

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

FACULTAD DE INGENIERIA

"ACTUALIZACION GEOHIDROLOGICA DEL VALLE DE AHUALULCO EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSI"

TRABAJO RECEPCIONAL

que para obtener el título de:
INGENIERO GEOLOGO

PRESENTA:

Héctor Manuel Méndez Montealvo

SAN LUIS POTOSI, S. L. P., AGOSTO DE 1998





UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
FACULTAD DE INGENIERIA
Dr. Manuel Nava Na. 8 Zona Universitaria
Teléfonos: 13-11-86, 13-52-38, 13-63-35 y 13-82-22
Fax: (48) 13-09-24
78290, San Luis Potosí, S. L. P., México

JUNIO 27, 1996.

Al Pasante Señor Hector Manuel Méndez Montealvo
P r e s e n t e .-

En atención a su solicitud de autorización de Temario, presentada por la Ing. Leticia Padilla Sánchez, Asesor del Trabajo Recepcional que desarrollará Usted, con el objeto de sustentar Examen Profesional en la Licenciatura de Ingeniero Geólogo. Me es grato comunicarle que en la Sesión de Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 27 de Junio del presente año, fué aprobado el Temario propuesto:


"ACTUALIZACION GEOHIDROLOGICA DEL VALLE DE AHUALULCO EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSI"

TEMARIO:

- I.- INTRODUCCION
 - II.- GEOLOGIA
 - III.- CLIMATOLOGIA
 - IV.- GEOHIDROLOGIA
 - V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA

Ruego a Usted tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesionales, debe prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar su Examen Profesional.

" MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO "



ING. DAVID ATISHA CASTILLO AUTONOMA
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
SAN LUIS POTOSI
DIRECCION

'real.

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION	1
1.1 <i>Antecedentes</i>	1
1.2 <i>Objetivos</i>	3
1.3 <i>Localización del Area de Estudio</i>	4
1.4 <i>Vías de Comunicación y Servicios</i>	4
1.5 <i>Población, Educación, Cultura y Deporte</i>	5
1.6 <i>Flora y Fauna</i>	7
1.7 <i>Fisiografía</i>	7
2. GEOLOGIA	8
2.1 <i>Estratigrafía</i>	8
2.2 <i>Geología Estructural</i>	23
2.3 <i>Historia Geológica</i>	25
3. CLIMATOLOGIA	28
3.1 <i>Localización de Estaciones Climatológicas</i>	29
3.2 <i>Precipitación Media Anual</i>	30
3.2.1 <i>Promedio Aritmético</i>	31
3.2.2 <i>Polígonos de Thiessen</i>	32
3.3 <i>Evaporación y Temperatura</i>	35
3.3.1 <i>Evaporación</i>	35
3.3.2 <i>Temperatura</i>	37
4. GEOHIDROLOGIA	38
4.1 <i>Unidades Hidrogeológicas</i>	38
4.2 <i>Aprovechamientos Hidráulicos Subterráneos</i>	38
4.3 <i>Tipos de Acuíferos.</i>	39

	Pág.
4.4 <i>Piezometría</i>	41
4.4.1 <i>Curvas de Igual Profundidad al Nivel Estático</i>	44
4.4.2 <i>Curvas de Igual Elevación al Nivel Estático</i>	48
4.4.3 <i>Hidrógrafo de Pozos a Cielo Abierto (Norias)</i>	53
4.4.4 <i>Curvas de Igual Evolución al Nivel Estático</i>	54
4.5 <i>Hidrogeoquímica</i>	55
4.5.1 <i>Resultados de Análisis Químicos</i>	56
4.5.2 <i>Calidad del Agua</i>	59
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
BIBLOGRAFIA	74

ILUSTRACIONES

FIGURA:	Entre Págs.
Figura 1.1 Localización del Area de Estudio	4-5

TABLAS:	Pág.
Tabla 2.1 Tabla de Correlación Estratigráfica de la Cuenca de Ahualulco, SLP.	9
Tabla 3.1 Ubicación Geográfica de las Estaciones Climatológicas que Influyen en la Cuenca de Ahualulco, SLP.	30
Tabla 3.2 Valores de Precipitación Anuales y Cálculos de Promedio Aritmético.	32
Tabla 3.3 Resultados Obtenidos por el Método de los Poligonos Thiessen para el Año de 1996	34
Tabla 3.4 Resultados Obtenidos por el Método de los Poligonos Thiessen para el Año de 1997.	35
Tabla 3.5 Valores de Evaporación Anual en mm/año.	36
Tabla 3.6 Valores del Promedio Anual de Temperatura en ° C .	37
Tabla 4.1 Elevación del Brocal y Localización Geográfica (Norias).	42
Tabla 4.2 Listado General de los Pozos (incluyendo los Pilotos) en la Cuenca de Ahualulco, SLP.	43
Tabla 4.3 Profundidad y Evolución del Nivel Estático, Cuenca de Ahualulco, SLP.	47
Tabla 4.4 Lectura Piezométrica de los Pozos.	48
Tabla 4.5 De Elevación y Evolución al Nivel Estático de los Meses de Octubre de 1996 y Noviembre de 1997 en las Norias.	51
Tabla 4.6 Elevaciones y Evolución del Nivel Estático de los Meses de Octubre de 1996 Y Noviembre de 1997 en los Pozos.	52
Tabla 4.7 Valores de los Resultados de Análisis Fisicoquímicos de los Pozos Enero de 1997.	57
Tabla 4.8 Resultados de los Análisis Fisicoquímicos de las Norias Enero de 1997.	57
Tabla 4.10 Valores Aceptados de % de Error en Relación con la Composición.	58

ANEXOS:

TABLAS:

Tablas 4.9.1 al 4.9.14	ANALISIS Y CLASIFICACIÓN HIDROGEOQUIMICA
Tablas 4.11.1 AL 4.11.4	DIAGRAMAS SEMILOGARÍTMICOS DE ANALISIS DE AGUA

FIGURAS:

- Figura 4.1** BLOQUE DIAGRAMÁTICO DEL VALLE DE AHUALULCO
- Figura 4.2** SECCIÓN GEOHIDROLÓGICA NE -SW DEL VALLE DE AHUALULCO VIENDO HACIA EL NOROESTE
- Figuras 4.3 y 4.4** DIAGRAMA TRIANGULAR PARA LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE ANÁLISIS DE AGUA

LAMINAS:

- Laminas 4.1 a 4.5** HIDRÓGRAFO DE POZOS A CIELO ABIERTO (NORIAS)

PLANOS:

- Plano 2.1** Plano Geológico del Area de Estudio
- Plano 3.1** Ubicación de las Estaciones Climatológicas que Influyen en la Cuenca de Ahualulco, SLP.
- Plano 4.1** Localización de Pozos y Norias
- Plano 4.1** Profundidad del Nivel Estático del Mes de Junio de 1997 (Norias)
- Plano 4.1** Profundidad del Nivel Estático Mes de Febrero de 1997 (Pozos)
- Plano 4.4** Elevación al Nivel Estático del Mes de Octubre de 1996 (Norias)
- Plano 4.5** Elevación al Nivel Estático del Mes de Noviembre de 1997 (Norias)
- Plano 4.6** Elevación al Nivel Estático Mes de Octubre de 1996 (Pozos)
- Plano 4.7** Elevación del Nivel Estático Mes de Febrero de 1997 (Pozos)
- Plano 4.8** Evolución del Nivel Estático Octubre de 1996 a Noviembre de 1997 (Norias)
- Plano 4.9** Curvas de Igual Valor de HCO_3^- Febrero de 1997 (Pozos)
- Plano 4.10** Curvas de Igual Valor de SO_4^{--} Febrero de 1997 (Pozos)
- Plano 4.11** Curvas de Igual Valor de K^+ Febrero de 1997 (Pozos)
- Plano 4.12** Curvas de Igual Valor de Ca^{++} Febrero de 1997 (Pozos)
- Plano 4.13** Curvas de Igual Valor de Mg^{++} Febrero de 1997 (Pozos)
- Plano 4.14** Curvas de Igual Valor de SO_4^{--} Febrero de 1997 (Norias)
- Plano 4.15** Curvas de Igual Valor de K^+ Febrero de 1997 (Norias)

MI GRATITUD A:

Ing. Leticia Padilla Sánchez.

Ing. Víctor Julian Martínez Ruiz.

Ing. J.J López.

Ing. Armando Ontiveros.

Ing. Jorge Fabián Mancilla Franco.

Ing. Genaro de la Campa (†).

Ing. Claudia Monsivais (†).

Yolanda Carbajal Méndez.

Comisión Nacional del Agua.

Instituto de Geología de la UASLP.

Estación Central de Monitoreo.

Area de Ciencias de la Tierra, de la Facultad de Ingeniería, UASLP.

Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ingeniería de la UASLP.

En Especial al Cuerpo de Maestros de la Facultad de Ingeniería de la UASLP.

Por Toda la asesoría, Compresión, apoyo y ayuda que me proporcionaron en la elaboración de este Trabajo Recepcional.

DEDICO CON CARÍÑO ESTE TRABAJO RECEPCIONAL:

DIOS EN PRIMER LUGAR

A MIS PADRES

JOSE CIRILO MENDEZ GOMEZ.

Ma DEL CARMEN MONTEALVO DE MENDEZ.

A MIS HERMANOS

**JOSE DE JESUS, LUIS ENRIQUE, SALVADOR. Ma GUADALUPE
DEL CARMEN Y ANGELICA MENDEZ MONTEALVO.**

A MIS SOBRINOS

**JOSHUA, TAMMIE, TABATHA MENDEZ CORONADO Y A LUIS
ENRIQUE MENDEZ ELIZONDO.**

**A TODOS MIS FAMILIARES, AMIGOS, AMIGAS Y A LA SOCIEDAD.
QUE ME APOYARON MORALMENTE.**

1. INTRODUCCION

En la actualidad la población mundial requiere de mayores cantidades de agua para satisfacer sus necesidades industriales, ganaderas, y agrícolas, por eso este tema es de suma importancia, ya que cada día es más difícil su abastecimiento pues en su mayoría proviene de los mantos acuíferos subterráneos.

El estado de San Luis Potosí no se escapa a esta problemática, pues la distribución regional del estado abarca zonas de diversas condiciones climatológicas pero con un predominio a lo semiárido, tal es el caso en donde se desarrolla este trabajo, debido a que las precipitaciones pluviales son muy irregulares, y en los últimos años las condiciones agrícolas y ganaderas en el Valle de Ahualulco, se han visto afectados debido a las sequías prolongadas, ya que esta región depende en gran parte de los depósitos de agua subterránea.

El uso de este vital líquido así como el manejo del mismo requiere de constantes estudios que, actualicen mediante la creación de un banco de datos hidrológicos, información que ayude a la construcción de unos modelos matemáticos que sean cada vez más veraces y así, en un futuro poder ver la evolución del agua subterránea.

1.1 Antecedentes

El altiplano potosino, se encuentra enclavado en la región de la mesa central, de la República Mexicana donde prevalecen condiciones climáticas semiáridas. El agua superficial es un elemento estacional y escaso durante el año, lo que hace que sea más importante el estudio del agua subterránea, sobre todo para el desarrollo de la

población, lo que ha originado que se lleven a cabo estudios y proyectos relacionados con la conducción y distribución de la misma.

Por esta razón se realizó una recopilación de la información del área de estudio encontrándose que esta es suficiente en el marco geológico, pero escasa en lo referente a la geohidrología.

En el año de 1981, Labarthé y Tristán del Instituto de Geología de UASLP, realiza la Cartografía Geológica de la hoja de Ahualulco, SLP, con el fin de continuar con la cartografía de las rocas volcánicas del Cenozoico, para definir mejor su estratigrafía y estructura el que servirá de base para estudios posteriores de tipo geológico y económico de la zona.

La Revisión Estratigráfica del Cenozoico de la Porción SW del Estado de SLP, con el fin de tener una cartografía geológica confiable de las rocas volcánicas del Cenozoico y un mejor conocimiento de la evolución magmática y estructural del área, la cual esta incluida en la hoja Ahualulco.

En 1991 el Ing Víctor Julián Martínez del mismo Instituto de Geología llevó a cabo el Estudio Geohidrológico del Valle de Ahualulco, SLP. Con la finalidad de definir el marco geológico donde se encuentran contenidos los acuíferos, la geometría de estos, su distribución vertical y horizontal, sus rendimientos, sus zonas de recarga y descarga, la calidad química del agua de los diferentes tipos acuíferos y su explotación, así como seleccionar áreas nuevas geohidrológicamente favorables.

En 1995, Labarthé, Jiménez López y Aranda Gómez, del mismo Instituto realiza la Reintepretación de la Geología del Centro Volcánico de la Sierra de Ahualulco. Con la finalidad de: 1) proporcionar una descripción objetiva de la sierra volcánica expuesta en la sierra de Ahualulco, 2) presentar un mapa geológico más detallado

de la región a escala 1: 250,00 y 3) ofrecer una nueva interpretación acerca de la fuente de material volcánico.

Además se contó con al cartografía obtenida de INEGI (Instituto Nacional de Estadística e Informática), correspondiente a la hoja topográfica del área de Ahualulco escala 1:50,000 y a la hoja climatológica de la misma escala.

También se solicitaron por escrito datos del censo de aprovechamientos Hidráulicos del área, así como datos climatológicos de las estaciones que abarca la cuenca, a la CNA (Comisión Nacional del Agua).

1.2 Objetivos

El objetivo de este trabajo es llevar a cabo una actualización geohidrológica del sistema acuífero subterráneo en la Cuenca de Ahualulco, SLP, con la finalidad de:

- Determinar movimientos del flujo del agua subterránea.
- Obtener posibles zonas de recarga y de descarga.
- Continuar con el banco de datos piezométricos.
- Características fisicoquímicos del agua.
- Dar posibles alternativas de solución que de alguna manera satisfagan las necesidades de esta región.

Las investigaciones correspondientes se efectuaron considerando el esquema integral de conceptos que incluyen Geología, Hidrogeoquímica, Hidrología Superficial y Subterránea, obteniendo los posibles métodos que permitieran determinar las condiciones reales de campo. Tanto de medios granulares como fracturados ya que en esta ambas se confinan.

1.3 Localización del Area de Estudio

El municipio Ahualulco se encuentra limitado al Oeste por el estado de Zacatecas al Norte por el municipio de Moctezuma, al Este por el municipio de San Luis Potosí, y al Sur por el municipio de Mexquitic de Carmona. Las coordenadas geográficas entre las que se sitúa son: Los paralelos 21° 13' y 22° 35' latitud norte; y los meridianos 101° 31' a 101° 20' longitud oeste, La altitud registrada en la cabecera municipal es de 1902 msnm. (Figura 1.1).

Se toma esta área debido a que la mayoría de los aprovechamientos subterráneos se localizan en esta zona lo que facilitara el manejo de los planos, pero para la interpretación se utilizó toda la cuenca.

