-1.4482	-1.6764
MEZCLA 5	0.70	1.29E-05	1.89E-04	2.77E-05	4.94E-04		3.28E-06	-0.7302	-0.8752	-0.9918	-1.4344	-1.6605
MEZCLA 6	0.60	1.42E-05	2.13E-04	3.82E-05	7.42E-04		4.03E-06	-0.6662	-0.8096	-0.7273	-1.3918	-1.6091
NORIA EL HUNDIDO		2.79E-05	1.24E-04	2.36E-05	9.03E-05	1.58E-05		-0.38	-0.1905	-0.2343	-1.5702	-1.822
MEZCLA 7	0.55	1.48E-05	2.23E-04	4.38E-05	8.79E-04	2.84E-05	4.38E-06	-0.6376	-0.7802	-0.6108	1.3762	-1.5892
MEZCLA 8	0.50	1.53E-05	2.31E-04	4.96E-05	1.03E-03	3.05E-05	4.74E-06	-0.6108	-0.7526	-0.5027	-1.3634	-1.5714
MEZCLA 9	0.40	1.64E-05	2.46E-04	5.20E-05	1.34E-03	3.45E-05	5.43E-06	-0.5617	-0.7019	-0.3068	-1.3439	-1.5115
MEZCLA 10	0.30	1.74E-05	2.57E-04	7.51E-05	1.69E-03	3.83E-05	6.09E-06	-0.5174	-0.656	-0.1326	-1.3305	-1.5168
MEZCLA 11	0.20	1.82E-05	2.66E-04	8.91E-05	2.06E-03	4.19E-05	6.75E-06	-0.4767	-0.6139	0.0244	-1.3214	-1.4955
MEZCLA 12	0.10	1.90E-05	2.73E-04	1.04E-04	2.50E-03	4.53E-05	7.39E-06	-0.4391	-0.5767	0.1676	-1.3156	-1.4766
EFLUENTE	0.00	1.97E-05	2.78E-04	1.19E-04	2.89E-03	4.86E-05	8.01E-06	-0.4038	-0.538	0.2993	-1.3122	-1.4592

TABLA No. 7 <span style="float: right;">NORMAS COMPARATIVAS DE CALIDAD DEL AGUA</span>						
PARAMETROS	GACETA ECOLOGICA	CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA 1991	PLANTA PRONAPADE 1989 a 1990	U.A.S.I.P. 1989 a 1990	S.A.R.H 1986	CONDICIONES ANALIZADAS PARA EL PRESENTE TRABAJO 1994
pH		8.9	7.5 a 8	7.6	6.5 a 7.5	7.2
Grasas y Aceites	Ausente	Ausente	85 a 88	166.9	0	No Analizados
Temperatura C	Cond Nat i	35	40 a 42	40	37	
Colif. Fec.	1000	1500	De 3000 a 4000 Colif.	7000 Colif.	0	
SDT (ppm)	500	600	200 a 300	486	723	
RAS		6	5 a 5.5			0.92
Aluminio Sol. (ppm)	5	5			6.45	
Arsenico Tot. (ppm)	0.1	0.015		0.0152		
Boro (ppm)	0.7	1	0.004			
Zinc (ppm)	2	0.45	0.002			1.2
Cobre (ppm)	0.2	0.3			0.23	<0.03
Niquel (ppm)	0.2	0.008	0.008			0.067
Plomo (ppm)	5.8	0.008			1	0.0244
Cadmio (ppm)	0.01		0.005	0.012	0.17	0.0018
Mercurio (ppm)	.001 (ap)		0.008	0.001	0.008	<.0005
Conductividad (mmhos/cm)	1		0.5	0.0015	0.0011	1600
Sulfatos (ppm)	130					802.4
Sodio (meq/l)						63.46
Potasio (meq/l)						10.14
Calcio (meq/l)						40
Magnesio (meq/l)						182
Cloruro (ppm)	147.5					71
Cromo (ppm)	1					<0.04

**TABLA No. 8 PARAMETROS ESTABLECIDOS PARA DESCARGA DE SEDUE**

PARAMETROS	CARACTERISTICAS ESTABLECIDAS EN EN LA CLAUSULA 31 DEL PERMISO	CARACTERISTICAS DE LA DESCARGA DE PRONAPADE
Demanda Bioquímica	70 mg/l	91.1 mg/l
Oxígeno DBD		
Sólidos Suspendidos Totales SST	70 mg/l	2296.2 mg/l
Grasas y Aceites	15 mg/l	125 mg/l
Sólidos Sdimentables	1 ml/l	281.1 ml/l
pH	6-9	7.7
Boro	2mg/l	.025 mg/l
Relacion de Absorcion de Sodio RAS	6	7.71
Conductividad	2000 $\mu$ mhos/cm2	397.8 $\mu$ mhos/cm2
Coliformes Fecales	100 N.M.P/100 ml	850X150 cc/100 ml
Temperatura	30	38 C
Plomo	5 ml/l	.2mg/l

**TABLA No. 9 PARAMETROS MAXIMOS PERMISIBLES PARA AGUAS DE RIEGO DE SEDUE**

PARAMETROS	DESCARGA DE PRONAPADE	MAXIMOS PERMISIBLES PARA AGUAS DE RIEGO
Demanda Bioquímica		
Oxígeno DBO	91.1 mg/l	100 mg/l
Sólidos Suspendidos Totales SST	2.296 mg/l	100 mg/l
Grasas y Aceites	125 mg/l	20 mg/l
Sólidos Sdimentables	281.1 ml/l	1 ml/l
pH	7.7	6-9
Boro	.021 mg/l	4 mg/l
Relacion de Absorcion de Sodio RAS	7.71	-
Conductividad	397.8 $\mu$ mhos/cm2	-
Coliformes Fecales	.2	-
Temperatura	850 x 10 <sup>-6</sup>	-
Plomo	38 C	30 C

Date of Simulation Run: 1995/09/28  
Time of Simulation Run: 18:09:15

DATA READ FROM DISK

ELEMENTS

SPECIES

LOOK MIN

1 PRIMERA CORRIDA. AGUA DE LA NORIA GUADIANA EN VILLA DE REYES S.L.P

0000010000 0 0 .00000  
SOLUTION 1

AGUA DE GUADIANA UTILIZADA PARA USO DOMESTICO

7 15 1 7.10 4.00 16.6 1.00  
4 1.250D+00 5 5.000D-01 6 2.740D+00 7 3.000D-01 14 3.000D+00  
15 9.600D-01 16 6.900D-01

1SOLUTION NUMBER 1

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.250440D-03	-2.9029
Mg	5.001760D-04	-3.3009
Na	2.740964D-03	-2.5621
K	3.001056D-04	-3.5227
Cl	3.001056D-03	-2.5227
TOT ALK	9.603379D-04	-3.0176
S	6.902429D-04	-3.1610

----DESCRIPTION OF SOLUTION----

PH = 7.1000  
PE = 4.0000  
ACTIVITY H2O = .9998  
IONIC STRENGTH = .0080  
TEMPERATURE = 16.6000  
ELECTRICAL BALANCE = 1.2005D-03  
THOR = 8.6756D-03  
TOTAL ALKALINITY = 9.6034D-04  
ITERATIONS = 15  
TOTAL CARBON = 1.1335D-03

-----  
 DISTRIBUTION OF SPECIES  
 -----

I	SPECIES	Z	MOLALITY	LOG MOLAL	ACTIVITY	LOG ACT	GAMMA	LOG GAM
1	H+	1.0	8.713E-08	-7.060	7.943E-08	-7.100	9.117E-01	-.040
2	E-	-1.0	1.000E-04	-4.000	1.000E-04	-4.000	1.000E+00	.000
3	H2O	.0	9.998E-01	.000	9.998E-01	.000	1.000E+00	.000
4	Ca+2	2.0	1.179E-03	-2.929	8.233E-04	-3.084	6.984E-01	-.156
5	Mg+2	2.0	4.708E-04	-3.327	3.306E-04	-3.481	7.021E-01	-.154
6	Na+	1.0	2.735E-03	-2.563	2.496E-03	-2.603	9.126E-01	-.040
7	K+	1.0	2.993E-04	-3.524	2.725E-04	-3.565	9.105E-01	-.041
14	Cl-	-1.0	3.001E-03	-2.523	2.732E-03	-2.563	9.105E-01	-.041
15	CO3-2	-2.0	6.042E-07	-6.219	4.223E-07	-6.374	6.989E-01	-.156
16	SO4-2	-2.0	5.957E-04	-3.225	4.145E-04	-3.382	6.958E-01	-.158
31	OH-	-1.0	7.112E-08	-7.148	6.484E-08	-7.188	9.117E-01	-.040
33	H2 AQ	.0	4.859E-26	-25.313	4.868E-26	-25.313	1.002E+00	.001
34	HCO3-	-1.0	9.447E-04	-3.025	8.638E-04	-3.064	9.143E-01	-.039
35	H2CO3	.0	1.745E-04	-3.758	1.748E-04	-3.757	1.002E+00	.001
78	CaSO4	.0	6.269E-05	-4.203	6.281E-05	-4.202	1.002E+00	.001
88	MgSO4	.0	2.566E-05	-4.591	2.571E-05	-4.590	1.002E+00	.001