Cuenta con 52 localidades, de las cuales la mayor parte de la población se concentra en el municipio Ahualulco. Tiene una superficie de 681.6 km², la cual en relación con la región a la que pertenece, representa un 1.08 % con respecto del territorio estatal.

1.4 Vías de Comunicación y Servicios

De acuerdo con INEGI ¹ el municipio posee una red camionera importante, con una longitud total de 126.26 km, integrada a partir de 30 km, de carreteras estatales y 758.6 km, de caminos rurales. Las carreteras federales que atraviesan el municipio son: La carretera No. 49, San Luis - Zacatecas, la cual lo cruza de sur a norte la carretera estatal que lo une a la Delegación de Bocas y otra estatal sin numero que lo une al municipio de Charcas; no cuenta con estaciones de radio y de televisión; solo hay radio de transmisión directa con el Gobierno de Estado. Tiene

¹ INEGI, "Los Municipios de San Luis Potosí", Editorial INEGI, 1988, p. p. 21 - 24.

COAHUILA

NUEVO LEON

ZACATECAS

TAMAULIPAS

SAN LUIS POTOSI

VERACRUZ

AMALULCO

JALISCO

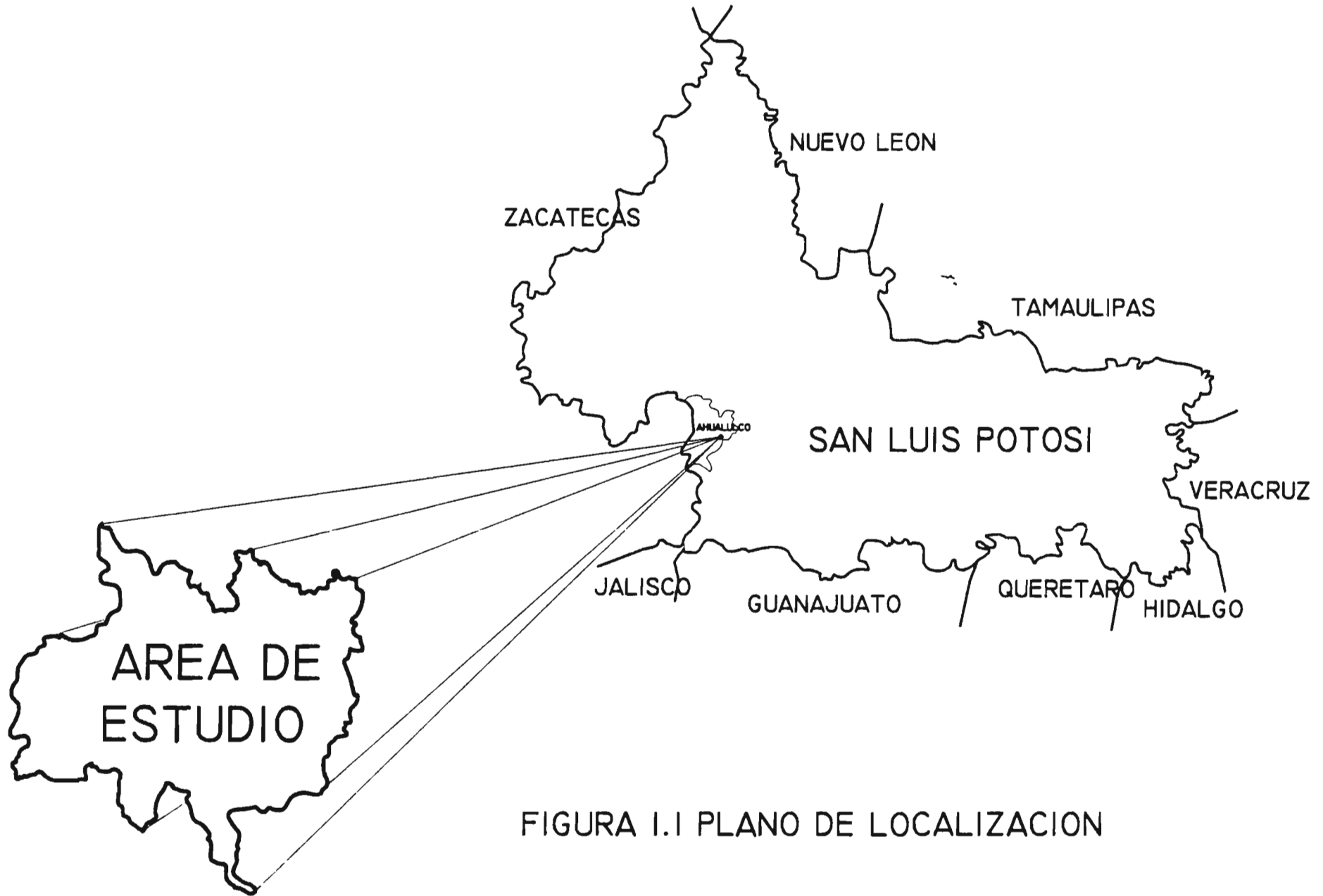
GUANAJUATO

QUERETARO

HIDALGO

AREA DE ESTUDIO

FIGURA 1.1 PLANO DE LOCALIZACION



además una administración de telégrafos y una Agencia de correos en la cabecera municipal.

Su servicio de conmutador telefónico es manual no cuenta con vialidad ni transporte urbano, el transporte con la capital de San Luis Potosí a los 31 estados se realiza a través de autobuses foráneos, taxis, etc.

Las vías férreas tienen una extensión de 31.5 Km. que es la ruta San Luis Aguascalientes, la que cruza en su parte media; cuenta con energía eléctrica en 18 comunidades, con agua potable, drenaje y alcantarillado solo en la cabecera municipal; la atención médica es prestada por un centro de salud y una unidad médico rural.

1.5 Población, Educación, Cultura y Deporte

Según datos de 1995², el municipio de Ahualulco posee una población de 17,433 habitantes que representan el 1.03 % de la población estatal. La densidad de población es de 25.53 habitantes por km², menor a la estatal, la mayor concentración se encuentra en las localidades de Ahualulco, Cerrito de Rojas, Ejido del Centro y Santa Teresa; Tiene una tasa media de crecimiento poblacional de 2.5 %, del total el 49.3% son hombres y el 50.7 % son mujeres.

El municipio cuenta con 105 comunidades en las que se proporciona la educación preescolar, primaria, secundaria, telesecundaria y colegio de bachilleres. Pero aún se tiene deficiencias, pues el 13.25 % de la población en edad escolar es analfabeta. Respecto a la recreación y al deporte se cuenta con canchas de basquetbol, fútbol y voleibol, se han creado serios problemas de vivienda debido al crecimiento demográfico, pues aproximadamente el 70 % son de adobe y tabique los techos son

² INEGI "Resultados Definitivos Tabulados Básico 1995", Editorial INEGI, Editado Octubre 1996.

de ladrillo; la mayoría solo cuenta con cocina donde usan como combustible la leña. El 99 % es de tipo particular, habitando un promedio de 5.8, personas por vivienda; las propiedades son particulares y ejidales.

La población económicamente activa del municipio asciende a 4716 habitantes lo que representan el 0.88 % de la población estatal, de los cuales 2649 habitantes se dedican al sector primario y aportan el 56.17 %, el resto lo integran 905 en otras actividades, lo que daría el 19.91 % del total.

En general se cultiva alfalfa, calabaza, col, frijol, ejote, jitomate, lechuga, maíz, ajo, cebada, zanahoria y coliflor. Se cría ganado bovino, porcino, caprino, ovino, avícola y equino.

Carece de lagunas o ríos que brinden actividades de piscicultura, pero esta se lleva a cabo por medio de siembras de diversas especies de agua dulce en presas, bordos, manantiales o granjas piscícolas, establecidas por la Secretaria de Pesca. Pero la industria es famosa por su fabricación de mezcal.

Los atractivos turísticos principales son el Cañón de Ahualulco, la presa de Santa Genoveva, el balneario de San José de Coyotillos, el casco de la ex hacienda de San Francisco Xavier de la Parada con su antiguo Convento de Jesuitas, además existen cuevas con pinturas rupestres y puntas de flecha y lascas de pedernal de la zona Chichimeca. El comercio se realiza en pequeña escala. La cabecera municipal es la plaza comercial donde existen tiendas de consumo popular, cuenta con distribución de comestibles, créditos a través del Banrural y tiendas de (CANASUPO) la Compañía Nacional de Subsistencia Populares, así como restaurantes.

1.6 Flora y Fauna

“La vegetación del área es típica de la zona templada árida. De estas asociaciones tenemos las siguientes: matorral desértico micrófilo, matorral espinoso, izotal, cardonal y pastizal; de la fauna destacan: víboras, aves de rapiña, ardillas y liebres”³

1.7 Fisiografía

La Cuenca de Ahualulco se encuentra localizada, de acuerdo con las clasificaciones de Provincias Fisiográficas establecidas por Raíz⁴ en la parte central de la provincia denominada como la Mesa Central. Representada localmente por serranías y mesetas de rocas volcánicas y sedimentarias cuyas formas topográficas de relieve suave se localizan:

Hacia el norte están Cerro Puerto, C. Las Torres, C. Zapote, C. Picacho, y C. Gordo, al este C. Picachos de las Adjuntas, C. Santa Cruz, al sur del área, Mesa La Cañada, C. la Mesota, C. la Cruz, C. El Aguila, C. El Tepozán y C. El Vigía, al oeste se encuentran Loma el Cerro Pelón, C. el Zoyate, C. La Mesa Alta, C. El Sarcido, C. El Chicharrón, y El Conchi.

Las cuales tiene alturas de alrededor 2200 msnm.

El principal escurrimiento del área es el río Justino al que se le unen los arroyos los Ricos, El Arenal y la Cruz de la Colorada. En general se tienen numerosos arroyos tributarios que en conjunto forman un drenaje dendrítico.

³ INEGI, “Los Municipios de San Luis Potosí”, Editorial INEGI, 1988, p. p. 21 –24.

⁴ Raíz, E, “Land Forms of México, Mapa con Texto”, Escala 1:3,000,000 aprox., Cambridge, Mass. 1959.

2. GEOLOGÍA

Como ya se ha mencionado en los antecedentes, en el área se han realizado varios estudios geológicos por el Instituto de Geología de la UASLP, publicados en los folletos técnicos número 70, 85 y 121. Los que corresponden a la Cartografía Geológica de la hoja Ahualulco SLP, Revisión Estratigráfica del Cenozoico de la Porción SW del Estado de San Luis Potosí y a la Reinterpretación de la Geología del Centro Volcánico de la Sierra de Ahualulco, SLP, en los años de 1981, 1982 y 1995 respectivamente, y de los cuales se hace una descripción en forma sintetizada. El área de estudio queda comprendida dentro de la Cuenca Mesozoica del Centro de México (Carrillo Bravo 1971)⁵ se estima que en general los sedimentos de la cuenca fueron depositados en aguas profundas a excepción de las calizas de la Formación Zuloaga, que se encuentra en la base del Jurásico Superior y que son de tipo de plataforma.

2.1 Estratigrafía

En la zona se tienen rocas sedimentarias del Terciario que consisten de sedimentos Clásticos Continentales del Paleoceno-Eoceno y rocas volcanoclásticas del Mioceno (?), que rellenaron algunas depresiones, donde además se encuentran sedimentos lacustres hacia el centro de ellas. (plano 2.1).

A lo correspondiente a la correlación estratigráfica del área de estudio se muestra en la siguiente tabla 2.1.

⁵ Carrillo Bravo, "La Plataforma Valles - San Luis Potosí", Bol. Asoc. Mex. Geol. Pet. Vol. 23. 1971.

TIEMPO			1.-PLATAFORMA VALLES, S.L.P.	2.-REG. DE CATORCE	3.-REG. DE CHARCAS	AREA DE ESTUDIO	
ERA	SISTEMA	PERIODO	PISO	FORMACION	FORMACION	FORMACION	
CENOZOICO	CUATERNARIO		RECIENTE	ALUVION Y	ALUVION Y BASALTOS	ALUVION	
			PLEISTOCENO	SUELOS	SUELOS	SUELO RESIDUAL	
			PLIOCENO	ROCAS IGNEAS	ANDESITAS	DEPOSITOS DE TALUD	
	TERCIARIO		MIOCENO	RIOLITAS Y BASALTOS	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	RIOLITAS
			OLIGOCENO				RIOLITA PANARILLO
			EOCENO				DOMOS RIOLITICOS
			PALEOCENO				POBIDO GRANITICO
			MAESTRICHIANO				RIOLITAS CUERVOS
			SENONIANO				TABA HERRERA LAJOLTA BATELLE
			CAMPAÑIANO				TOBA PALOS COLORADOS
MESOZOICO	CRETACICO		CARDENAS TAMASOPO	CARACOL	CARACOL	RIOLITA SAN MIGUELITO	
			CONIACIANO	300-1000 M.	CARACOL	CAJITA PORFIRITICA	
			TURONIANO	INDIURA 200 M.	INDIURA	DALITA JALVAQUEIRO	
		MEDIO	CENOMANIANO	EL ABRA TAMP. SUR	CUESTA DEL EL CURA ABRA	ANDESITAS CASITA BLANCA	
			ALBIANO	LA PENNA - GUAXCAMA	LA PENNA 180 M.	ELASTICOS CONTINENTALES	
	JURASICO	INFERIOR		BARREMIANO	TAMAULIPAS INFERIOR	TAMAULIPAS INFERIOR	FORA CLAVELLINARI
				HAUTERIVIANO	300 M +	TARAISES 115 M.	
				VALANGINIANO	LA CAJA	55 M +	
				BERRIASIANO	JURASICO NO DIFERENCIADO LA CASITA (?)	ZULOAGA	150 M +
				TITONIANO	LA JOYA	LA JOYA	50M +
SUPERIOR			BONONIANO	LA JOYA	ZACATECAS	250 M. +	
			HAVRIANO				
			SEQUANIANO				
			OXFORDIANO				
			ARGOVIANO				
PALEOZOICO			DIVESIANO				
			CALLOVIANO				
			BATHONIANO				
			BAJOCIANO				
			LIASICO				
	RETIANO						
	NORIANO						
	CARNIANO						
	LADINIANO						
	ANISIANO						
	SOYTIANO						
	PERMICO						
	CARBONIFERO						
	DEVONICO						
	SILURICO						
	ORDOVICICO						
	CAMBRICO						

[Hatched pattern] NO AFLORA

1 - J Martinez
2, 3 - R Chavez
Nota:

Los Numeros se Refieren a las Porciones del Altiplano
* Nombre Informal E. Lopez Ramos (1978)

TABLA 2.1

TABLA DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA DE LA CUENCA DE AHUALULCO, SLP.

Formación La Peña (Kip)

Cretácico Inferior (Aptiano)

Dividida en 2 miembros con un espesor total que varía de 433 a 700 m.

Miembro Inferior

Se localiza en la parte norte y al oeste de la Sierra y consta de aproximadamente 427 m, de caliza gris oscura a gris clara, con estratos lutíticos. Las superficies intemperizadas son de gris a gris amarillento.