----- LOOK MIN IAP -----

PHASE	LOG IAP	LOG KT	LOG IAP/KT
Calcite	-9.4589	-8.4372	-1.0217
Aragonit	-9.4589	-8.2872	-1.1717
Dolomite	-19.3141	-16.8895	-2.4246
Gypsum	-6.4671	-4.5831	-1.8840
Anhydrit	-6.4669	-4.3371	-2.1299
PCO2	-3.7574	-1.3625	-2.3948
O2 gas	-44.5445	-2.9208	-41.6237
H2 gas	-25.3126	-3.1126	-22.2000

Date of Simulation Run: 1995/09/28  
 Time of Simulation Run: 18:17:40

DATA READ FROM DISK

ELEMENTS  
 SPECIES  
 LOOK MIN

1 CORRIDA 2. AGUA DE LA NORIA EL HUNDIDO EN VILLA DE REYES  
 0000010000 0 0 .00000  
 SOLUTION 1  
 AGUA DE LA NORIA EL HUNDIDO PARA USO DOMESTICO  
 7 15 1 7.60 4.00 13.3 1.00  
 4 2.000D+00 5 1.500D+00 6 5.560D+00 7 8.600D-01 14 7.510D+00  
 15 2.500D+00 16 1.240D+00  
 ISOLUTION NUMBER 1  
 AGUA DE LA NORIA EL HUNDIDO PARA USO DOMESTICO

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	2.001548D-03	-2.6986
Mg	1.501161D-03	-2.8236
Na	5.564304D-03	-2.2546
K	8.606657D-04	-3.0652
Cl	7.515813D-03	-2.1240
TOT ALK	2.501935D-03	-2.6017
S	1.240960D-03	-2.9062

----DESCRIPTION OF SOLUTION----

PH = 7.6000  
 PE = 4.0000  
 ACTIVITY H2O = .9996  
 IONIC STRENGTH = .0167  
 TEMPERATURE = 13.3000  
 ELECTRICAL BALANCE = 9.3075D-04  
 THOR = 1.7986D-02  
 TOTAL ALKALINITY = 2.5019D-03  
 ITERATIONS = 15  
 TOTAL CARBON = 2.6351D-03

-----  
 DISTRIBUTION OF SPECIES  
 -----

I SPECIES	Z	MOLALITY	LOG MOLAL	ACTIVITY	LOG ACT	GAMMA	LOG GAM
1 H+	1.0	2.850E-08	-7.545	2.512E-08	-7.600	8.814E-01	-.055

2	E-	-1.0	1.000E-04	-4.000	1.000E-04	-4.000	1.000E+00	.000
3	H2O	.0	9.996E-01	.000	9.996E-01	.000	1.000E+00	.000
4	Ca+2	2.0	1.845E-03	-2.734	1.135E-03	-2.945	6.149E-01	-.211
5	Mg+2	2.0	1.385E-03	-2.859	8.601E-04	-3.065	6.210E-01	-.207
6	Na+	1.0	5.544E-03	-2.256	4.894E-03	-2.310	8.828E-01	-.054
7	K+	1.0	8.575E-04	-3.067	7.534E-04	-3.123	8.787E-01	-.056
14	Cl-	-1.0	7.516E-03	-2.124	6.604E-03	-2.180	8.787E-01	-.056
15	CO3-2	-2.0	4.948E-06	-5.306	3.044E-06	-5.517	6.152E-01	-.211
16	SO4-2	-2.0	1.008E-03	-2.997	6.149E-04	-3.211	6.101E-01	-.215
31	OH-	-1.0	1.762E-07	-6.754	1.553E-07	-6.809	8.814E-01	-.055
33	H2 AQ	.0	5.023E-27	-26.299	5.043E-27	-26.297	1.004E+00	.002
34	HCO3-	-1.0	2.422E-03	-2.616	2.145E-03	-2.669	8.856E-01	-.053
35	H2CO3	.0	1.455E-04	-3.837	1.461E-04	-3.835	1.004E+00	.002
77	CaHCO3+	1.0	2.785E-05	-4.555	2.467E-05	-4.608	8.856E-01	-.053
78	CaSO4	.0	1.238E-04	-3.907	1.242E-04	-3.906	1.004E+00	.002
87	MgHCO3+	1.0	2.360E-05	-4.627	2.080E-05	-4.682	8.814E-01	-.055
88	MgSO4	.0	9.026E-05	-4.045	9.061E-05	-4.043	1.004E+00	.002
96	NaSO4-	-1.0	1.584E-05	-4.800	1.396E-05	-4.855	8.814E-01	-.055

---- LOOK MIN IAP ----

PHASE	LOG IAP	LOG KT	LOG IAP/KT
Calcite	-8.4617	-8.4231	-.0386
Aragonit	-8.4617	-8.2706	-.1911
Dolomite	-17.0436	-16.8075	-.2361
Gypsum	-6.1566	-4.5865	-1.5701
Anhydrit	-6.1563	-4.3344	-1.8219
PCO2	-3.8354	-1.3172	-2.5183
O2 gas	-43.7159	-2.9048	-40.8111
H2 gas	-26.2973	-3.0973	-23.2000

Date of Simulation Run: 1995/09/28  
Time of Simulation Run: 16:33:20

DATA READ FROM DISK

ELEMENTS  
SPECIES  
LOOK MIN

1 CORRIDA 3. AGUA DEL POZO 3 UTILIZADO PARA USO INDUSTRIAL POR PRONAPADE  
0000010000 0 0 .00000  
SOLUTION 1  
AGUA DEL ACUIFERO PROFUNDO REPRESENTADA POR EL POZO 3 DE PRONAPADE  
7 15 1 7.70 4.00 41.0 1.00  
4 7.600D-01 5 3.800D-01 6 2.020D+00 7 1.000D-02 14 7.000D-01  
15 1.240D+00 16 8.800D-01  
ISOLUTION NUMBER 1  
AGUA DEL ACUIFERO PROFUNDO REPRESENTADA POR EL POZO 3 DE PRONAPADE

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	7.601904D-04	-3.1191
Mg	3.800952D-04	-3.4201
Na	2.020506D-03	-2.6945
K	1.000251D-05	-4.9999
Cl	7.001754D-04	-3.1548
TOT ALK	1.240311D-03	-2.9065
S	8.802205D-04	-3.0554

----DESCRIPTION OF SOLUTION----

PH = 7.7000  
PE = 4.0000  
ACTIVITY H2O = .9999  
IONIC STRENGTH = .0055  
TEMPERATURE = 41.0000  
ELECTRICAL BALANCE = 6.1018D-04  
THOR = 1.0370D-02  
TOTAL ALKALINITY = 1.2403D-03  
ITERATIONS = 14  
TOTAL CARBON = 1.2722D-03

-----  
DISTRIBUTION OF SPECIES  
-----

I SPECIES    Z    MOLALITY    LOG MOLAL    ACTIVITY    LOG ACT    GAMMA    LOG GAM

1 H+	1.0	2.165E-08	-7.664	1.995E-08	-7.700	9.215E-01	-.036
2 E-	-1.0	1.000E-04	-4.000	1.000E-04	-4.000	1.000E+00	.000
3 H2O	.0	9.999E-01	.000	9.999E-01	.000	1.000E+00	.000
4 Ca+2	2.0	6.836E-04	-3.165	4.971E-04	-3.304	7.272E-01	-.138
5 Mg+2	2.0	3.292E-04	-3.483	2.403E-04	-3.619	7.301E-01	-.137
6 Na+	1.0	2.013E-03	-2.696	1.856E-03	-2.731	9.222E-01	-.035
7 K+	1.0	9.955E-06	-5.002	9.165E-06	-5.038	9.206E-01	-.036
14 Cl-	-1.0	7.002E-04	-3.155	6.446E-04	-3.191	9.206E-01	-.036
15 CO3-2	-2.0	4.656E-06	-5.332	3.388E-06	-5.470	7.277E-01	-.138
16 SO4-2	-2.0	7.646E-04	-3.117	5.545E-04	-3.256	7.253E-01	-.139
31 OH-	-1.0	1.661E-06	-5.780	1.531E-06	-5.815	9.215E-01	-.036
33 H2 AQ	.0	2.420E-27	-26.616	2.423E-27	-26.616	1.001E+00	.001
34 HCO3-	-1.0	1.204E-03	-2.919	1.112E-03	-2.954	9.236E-01	-.035
35 H2CO3	.0	4.376E-05	-4.359	4.381E-05	-4.358	1.001E+00	.001
77 CaHCO3+	1.0	9.103E-06	-5.041	8.408E-06	-5.075	9.236E-01	-.035
78 CaSO4	.0	6.330E-05	-4.199	6.338E-05	-4.198	1.001E+00	.001
88 MgSO4	.0	4.614E-05	-4.336	4.620E-05	-4.335	1.001E+00	.001

---- LOOK MIN IAP ----

PHASE	LOG IAP	LOG KT	LOG IAP/KT
Calcite	-8.7736	-8.5874	-.1862
Aragonit	-8.7736	-8.4545	-.3191
Dolomite	-17.8628	-17.4423	-.4205
Gypsum	-6.5597	-4.5996	-1.9601
Anhydrit	-6.5596	-4.4652	-2.0944
PCO2	-4.3584	-1.6341	-2.7243
O2 gas	-34.2480	-3.0288	-31.2191
H2 gas	-26.6157	-3.2157	-23.4000

Date of Simulation Run: 1995/09/28  
 Time of Simulation Run: 18:53:18

DATA READ FROM DISK

ELEMENTS  
 SPECIES  
 LOOK MIN  
 1 CORRIDA 4. AGUA DE LA DESCARGA PRINCIPAL DE LA PAPELERA  
 0000010000 0 0 .00000  
 SOLUTION 1  
 AGUA DEL EFLUENTE PRINCIPAL DE LA PAPELERA  
 7 15 1 7.20 4.00 39.1 1.00  
 4 1.000D+00 5 7.900D+00 6 2.760D+00 7 2.600D-01 14 2.000D+00  
 15 3.660D+00 16 9.400D+00  
 1 SOLUTION NUMBER 1  
 AGUA DEL EFLUENTE PRINCIPAL DE LA PAPELERA

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.001443D-03	-2.9994
Mg	7.911398D-03	-2.1017
Na	2.763982D-03	-2.5585
K	2.603751D-04	-3.5844
Cl	2.002885D-03	-2.6983
TOT ALK	3.665280D-03	-2.4359
S	9.413562D-03	-2.0262

----DESCRIPTION OF SOLUTION----

PH = 7.2000  
 PE = 4.0000  
 ACTIVITY H2O = .9996  
 IONIC STRENGTH = .0279  
 TEMPERATURE = 39.1000  
 ELECTRICAL BALANCE = -3.6451D-03  
 THOR = 7.2565D-02  
 TOTAL ALKALINITY = 3.6653D-03  
 ITERATIONS = 16  
 TOTAL CARBON = 4.0209D-03

-----  
 DISTRIBUTION OF SPECIES  
 -----

I	SPECIES	Z	MOLALITY	LOG MOLAL	ACTIVITY	LOG ACT	GAMMA	LOG GAM
1	H+	1.0	7.423E-08	-7.129	6.310E-08	-7.200	8.500E-01	-.071

2	E-	-1.0	1.000E-04	-4.000	1.000E-04	-4.000	1.000E+00	.000
3	H2O	.0	9.996E-01	.000	9.996E-01	.000	1.000E+00	.000
4	Ca+2	2.0	7.010E-04	-3.154	3.769E-04	-3.424	5.376E-01	-.270
5	Mg+2	2.0	4.893E-03	-2.310	2.672E-03	-2.573	5.461E-01	-.263
6	Na+	1.0	2.710E-03	-2.567	2.309E-03	-2.637	8.520E-01	-.070
7	K+	1.0	2.534E-04	-3.596	2.143E-04	-3.669	8.455E-01	-.073
14	Cl-	-1.0	2.003E-03	-2.698	1.693E-03	-2.771	8.455E-01	-.073
15	CO3-2	-2.0	5.221E-06	-5.282	2.807E-06	-5.552	5.377E-01	-.269
16	SO4-2	-2.0	6.189E-03	-2.208	3.284E-03	-2.484	5.306E-01	-.275
31	OH-	-1.0	5.033E-07	-6.298	4.278E-07	-6.369	8.500E-01	-.071
33	H2 AQ	.0	2.449E-26	-25.611	2.465E-26	-25.608	1.006E+00	.003
34	HCO3-	-1.0	3.487E-03	-2.458	2.986E-03	-2.525	8.563E-01	-.067
35	H2CO3	.0	3.731E-04	-3.428	3.755E-04	-3.425	1.006E+00	.003
77	CaHCO3+	1.0	1.969E-05	-4.706	1.686E-05	-4.773	8.563E-01	-.067
78	CaSO4	.0	2.782E-04	-3.556	2.800E-04	-3.553	1.006E+00	.003
87	MgHCO3+	1.0	1.192E-04	-3.924	1.013E-04	-3.994	8.500E-01	-.071
88	MgSO4	.0	2.891E-03	-2.539	2.909E-03	-2.536	1.006E+00	.003
96	NaSO4-	-1.0	4.869E-05	-4.313	4.139E-05	-4.383	8.500E-01	-.071
100	KSO4-	-1.0	6.956E-06	-5.158	5.913E-06	-5.228	8.500E-01	-.071

---- LOOK MIN IAP ----

PHASE	LOG IAP	LOG KT	LOG IAP/KT
Calcite	-8.9755	-8.5728	-.4027
Aragonit	-8.9755	-8.4387	-.5368
Dolomite	-17.1004	-17.4023	.3019
Gypsum	-5.9078	-4.5960	-1.3118
Anhydrit	-5.9074	-4.4492	-1.4582
PCO2	-3.4254	-1.6165	-1.8089
O2 gas	-36.8188	-3.0210	-33.7978
H2 gas	-25.6082	-3.2082	-22.4000

Date of Simulation Run: 1995/09/29  
 Time of Simulation Run: 20:35:33

DATA READ FROM DISK

ELEMENTS  
 SPECIES  
 LOOK MIN

1CORRIDA 5 MEZCLA ENTRE EL AGUA DE LA NORIA GUADIANA Y EL EFLUENTE DE LA EMPRESA

0010011000 9 0 .00000

SOLUTION 1

AGUA DE LA NORIA GUADIANA

7 15 1 7.10 4.00 16.6 1.00  
 4 1.250D+00 5 5.000D-01 6 2.740D+00 7 3.000D-01 14 3.000D+00  
 15 9.600D-01 16 6.900D-01

SOLUTION 2

AGUA DEL EFLUENTE PRINCIPAL DE LA PAPELERA

7 15 1 7.20 4.00 39.0 1.00  
 4 1.000D+00 5 7.900D+00 6 2.760D+00 7 3.000D-01 14 2.000D+00  
 15 3.660D+00 16 9.390D+00

STEPS

.800 .750 .725 .700 .600 .550 .500 .400  
 .200

1SOLUTION NUMBER 1

AGUA DE LA NORIA GUADIANA

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.250440D-03	-2.9029
Mg	5.001760D-04	-3.3009
Na	2.740964D-03	-2.5621
K	3.001056D-04	-3.5227
Cl	3.001056D-03	-2.5227
TOT ALK	9.603379D-04	-3.0176
S	6.902429D-04	-3.1610

----DESCRIPTION OF SOLUTION----

PH = 7.1000  
 PE = 4.0000  
 ACTIVITY H2O = .9998  
 IONIC STRENGTH = .0080  
 TEMPERATURE = 16.6000  
 ELECTRICAL BALANCE = 1.2005D-03  
 THOR = 8.6756D-03  
 TOTAL ALKALINITY = 9.6034D-04  
 ITERATIONS = 15  
 TOTAL CARBON = 1.1335D-03