Miembro Superior

Se parecen en gran parte a la definición del miembro inferior Imlay⁶, la describe como calizas criptocristalina de color gris a gris amarillento y rojizo, en estratos de espesor mediano a grueso con capas lenticulares y lentes de pedernal de color castaño y negro; en ocasiones tiene nódulos de hematita; alterna con lutitas calcáreas fisiles, compactas de color amarillento y rojizo que se presentan en capas de 1 a 5 cm, de espesor.

En el área estudiada aparece en el eje del anticlinal de la Parada. Esta cubierta por la Formación Cuesta del Cura, siendo su contacto concordante y transicional, es correlacionable con la Formación Tamaulipas Superior. Por su litología se estima que esta formación se depositó en un ambiente infranerítico. Su espesor en el área se desconoce, ya que no aflora su base, se le estima sea del orden de 225 m.

⁶ Imlay R.W. " Geology of the Western Part of the Sierra de Parras" Bull. Geol. Soc. AM., V . 47, USA., 1936, p. 1091 - 1152.

Formación Cuesta del Cura (Kcc)

Cretácico Medio (Albiano - Cenomaniano)

El área cartografiada consiste de calizas gris oscuro, finamente laminares, en estratos delgados a medianos, con abundantes bandas y lentes de pedernal negro y con estratificación. En ocasiones presenta delgadas capas de caliza arcillosa y lutitas calcáreas que adquieren tonalidades violáceas y rojizas por intemperismo. Su medio ambiente de depósito es de aguas profundas, probablemente en la parte superior de la zona batial. Sobreyace en el área a la Formación la Peña y subyace a la Formación Indidura, presentando con esta última un contacto concordante y ligeramente transicional.

Formación Indidura (Ksi)

Cretácico Superior (Turoniano)

Descrita originalmente por Kelly W.A. (1936), en la región de Delicias Chihuahua, Labarthé y Tristán la dividen en dos miembros litológicamente bien definidos.

Miembro Inferior

Calizas arcillosas carbonosas y limolitas de color gris oscuro a negro, en estratos delgados a medianos, con abundantes vetillas de calcita y en ocasiones presentando "boudinage". En algunas partes las lutitas calcáreas son muy lajosas, e intemperizan en un color violáceo y rojizo. Presenta particiones de lutitas rojizas y amarillas.

Aflora en el anticlinal de la Parada y se le encuentra también a profundidad en la mina de Marín. En esta localidad se presenta muy carbonosa y con abundante pirita y vetillas de calcita.

Miembro Superior

Consiste de una alternancia de lutitas fisiles de color gris verdoso, con calizas arcillosas negras en capas delgadas y algunos estratos de areniscas verde olivo, que intemperizan en color café, amarillento. Representa la transición entre el miembro inferior de la Formación Indidura. Aflora en los dos flancos y en la nariz del anticlinal la Parada con un espesor de 90 m, y en la mina de Marín. Sus contactos son concordantes y transicionales.

Formación Caracol (Ksc)

Cretácico Superior (Coniaciano- Maestrichtiano)

Descrita originalmente por Imlay, R.W. (1936), en la Sierra de Parras como " una serie de tobas desvitrificadas y lutitas, con cantidades subordinadas de caliza, directamente sobreyaciendo a la Formación Indidura".

En la hoja Ahualulco es la roca sedimentaria marina mas ampliamente expuesta. Consiste de una alternancia de lutitas fisiles y areniscas, de grano fino a medio, de color gris verdoso, que se presentan en capas de 10 a 50 cm, de espesor. Los granos de la arenisca son subangulares a subarredondeados de feldespatos y cuarzo con relativa abundancia de muscovita, en una matriz calcárea. Esta cubierta discordantemente por sedimentos clásticos continentales del Paleoceno-Eoceno y por varias de las unidades de rocas volcánicas Terciarias.

Toba Clavellinas (Tcl)

(Paleoceno – Eoceno)

En San Agustín de Clavellinas, al poniente, aflora un paquete de rocas volcánicas y lacustres que solo se encuentran en esta zona, descansando discordantemente sobre la Formación Caracol, y subyaciendo a los clásticos Continentales Terciarios. En su base consiste de un flujo de cenizas, sin soldar a parcialmente soldado presentando lenticularmente zeolitización de la matriz, sobre esta toba depositada por el aire con una bien formada " base surge". Las arcillas intermedias, aunque sin estratificación, parecen tratarse de un depósito lacustre. Esta unidad de la toba debe haberse conservado en alguna depresión sobre la que se depositaron también los clásticos Continentales Terciarios.

Clásticos Continentales Terciarios (Tc)

(Paleoceno - Eoceno.)

Afloran hacia la parte norte - central y norte poniente del área, depositados discordantemente sobre sedimentos Cretácicos marinos, o en algunos lugares sobre una roca andesítica.

Es un conglomerado formado predominantemente por fragmentos de las areniscas y lutitas de la Formación Caracol, en ocasiones con clastos de calizas y pedernal negro. Aisladamente tiene fragmentos de una roca ígnea de color morado y también de granito. Pobremente clasificado y estratificado. Presenta algunas intercalaciones de sedimentos areno - limosos. En general se presentan en forma aislada relleno de depresiones y con espesores muy variables desde 2 a 3 y hasta 40 m.

Andesita Casita Blanca (Tan)

(Paleoceno - Eoceno)

Son las rocas más antiguas de la secuencia volcánica de color gris verdoso, textura porfirítica con 5 % de fenocristales (< 1 mm) euhedrales a subhedrales de piroxeno reemplazados por minerales del grupo de la serpentina en una matriz de textura intergranular. Descansa sobre la Formación Cenicera y la Formación Caracol su espesor estimado es de 50 m.

Dacita Jacavaquero (Tj)

(Oligoceno)

Aflora al norte un poco al oriente de la carretera estatal a Charcas. Es una roca de color gris claro, de textura porfirítica, con 15 % de fenocristales de 2 a 3 mm, de plagioclasa y biotita, en una matriz desvitrificada y con notable estructura fluidal. Se presenta hacia su base descansando sobre la andesita con un vitrófido de 1 a 2 m, de espesor. Es notable la cristalización en fases de vapor, teniendo además zonas con fumarolas. Se trata de un flujo de lava. Subyace a la cuarzo-Latita Porfirítica con un vitrófido negro. Su espesor máximo es de 190 m, esta roca en vez de ser derrame de lava es una ignimbrita a la que Labárthe et. al , han determinado como Ignimbrita Jacavaquero (Tij).

Latita Portezuelo (Tlp)

(Oligoceno)

Aflora hacia la esquina SE y NE, así como en la parte central - norte de la hoja. Son lavas de color gris claro a café grisáceo con textura porfirítica, inequigranular porfirítica con un 10 a 15 % de fenocristales de plagioclasas, sanidino, piroxeno y cuarzo de forma euhedral a subhedral, sus minerales accesorios son circón y apatito. Su espesor máximo en el cerro del Rincón de la Culebra es de 350 m, aflora en la sierra de Ahualulco y hacia el SW y NE del área de estudio.

Riolita San Miguelito (Tsm)

(Oligoceno)

Es una roca de color gris claro, de textura porfirítica y fluída, con 20 % de fenocristales de 2 a 4 mm, de sanidino euhedral y cuarzo anhedral en una matriz desvitrificada.

Sobreyace discordantemente a la Formación Caracol, a los sedimentos clásticos continentales Terciarios, a la Andesita y a la Latita Porfirítica, teniendo en todos los casos un vitrófido de 2 a 10 m, de espesor en su base. Subyace a la riolita Panalillo, ya sea al miembro inferior o directamente al superior, teniendo también un vitrófido negro de 1 a 3 m, de espesor en su base. Aflora hacia la parte central sur y en la esquina SW de la hoja.

Formación Ahualulco

Originalmente fue dividida en 5 miembros (Labarthé-Hernández y Colaboradores, 1982)⁷, pero redefinida por (Labarthé-Hernández y Colaboradores 1995)⁸ que le dan nombres descriptivos a los mismos, los cuales se indican a continuación:

1 Riodacita Zapatero (Trz)

Descrita originalmente por Labarthé-Hernández y Tristán-González (1981)⁹ y Labarthé-Hernández y colaboradores (1982) como el miembro inferior de la ignimbrita Ahualulco. Aquí se le define como riodacita Zapatero y le da nombre al poblado Zapatero, ubicado a 1 km del Cerro El Conchi, localidad tipo de la Formación Ahualulco. Aflora en las porciones nororiental y central del área estudiada.

Lava color gris rosáceo a café claro que intemperizan a color rojizo. Su textura es porfirítica, con 25 a 30 % de fenocristales euhedrales a subhedrales, en una matriz desvitrificada. En ocasiones tiene cristales aislados de gránate rojo. En los afloramientos presenta una foliación de flujo notable, en el que frecuentemente se observan micropliegues. Sobreyace a la latita Portezuelo con un vitrófido negro basal de 2 a 6 m, de espesor y subyace a la tobas Palos Colorados y la Hienera.

⁷ Labarthé -Hernández- Tristán – González, “Cartografía Geológica Hoja Ahualulco SLP”, Instituto de Geología de la UASLP, Folleto técnico 70, 1981.

⁸Labarthé - Jiménez- Aranda,” Reinterpretación Geológica del Centro Volcánico de la Sierra de Ahualulco SLP”, Instituto de Geología de la UASLP, Folleto Técnico 121. 1995.

⁹ Labarthé -Hernández- Tristán – González, “Cartografía Geológica Hoja Ahualulco SLP,” Instituto de Geología de la UASLP, Folleto Técnico 70, 1981.

2 Toba Palos Colorados (PC)

(Oligoceno medio)

Con este nombre se designa un miembro de la Formación Ahualulco que es un depósito piroclástico delgado que sobreyace a la riodacita Zapatero y subyace a la toba Hienera. Se distribuye en la porción central de la sierra de Ahualulco, depósito piroclástico bien litificado, y burdamente estratificado, con capas hasta 50 cm, de espesor, color gris claro a crema, en lugares con tonalidades ligeramente verdosas. Contienen fragmentos de pómez sin deformar a ligeramente colapsados y abundantes fenocristales euhdrales a subhedrales, de 2 a 6 mm, de largo, de sanidino, plagioclasas y biotita en una matriz vitroclástica, ligeramente desvitrificada. En algunos lugares presenta cristales de granate rojo y/o de allanita (?). Tiene, además fragmentos líticos accidentales de areniscas provenientes de la Formación Caracol y de rocas volcánicas más antiguas.

3 Toba Hienera (Tth)

Se da este nombre a un miembro de la Formación Ahualulco que consiste en una secuencia de tobas de derrame piroclástico, generalmente sin piroconsolidar, que en lugares sobreyace al miembro toba Palos Colorados y en otros al miembro riodacita Zapatero. Este miembro está particularmente bien expuesto en las cercanías del poblado de la Hienera 2.5 km, al norte de Ahualulco. Aflora en las partes central y poniente del área de estudio. Es una secuencia de cuando menos dos tobas masivas de derrame piroclástico, de color blanco a rosa, constituídas por fragmentos de pómez, en una matriz de cenizas, con 5 - 10 % de fenocristales de 2 a 4 mm, de cuarzo, sanidino y biotita. En lugares presenta cristales aislados de gránate color

rojo. Fragmentos líticos abundantes, de 1 a 8 cm de largo, de areniscas y lutitas derivadas de la Formación Caracol y de la riodacita Zapatero. En el Cerro El Conchi existe un horizonte de material estratificado de grano muy fino, de 10 cm, de espesor, que separan a los dos derrames piroclásticos. Es variable y se cree que dependen de la topografía sobre la que se acumularon los derrames piroclásticos. Hacia la parte septentrional de la Sierra de Ahualulco al sur del Cerrito de Rojas, desapareciendo en el cerro, la Mesa Alta de San Juan Coyotillos, en donde la riolita los Cuervos (?) descansa directamente sobre la toba Palos Colorados.

4 Limolita el Satélite (Tsa)

Descrita informalmente por Labarthé-Hernández y Tristán-González (1981) como depósito lacustre El Satélite, aflora en la porción norte del Valle de Ahualulco y hacia la margen oriental de la sierra del mismo nombre.

Consiste de una serie de sedimentos limo - arcillosos que en ocasiones tiene vetillas de yeso. Se presenta en capas desde gruesas (1 m, o más) a medianas 10 - 40 cm, a más delgadas 2 a 5 cm, Su color va de amarillento a pardo naranja. En el margen de la sierra de Ahualulco, al sur del poblado de la Hienera, se observó una capa conglomerítica con fragmentos subangulares hasta de 30 cm, derivados de la Formación Caracol. Sólo está cubierta por un depósito de gravas reciente. De un metro de espesor, constituido por cantos redondeados de 5 a 6 cm, de diámetro, derivados de las rocas actualmente expuestas en la sierra de Ahualulco.

5 Riolita los Cuervos

(Oligoceno medio)

Se le propone este nombre al miembro de la Formación Ahualulco es un derrame de riolita con granate donde se distinguen dos facies que se describe a continuación.

Brechas y Vitrófidos Masivo (Tcuo)

Sobre la Toba la Hienera se encuentra zonas lenticulares de brecha volcánica. Formadas por clastos angulares de 3 a 60 cm, de diámetro, de vitrófido negro a gris oscuro verdoso, en una matriz de grano más fino. En ocasiones, los clastos en la brecha están en contacto entre sí y en otros sitios están soportados por la matriz. El espesor de esta facies varían de 6 a 20 m, Sobre las brechas basales de la riolita Cuervos descansa un vitrófido masivo de color negro a gris oscuro que tiene de 3 a 20 m.

Riolita Central Desvitrificada.

Cuerpos de lavas riolíticas de color gris claro a gris rosáceo. De textura porfirítica, con 20 - 30 % de fenocristales de 2 a 4 mm, de largo de sanidino, cuarzo y biotita, con cristales aislados de granate color rojo, la matriz es afanítica, de composición y tiene las características petrográficas de vidrio desvitrificado. El sanidino y la biotita se presentan como cristales euhedrales a subhedrales y el cuarzo y granate son subhedrales parcialmente reabsorbidos. Su espesor mínimo calculado en el Cerro los Cuervos es de 120 m.

Sobreyace a la toba la Hienera o descansa directamente sobre la latita Portezuelo. Se ignora su edad radiométrica y se le considera parte del paquete volcánico del Oligoceno medio.

Riolita Panalillo (Trp)

Terciario (Oligoceno)

Aflora hacia la parte central oriente y sur de la hoja. Su mejor exposición se halla en Valle Umbroso. Consiste de dos miembros bien definidos, presentando dos rocas, una esferolítica y otra con pómez delgada, alargada, bien colapsada.

Miembro Inferior (Tap)

Toba depositada por aire bien estratificada, gradada, en capas de 5 a 20 cm, de color crema, con horizontes de grano muy fino y otros arenosos. Lateralmente pasa hacia las márgenes de la depresión de Ahualulco en donde depositó fragmentos más gruesos sobre todo la cuarzo latita. Es frecuente observarle fracturas hasta de 3 m, de espesor, rellenas del mismo material volcánico más fino.