-----  
 DISTRIBUTION OF SPECIES  
 -----

I	SPECIES	Z	MOLALITY	LOG MOLAL	ACTIVITY	LOG ACT	GAMMA	LOG GAM
1	H+	1.0	8.713E-08	-7.060	7.943E-08	-7.100	9.117E-01	-.040
2	E-	-1.0	1.000E-04	-4.000	1.000E-04	-4.000	1.000E+00	.000
3	H2O	.0	9.998E-01	.000	9.998E-01	.000	1.000E+00	.000
4	Ca+2	2.0	1.179E-03	-2.929	8.233E-04	-3.084	6.984E-01	-.156
5	Mg+2	2.0	4.708E-04	-3.327	3.306E-04	-3.481	7.021E-01	-.154
6	Na+	1.0	2.735E-03	-2.563	2.496E-03	-2.603	9.126E-01	-.040
7	K+	1.0	2.993E-04	-3.524	2.725E-04	-3.565	9.105E-01	-.041
14	Cl-	-1.0	3.001E-03	-2.523	2.732E-03	-2.563	9.105E-01	-.041
15	CO3-2	-2.0	6.042E-07	-6.219	4.223E-07	-6.374	6.989E-01	-.156
16	SO4-2	-2.0	5.957E-04	-3.225	4.145E-04	-3.382	6.958E-01	-.158
31	OH-	-1.0	7.112E-08	-7.148	6.484E-08	-7.188	9.117E-01	-.040
33	H2 AQ	.0	4.859E-26	-25.313	4.868E-26	-25.313	1.002E+00	.001
34	HCO3-	-1.0	9.447E-04	-3.025	8.638E-04	-3.064	9.143E-01	-.039
35	H2CO3	.0	1.745E-04	-3.758	1.748E-04	-3.757	1.002E+00	.001
78	CaSO4	.0	6.269E-05	-4.203	6.281E-05	-4.202	1.002E+00	.001
88	MgSO4	.0	2.566E-05	-4.591	2.571E-05	-4.590	1.002E+00	.001

---- LOOK MIN IAP ----

PHASE	LOG IAP	LOG KT	LOG IAP/KT
Calcite	-9.4589	-8.4372	-1.0217
Aragonite	-9.4589	-8.2872	-1.1717
Dolomite	-19.3141	-16.8895	-2.4246
Gypsum	-6.4671	-4.5831	-1.8840
Anhydrit	-6.4669	-4.3371	-2.1299
PCO2	-3.7574	-1.3625	-2.3948
O2 gas	-44.5445	-2.9208	-41.6237
H2 gas	-25.3126	-3.1126	-22.2000

ISOLUTION NUMBER 2  
 AGUA DEL EPLUENTE PRINCIPAL DE LA PAPELERA

-----  
 TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS  
 -----

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.001443D-03	-2.9994
Mg	7.911402D-03	-2.1017
Na	2.763984D-03	-2.5585
K	3.004330D-04	-3.5223
Cl	2.002887D-03	-2.6983
TOT ALK	3.665283D-03	-2.4359
S	9.403553D-03	-2.0267

----DESCRIPTION OF SOLUTION----

PH = 7.2000  
 PE = 4.0000  
 ACTIVITY H2O = .9996  
 IONIC STRENGTH = .0279  
 TEMPERATURE = 39.0000  
 ELECTRICAL BALANCE = -3.5851D-03  
 THOR = 7.2506D-02  
 TOTAL ALKALINITY = 3.6653D-03  
 ITERATIONS = 16  
 TOTAL CARBON = 4.0211D-03

\*\*\*\*\*  
 DISTRIBUTION OF SPECIES  
 \*\*\*\*\*

I	SPECIES	Z	MOLALITY	LOG MOLAL	ACTIVITY	LOG ACT	GAMMA	LOG GAM
1	H+	1.0	7.423E-08	-7.129	6.310E-08	-7.200	8.500E-01	-.071
2	E-	-1.0	1.000E-04	-4.000	1.000E-04	-4.000	1.000E+00	.000
3	H2O	.0	9.996E-01	.000	9.996E-01	.000	1.000E+00	.000
4	Ca+2	2.0	7.014E-04	-3.154	3.771E-04	-3.424	5.376E-01	-.270
5	Mg+2	2.0	4.898E-03	-2.310	2.675E-03	-2.573	5.461E-01	-.263
6	Na+	1.0	2.710E-03	-2.567	2.309E-03	-2.637	8.520E-01	-.070
7	K+	1.0	2.924E-04	-3.534	2.472E-04	-3.607	8.455E-01	-.073
14	Cl-	-1.0	2.003E-03	-2.698	1.693E-03	-2.771	8.455E-01	-.073
15	CO3-2	-2.0	5.214E-06	-5.283	2.803E-06	-5.552	5.377E-01	-.269
16	SO4-2	-2.0	6.184E-03	-2.209	3.281E-03	-2.484	5.305E-01	-.275
31	OH-	-1.0	5.000E-07	-6.301	4.250E-07	-6.372	8.500E-01	-.071
33	H2 AQ	.0	2.451E-26	-25.611	2.467E-26	-25.608	1.006E+00	.003
34	HCO3-	-1.0	3.487E-03	-2.458	2.986E-03	-2.525	8.563E-01	-.067
35	H2CO3	.0	3.733E-04	-3.428	3.757E-04	-3.425	1.006E+00	.003
77	CaHCO3+	1.0	1.968E-05	-4.706	1.685E-05	-4.773	8.563E-01	-.067
78	CaSO4	.0	2.779E-04	-3.556	2.797E-04	-3.553	1.006E+00	.003
87	MgHCO3+	1.0	1.192E-04	-3.924	1.014E-04	-3.994	8.500E-01	-.071
88	MgSO4	.0	2.885E-03	-2.540	2.903E-03	-2.537	1.006E+00	.003
96	NaSO4-	-1.0	4.863E-05	-4.313	4.133E-05	-4.384	8.500E-01	-.071
100	KSO4-	-1.0	8.011E-06	-5.096	6.809E-06	-5.167	8.500E-01	-.071

---- LOOK MIN IAP ----

PHASE	LOG IAP	LOG KT	LOG IAP/KT
Calcite	-8.9759	-8.5721	-.4038
Aragonit	-8.9759	-8.4379	-.5380
Dolomite	-17.1009	-17.4002	.2993
Gypsum	-5.9079	-4.5958	-1.3122
Anhydrit	-5.9076	-4.4483	-1.4592
PCO2	-3.4252	-1.6156	-1.8096
O2 gas	-36.8490	-3.0206	-33.8284
H2 gas	-25.6078	-3.2078	-22.4000

1STEP NUMBER 1

0-----

0 .800 = FRACTION OF SOLUTION 1.

.200 = FRACTION OF SOLUTION 2.

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS

---

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.200641D-03	-2.9206
Mg	1.982421D-03	-2.7028
Na	2.745568D-03	-2.5614
K	3.001711D-04	-3.5226
Cl	2.801422D-03	-2.5526
TOT ALK	1.711044D-03	-2.7667
S	2.432905D-03	-2.6139

---- LOOK MIN IAP ----

PHASE	LOG IAP	LOG KT	LOG IAP/KT
Calcite	-9.2653	-8.4587	-.8066
Aragonit	-9.2653	-8.3121	-.9532
Dolomite	-18.3154	-16.9978	-1.3175
Gypsum	-6.0822	-4.5808	-1.5013
Anhydrit	-6.0820	-4.3468	-1.7351
PCO2	-3.6706	-1.4205	-2.2501
O2 gas	-42.7455	-2.9420	-39.8035
H2 gas	-25.4584	-3.1328	-22.3255

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS

---

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.200641D-03	-2.9206
Mg	1.982421D-03	-2.7028
Na	2.745568D-03	-2.5614
K	3.001711D-04	-3.5226
Cl	2.801422D-03	-2.5526
C	1.711044D-03	-2.7667
S	2.432905D-03	-2.6139

----DESCRIPTION OF SOLUTION----

PH =	7.1628
PE =	4.0000
ACTIVITY H2O =	.9998
IONIC STRENGTH =	.0130
TEMPERATURE =	21.0800

ELECTRICAL BALANCE = 2.4340D-04  
 THOR = 2.1442D-02  
 TOTAL ALKALINITY = 1.5013D-03  
 ITERATIONS = 20

-----  
 DISTRIBUTION OF SPECIES  
 -----

I	SPECIES	Z	MOLALITY	LOG MOLAL	ACTIVITY	LOG ACT	GAMMA	LOG GAM
1	H+	1.0	7.713E-08	-7.113	6.874E-08	-7.163	8.912E-01	-.050
2	E-	-1.0	1.000E-04	-4.000	1.000E-04	-4.000	1.000E+00	.000
3	H2O	.0	9.998E-01	.000	9.998E-01	.000	1.000E+00	.000
4	Ca+2	2.0	1.030E-03	-2.987	6.601E-04	-3.180	6.412E-01	-.193
5	Mg+2	2.0	1.676E-03	-2.776	1.084E-03	-2.965	6.464E-01	-.190
6	Na+	1.0	2.727E-03	-2.564	2.434E-03	-2.614	8.925E-01	-.049
7	K+	1.0	2.977E-04	-3.526	2.647E-04	-3.577	8.892E-01	-.051
14	Cl-	-1.0	2.801E-03	-2.553	2.491E-03	-2.604	8.892E-01	-.051
15	CO3-2	-2.0	1.282E-06	-5.892	8.224E-07	-6.085	6.416E-01	-.193
16	SO4-2	-2.0	1.968E-03	-2.706	1.254E-03	-2.902	6.373E-01	-.196
31	OH-	-1.0	1.207E-07	-6.918	1.076E-07	-6.968	8.912E-01	-.050
33	H2 AQ	.0	3.470E-26	-25.460	3.481E-26	-25.458	1.003E+00	.001
34	HCO3-	-1.0	1.464E-03	-2.835	1.310E-03	-2.883	8.950E-01	-.048
35	H2CO3	.0	2.129E-04	-3.672	2.135E-04	-3.671	1.003E+00	.001
78	CaSO4	.0	1.587E-04	-3.799	1.592E-04	-3.798	1.003E+00	.001
87	MgHCO3+	1.0	1.834E-05	-4.737	1.635E-05	-4.787	8.912E-01	-.050
88	MgSO4	.0	2.868E-04	-3.542	2.876E-04	-3.541	1.003E+00	.001

1STEP NUMBER 2

0-----

0 .750 = FRACTION OF SOLUTION 1.

.250 = FRACTION OF SOLUTION 2.

-----  
 TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS  
 -----

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.188191D-03	-2.9251
Mg	2.352983D-03	-2.6284
Na	2.746719D-03	-2.5612
K	3.001874D-04	-3.5226
Cl	2.751514D-03	-2.5604
C	1.855423D-03	-2.7316
S	2.868570D-03	-2.5423

--- LOOK MIN IAP ---

PHASE	LOG IAP	LOG KT	LOG IAP/KT
Calcite	-9.2313	-8.4646	-.7668

Aragonit	-9.2313	-8.3187	- .9126
Dolomite	-18.1702	-17.0244	-1.1457
Gypsum	-6.0444	-4.5806	-1.4637
Anhydrit	-6.0442	-4.3503	-1.6939
PCO2	-3.6511	-1.4343	-2.2168
O2 gas	-42.3323	-2.9472	-39.3851
H2 gas	-25.4801	-3.1378	-22.3423

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.188191D-03	-2.9251
Mg	2.352983D-03	-2.6284
Na	2.746719D-03	-2.5612
K	3.001874D-04	-3.5226
Cl	2.751514D-03	-2.5604
C	1.855423D-03	-2.7316
S	2.868570D-03	-2.5423

----DESCRIPTION OF SOLUTION----

PH = 7.1711  
PE = 4.0000  
ACTIVITY H2O = .9998  
IONIC STRENGTH = .0142  
TEMPERATURE = 22.2000  
ELECTRICAL BALANCE = 4.1192D-06  
THOR = 2.4633D-02  
TOTAL ALKALINITY = 1.6366D-03  
ITERATIONS = 20

-----  
DISTRIBUTION OF SPECIES  
-----

I	SPECIES	Z	MOLALITY	LOG MOLAL	ACTIVITY	LOG ACT	GAMMA	LOG GAM
1	H+	1.0	7.600E-08	-7.119	6.743E-08	-7.171	8.873E-01	-.052
2	E-	-1.0	1.000E-04	-4.000	1.000E-04	-4.000	1.000E+00	.000
3	H2O	.0	9.998E-01	.000	9.998E-01	.000	1.000E+00	.000
4	Ca+2	2.0	1.000E-03	-3.000	6.306E-04	-3.200	6.306E-01	-.200
5	Mg+2	2.0	1.944E-03	-2.711	1.237E-03	-2.908	6.361E-01	-.197
6	Na+	1.0	2.726E-03	-2.565	2.422E-03	-2.616	8.886E-01	-.051
7	K+	1.0	2.973E-04	-3.527	2.631E-04	-3.580	8.850E-01	-.053
14	Cl-	-1.0	2.752E-03	-2.560	2.435E-03	-2.613	8.850E-01	-.053
15	CO3-2	-2.0	1.475E-06	-5.831	9.309E-07	-6.031	6.310E-01	-.200
16	SO4-2	-2.0	2.287E-03	-2.641	1.432E-03	-2.844	6.264E-01	-.203
31	OH-	-1.0	1.349E-07	-6.870	1.197E-07	-6.922	8.873E-01	-.052
33	H2 AQ	.0	3.300E-26	-25.481	3.311E-26	-25.480	1.003E+00	.001
34	HCO3-	-1.0	1.592E-03	-2.798	1.419E-03	-2.848	8.913E-01	-.050

35 H2CO3	.0	2.226E-04	-3.653	2.233E-04	-3.651	1.003E+00	.001
77 CaHCO3+	1.0	1.224E-05	-4.912	1.091E-05	-4.962	8.913E-01	-.050
78 CaSO4	.0	1.750E-04	-3.757	1.755E-04	-3.756	1.003E+00	.001
87 MgHCO3+	1.0	2.288E-05	-4.641	2.030E-05	-4.693	8.873E-01	-.052
88 MgSO4	.0	3.848E-04	-3.415	3.861E-04	-3.413	1.003E+00	.001

1STEP NUMBER 3  
0-----  
0 .725 = FRACTION OF SOLUTION 1. .275 = FRACTION OF SOLUTION 2.

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS  
-----

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.181966D-03	-2.9274
Mg	2.538263D-03	-2.5955
Na	2.747295D-03	-2.5611
K	3.001956D-04	-3.5226
Cl	2.726559D-03	-2.5644
C	1.927612D-03	-2.7150
S	3.086403D-03	-2.5105

---- LOOK MIN IAP ----

PHASE	LOG IAP	LOG KT	LOG IAP/KT
Calcite	-9.2158	-8.4675	-.7482
Aragonit	-9.2158	-8.3221	-.8936
Dolomite	-18.1048	-17.0376	-1.0671
Gypsum	-6.0288	-4.5806	-1.4482
Anhydrit	-6.0286	-4.3522	-1.6764
PCO2	-3.6417	-1.4412	-2.2005
O2 gas	-42.1295	-2.9498	-39.1797
H2 gas	-25.4896	-3.1402	-22.3493

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS  
-----

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.181966D-03	-2.9274
Mg	2.538263D-03	-2.5955
Na	2.747295D-03	-2.5611
K	3.001956D-04	-3.5226
Cl	2.726559D-03	-2.5644
C	1.927612D-03	-2.7150
S	3.086403D-03	-2.5105

----DESCRIPTION OF SOLUTION----

PH = 7.1747  
 PE = 4.0000  
 ACTIVITY H2O = .9998  
 IONIC STRENGTH = .0147  
 TEMPERATURE = 22.7600  
 ELECTRICAL BALANCE = -1.1552D-04  
 THOR = 2.6229D-02  
 TOTAL ALKALINITY = 1.7042D-03  
 ITERATIONS = 20

-----  
 DISTRIBUTION OF SPECIES  
 -----

I	SPECIES	Z	MOLALITY	LOG MOLAL	ACTIVITY	LOG ACT	GAMMA	LOG GAM
1	H+	1.0	7.554E-08	-7.122	6.689E-08	-7.175	8.854E-01	-.053
2	E-	-1.0	1.000E-04	-4.000	1.000E-04	-4.000	1.000E+00	.000
3	H2O	.0	9.998E-01	.000	9.998E-01	.000	1.000E+00	.000
4	Ca+2	2.0	9.861E-04	-3.006	6.170E-04	-3.210	6.256E-01	-.204
5	Mg+2	2.0	2.074E-03	-2.683	1.309E-03	-2.883	6.313E-01	-.200
6	Na+	1.0	2.725E-03	-2.565	2.416E-03	-2.617	8.868E-01	-.052
7	K+	1.0	2.971E-04	-3.527	2.624E-04	-3.581	8.831E-01	-.054
14	Cl-	-1.0	2.727E-03	-2.564	2.408E-03	-2.618	8.831E-01	-.054
15	CO3-2	-2.0	1.575E-06	-5.803	9.863E-07	-6.006	6.260E-01	-.203
16	SO4-2	-2.0	2.443E-03	-2.612	1.518E-03	-2.819	6.213E-01	-.207
31	OH-	-1.0	1.424E-07	-6.847	1.261E-07	-6.899	8.854E-01	-.053
33	H2 AQ	.0	3.228E-26	-25.491	3.239E-26	-25.490	1.003E+00	.001
34	HCO3-	-1.0	1.657E-03	-2.781	1.474E-03	-2.832	8.895E-01	-.051
35	H2CO3	.0	2.274E-04	-3.643	2.282E-04	-3.642	1.003E+00	.001
77	CaHCO3+	1.0	1.258E-05	-4.900	1.119E-05	-4.951	8.895E-01	-.051
78	CaSO4	.0	1.823E-04	-3.739	1.829E-04	-3.738	1.003E+00	.001
87	MgHCO3+	1.0	2.525E-05	-4.598	2.236E-05	-4.651	8.854E-01	-.053
88	MgSO4	.0	4.379E-04	-3.359	4.394E-04	-3.357	1.003E+00	.001
100	KSO4-	-1.0	3.093E-06	-5.510	2.739E-06	-5.562	8.854E-01	-.053

1STEP NUMBER 4  
 0-----  
 0 .700 = FRACTION OF SOLUTION 1. .300 = FRACTION OF SOLUTION 2.