Subyace al miembro superior de riolita Panalillo, siendo el contacto un vitrífico negro de 1 a 2 m, de espesor. Sobreyace transicionalmente a depósitos lacustres.

Miembro Superior (Trp)

Consiste de dos rocas con características bien definidas. Hacia la base se encuentra una ignimbrita de color gris café, bien soldada, con fragmentos delgados muy colapsados de pómez con 10 % de fenocristales de 2 a 3 mm, de cuarzo y sanidino en una matriz desvitrificada. Y sobre ella, o directamente sobre las rocas de otras unidades, aparece una ignimbrita riolítica esferolítica de color gris rosáceo, con esferulitas de 2 a 12 mm, rellenas de feldespatos, cuarzo y calcedonia. La matriz está desvitrificada y presenta una textura fluidal muy notable, con los tepalcates alineados rodeando a los fenocristales.

Siempre tiene un vitrífico en su base, y sobreyace a las demás rocas descritas con excepción de la Formación Ahualulco. Alcanza espesores muy fuertes ya que llegan a tener hasta 190 m.

Depósitos Lacustres Del Satélite (Tsa)

Hacia el sur de la Ranchería del Satélite, en el centro de la depresión de Ahualulco, se llegaron a formar depósitos lacustres de limos y arcillas que presentan frecuentes vetillas de yeso. Pasan transicionalmente hacia arriba al miembro inferior (T1p) de la riolita Panalillo. Se cartografiaron separadamente, y su espesor se desconoce ya que no aflora su base.

Basalto (B)

En la brecha que va de Palmar Segundo a Mexquitic, existe un pequeño afloramiento de basalto negro, vesicular con fenocristales de olivino, que descansan discordantemente sobre la Latita Portezuelo, es difícil situarlo dentro de toda la columna de las rocas volcánicas, aunque por lo observado en áreas cercanas (hoja Tepetate, Villa Hidalgo, San Francisco), puede tratarse o bien del basalto Cabras que sobreyace al miembro superior de la Panalillo (hoja San Francisco), o de los basaltos Plestocénicos de la Joya Honda (hoja Villa Hidalgo).

Rocas Intrusivas Terciarias

Existen dos tipos de intrusiones del Terciario que se describe a continuación.

Domos riolíticas (Tdr)

En el flanco NE del anticlinal de Marín, al W de Estancia El Arenal y en el Cerro del Picacho en el camino a las minas de caolín de Zaragoza, aparece pequeños afloramientos más o menos circulares de riolítica, caracterizada por una estructura fluídica vertical, con numerosas fracturas y cavidades con cristalización en fase de

vapor. La roca se halla en general silicificada y oxidada. Tiene un 30 % de fenocristales de 2 a 4 mm, de sanidino, cuarzo, biotita y como mineral accesorio se presenta el topacio, la matriz está silicificada. Se considera que se trata de pequeñas intrusiones dómicas riolíticas, que en ocasiones pasan a ser diques.

Pórfido Granítico (Tg)

En la ladera W del Cerro, El Negro, hay un afloramiento alargado de una roca ígnea, de color gris verdoso, de textura porfirítica, con 15 % de fenocristales de 2 a 15 mm, de Ortoclasa euhedral, 10 % de fenocristales de 2 a 4 mm, de cuarzo anhedral y algunos de biotita, en una matriz fina tienen cristales aislados de fluorita morada y verde. Los ferromagnesianos se hallan en general alterados a clorita. Se le clasifica como Pórfido Granítico.

Intrusiona al miembro superior de Indidura con contactos secos con un echado de 70° al NE. Solo tiene una zona brechosa de 0.05 a 0.5 m, de espesor, su contacto con la riodacita Zapatero esta cubierto por talúd, pero la alteración de ésta va disminuyendo conforme se aleja del pórfido granítico, por lo que se reserva de hacerle una determinación de la edad absoluta, esta evidencia nos indica que este intrusivo es posterior a la riodacita Zapatero y por la tanto se le coloca en el piso superior del Terciario. Como ya se indicó, la alteración de la riodacita Zapatero consiste de una fuerte silicificación, jasperización, depósitos de óxidos de fierro en fracturas y cavidades en fase de vapor y vetas de cuarzo.

No se han determinado la edad absoluto, sin embargo, con la edad Paleoceno - Eoceno de los sedimentos Clásticos Continentales del Terciario, podemos situar a la andesita en esta edad ya que se encuentra tanto hacia la base como hacia la cima de ellos. Las demás rocas volcánicas las hemos situado tentativamente en el Oligoceno, considerando a la riolita Panalillo y a la riodacita Zapatero con un

intervalo mayor de tiempo, ya que rellena depresiones entre las demás unidades. Quizás estas rocas vengan a caer en los pisos superiores del Terciario.

Rocas Cuaternarias

Suelo Residual (Qr) y Aluvión (Q)

El Valle de Ahualulco y las Vegas de los arroyos más importantes del área, tiene un depósito aluvial de gravas, arenas, limos y arcillas. En ocasiones solo se observa un material de suelo residual sobre las rocas de la región.

2. 2 Geología Estructural

Para conocer la geohidrología de ésta cuenca es necesario hacer un análisis geológico estructural que ha sido responsable de la distribución de parámetros que afectan la conducción y almacenamiento del agua subterránea, a continuación se hace una síntesis los que definen dos tipos de estructuras primordiales de acuerdo con Labarthé -Tristán.¹⁰

Estructuras de las Rocas Volcánicas Terciarias

La cuarzo latita tiene un rumbo de N25W, presentando tres áreas de fuente. En el arroyo de La Cañada, en Cascarón y en las Moras. Consiste en general de zonas muy brechosas, con actividad fumarólica y depósitos de fase de vapor en fracturas y cavidades. Las fracturas y fallas principales tienen rumbos N25–30W, N60E y Norte. Con un rumbo de N30W, aparece en esta roca en los graben de Majada de

¹⁰ IDEM

Sánchez, que hacia el norte cambia a un rumbo N-S en el Cerro de La Masa y el arroyo de la Cañada, este último con N45W. Todos están hundidos y fueron rellenados por el miembro inferior de la riolita Panalillo y en el caso de Majada de Sánchez, también por el miembro superior (Trp) de la misma unidad, sobre el que aparece un conglomerado de latita. Hacia la zona del Temazcal existe una falla normal, que bajó considerablemente a la latita hacia el SW.

El derrame de la riolita, San Miguelito, representa la parte norte del amplio afloramiento de esta unidad en la hoja Tepetate (Tristán-Labarthé 1979), presenta una fuente muy notable en el área de la presa de Santa Genoveva, caracterizada por tener vitrófido con líneas verticales de fluidéz, vitrófido brechoso, esferolítica en el vitrófido, horizontes de calcedonia y numerosas fumarolas y depósitos de fase de vapor. Las fracturas y fallas principales tienen como en la Latita, rumbos de N40W, N60E y Norte.

Una de las estructuras importantes en la hoja de Ahualulco, es la presencia de algunas pequeñas intrusiones Domicas Riolíticas, varias de ellas alojadas en el flanco NE de los anticlinales de Marín y La Parada.

El Valle de Ahualulco es una depresión, rellena con espesores hasta de 190 m, por el miembro inferior de volcanoclásticas de la riolita Panalillo, teniendo hacia el centro de esta cuenca depósitos lacustres. Da la impresión de tratarse de un bloque hundido de las rocas volcánicas, sugerido por los alineamiento de sus márgenes y por la discontinuidad a rumbo de la latita porfirítica.

Parte de los afloramientos de la Formación Ahualulco son derrames silícicos, con foliaciones de flujo bien desarrolladas, a que las rocas piroclásticas están limitadas a las tobas Palos Colorados y la Hienera.

“El patrón estructural definido por las foliaciones de flujo en las lavas silícicas puede ser empleado para inferir la localización aproximada de las fuentes del

material volcánico y la morfología de los derrames de lava ”¹¹. En el caso de las rocas de la Formación Ahualulco, este patrón primario es mucho más complejo que el observado en los domos riolitas Topacíferas de la porción meridional de la mesa central, pues la riolita Zapatero tiene numerosos micropliegues que oscurecen la estructura general. Además de esto, la sierra de Ahualulco fue intensamente fallada durante el Cenozoico tardío.

2.3 Historia Geológica

Para comprender mejor la historia geológica de esta cuenca se considera la hoja Ahualulco que de acuerdo con Labarthé–Tristán¹² el registro geológico inicia con rocas de la Formación la Peña del Aptiano consiste de lodos calcáreos depositados en un ambiente infranerítico, sobre sedimentos se depositó la Formación Cuesta del Cura, en un ambiente más profundo de batial a infranerítico lo cual indica un paulatino hundimiento de la zona, condiciones que continuaron durante buena parte del Turoniano con el depósito del miembro inferior (Ksi) de la Formación Indidura que continúa con los depósitos de tipo Flysh. De la Formación Caracol hubo lugares en que prevaleció un medio ambiente reductor indicado por calizas carbonosas de esta unidad y por la presencia de la pirita en algunos sitios. En la parte superior de la época, empieza una transgresión, representada por una unidad superior (Ksi₂) de la Formación Indidura, que corresponde a un levantamiento por movimientos tectónicos, de las primeras pulsaciones de la Orogenia Laramide.

¹¹ Aguillón - Robles, “ Estructuras Interna de los Domos Riolíticos del Area de Tepetate, SLP ”, Instituto de Geología de la UASLP, Folleto Técnico 118.1994.

¹² Labarthé – Hernández – Tristán – González, “ Cartografía Geológica Hoja de Ahualulco, SLP”, Instituto de Geología de UASLP, Folleto Técnico 70, 1981.

A fines del Cretácico y principios del Terciario, la Orogenia Laramide plegó intensamente y falló, sobre todo con fallas longitudinales, a las rocas Cretácicas, haciendo emerger definitivamente a la zona. En algunas depresiones se depositaron sedimentos continentales producto de la erosión de las rocas expuestas ya durante esta época (Paleoceno - Eoceno), empieza la actividad ígnea con la emisión de lavas andesíticas las que se encuentran tanto subyaciendo como sobreyaciendo a estos sedimentos continentales. Estas andesitas se depositaron aisladamente, sobre todo hacia la parte N y NW de la hoja. También aparece, aunque en un solo sitio, actividad ígnea de tipo félsico, anterior al depósito de sedimentos continentales. Se trata de un flujo de cenizas y de tobas depositadas por el aire, que se conservaron en una depresión del terreno.

Durante el Oligoceno (?) la actividad volcánica está representada por derrames de lavas de la cuarzo - latita y de la riolita San Miguelito, las cuales se fracturaron y fallaron, formándose la depresión del Valle de Ahualulco. Viene luego la emisión del flujo de cenizas de la riolita Zapatero, el cual se depositó en una franja N45W, que debe haber correspondido a una parte baja de los sedimentos del Cretácico, exceptuando el anticlinal de Marín que ya se encontraba levantado. Sucede después el colapso de la Calderas de Ahualulco, el depósito en el interior de ella, las de otras dos formaciones, tobas Palos Colorados y Hienera, con el surtimiento posterior de su parte central, y la intrusión del Pórfido Granítico y posiblemente también de los Domos Riolíticos.

Probablemente coincidiendo con el depósito de los volcanoclásticos del miembro medio (Tia₂) de la formación, toba Palos Colorados y Hienera, se rellena la depresión de la cuenca de Ahualulco con material volcanoclástico del miembro inferior de la riolita Panalillo. Hacia el centro de esta cuenca llegan a depositarse los sedimentos Lacustres y del Satélite (Tsa).

La última actividad volcánica esta representada por el miembro superior de la riolita Panalillo que cubre las partes altas de algunos cerros. Estas ignimbritas del miembro superior tienen echados 10° a 20° al NE, surgiendo como en otras áreas adyacentes un basculamiento hacia el NE.

Un largo período de erosión sigue a la actividad volcánica, producto de ello son conglomerados de los flancos de las sierras, así como áreas de aluvión en los valles y ríos principales.

Se considera que la mineralización de la zona de Marín es de la parte superior del Terciario asociado a las los domos Riolíticos.

3. CLIMATOLOGIA

“Se entiende por clima a las condiciones que caracterizan una región por su temperatura, presión atmosférica, humedad, precipitación pluvial, régimen del viento nubosidad y radiación solar que reciben.”¹³

“En este capítulo se trata de dar un panorama general de las condiciones climáticas que prevalecen en la cuenca de Ahualulco, bajo esta referencia de acuerdo a la clasificación de Koppen”¹⁴, El área se caracteriza por el tipo de climas BS, distinguiéndose en dos subtipos: BS° y BS, que es modificado por E. García para condicionarse a la República Mexicana, estas fueron reproducidas de la carta de climas de San Luis Potosí (14 Q -1), publicada por la Secretaria de la Presidencia en enero de 1970 (CETENAL).

BS = Seco estepario; subdividen en dos tipos de acuerdo con su grado de humedad (BS° y BS).

BS° El mas seco de los BS, con un coeficiente P/T 22.9

BS, El menos seco de los BS, con un coeficiente P/T 22.9

Pertenece a la zona semidesértica del estado. Para conocer la precipitación y temperatura media, así como la evaporación que se presenta a través de los años en la cuenca, se elaboran los cálculos necesarios para determinarlos por medio de los Polígonos de Thiessen y del Promedio Aritmético, éstos se hace necesario para obtener de una manera más confiable la cantidad de agua de lluvia que se precipitó así como la media anual que se evapora lo que ayuda a tener un conocimiento mas verídico del balance hidrogeológico de la cuenca.

¹³ Gran Diccionario Enciclopédico Ilustrado, Tomo III Selecciones del Readers Digest, 1979.

3.1 Localización de las Estaciones Climatológicas

“La temperatura, presión y volúmen. siguen las leyes de la dinámica y termodinámica, además está relacionada con la geografía ya que la latitud, altura, localización y topografía de las áreas de la tierra y agua afectan las características y distribución de los elementos meteorológicos sobre la superficie terrestres”¹⁵

Se le Denomina Estación Climatológica.

“A la instalación que permite medir precipitaciones, evaporaciones, temperaturas y la velocidad del viento”¹⁶

Y para ello el primer paso fué conocer la localización de las estaciones climatológicas (Plano 3.1) que se encuentran dentro de la cuenca de Ahualulco con sus respectivas coordenadas. Después se obtuvieron los datos de precipitación, temperatura y evaporación, información que fue proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (CNA). La siguiente tabla proporciona los datos de localización de las estaciones en el área de estudio.

¹⁴ Labarthé – Hernández – Tristán – González, “Cartografía Geológica Hoja de Ahualulco, SLP”, Instituto de Geología de UASLP, Folleto Técnico 70, 1981.

TABLA 3.1. Ubicación Geográfica de las Estaciones Climatológicas que Influyen en la Cuenca de Ahualulco, SLP.