-----  
 TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS  
 -----

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.175741D-03	-2.9297
Mg	2.723544D-03	-2.5649
Na	2.747870D-03	-2.5610
K	3.002038D-04	-3.5226
Cl	2.701605D-03	-2.5684
C	1.999801D-03	-2.6990

S 3.304236D-03 -2.4809

---- LOOK MIN IAP ----

PHASE	LOG IAP	LOG KT	LOG IAP/KT
Calcite	-9.2011	-8.4705	-.7305
Aragonit	-9.2011	-8.3255	-.8755
Dolomite	-18.0435	-17.0508	-.9927
Gypsum	-6.0150	-4.5806	-1.4343
Anhydrit	-6.0148	-4.3542	-1.6605
PCO2	-3.6324	-1.4480	-2.1845
O2 gas	-41.9289	-2.9523	-38.9766
H2 gas	-25.4983	-3.1427	-22.3556

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.175741D-03	-2.9297
Mg	2.723544D-03	-2.5649
Na	2.747870D-03	-2.5610
K	3.002038D-04	-3.5226
Cl	2.701605D-03	-2.5684
C	1.999801D-03	-2.6990
S	3.304236D-03	-2.4809

----DESCRIPTION OF SOLUTION----

PH = 7.1778  
 PE = 4.0000  
 ACTIVITY H2O = .9998  
 IONIC STRENGTH = .0153  
 TEMPERATURE = 23.3200  
 ELECTRICAL BALANCE = -2.3516D-04  
 THOR = 2.7825D-02  
 TOTAL ALKALINITY = 1.7718D-03  
 ITERATIONS = 20

-----  
 DISTRIBUTION OF SPECIES  
 -----

I	SPECIES	Z	MOLALITY	LOG MOLAL	ACTIVITY	LOG ACT	GAMMA	LOG GAM
1	H+	1.0	7.515E-08	-7.124	6.641E-08	-7.178	8.336E-01	-.054
2	E-	-1.0	1.000E-04	-4.000	1.000E-04	-4.000	1.000E+00	.000

3 H2O	.0	9.998E-01	.000	9.998E-01	.000	1.000E+00	.000
4 Ca+2	2.0	9.726E-04	-3.012	6.039E-04	-3.219	6.209E-01	-.207
5 Mg+2	2.0	2.201E-03	-2.657	1.379E-03	-2.860	6.267E-01	-.203
6 Na+	1.0	2.724E-03	-2.565	2.411E-03	-2.618	8.850E-01	-.053
7 K+	1.0	2.969E-04	-3.527	2.616E-04	-3.582	8.812E-01	-.055
14 Cl-	-1.0	2.702E-03	-2.568	2.381E-03	-2.623	8.812E-01	-.055
15 CO3-2	-2.0	1.677E-06	-5.775	1.042E-06	-5.982	6.213E-01	-.207
16 SO4-2	-2.0	2.596E-03	-2.586	1.601E-03	-2.796	6.164E-01	-.210
31 OH-	-1.0	1.500E-07	-6.824	1.326E-07	-6.878	8.836E-01	-.054
33 H2 AQ	.0	3.164E-26	-25.500	3.175E-26	-25.498	1.004E+00	.002
34 HCO3-	-1.0	1.721E-03	-2.764	1.528E-03	-2.816	8.878E-01	-.052
35 H2CO3	.0	2.323E-04	-3.634	2.331E-04	-3.632	1.004E+00	.002
77 CaHCO3+	1.0	1.291E-05	-4.889	1.146E-05	-4.941	8.878E-01	-.052
78 CaSO4	.0	1.892E-04	-3.723	1.898E-04	-3.722	1.004E+00	.002
87 MgHCO3+	1.0	2.770E-05	-4.557	2.448E-05	-4.611	8.836E-01	-.054
88 MgSO4	.0	4.937E-04	-3.307	4.954E-04	-3.305	1.004E+00	.002
100 KSO4-	-1.0	3.184E-06	-5.484	2.902E-06	-5.537	8.836E-01	-.054

1 STEP NUMBER 5

0-----

0 .600 = FRACTION OF SOLUTION 1.

.400 = FRACTION OF SOLUTION 2.

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.150841D-03	-2.9390
Mg	3.464667D-03	-2.4603
Na	2.750172D-03	-2.5606
K	3.002366D-04	-3.5225
Cl	2.601788D-03	-2.5847
C	2.288559D-03	-2.6404
S	4.175567D-03	-2.3793

---- LOOK MIN IAP ----

PHASE	LOG IAP	LOG KT	LOG IAP/KT
Calcite	-9.1495	-8.4830	-.6665
Aragonit	-9.1495	-8.3396	-.8099
Dolomite	-17.8309	-17.1030	-.7280
Gypsum	-5.9729	-4.5811	-1.3918
Anhydrit	-5.9726	-4.3632	-1.6094
PCO2	-3.5970	-1.4745	-2.1225
CO2 gas	-41.1460	-2.9625	-38.1835
H2 gas	-25.5269	-3.1524	-22.3745

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.150841D-03	-2.9390
Mg	3.464667D-03	-2.4603
Na	2.750172D-03	-2.5606
K	3.002366D-04	-3.5225
Cl	2.601788D-03	-2.5847
C	2.288559D-03	-2.6404
S	4.175567D-03	-2.3793

----DESCRIPTION OF SOLUTION----

PH = 7.1873  
PE = 4.0000  
ACTIVITY H2O = .9997  
IONIC STRENGTH = .0174  
TEMPERATURE = 25.5600  
ELECTRICAL BALANCE = -7.1372D-04  
THOR = 3.4208D-02  
TOTAL ALKALINITY = 2.0423D-03  
ITERATIONS = 18

-----  
DISTRIBUTION OF SPECIES  
-----

I	SPECIES	Z	MOLALITY	LOG MOLAL	ACTIVITY	LOG ACT	GAMMA	LOG GAM
1	H+	1.0	7.408E-08	-7.130	6.498E-08	-7.187	8.771E-01	-.057
2	E-	-1.0	1.000E-04	-4.000	1.000E-04	-4.000	1.000E+00	.000
3	H2O	.0	9.997E-01	.000	9.997E-01	.000	1.000E+00	.000
4	Ca+2	2.0	9.227E-04	-3.035	5.572E-04	-3.254	6.039E-01	-.219
5	Mg+2	2.0	2.683E-03	-2.571	1.637E-03	-2.786	6.102E-01	-.215
6	Na+	1.0	2.722E-03	-2.565	2.391E-03	-2.621	8.786E-01	-.056
7	K+	1.0	2.962E-04	-3.528	2.590E-04	-3.587	8.743E-01	-.058
14	Cl-	-1.0	2.602E-03	-2.585	2.275E-03	-2.643	8.743E-01	-.058
15	CO3-2	-2.0	2.105E-06	-5.677	1.272E-06	-5.896	6.042E-01	-.219
16	SO4-2	-2.0	3.191E-03	-2.496	1.911E-03	-2.719	5.989E-01	-.223
31	OH-	-1.0	1.832E-07	-6.737	1.607E-07	-6.794	8.771E-01	-.057
33	H2 AQ	.0	2.960E-26	-25.529	2.972E-26	-25.527	1.004E+00	.002
34	HCO3-	-1.0	1.977E-03	-2.704	1.743E-03	-2.759	8.817E-01	-.055
35	H2CO3	.0	2.519E-04	-3.599	2.529E-04	-3.597	1.004E+00	.002
77	CaHCO3+	1.0	1.417E-05	-4.849	1.249E-05	-4.903	8.817E-01	-.055
78	CaSO4	.0	2.128E-04	-3.672	2.136E-04	-3.670	1.004E+00	.002
87	MgHCO3+	1.0	3.816E-05	-4.418	3.347E-05	-4.475	8.771E-01	-.057
88	MgSO4	.0	7.412E-04	-3.130	7.442E-04	-3.128	1.004E+00	.002
100	KSO4-	-1.0	4.024E-06	-5.395	3.529E-06	-5.452	8.771E-01	-.057

1STEP NUMBER 6

0-----

0 .550 = FRACTION OF SOLUTION 1. .450 = FRACTION OF SOLUTION 2.