ESTACION	COORDENADAS GEOGRAFICAS	
	N	O
MEXQUITIC	22° 15' 58''	101° 06' 43''
RINCON DEL PORVENIR	22° 18' 50''	101° 10' 00''
EL GRITO	22° 38' 30''	101° 08' 03''
PILARES	22° 29' 1''	101° 02' 49''

3.2 Precipitación Media Anual

Que es la Precipitación Pluvial

“ Es el agua que recibe la superficie terrestre en cualquier estado físico, proveniente de la atmósfera.”¹⁷

Cálculo de la precipitación media anual:

Para obtener la precipitación media anual se utilizó tanto el promedio aritmético como los Polígonos de Thiessen.

¹⁵ Springall, “Apuntes de Hidrogeología”, Publicación del Instituto de Ingeniería de la UNAM, México, s / f, p. p. 41 -60.

¹⁶ Martínez Ruiz, V.J. “ Estudio Geohidrológico de la Hoja de Ahualulco Estado de San Luis Potosí”, Folleto Técnico No 119, Instituto Geología de la UASLP, México, 1994.

3.2.1 Promedio Aritmético

Para realizar el cálculo del promedio aritmético se suman las alturas de precipitaciones de toda las estaciones de un tiempo determinado y dividen entre el número total de las estaciones.

A_1 = Suma de precipitaciones de las estaciones.

A = Suma de estaciones, incluidas.

hpm = La media aritmética de precipitación.

$$hpm = A_1/A$$

La diferencia entre estos 2 cálculos de precipitación pluvial es que la Media Aritmética nos da un cálculo aproximado y no requiere de la ubicación de cada una de las estaciones.

La tabla 3.2 incluye datos desde el año de 1986 a la fecha el cual se considera un período representativo del área, Se puede observar que los valores mas altos de precipitación corresponden al año de 1997 con una lectura total de 94.28 mm.

Teniendo la lectura mas alta en la estación climatológica Los Pilares con 26.74 mm, presentando un promedio aritmético de 23.57 mm, el año 1991 donde se registra una altura de precipitación anual de 81.68 mm, en estación climatológica de Mexquitic tiene un valor de 27.70 mm, a pesar de que la diferencia con el año de 1997 éste registró mayor promedio de precipitación con un valor de 26.42 mm.

Los años más secos fueron 1995 y 1989 con una precipitación anual de 29.80 mm, y 31.74 mm, respectivamente el promedio aritmético en el año 1995 tiene un valor

de 7.45 mm., Y para 1989 10.58 mm, anuales la que es una diferencia muy notable con respecto a los años de 1991 y 1997. Una observación importante es que la estación.

Tabla 3.2 Valores de Precipitación Anuales y Cálculos de Promedio Aritmético.

AÑO	RINCON DEL PORVENIR (mm)	PILARES (mm)	MEXQUITIC (mm)	EL GRITO (mm)	ANUAL mm	h _{pm} (mm)
1986		13.80	15.10	14.40	43.20	14.40
1987		12.78	12.86	18.21	43.83	14.61
1988		16.10	17.87	22.00	55.95	18.65
1989		9.46	13.48	8.31	31.74	10.58
1990	5.40	9.40	13.55	21.20	50.04	12.51
1991	15.13	16.13	27.70	22.73	81.68	26.42
1992	14.20	15.68	15.56	16.61	62.04	15.51
1993	8.01	17.51	0.20	29.60	55.32	13.83
1994	4.93	16.15	4.40	16.23	41.68	10.42
1995	0.52	11.81	7.30	10.20	29.80	7.45
1996	6.16	9.44	13.30	14.86	41.76	11.94
1997	24.40	26.74	18.78	24.40	94.28	23.57

Nota: La Información Fue Proporcionada por la CNA. Los Valores están dados en mm.

Rincón Del Porvenir presenta la lectura mas baja con 0.52 mm, cabe mencionar que esta entra en servicio en 1991, por lo que anteriormente solo se basa en lecturas de 3 estaciones climatológicas. Este cálculo es por resultado de una precipitación medida anual del valor de todas entre los años utilizados.

3.2.2 Polígonos de Thiessen

Este método es mucho más exacto que el promedio aritmético, el que a además requiere de la localización de las estaciones tabla 3.1 Una vez localizados las

estaciones se triangulan para obtener los polígonos, que serán el área de influencia de cada una de ellas tabla 3.1, y se aplica la siguiente formula:

$$h_{pm} = \sum_{i=1}^n h_{pi} A_i / A$$

Donde:

h_{pm} = Altura de precipitación media.

h_{pi} = Altura de precipitación registrada en la estación en mm.

A_i = Area tributaria de la estación i en km².

A = Area de la cuenca en km².

n = Número de las estaciones localizadas en la zona.

Y con estos valores obtenemos que porcentaje de la lluvia se presentó en el triángulo calculado.

“La precipitación caída en un punto determinado se mide mediante una cubeta receptora ó pluviómetro expresándose en forma de altura de agua 1 mm, equivale a un volumen de 1 lts por m² de superficie), que engloban también el “equivalente en agua” de las precipitaciones en forma sólida”¹⁸

El cálculo se basa en los 2 últimos años 1996 y 1997 ya que estos corresponden al periodo en el que se realiza este trabajo.

Se desarrolla tomando las lecturas de acuerdo a sus años correspondientes ver la tabla 3.2, de la que se toman los valores de precipitación registrados en cada estación se multiplica por su área de influencia como se observa en las tablas 3.3 y 3.4, después se suman a continuación se sustituyen los valores y se obtiene la precipitación que afecta a la cuenca. Se puede observar que el resultado en la tabla 3.2 en el año de 1996 dió una lectura de 9.39 mm, que con respecto al

método promedio aritmético fue 11.94 mm, y en el año 1997 se registró una lectura de 24 mm.

Los Polígonos de Thiessen son cálculos más aproximados y abarcan áreas ya limitadas, pero se necesita de las coordenadas de cada estación para su ubicación en el plano para posteriormente realizar la triangulación y los cálculos.

TABLA 3.3 Resultados Obtenidos por el Método de los Polígonos Thiessen para el Año de 1996.

NOMBRE	AÑO 1996	AREA DEL PÓLIGONO DE THIESEN KM ²	hpi A _i (mm) Km ²
Mexquitic A	13.30	95.75	1273.47
Rincón del Porvenir B	6.16	204	1256.64
Pilares C	9.44	89	840.16
Grito D	14.86	116	1223.76
Rincón del Provenir B'	6.16	269	1657.04
Grito D'	14.86	126	1872.36
Total		899.75	8123.79

$$hpm = 8123.79/899.75 = 9.02 \text{ mm}$$

¹⁸ Ramón Ortiz Aguirre, "Elementos de Hidrogeología", Edición G3, Publicación de la Facultad de Ingeniería, UASLP, Mayo 988, p 17.

TABLA 3.4 Resultados Obtenidos por el Método de Polígonos Thiessen para el Año 1997.

NOMBRE	AÑO 1996	AREA DEL PÓLIGONO DE THIESEN KM ²	$\sum p_i A_i$ (mm) Km ²
Mexquitic A	18.78	95.75	1798.1
Rincón del Porvenir B	24.40	204	4977.6
Pilares C	26.74	89	2379.86
Grito D	24.40	116	2830.4
Rincón del Provenir B'	24.40	269	6563.6
Grito D'	24.40	126	3074.4
Total		899.75	21624.21

$$hpm = 21624.21/899.75 = 24 \text{ mm}$$

3.3 Evaporación y temperatura

3.3.1 Evaporación

“Es el proceso por el cual las moléculas del agua en la superficie de un recipiente con la tierra húmeda adquieren suficiente energía cinética debido a la radiación solar, y pasan del estado líquido al gaseoso.”¹⁹

“La evaporación esta relacionada con la diferencia entre la presión del vapor de la masa de agua y la existente en el aire sobre la superficie de la misma, temperatura del aire y el agua, los elementos más importantes son el movimiento del aire, temperatura y la superficie del agua húmeda atmosférica y precipitación.”²⁰

Debido a la poca información que se tiene de cálculos empíricos se optó por utilizar la tabla 3.5, cuya información fue proporcionada por la CNA (Comisión Nacional del Agua). No aparecen los datos de evaporación de la

¹⁹Springall, R, “ Apuntes de Hidrología”, Publicación del Instituto de Ingeniería UNAM, México, S/F, p. p 41 - 60.

²⁰ IDEM

estación climatológica el Rincón del Porvenir ya que esta no cuenta con evaporímetro por lo que no fué posible obtener estos valores de su área de influencia. La estación Mexquitic no tiene datos de 1993 al 1996 y El Grito solo de 1996 al 1997. La estación climatológica Los Pilares contiene todos los datos por año, lo cual se utiliza para poder desarrollar el análisis. En la tabla 3.5, se puede observar que el año de 1990 registra la lectura mas baja con 648.8 mm, en un período de un año es la tercera parte de lo que se presenta en el Grito pero en éste caso se utilizaron los totales anuales y en promedio se tiene 2000mm/año si se comparan estos valores con la tabla 3.6, coincide en que son que los registran mayor temperatura.

TABLA 3.5 Valores de Evaporación total Anual en mm/año.

AÑO	PILARES (mm)	MEXQUITIC (mm)	EL GRITO (mm)
1986	1784.47	1766.41	2685.29
1987	1724.88	1777.70	477.05
1988	2621.24	1779.90	2109.75
1989	1468.19	1964.94	2454.87
1990	648.10	1415.30	2155.66
1991	1651.66	1808.77	2329.71
1992	1503.60	1198.10	2452.80
1993	1808.80		2035.44
1994	1840.39		2103.35
1995	1933.93		2045.90
1996	1991.25		
1997	1564.18	1024.08	

Nota: Los Valores de Evaporación Fueron Proporcionados por la CNA

3.3.2 Temperatura

La tabla 3.6, indica los promedios anuales de cada estación climatológica de 1986 a la fecha, la estación de Los Pilares tiene la lectura mas alta registrada 20.54 °C en el año de 1995, la lectura más baja corresponde a la estación climatológica El Grito con un registro de 9.69° C, y en el año de 1994 en la tabla 3.2 de precipitación, se puede distinguir que fué la de mayor lectura y además de tener mayor evaporación.

TABLA 3.6 Valores del Promedio Anual de Temperaturas en °C.

AÑO	RINCON DEL PORVENIR	PILARES	MEXQUITIC	EL GRITO
1986		18.35	17.19	13.54
1987		18.29	16.25	12.14
1988		17.94	16.03	11.75
1989		18.44	16.96	12.34
1990	17.20	18.69	17.43	12.83
1991	18.42	18.69	16.84	12.63
1992	19.83	18.04	15.97	11.41
1993	18.67	18.51	15.86	10.23
1994	19.02	19.56	15.72	9.69
1995	19.21	20.54	16.43	10.47
1996	19.24	18.75	15.53	11.71
1997	18.72	19.3	16.38	27.31

Nota: Los Valores Fueron Proporcionados por la CNA

4 GEOHIDROLOGIA

4.1 Unidades Hidrogeológicas

La integración de las unidades se hizo sobre la base de la información existente complementada con reconocimientos de campo por lo que su definición se hizo en base del análisis de la interpretación conjunta de:

- 1) INFORMACIÓN GEOLÓGICA SUPERFICIAL
- 2) DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE CANAL²¹
- 3) DESCRIPCIÓN.

4.2 Aprovechamientos Hidráulicos Subterráneos

La información del área de estudio incluye datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA) de pozos y norias así como el estudio realizado por Martínez Ruíz²² complementándose con recorridos de campo la cual arroja los siguientes resultados:

La profundidad de las norias varía de 10 a 20 m, ver tabla 4.1 con caudales de 2 a 9 l/s. Diámetros de perforación 1.5 a 3.5 m. Los pozos presentan profundidades de 200 a 300 m, y caudales de 15 hasta 100 l/s, predominando los de 30 l/s, ver tabla 4.2. Además del doméstico, el principal uso que se tiene de estos aprovechamientos es el agrícola, los que apoyan a la presa Santa Genoveva construída sobre el río Justino.

²¹ Cortes geológicos de varios pozos para agua. construídos por la SARH, Gobierno del Estado y Particulares

²² Martínez Ruíz, V. J. "Estudio Geohidrológico de la Hoja de Aqualulco Estado de San Luis Potosí". Folleto Técnico No 119, Instituto Geología de la UASLP, México, 1994, p. p. 2.

Esto es importante mencionarlo ya que el riego de la región depende en gran parte de las norias y en menor escala del temporal. Los datos recopilados dan aproximadamente 1,183 norias distribuidas en la cuenca, así como 33 pozos localizados principalmente en la zona de Valle Umbroso. Ver plano 4.1 (debido a la proximidad de las norias y a la escala utilizada solo se ubicaron algunas de ellas).

4.3 Tipos de Acuíferos

De acuerdo a lo considerado anteriormente la cuenca de Ahualulco presenta 2 tipos de acuíferos (figura 4.1)

Un acuífero libre y otro semiconfinado. El acuífero libre, lo forman los depósitos de aluvión, y las terrazas fluviales alimentadas por los ríos Justino, Santa Teresa, Cruz Colorada y los arroyos tributarios.

El acuífero semiconfinado se forma por la latita porfirítica así como por el conglomerado sepultado por la toba arenosa de la Formación Panalillo que de acuerdo con Martínez Ruíz²³, se encuentra en las márgenes de los grabens de Ahualulco en Valle Umbroso, Colón San Francisco y el Palmar, localizándose los principales pozos y a continuación se hace una breve descripción de las unidades que se agrupan de acuerdo a su permeabilidad.

Unidad Permeable (U_p)

Esta unidad es de poca extensión y espesor, dentro de la cuenca, constituídas principalmente por las terrazas fluviales del río Justino y sus arroyos tributarios, también se consideran las parte marginales, oriental y sur de la fosa tectónica

²³ IDEM

(figura 4.2) debido a su fracturamiento (Tap), los conglomerados intercalados hacia su base así como la roca basal volcánica por su fracturamiento y fallamiento. Además las andesitas, los basaltos y la ignimbrita riolítica de la parte superior de la Formación Panalillo (Trp) fracturada generalmente en las depresiones tectónicas, en sus partes topográficamente bajas. Aunque existen algunas rocas ígneas (Tlp) que debido a su fracturamiento se pueden concentrar en esta unidad.

Unidad Poco Permeable (U₂)

El miembro inferior de la riolita Panalillo (Tap), constituida por material tobaceo arenoso con intercalaciones de horizontes limo arcillosos, que en conjunto forma un material poco permeable, además se considera de la franja de alteración por intemperismo de la Formación Caracol (Ksc).

Unidad Impermeable (U₃)

En general se consideran a la mayor parte de las formaciones geológicas que se representan en esta cuenca, ya que debido a sus características hidráulicas, son consideradas como impermeables y solo algunas excepciones, como ya se han mencionado alcanzan a ser permeables por fracturamiento y fallamiento así se agrupan las siguientes Formaciones:

Formación Cuesta Del Cura

Formación Indidura

Formación Caracol (poco permeable, en su franja de alteración superficial)

Formación Clavellinas.