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.138391D-03	-2.9437
Mg	3.835228D-03	-2.4162
Na	2.751323D-03	-2.5605
K	3.002529D-04	-3.5225
Cl	2.551880D-03	-2.5931
C	2.432938D-03	-2.6139
S	4.611232D-03	-2.3362

---- LOOK MIN IAP ----

PHASE	LOG IAP	LOG KT	LOG IAP/KT
Calcite	-9.1274	-8.4895	-.6378
Aragonit	-9.1274	-8.3469	-.7804
Dolomite	-17.7402	-17.1288	-.6114
Gypsum	-5.9577	-4.5815	-1.3762
Anhydrit	-5.9575	-4.3683	-1.5892
PCO2	-3.5802	-1.4874	-2.0928
O2 gas	-40.7645	-2.9676	-37.7969
H2 gas	-25.5383	-3.1572	-22.3811

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.138391D-03	-2.9437
Mg	3.835228D-03	-2.4162
Na	2.751323D-03	-2.5605
K	3.002529D-04	-3.5225
Cl	2.551880D-03	-2.5931
C	2.432938D-03	-2.6139
S	4.611232D-03	-2.3362

----DESCRIPTION OF SOLUTION----

PH =	7.1905
PE =	4.0000
ACTIVITY H2O =	.9997
IONIC STRENGTH =	.0185
TEMPERATURE =	26.6800
ELECTRICAL BALANCE =	-9.5300D-04
THOR =	3.7399D-02
TOTAL ALKALINITY =	2.1776D-03

-----  
 DISTRIBUTION OF SPECIES  
 -----

I	SPECIES	Z	MOLALITY	LOG MOLAL	ACTIVITY	LOG ACT	GAMMA	LOG GAM
1	H+	1.0	7.377E-08	-7.132	6.449E-08	-7.191	8.741E-01	-.058
2	E-	-1.0	1.000E-04	-4.000	1.000E-04	-4.000	1.000E+00	.000
3	H2O	.0	9.997E-01	.000	9.997E-01	.000	1.000E+00	.000
4	Ca+2	2.0	8.998E-04	-3.046	5.365E-04	-3.270	5.963E-01	-.225
5	Mg+2	2.0	2.910E-03	-2.536	1.754E-03	-2.756	6.028E-01	-.220
6	Na+	1.0	2.720E-03	-2.565	2.382E-03	-2.623	8.757E-01	-.058
7	K+	1.0	2.959E-04	-3.529	2.577E-04	-3.589	8.711E-01	-.060
14	Cl-	-1.0	2.552E-03	-2.593	2.223E-03	-2.653	8.711E-01	-.060
15	CO3-2	-2.0	2.330E-06	-5.633	1.390E-06	-5.857	5.966E-01	-.224
16	SO4-2	-2.0	3.477E-03	-2.459	2.055E-03	-2.687	5.911E-01	-.228
31	OH-	-1.0	2.014E-07	-6.696	1.760E-07	-6.754	8.741E-01	-.058
33	H2 AQ	.0	2.883E-26	-25.540	2.895E-26	-25.538	1.004E+00	.002
34	HCO3-	-1.0	2.104E-03	-2.677	1.849E-03	-2.733	8.789E-01	-.056
35	H2CO3	.0	2.618E-04	-3.582	2.629E-04	-3.580	1.004E+00	.002
77	CaHCO3+	1.0	1.476E-05	-4.831	1.297E-05	-4.887	8.789E-01	-.056
78	CaSO4	.0	2.226E-04	-3.653	2.235E-04	-3.651	1.004E+00	.002
87	MgHCO3+	1.0	4.376E-05	-4.359	3.825E-05	-4.417	8.741E-01	-.058
88	MgSO4	.0	8.787E-04	-3.056	8.825E-04	-3.054	1.004E+00	.002
96	NaSO4-	-1.0	2.837E-05	-4.547	2.480E-05	-4.606	8.741E-01	-.058
100	KSO4-	-1.0	4.383E-06	-5.358	3.831E-06	-5.417	8.741E-01	-.058

1STEP NUMBER 7

0-----

0 .500 = FRACTION OF SOLUTION 1.

.500 = FRACTION OF SOLUTION 2.

-----  
 TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS  
 -----

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.125942D-03	-2.9485
Mg	4.205789D-03	-2.3762
Na	2.752474D-03	-2.5603
K	3.002693D-04	-3.5225
Cl	2.501971D-03	-2.6017
C	2.577317D-03	-2.5888
S	5.046898D-03	-2.2970

---- LOOK MIN IAP ----

PHASE	LOG IAP	LOG KT	LOG IAP/KT
Calcite	-9.1072	-8.4962	-.6110

Aragonit	-9.1072	-8.3544	-.7528
Dolomite	-17.6576	-17.1544	-.5032
Gypsum	-5.9455	-4.5821	-1.3634
Anhydrit	-5.9452	-4.3738	-1.5715
PCO2	-3.5640	-1.5001	-2.0639
O2 gas	-40.3886	-2.9726	-37.4160
H2 gas	-25.5482	-3.1620	-22.3862

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.125942D-03	-2.9485
Mg	4.205789D-03	-2.3762
Na	2.752474D-03	-2.5603
K	3.002693D-04	-3.5225
Cl	2.501971D-03	-2.6017
C	2.577317D-03	-2.5888
S	5.046898D-03	-2.2970

---DESCRIPTION OF SOLUTION---

PH = 7.1931  
PE = 4.0000  
ACTIVITY H2O = .9997  
IONIC STRENGTH = .0195  
TEMPERATURE = 27.8000  
ELECTRICAL BALANCE = -1.1923D-03  
THOR = 4.0591D-02  
TOTAL ALKALINITY = 2.3128D-03  
ITERATIONS = 18

DISTRIBUTION OF SPECIES

I	SPECIES	Z	MOLALITY	LOG MOLAL	ACTIVITY	LOG ACT	GAMMA	LOG GAM
1	H+	1.0	7.357E-08	-7.133	6.410E-08	-7.193	8.713E-01	-.060
2	E-	-1.0	1.000E-04	-4.000	1.000E-04	-4.000	1.000E+00	.000
3	H2O	.0	9.997E-01	.000	9.997E-01	.000	1.000E+00	.000
4	Ca+2	2.0	8.780E-04	-3.057	5.173E-04	-3.286	5.892E-01	-.230
5	Mg+2	2.0	3.128E-03	-2.505	1.865E-03	-2.729	5.960E-01	-.225
6	Na+	1.0	2.719E-03	-2.566	2.374E-03	-2.625	8.729E-01	-.059
7	K+	1.0	2.955E-04	-3.529	2.566E-04	-3.591	8.682E-01	-.061
14	Cl-	-1.0	2.502E-03	-2.602	2.172E-03	-2.663	8.682E-01	-.061
15	CO3-2	-2.0	2.562E-06	-5.591	1.510E-06	-5.821	5.895E-01	-.229
16	SO4-2	-2.0	3.756E-03	-2.425	2.193E-03	-2.659	5.839E-01	-.234
31	OH-	-1.0	2.208E-07	-6.656	1.924E-07	-6.716	8.713E-01	-.060
33	H2 AQ	.0	2.817E-26	-25.550	2.830E-26	-25.548	1.004E+00	.002
34	HCO3-	-1.0	2.231E-03	-2.651	1.955E-03	-2.709	8.763E-01	-.057

35 H2CO3	.0	2.717E-04	-3.566	2.729E-04	-3.564	1.004E+00	.002
77 CaHCO3+	1.0	1.533E-05	-4.814	1.343E-05	-4.872	8.763E-01	-.057
78 CaSO4	.0	2.312E-04	-3.636	2.323E-04	-3.634	1.004E+00	.002
87 MgHCO3+	1.0	4.961E-05	-4.304	4.322E-05	-4.364	8.713E-01	-.060
88 MgSO4	.0	1.025E-03	-2.989	1.029E-03	-2.987	1.004E+00	.002
96 NaSO4-	-1.0	3.047E-05	-4.516	2.655E-05	-4.576	8.713E-01	-.060
100 KSO4-	-1.0	4.736E-06	-5.325	4.126E-06	-5.384	8.713E-01	-.060

1STEP NUMBER 8  
0-----  
0 .400 = FRACTION OF SOLUTION 1. .600 = FRACTION OF SOLUTION 2.