Formación Jacavaquero.

Formación Latita Porfirítica.

Formación Riolita San Miguelito.

Formación Riodacita Zapatero.

Formación Toba Palo Colorado.

Formación Toba Hienera

Pórfido Granítico.

Domos Riolíticas.

El agrupamiento de esta formación en unidades da una idea más clara de la Hidrogeología de la cuenca.

4.4 Piezometría

Las actividades correspondientes a este trabajo incluyen las observaciones piezométricas, con el propósito de conocer el funcionamiento del sistema por un período de un año, en el que se realizan cinco recorridos de campo iniciando en octubre de 1996 y terminando en noviembre de 1997, para tratar de obtener un análisis del mismo, determinar flujos subterráneos, áreas de explotación y abatimiento, etc., se intenta definir zonas de recarga y descarga por medio de un control detallado de los datos tomados en el campo.

La selección de pozos y norias pilotos según tablas No 4.1 y 4.2 se basa principalmente en la profundidad de los mismos, así con sus características de construcción y equipo. De acuerdo con la anterior se diferencian dos sistemas, considerándose 19 norias para el primero y 7 pozos para el segundo; su distribución se hizo en base de su localización aunque cabe mencionar que en el caso de los pozos no todos son sondeables y de fácil acceso por lo que se dificulta la misma. La piezometría realizada es representativa de niveles poco

profundos (norias) a muy profundos (pozos) Las profundidades van del orden de 20 m, para las norias y 250 m, para los pozos.

TABLA 4.1 Elevación del Brocal y Localización Geográfica (Norias).

Clave	Elevación del Brocal	Coordenadas						Prof m	Localización
		X			Y				
1090	1780.36	22 °	25 '	02.80 ''	101 °	06 '	11.90 ''	20	Colón San Francisco
392	1781.11	22 °	24 '	54.80 ''	101 °	06 '	00.80 ''	20	Colón San Francisco
168	1822.88	22 °	21 '	57.40 ''	101 °	09 '	20.90 ''	14	Corte Primero
313	1815.00	22 °	22 '	24.80 ''	101 °	08 '	19.10 ''	15	Corte Segundo
69	1822.00	22 °	21 '	58.70 ''	101 °	09 '	44.10 ''	19	San José Cortes
934'	1820	22 °	22 '	47.40 ''	101 °	08 '	30.54 ''	15	Coyotillos
934''								16	Cochinillas
948	1799.6	22°	23 '	23.82 ''	101 °	08 '	18.90''	18	Ejido Ahualulco
303	1811.33	22 °	22 '	41.10 ''	101 °	08 '	15.30 ''	16	Ejido el Centro
398'	1796.10	22 °	24 '	13.90 ''	101 °	06 '	37.30 ''	17	Ejido el Centro
398''								18	Ejido el Centro
30	1844.70	22. °	20 '	40.10 ''	101 °	10 '	16.90 ''	19	Carrizal
38	1847.00	22°	20'	36.6''	101°	10	10.36''	18	Benito Juárez
472	1860	22 °	21 '	24.00 ''	101 °	11 '	43.70 ''	14	Arenal
485	1852.30	22 °	21 '	04.50 ''	101 °	11 '	16.30 ''	16	Arenal
670	1859.70	22 °	19 '	48.30 ''	101 °	13 '	35.5 ''	17	Porvenir
624	1851.4	22 °	19 '	33.60''	101 °	12 '	23.11''	13	Rancho el Guadalupe
N16								14	Barrancas
422	1884.05	22 °	19 '	04.90 ''	101 °	13 '	53.80''	15	Barrancas

Nota:

Las norias 934' y 934'' No estaban enumeradas por lo que se tomo la noria más cercana que es la noria con el numero 934 para su ubicación.

La noria 934' se encuentra aproximadamente a 150 m, al oeste de la 934 y la noria 934'' se encuentra 200 m al este, de la misma

La noria 398' y 398'' se tomó como punto de referencia el pozo 398.

La elevación del brocal, y coordenadas geográficas fueron proporcionada por la CNA

TABLA 4.2 Listado General de los Pozos (incluyendo los pilotos) en la Cuenca de Aqualulco, SLP.

Clave	FECHA	ELEVACIÓN DE BROCAL	COORDENADAS		PROF	GASTO l/s	N.E (M)	UBICACIÓN
			X	Y				
184	01 10 96	1863.3	22° 20' 36.8"	101° 07' 06"	130	-----	3.00	Cerrito Juárez
192	16 10 96	1865	22° 20' 52.7"	101° 06' 38"	300	20.70	6.00	Pozo #1 del Carrillo Corte I
333	15 10 96	1816.95	22° 22' 07.5"	101° 09' 2.6"	25	14.50	3.00	Justino Corte I
365	15 10 96	1733.92	22° 28' 31"	101° 02' 37.4"	200	0.00	3.00	Tanque el Cascaron
377	16 10 96	1776.10	22° 26' 26.2"	101° 04' 59.6"	250	26.55	6.00	La Biznaga Ej. Zapote
380	16 10 96	1772.10	22° 25' 40.6"	101° 04' 50.7"	250	0.00	6.00	Alfalfa Grande Valle Umbroso
381	16 10 96	1774.70	22° 25' 36.5"	101° 05' 29.8"	100	46	6.00	San Rafael Valle Umbroso
382	17 10 96	1783.0	22° 24' 00"	101° 04' 42.30"	300	0.00	6.00	# 1 Col Guadalupe Ej. Palmar
383	17 10 96	1789.4	22° 24' 15.80"	101° 05' 5.30"	250	45.50	0.00	# 2 Col Guadalupe Ej. Palmar I
384	17 10 96	1798.35	22° 23' 36.50"	101° 04' 46.40"	180	0.00	6.00	# 3 Col Guadalupe Ej. Palmar I
385	17 10 96	1805.35	22° 23' 30.30"	101° 04' 25.80"	----	77.90	0.00	# 7 El Zacatal Ej. Palmar
386	17 10 96	1797.50	22° 24' 06.70"	101° 05' 30.10"	250	0.00	65.00	San Antonio # 1 Palmar
387	17 10 96	1805.38	22° 24' 32.30"	101° 03' 50.10"	250	0.00	6.00	# 5 Tinajas Ej. Palmar
388	17 10 96	1774.61	22° 25' 1.40"	101° 05' 9.50"	48	44.75	6.00	# 1 Desmi a. C Ej. Palmar
389	17 10 96	1771.61	22° 25' 10.60"	101° 05' 20.20"	233	48.88	4.00	Tabla Sacramento Col San Francisco
391	17 10 96	1776.25	22° 24' 58.5"	101° 04' 58"	230	0.00	6.00	2 Col San Francisco Ej. Palmar I
394	18 10 96	1790.13	22° 25' 04.50"	101° 06' 41.9"	300	0.00	4.00	# 1 San Antonio Chico Ej. Palmar
397	18 10 96	1771.65	22° 25' 20.7"	101° 04' 46.70"	33	15.50	0.00	Pozo del Polvo Ej. palmar
398	18 10 96	1796.10	22° 24' 13.9"	101° 06' 37.3"	350	0.00	6.00	Col Emiliano Zapata, Ej. palmar
406	23 10 96	1957.72	22° 18' 10.9"	101° 08' 23.4"	70	14.90	2.50	Charquillos Ej. Derramadero
421	24 10 96	1891.11	22° 19' 11.1"	101° 14' 10.7"	50	9.70	0.00	Tabla Huizaches Ej. el Centro
430	25 10 96	1892.5	22° 19' 32.2"	101° 14' 23.8"	230	9.85	0.00	El Desmontes Ej. Barrancas
937	01 04 97	1808.3	22° 22' 47.40"	101° 08' 30.54"	120	11.90	2.00	Ej. del Centro
1121	19 04 97	1778.0	22° 26' 35.2"	101° 05' 13.00"	200	0.00	3.00	La Cañada Ej. Cañada Guadalupe
1171	26 04 97	1836.0	22° 27' 15.10"	101° 07' 6.30"	40	7.30	2.00	Piedra Gora Ej. Zapote
1174	25 10 97	1837.71	22° 27' 22.9"	101° 07' 10.5"	200	67.30	2.00	Piedra Gora El Zapote
1186	25 10 97	1863.33	22° 26' 20.4"	101° 09' 09.3"	200	0.0	3.00	Pedregal I Com el Pedregal
1199	25 10 97	1860.00	22° 23' 43.00"	101° 10' 06.7"	200	-----	4.00	Calle Mina 1895

4.4.1 Curvas de Igual Profundidad al Nivel Estático

Con los datos obtenidos se elaboraron planos que corresponden a la distribución de la profundidad al nivel estático tanto para acuífero somero (octubre 1996, diciembre 1996, febrero, junio y noviembre 1997). Como para el acuífero profundo (octubre de 1996 y febrero 1997). Así como las tablas 4.3 y 4.4 donde se representa los valores obtenidos en ambos casos. A continuación se hace una breve descripción solo en los tres últimos meses debido a que en estos la información es mas completa.

Norias

Octubre 1996

En lo que se refiere al acuífero superior, la cuenca de Valle de Aqualulco se caracteriza por la abundancia de norias que manifiestan ser alimentadas por el arroyo Justino así como de pequeños arroyos tributarios, los que a su vez se van recargando por lluvias; la zona donde se presenta mayor abatimiento es en los poblados de Colón San Francisco y así como el ejido del Centro el cual alcanza una profundidad de 16 m, el nivel freático en las localidades de Julián Carrillo, Corte Primero y Segundo hasta el Carrizal se registran una profundidad de 14 m. En Arenal y Benito Juárez, se observa que el nivel freático es más somero comparando con los anteriores, disminuyendo hacia el Salitral y Barrancas donde la profundidad varía de 4 a 10 m.

Diciembre 1996

En el poblado de Colón San Francisco se tuvo abatimiento de 2 m, lo mismo le sucede en las norias que pertenecen a los poblados de Carrizal, Benito Juárez, Corte Primero y Segundo. En la mayor parte del valle excepto en el poblado de Cochinilla se mantuvo en 8 m, pero comparando con la pasada piezometría se redujo considerablemente. Se manifiesta explotación entre los meses de octubre y diciembre.

Febrero de 1997

La porción central donde se localiza el poblado Carrizal presenta un ascenso en su nivel estático de 16 a 14 m, a excepción del poblado de Benito Juárez. y en el mes de diciembre en los poblados de Coyotillos y Cochinillas se observó un incremento en los niveles freáticos con una lectura de 8 a 10 m, pero en los meses fríos el acuífero se mantuvo estable quizás porque las condiciones climáticas no son propicias para las cosechas por lo que casi no tuvo mucha explotación.

En la zona del Salitral, el nivel freático tuvo un abatimiento de 4 m, pero sigue igual en la franja de Salitral, Arenal, Ahualulco y Cerrito de Juárez.

Junio de 1997

El mayor abatimiento se puede observar en el plano 4.2, y es en la localidad de Colón San Francisco con una profundidad de 18 m, aumentando el nivel hacia la localidad de Cochinillas, con niveles estáticos de 8 a 10 m, y descendiendo en los poblados San José de Cortes y Corte Primero y Segundo con 14 a 16 m, de profundidad, el área donde el nivel estático es más somero es en Salitral, Arenal y el Porvenir con un promedio de 8 a 10 m.

Noviembre de 1997

Los poblados de Arenal y Barrancas registran los niveles freáticos más someros y además en la zona de Cochinillas y Coyotillos donde las norias están abandonadas no sufre abatimiento, observándose que, generalmente todas las norias se encuentran a orillas de los arroyos y del río Justino y así, son alimentadas por éstos. La localidad de San Francisco, es la parte donde el nivel freático se encuentra más profundo.

Pozos

Octubre de 1996

En la zona de Valle de Umbroso el nivel estático del acuífero semiconfinado se encuentra a una profundidad de 32 m, en el pozo CNA (5) 380 y en el pozo CNA (5) 381 tiene un nivel estático de 46 m, en la misma localidad que el anterior. Se puede observar que hacia la zona que abarca San Francisco existe un abatimiento donde se registran lecturas de 45 m, (pozo CNA (5) 383). Cabe mencionar que los pozos de este lugar bombean las 24 horas, por lo que Valle Umbroso a San Francisco se tiene la mayor extracción de agua en la cuenca.

Febrero de 1997

En la piezometría correspondiente a este mes, se llevó a cabo en 6 pozos de los cuales el área de Valle Umbroso es la parte más somera ya que el pozo CNA (5) 380 presenta una lectura piezométrica de 24.40 m, como se puede observar en el plano 4.3 el nivel estático es más somero comparado con los demás pozos en especial con un pozo que se encuentra abandonado ya que su profundidad del nivel estático es de 81.60 m.

TABLA 4.3 Profundidad y Evolución del Nivel Estático, Cuenca de Ahualulco, SLP.

Clave	OCTUBRE	DICIEMBRE	FEBRERO	JUNIO	NOVIEMBRE	EVOLUCION DEL N. E.
	1996	1996	1997	1997	1997	OCT/96 - NOV/97
1090	-----	18.80	16.50	18.66	17.40	1.40 *
392	18.30	19.00	19.10	N.D	N.D	---*---
168	12.60	11.90	11.60	12.80	13.00	- 0.40
313	11.30	13.10	13.00	13.40	12.80	- 1.50
69	14.95	16.80	14.95	18.00	17.90	- 2.95
934'	10.10	10.00	9.90	11.30	11.40	- 1.30
934''	6.35	7.50	6.50	6.50	6.85	- 0.50
948	12.95	13.55	13.60	14.70	14.30	- 1.35
303	11.00	12.60	15.00	13.10	13.95	- 2.95
398'	14.10	15.00	14.10	15.40	15.40	- 1.30
398''	13.10	15.10	15.10	15.10	N.D	- 2.00 *
30	15.10	16.25	14.40	N.D	17.80	- 2.70
38	11.00	12.30	N.D	11.90	13.10	- 2.04
472	11.00	11.30	10.10	10.00	9.03	+ 1.97
485'	13.50	-----	15.20	15.00	15.30	- 1.80
670	9.30	-----	10.00	11.10	14.00	- 4.70
624	7.00	-----	8.95	10.69	11.70	- 4.70
N16	6.20	-----	8.30	8.00	N.D	-1.80 *
422	3.45	-----	8.95	8.10	8.80	- 5.35
393	6.55	-----	11.10	N.D	N.D	-----

*Nota: * Lectura de Evolución no Considerada para el Cálculo.*

Tabla 4.4 Lectura Piezométrica de los Pozos.

Clave	Septiembre	Octubre	Febrero
	1996	1996	1997
380	24	32.60	24.40
381	46	46
382	44.68	77.50	41.30
386	N.D	77.45	55.00
388	N.D	44.75	46.10
389	N.D	48.88	51.00
NP1		81.60

Nota: Los Valores de la Profundidad al N.E Del Mes de Octubre fue Proporcionada por la CNA

4.4.2 Curvas de Igual Elevación al Nivel Estático

En este punto se tratará el tema de la elevación de nivel estático y para desarrollarlo se requiere contar con los siguientes datos:

- 1- Localización con coordenadas de las norias y pozos pilotos.
- 2- Elevación del brocal en norias o pozos pilotos.
- 3- Lecturas piezométricas.

Los datos de coordenadas de las norias así como elevación de los brocales fueron proporcionados por la CNA, quienes llevaron a cabo estos registros.

La elevación del brocal nos sirve para referirnos a un pozo o noria al nivel del terreno sobre el nivel del mar, y si le restamos la elevación del brocal con las lecturas piezométricas registradas durante los recorridos de campo obtenemos el nivel estático referido al nivel del mar. Una vez terminado se procede al trazo de la red formada por líneas de flujo ortogonales a la línea equipotenciales. Esto nos

ayuda a entender mejor el comportamiento del agua subterránea ya que la información que se obtiene con las redes de flujo proporciona la dirección así como posibles zonas de recarga. Una cosa que es muy importante tomar en cuenta en la zona que se está analizando es la cantidad de arroyos tributarios, la geología que se presenta, la topografía que existe así como las condiciones del subsuelo referente a permeabilidad, porosidad además, el tipo de vegetación, la influencia de la intensidad y la periodicidad de las precipitaciones (ver capítulo Climatología), etc. de esta manera se obtienen interpretaciones más reales y confiables, ya que estos factores son los que afectan para conocer la recarga y descarga de los mantos acuíferos. A continuación se desarrolla la interpretación del plano elevación del nivel estático de las norias, en los meses de octubre 1996 y noviembre 1997.

Norias

Octubre de 1996

Como se puede observar en el plano 4.4 Así como en la tabla 4.4 la región que corresponde a los poblados de Barrancas y Arenal, se encuentra rodeada por los cerros: El Pelón, Zoyate, Tepozán y Vigía, y es la que tiene un drenaje más de arroyos tributarios que bajan a alimentar al río Justino el que también va recargando las norias que se encuentran a su paso aflorando en ésta parte depósitos de talúd y aluvión con conglomerados, los que tienen la propiedad de tener una permeabilidad y porosidad que permite la formación de los acuíferos libres.

El drenaje de la sierra cubre parcialmente la cuenca en la localidad de Barrancas hasta los poblados de San José, Cortés Primero y Segundo, donde se presenta una gran abundancia de norias ya que las condiciones topográficas y geológicas

así lo permitieron pero hacia las zonas del ejido del Centro y Colón Francisco hay escasez de norias y las que se encuentran están a orillas de los arroyos ocurriendo lo contrario con el área de San José de Cortés donde éstas norias están mas alejadas de los arroyos aunque los Ríos Seco y Mantancilla y Justino así como los pequeños arroyos tributarios a bajar, alimentan al acuífero libre, donde nos indica que el flujo del agua subterránea es en dirección hacia la localidad de San Francisco.

Noviembre de 1997

En el plano 4.5, se puede observar que la configuración es similar la del mes de octubre se registra un abatimiento en el Rancho de Guadalupe con 4.63 m, respecto al año anterior, que es el mayor en la área de estudio. En las demás norias se registró un abatimiento en promedio de 2 m /año, (ver tabla 4.5) La zona de San José de Cortés, Corte Primero y Segundo, son depósitos de conglomerados con fragmentos de riolita, ignimbrita y tobas que son favorables para las condiciones de un acuífero libre y estas son diferentes a los poblados de Barrancas y el Arenal donde las rocas son sedimentarias, El poblado de Barrancas es la parte mas elevada con 1884 msnm, que, comparada con Colón San Francisco que es la más baja con una elevación de 1781 msnm, Al calculo la pendiente del río Justino se obtiene un valor 0.0439 el cual muy suave, que en esta área, el flujo del agua subterránea tiene una dirección hacia Colón San Francisco coincidiendo con la topografía anteriormente mencionada.

Pozos

La piezometría de los pozos de la región se dificulta debido a que la mayoría no son sondables y se encuentran funcionando en forma constante aún en tiempo de lluvias, en la tabla 4.4 se puede observar que se obtuvieron algunos niveles estáticos al mes de septiembre, pero los pozos que se pudieron sondear en su mayoría sólo se obtuvo el nivel dinámico.

TABLA 4.5 De Elevación y Evolución al Nivel Estático de los Meses de Octubre de 1996 y Noviembre de 1997 en las Norias.

Clave	ELEV. DEL BROCAL msnm	N.E EN M DEL MES DE OCTUBRE	ELEV AL N.E msnm	N.E EN M DEL MES DE NOVIEMBRE	ELEV. AL N.E msnm	EVOLUCION
1090	1780.36	----	----	17.9	1762.46	----
392	1781.11	18.3	1762.81	ND	----	----
168	1822.88	12.6	1810.28	13	1809.88	-0.4
313	1815	11.3	1803.7	12.8	1802.2	-1.5
69	1822	14.95	1807.05	17.9	1804.1	-2.95
934	1820	10.1	1809.9	11.4	1808.6	-1.3
948	1799.6	12.95	1786.65	14.3	1785.3	-1.35
303	1811.33	11	1800.33	13.95	1797.38	-2.95
398	1796.10	14.07	1782.03	15.40	1780.7	-1.33
30	1844.70	15.10	1829.6	17.8	1826.9	-2.7
38	1847	11	1836	13.1	1833	-3
472	1860	11.1	1848.9	9.03	1850.97	+2.07
485	1852.3	13.5	1838.8	15.3	1837	-1.8
670	1859.7	9.3	1850.4	14	1845.7	-4.7
624	1851.4	7	1844.4	11.70	1839.7	-4.7
422	1884.05	3.45	1880.6	8.8	1875.25	-5.35

En el mes de febrero se obtienen más datos sobre el nivel estático sobre todo en Valle Umbroso, Guadalupe, San Francisco y el ejido el Palmar (ver tabla 4.6). A

continuación se trata de hacer una interpretación, ver plano 4.6, del mes de octubre de 1996, el agua subterránea se desplaza de las partes más altas a la más baja, por que se observa la zona de recarga es tal vez en Pedregal, Valle Umbroso y Colón San Francisco no se puede hacer un análisis mas detallado como se muestra en el plano debido a la falta de información.

El mes corresponden a febrero de 1997, como se puede observar en el plano 4.7. que los niveles se profundizan hacia el poblado de Guadalupe, ya que las líneas de flujo así lo indican, quizás por que el acuífero semiconfinado fue originado por él graben de Ahualulco donde tiene fallas y fracturas que actúan como conductores lo que da permeabilidad secundaria al acuífero. No se observa una dirección general del flujo pero éste se manifiesta hacia Guadalupe pozo CNA (5) 389.

TABLA 4.6 Elevaciones y Evolución del Nivel Estático de los Meses de Octubre de 1996 y Febrero de 1997 y de los Pozos.

NÚMERO DE POZO CNA	ELEV DEL BROCAL	N.E EN M DEL MES DE OCTUBRE	ELEV DEL N.E msnm	N.E EN M DEL MES DE FEBRERO	ELEV AL N.E msnm	EVOLUCION (m)
380	1772.1	32.6	1739.5	24.4	1747.7	-8.2
381	1774.7	46	1728.7	-----	1774.7	-----
382	1783.7	44.68	1738.32	41.3	1741.7	-3.38
386	1797.2	N.D	-----	55	1742.5	-----
388	1774.61	44.75	1729.86	46	1728.61	+1.25
389	1771.61	48.88	1722.73	51	1720.61	+2.12

4.4.3 Hidrógrafo de Pozos a Cielo Abierto (Norias)

Con el objeto de conocer el comportamiento vertical del nivel estático se utiliza la información de la tabla No 4.3 con las que elaboran 16 hidrógrafos que representan período de octubre de 1996 a noviembre 1997, de su análisis se desprende la siguiente información 4.3.

En general el comportamiento de la profundidad del nivel estático se comporta de manera similar en todas las gráficas. (Láminas 4.1 a la 4.5) En el mes de febrero se presenta una recuperación del nivel comparado con el mes de octubre. En la noria CNA (5) 624, se puede observar un descenso gradual y paulatino así como y en la noria CNA (5) 948, el descenso es más notorio. Es importante hacer mención que en los meses de diciembre, enero y febrero no se tuvo mucha actividad de agricultura, por lo que las norias no trabajaron mucho y las lluvias favorecieron para la recarga del acuífero libre. A partir de este mes gran parte de las norias empiezan a tener paulatinos descensos en sus niveles estáticos hasta mes de junio donde a partir de ahí descienden mas notorio el nivel estático. Por lo anterior se deduce que en el mes de febrero el acuífero libre tuvo recarga en los meses de diciembre al mes de febrero con un abatimiento a sus nivele estático hasta el mes de junio y en este período de junio y noviembre el acuífero tiene un comportamiento estable.

4.4.4 Curvas de Igual Evolución al Nivel Estático

Evolución del Nivel Estático del Mes de Octubre de 1996 a Noviembre de 1997.

Los planos de evolución del nivel estático se obtienen de la diferencia entre dos piezometrías tomadas en diferentes períodos. Para este trabajo se tomaron las lecturas de octubre de 1996 y noviembre 1997, esto nos proporciona el abatimiento que ha tenido el acuífero en él ultimo año que en este caso es el libre.

La zona donde se presentó un mayor abatimiento del nivel estático es en los poblados de Barrancas, Rancho de Guadalupe y el Porvenir como se puede ver en el plano 4.8, en la noria CNA (5) 422, que se ubica en la localidad de Barrancas tuvo un abatimiento de 5.35 m, en los poblados de Rancho de Guadalupe y el Porvenir el abatimiento es de 4 m. En área de Arenal la noria CNA (5) 472, el nivel estático tiene una recuperación de 1.97 m, y en el resto del área los niveles decrecen en promedio de 2 m, como en los poblados de Carrizal, Cortés Segundo, Coyotillos excepto en San José de Cortés que presentó un abatimiento de 1 m, y en el ejido del Centro es de 1.35 m Tabla 4.3.

4.5 Hidrogeoquímica

Geoquímica

“Es la ciencia que estudia los caracteres y el comportamiento en la corteza terrestre de los diferentes elementos químicos, su distribución cuantitativa, sus combinaciones así como sus migraciones.”²⁴

La interpretación hidrogeoquímica del agua subterránea se utiliza con otras disciplinas como geología, hidrología y geofísica, que son auxiliares para conocer y entender, en una forma más completa, el funcionamiento de los acuíferos y la planeación de una mejor y más racional explotación de los mismos.

La química del agua dependerá de la solubilidad y composición de las rocas por las que circulan y los factores que afecten a la misma, como son: temperatura del agua y de las rocas, el área de contacto del agua con las formaciones, la velocidad de circulación, la longitud del recorrido, la previa composición química del agua, etc.

En el área de estudio como ya se describió en el capítulo correspondiente a la piezometría, los aprovechamientos hidráulicos subterráneos existentes corresponden a norias y pozos, de los cuales se tomaron muestras de 8 norias y 6 pozos, con la finalidad de obtener la calidad de agua y además de tratar de observar el comportamiento hidrogeoquímico de la misma.

El muestreo se realizó bajo la siguiente metodología se utilizaron botellas de plástico con 1 litro de capacidad, durante el muestreo estas fueron enjuagadas con la misma agua de los pozos y norias; en donde se cuidó que el agua obtenida

²⁴ López Linares, “ Estudio Geohidrológico Preliminar de la Zona Moctezuma – Venado – Charcas – del Estado de San Luis Potosí SLP”, Tesis de Licenciatura, Esc de Ingeniería de la UASLP, 1982.

fuera aquella que realmente perteneciera a los acuíferos estudiados tomándose además en el sitio el pH y la temperatura no pudiéndose obtener conductividad por carecer de equipo necesario. Las muestras se mantuvieron en una hielera y fueron transportadas en la misma al laboratorio con la finalidad de tratar de mantener una temperatura constante, por estas razones no se utilizaron soluciones. Ya que el transporte se efectuó el mismo día.

Se elaboraron planos de igual concentración iónica para poder interpretar mejor el recorrido del agua, separando las norias de los pozos. Se interpretó la calidad química del agua utilizando diagramas hidrogeoquímicos de diversos autores los cuales se tratarán posteriormente.

4.5.1 Resultados de los Análisis Químicos

Una vez efectuado el muestreo en la zona de estudio estas fueron analizadas por el laboratorio de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ingeniería de la UASLP. al que se solicita el fisicoquímico general cuyos resultados se pueden apreciar en las tablas 4.7, y 4.8 una vez obtenidos los mismos se procede a verificar dichos análisis.

Para poder conocer si los resultados eran correctos se hace la cuantificación de los mismos bajo el siguiente esquema.

Lo primero es convertir las ppm, en miliequivalentes (meq) ver tablas 4.9.1, a la 4.9.14. En el agua subterránea la mayoría de las sustancias que están en estado iónicas fundamentalmente son:

Cationes: Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} .

Aniones: Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, HCO_3^- , $\text{CO}_3^{=}$

Hay otros iones que por ser de menor proporción no se incluyen.

Tabla 4.7 Valores de los Resultados de Análisis Físicoquímicos de los Pozos Enero 1997.

Clave	pH	C E	Cl ppm	SO ₄ ppm	Na ppm	D T ppm	HCO ₃ ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm
380	6.7	1700	99.05	206.06	58.88	499.50	324.34	27.37	163.62	21.99
382	6.8	1500	120.08	210.00	65.46	349.96	261.56	25.34	116.35	14.25
386	7.1	1800	63.68	334.54	92.74	499.50	313.88	13.19	103.62	58.45
387	7.7	1400	14.15	120.00	43.10	286.83	282.49	16.23	83.62	18.70
389	6.7	1900	14.14	225.00	54.28	427.23	345.26	22.31	109.98	37.56
398	6.8	2100	106.35	575.00	222.11	459.04	355.73	53.71	139.98	26.62

Tabla 4.8 Resultados de los Análisis Físicoquímicos de las Norias Enero 1997.

Clave	pH	C E	Cl ppm	SO ₄ ppm	Na ppm	DT ppm	HCO ₃ ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm
1090	6.09	2,100	63.68	300	173.16	299.97	292.95	10.15	116.35	2.10
472	6.80	2,000	28.30	120.00	75.40	204.52	240.64	9.13	74.53	4.49
30	6.7	2,200	77.83	600.00	160.74	549.94	355.73	53.71	174.52	27.52
69	6.8	2,300	155.66	550.00	163.22	509.04	334.80	50.67	169.07	20.99
398"	7.00	2,100	70.75	339.40	122.61	249.97	240.64	9.48	92.71	4.42
168	6.9	1,700	49.52	140.00	69.19	172.71	167.40	10.15	63.63	3.31
313	6.8	2,000	58.27	415.43	157.06	363.60	292.95	14.60	136.35	5.53
624	8.9	2,000	63.68	45.00	145.57	0.00	156.94	0.25	0.00	0.00

Posteriormente se obtiene el porcentaje de error que es la siguiente fórmula:

$$\% \text{ error} = \frac{|\sum C - A|}{|\sum C + A|} (200)$$

Donde:

Aniones = A

Cationes = C

Una vez obtenido el porcentaje de error se verifica en la tabla 4.10

Tabla 4.10 Valores Aceptados de % de Error en Relación con la Composición.