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS  
-----

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.101042D-03	-2.9582
Mg	4.946912D-03	-2.3057
Na	2.754776D-03	-2.5599
K	3.003020D-04	-3.5224
Cl	2.402154D-03	-2.6194
C	2.866074D-03	-2.5427
S	5.918229D-03	-2.2278

---- LOOK MIN IAP ----

PHASE	LOG IAP	LOG KT	LOG IAP/KT
Calcite	-9.0718	-8.5100	-.5618
Aragonit	-9.0718	-8.3698	-.7020
Dolomite	-17.5122	-17.2050	-.3072
Gypsum	-5.9276	-4.5838	-1.3439
Anhydrit	-5.9274	-4.3858	-1.5415
PCO2	-3.5330	-1.5249	-2.0082
O2 gas	-39.6514	-2.9825	-36.6689
H2 gas	-25.5647	-3.1714	-22.3932

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS  
-----

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.101042D-03	-2.9582
Mg	4.946912D-03	-2.3057
Na	2.754776D-03	-2.5599
K	3.003020D-04	-3.5224
Cl	2.402154D-03	-2.6194
C	2.866074D-03	-2.5427
S	5.918229D-03	-2.2278

PH = 7.1966  
 PE = 4.0000  
 ACTIVITY H2O = .9997  
 IONIC STRENGTH = .0214  
 TEMPERATURE = 30.0400  
 ELECTRICAL BALANCE = -1.6708D-03  
 THOR = 4.6974D-02  
 TOTAL ALKALINITY = 2.5833D-03  
 ITERATIONS = 20

---DESCRIPTION OF SOLUTION---

-----  
 DISTRIBUTION OF SPECIES  
 -----

I	SPECIES	Z	MOLALITY	LOG MOLAL	ACTIVITY	LOG ACT	GAMMA	LOG GAM
---	---------	---	----------	-----------	----------	---------	-------	---------

1	H+	1.0	7.341E-08	-7.158	6.359E-08	-7.197	8.662E-01	-.062
2	H-	-1.0	1.000E-04	-4.000	1.000E-04	-4.000	1.000E+00	.000
3	H2O	.0	9.997E-01	.000	9.997E-01	.000	1.000E+00	.000
4	Ca+2	2.0	8.373E-04	-3.077	4.627E-04	-3.316	5.765E-01	-.239
5	Mg+2	2.0	3.540E-03	-2.451	2.066E-03	-2.685	5.835E-01	-.234
6	Na+	1.0	2.717E-03	-2.566	2.358E-03	-2.627	8.679E-01	-.062
7	K+	1.0	2.949E-04	-3.530	2.544E-04	-3.594	8.627E-01	-.064
14	Cl-	-1.0	2.402E-03	-2.619	2.072E-03	-2.684	8.627E-01	-.064
15	CO3-2	-2.0	3.045E-06	-5.516	1.756E-06	-5.755	5.767E-01	-.239
16	SO4-2	-2.0	4.291E-03	-2.367	2.449E-03	-2.611	5.707E-01	-.244
31	OH-	-1.0	2.634E-07	-6.579	3.282E-07	-6.643	8.662E-01	-.062
33	H2AO	.0	2.711E-26	-25.567	2.725E-26	-25.565	1.005E+00	.002
34	HCO3-	-1.0	2.484E-03	-2.605	2.165E-03	-2.665	8.714E-01	-.060
35	H2CO3	.0	2.916E-04	-3.535	2.931E-04	-3.533	1.005E+00	.002
77	CAHCO3+	1.0	1.639E-05	-4.785	1.428E-05	-4.845	8.714E-01	-.060
78	CASO4	.0	2.458E-04	-3.609	2.470E-04	-3.607	1.005E+00	.002
87	MgHCO3+	1.0	6.196E-05	-4.208	5.365E-05	-4.270	8.662E-01	-.062
88	MgSO4	.0	1.341E-03	-2.873	1.348E-03	-2.870	1.005E+00	.002
96	NaSO4-	-1.0	3.448E-05	-4.462	2.967E-05	-4.525	8.662E-01	-.062
100	KSO4-	-1.0	5.424E-06	-5.266	4.698E-06	-5.328	8.662E-01	-.062

.800 = FRACTION OF SOLUTION 2.

-----  
 TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS  
 -----

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.051243D-03	-2.9783
Mg	6.4429157D-03	-2.1918
Na	2.759380D-03	-2.5592

K	3.003675D-04	-3.5223
Cl	2.202521D-03	-2.6571
C	3.443589D-03	-2.4630
S	7.660891D-03	-2.1157

---- LOOK MIN IAP ----

PHASE	LOG IAP	LOG KT	LOG IAP/KT
Calcite	-9.0165	-8.5397	-.4768
Aragonit	-9.0165	-8.4026	-.6140
Dolomite	-17.2798	-17.3040	.0242
Gypsum	-5.9101	-4.5887	-1.3214
Anhydrit	-5.9098	-4.4143	-1.4955
PCO2	-3.4763	-1.5718	-1.9045
O2 gas	-38.2249	-3.0018	-35.2231
H2 gas	-25.5890	-3.1899	-22.3991

TOTAL MOLALITIES OF ELEMENTS

ELEMENT	MOLALITY	LOG MOLALITY
Ca	1.051243D-03	-2.9783
Mg	6.429157D-03	-2.1918
Na	2.759386D-03	-2.5592
K	3.003675D-04	-3.5223
Cl	2.202521D-03	-2.6571
C	3.443589D-03	-2.4630
S	7.660891D-03	-2.1157

----DESCRIPTION OF SOLUTION----

PH =	7.1996
PE =	4.0000
ACTIVITY H2O =	.9996
IONIC STRENGTH =	.0245
TEMPERATURE =	34.5200
ELECTRICAL BALANCE =	-2.6279D-03
THOR =	5.9740D-02
TOTAL ALKALINITY =	3.1243D-03
ITERATIONS =	21

-----  
DISTRIBUTION OF SPECIES  
-----

I	SPECIES	M	MOLALITY	LOG MOLAL	ACTIVITY	LOG ACT	GAMMA	LOG GAM
---	---------	---	----------	-----------	----------	---------	-------	---------

1	H+	1.0	7.367E-08	-7.133	6.316E-08	-7.200	8.574E-01	-.067
2	E-	-1.0	1.000E-04	-4.000	1.000E-04	-4.000	1.000E+00	.000
3	H2O	.0	9.996E-01	.000	9.996E-01	.000	1.000E+00	.000
4	Ca+2	2.0	7.649E-04	-3.116	4.245E-04	-3.372	5.550E-01	-.256
5	Mg+2	2.0	4.273E-03	-2.369	2.405E-03	-2.619	5.629E-01	-.250
6	Na+	1.0	2.713E-03	-2.566	2.331E-03	-2.632	8.593E-01	-.066
7	K+	1.0	2.936E-04	-3.532	2.506E-04	-3.601	8.534E-01	-.069
14	Cl-	-1.0	2.203E-03	-2.657	1.880E-03	-2.726	8.534E-01	-.069
15	CO3-2	-2.0	4.084E-06	-5.389	2.268E-06	-5.644	5.552E-01	-.256
16	SO4-2	-2.0	5.285E-03	-2.277	2.899E-03	-2.538	5.486E-01	-.261
31	OH-	-1.0	3.668E-07	-6.436	3.145E-07	-6.502	8.574E-01	-.067
33	H2 AQ	.0	2.562E-26	-25.591	2.576E-26	-25.589	1.006E+00	.002
34	HCO3-	-1.0	2.988E-03	-2.525	2.579E-03	-2.589	8.632E-01	-.064
35	H2CO3	.0	3.321E-04	-3.479	3.340E-04	-3.476	1.006E+00	.002
77	CaHCO3+	1.0	1.823E-05	-4.739	1.573E-05	-4.803	8.632E-01	-.064
78	CaSO4	.0	2.661E-04	-3.575	2.677E-04	-3.572	1.006E+00	.002
87	MgHCO3+	1.0	8.911E-05	-4.050	7.640E-05	-4.117	8.574E-01	-.067
88	MgSO4	.0	2.061E-03	-2.686	2.073E-03	-2.683	1.006E+00	.002
96	NaSO4-	-1.0	4.189E-05	-4.378	3.592E-05	-4.445	8.574E-01	-.067
100	KS04-	-1.0	6.746E-06	-5.171	5.784E-06	-5.238	8.574E-01	-.067