Conductividad	50	200	500	2000	>2000
Error Aceptado	30	10	8	4	< 4

Después se obtiene el porcentaje de cada elemento y/o composición contenidos en la muestra tanto de cationes como de aniones por separado y el porcentaje se divide entre 2. Una vez que se tiene los porcentajes con la suma de los cationes y aniones se elaboran las sumas de estos:

$$\% \text{ Cationes} + \% \text{ Aniones} = 100 \%$$

Así la concentración salina se desarrolla de la siguiente manera;

$$ET = \sum \text{CATIONES} + \sum \text{ANIONES} = ET/5 \text{ concentración salina} = ET/5$$

Para obtener los STD (Sólidos Totales Disueltos). Utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{STD} = \text{CONDUCTIVIDAD ELECTRICA} / 1.4 - 1.6$$

Por lo que el residuo seco es igual a:

$$\text{ppm A} + \text{ppm C} = (1/2 \text{ ppm HCO}_3)$$

La dureza Carbonacea se obtiene de la siguiente forma

$$rd = r \text{ Ca} + r \text{ Mg} = \text{DUREZA TOTAL}$$

Dureza total / eq

$$\text{Eq} = \text{pmCACO}_3/2 = 100/2 = 50$$

4.5.2 *Calidad del Agua*

Después de verificar que los resultados y los análisis fisicoquímicos son correctos, es posible determinar la calidad del agua. Para su clasificación se aplican diagramas y gráficas que lo hace más fácil de interpretar por lo que para este trabajo se utilizaron los siguientes diagramas:

- *Diagrama Triangular para la Clasificación de Agua Subterránea según Pálmer y Piper.*
- *Diagramas Semilogarítmicos de Análisis de Agua.*

“Los diagramas triangulares son ideales para representar 3 componentes en cada uno de los vértices de un triángulo equilátero”²⁵ donde los vértices a, b, c, figura no representa el 100 %. Los Aniones y Cationes cada uno con sus respectivos triángulos y en cada vértice están ubicados los compuestos químicos y/o elementos químicos para saber cuantitativamente la composición de la muestra en uno de sus componentes, basta trazar un punto representativo una paralela al lado opuesto al vértice que representa fracciones del mismo hasta completar el 100 %. (Ver figuras 4.3 a 4.4)

Los iones más comunes en la composición del agua subterránea como ya se ha mencionado y por lo tanto son los que más se utilizan, en éstos diagramas por ejemplo: en la muestra de noria CNA (5)1090 se toma sus porcentajes, mismos que se encuentran en la Tabla 4.9.1 del análisis y clasificación hidrogeoquímica Chase - Pálmer. De esta tabla lo multiplicamos por 2 para que sea el 100 %.

²⁵ Custodio Emilio, Llamas Manuel Ramón, “Hidrología Subterránea”, Tomo I, Ediciones Omega, Segunda Edición, Barcelona España, 1983.

$$\text{Cl}^- = (6.99)(2) = 13.98$$

$$\text{SO}_4^{2-} = (24.29)(2) = 48.58$$

$$\text{HCO}_3^- = (37.4)(2) = 74.8$$

$$\text{Mg}^{++} = (0.627)(2) = 1.254$$

$$\text{Na}^+ = (27.34)(2) = 54.68$$

$$\text{K}^+ = 94(2) = 1.88$$

$$\text{Ca}^{++} = (21.08)(2) = 42.16$$

Después de haber obtenido el porcentaje de los aniones y cationes por separado, se trasladan a los triángulos, por ejemplo en la muestra de la noria # 1090, se localiza ubicándola como un punto en los diagramas de aniones y cationes, se trazan dos líneas hasta donde se interceptan y en ese punto se obtiene la familia a que pertenece esta muestra.

Diagramas Semilogarítmicos

Este se desarrolla marcando líneas en las columnas, utilizando los mg/l de aniones y cationes en cada columna es decir, se va a ir trazando líneas marcando los números de acuerdo con el resultado de los análisis, La muestra de la noria CNA (5) 1090 su concentración de Calcio es de 116.35 mg/l en la columna de Ca^{++} se marca esa cantidad, la concentración de Mg^{++} es de 2.10 mg/l se marca en su respectiva columna y así se marcan las siguientes y se traza una recta igual en los siguientes elementos y compuestos químicos. Hasta llegar al pH, que es la última columna a la izquierda, y el resultado nos manifiesta a la familia de agua a la que pertenecen. (Ver tablas 4.11 .1 a 4.11 .4)

Interpretación

Una vez elaborado los diagramas de Piper y Semilogarítmicos para clasificar la calidad de agua se procede a la interpretación. De acuerdo a figura 4.3 los diagramas de Palmer – Piper, las norias se dividen en 2 grupos que son:

Sulfatada y/o Clorurada Cálcica - Magnésica que son las norias (422, 168, 1090, 398).

Bicarbonatada Cálcica Magnésica que son las norias (313, 934, 69, 38).

En cuanto a los pozos. la mayoría de ellos pertenecen al grupo Sulfatada/o Clorurada Cálcica - Magnésica con la excepción del pozo CNA (5) 398, que pertenece a la familia de Bicarbonatada Cálcica y/o magnésicas (Figuras 4.4). Por lo tanto aquí podemos decir que el agua pertenece al mismo acuífero semiconfinado ya que el pozo que no coincide se localiza en el ejido del Centro, se pudiera pensar que éste debido quizás a su construcción tenga aporte del acuífero libre pues es similar al segundo grupo de las norias.

Ahora se trata de hacer descripción y análisis de la composición química que el agua subterránea presenta de acuerdo a su movimiento.

Pozos

De modo muy general se agrupan los grupos de cationes y aniones.

Grupo de Aniones

Como se puede observar en los planos hidrogeoquímicos, en el ejido del Centro el pozo 398 (CNA) presenta la mayor concentración de aniones de Sulfatos, Cloruros, y Bicarbonatos. La zona de infiltración se deduce es en la localidad de Valle Umbroso y San Francisco.

Bicarbonato HCO_3^-

Características Químicas

“El origen del bicarbonato y carbonato se considera de la disolución de CO_2 atmosférico o del suelo. Se puede precipitar con mucha facilidad como el CO_3Ca . Y las concentraciones de bicarbonato HCO_3^- varían de 50 - 350 ppm.

en agua dulce. En cuanto a su nocividad y toxicidad no presenta problemas, procede de la disolución de CO_2 atmosférico o del suelo, la disolución de calizas y dolomías ayudada por el CO_2 y/o ácidos naturales (humicos, oxidación, de sulfuros, etc.) hidrólisis de silicatos ayudada por el CO_2 .²⁶

En el plano 4.9, se puede observar que en el área de menor concentración de HCO_3^- es en el poblado de San Francisco, ahí están localizados los pozos CNA (5) (382 y 387) donde la máxima concentración es de 282.49 ppm, y más hacia NW y W (visto del pozo CNA (5) 382) va teniendo un aumento paulatino al punto mas alto en la zona del ejido del Centro, que tiene la concentración de HCO_3^- de 355.93 ppm.

Sulfatos SO_4^-

Características Químicas

“Generalmente estable y difícilmente precipitable la concentración va entre 1 – 150 ppm, para aguas dulces. Su Procedencia es lavado de terrenos formados en condiciones de gran aridez o en ambientes marinos, de la oxidación de sulfuros de rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias, disolución de yeso, anhidrita y terrenos yesíferos, así como de actividades urbanas industriales y en ocasiones agrícolas.”²⁷

En el plano 4.10, se puede apreciar hacia la localidad del ejido del Centro que la una concentración de SO_4^- aumenta considerablemente en el pozo CNA (5) 398 con 575 ppm, así mismo se puede observar en el plano que en el ejido Palmar CNA (5) 386, aumenta notablemente así para agua potable, como el máximo, área que abarca las localidades de Valle Umbroso, Guadalupe, y San Francisco.

²⁶ Emilio Custodio, Manuel Ramón Llamas “Hidrología Subterránea”, Ediciones Omega. Tomo I. Segunda Edición, Barcelona España, 1983.

²⁷ IDEM

Al parecer este baja su concentración siguiendo las líneas de flujo. El origen puede ser de la oxidación de sulfuros de rocas ígneas.

Cloruros Cl⁻

Características Químicas

“Sales en general muy solubles, y estables, en disolución y difícilmente precipitable, en general va asociado al ion Na⁺. Su concentración es de 10 - 250 ppm, se encuentra en aguas dulces La nocividad y toxicidad se presenta en mas de 300 ppm, comunica un sabor salado al agua de bebida, pero no es perjudicial por lo menos hasta algunos miles ppm, es esencial para la vida y en cantidades elevadas son perjudiciales para muchas plantas, comunica corrosividad al agua. Su procedencia es de los lavados de terrenos de origen marino y las aguas congénitas y fósiles pueden aportar cantidades importantes, el agua de lluvia y su concentración en el terreno, y del ataque de rocas aunque en general el aporte es pequeño por ser un elemento escaso en la corteza terrestre, muy localmente tiene interés el aporte de este ion por rocas evaporíticas (sal gema y etc.), por el ataque de ciertos minerales asociado a rocas ígneas y metamórficas. Mas raramente puede proceder de gases y líquidos asociados con emanaciones volcánicas, los vertidos urbanos e industriales pueden aportar cantidades importantes.”²⁸

En el área de estudio el comportamiento de este ion esta muy por de bajo de lo establecido para aguas dulces. Ya que el máximo permitido es de 250 ppm, aquí no hay peligro de que neutralice los cultivos pues presenta corrosión en las tuberías, y por lo tanto su origen puede ser por agua de lluvia, las concentraciones del terreno y debido a su aridez.

²⁸ IDEM

Grupo de Cationes

De modo muy general se describe el grupo de los cationes, donde se incluyen los elementos químicos (Na^+ , K^+ , Mg^{++} y Ca^{++}). En los planos de isovalores de cationes K^+ , Na^+ . El agua al ir viajando a través de la Formación riolita Panalillo se va enriqueciendo con las concentraciones de K^{++} , Mg^{++} , en el ejido el Palmar se observa un contraste con los planos anteriores, donde presenta la mayor concentración de Mg^{++} lo cual es originado por disolución de silicatos Magnésicos y Ferromágnesicos.

Sodio Na^+

Características Químicas

“Tiene solubilidad muy elevada y es muy difícil de precipitar. Es afectado fácilmente por el cambio de bases al ir asociado al ion Cl aunque no siempre es así. Las aguas naturales con elevados contenidos en Na^{++} suelen tener contenidos elevados de flúor. La concentración va de 1 - 150 ppm, en aguas dulces no siendo raro encontrar contenidos mucho mayores hasta varios miles de ppm. La nocividad y toxicidad de las aguas con concentraciones elevadas de sodio son perjudiciales a las plantas al reducir la permeabilidad del suelo. En cuanto a su procedencia es por ataque de feldespatos, feldespatoides y otros silicatos, lavado de sedimentos de origen marino y cambio de bases con arcillas del mismo origen, así como mezclas con agua del mar. Localmente la disolución de sal gema o sulfato sódico naturalizará las emanaciones y fenómenos relacionados con procesos magmáticos, contaminación urbana e industrial y concentración del agua de lluvia”²⁹.

Los resultados obtenidos de los análisis indican que en casi toda la zona, las concentraciones son menores a 100 ppm, solo el pozo que tiene más alta

concentración es el CNA (5) 386, que se localiza en el ejido Palmar con 92.79 ppm, pero en el ejido del Centro la concentración es de 222.11 ppm.

Potasio K⁺

Características Químicas

“De solubilidad muy elevada y difícil de precipitar, es afectado fácilmente por el cambio de bases y es absorbido de forma poco reversible por las arcillas (motmorillonita, illita).

Su Concentración es de 0.1 - 10 ppm, en agua dulce, de manera extraordinaria se pueden tener algunos ppm. La nocividad y toxicidad no presenta problemas en las concentraciones habituales y es el elemento vital de las plantas. Procede del ataque de la ortoclasa y otros silicatos (micas, arcillas, etc.) Localmente de la disolución de sales, potásios naturales y en pequeña cantidad de aportes de agua de la lluvia. Así como de contaminación industrial, minera y agrícola.”³⁰

En el área que abarca Valle Umbroso, el ejido del Centro y San Francisco, el agua rebasa los 10 ppm, que es lo normal para agua subterránea. La concentración mínima es en el ejido el Palmar (pozo CNA (5) 386) con 13.19 ppm, y hacia el ejido del Centro se presenta un aumento notable con 53.71 ppm, para el área que abarca Guadalupe, Valle Umbroso y San Francisco, y el ejido el Palmar muy similares, y las concentraciones mas altas son hacia el ejido del Centro con el pozo CNA (5) 398, aquí se puede observar que la dirección del agua va de la localidad ejido del Centro hacia San Francisco y Valle Umbroso y su origen se debe al posible aporte de del ataque de la ortoclasa y otros silicatos de acuerdo con el plano 4.11.

²⁹ IDEM

Calcio Ca⁺

Características Químicas

“Son sales moderadamente solubles a muy solubles, es muy fácil de precipitar como CO_3Ca ya que su química va muy asociada a los iones HCO_3^- y CO_3^- . La concentración varía de 10 - 250 ppm, en aguas dulces. La nocividad y toxicidad es el mayor inconveniente, va asociado al aporte de dureza y producción de incrustaciones. La procedencia es de disolución de calizas, dolomías, yeso y anhidrita, ataque de feldespatos y otros silicatos cálcicos así como de la disolución de cemento calcáreo de muchas rocas y concentración del agua de lluvia.”³¹

La zona de Valle Umbroso presenta la mayor cantidad de calcio de acuerdo con los resultados de los análisis químicos, con 163.62 ppm, en el pozo CNA (5) 380 y el que presenta una diferencia con los pozos circundantes CNA (5) 382 para la zona de San Francisco y el ejido El Palmar hay menor concentración 103.62 ppm, del contenido de calcio en agua subterránea cumpliendo así con las normas establecidas ya que la máxima permitida es de 200 ppm, la concentración de calcio va en dirección inversa plano 4.12, comparada con los planos de isovalores de Mg^+ y K^+ . El aumento de calcio es hacia Valle Umbroso quizá éste procede del ataque de feldespatos y silicatos cálcicos provenientes de las rocas encajonantes de la riolita Panalillo y Latita Perfirítica, coincidiendo con los planos anteriores ya que hay menor concentración en la localidad de San Francisco.

³⁰ IDEM

Magnesio Mg ⁺⁺

Características Químicas

Tiene propiedades similares a las de ion calcio pero es más soluble y algo más difícil de precipitar y sus concentraciones varían 1 - 100 ppm, en aguas dulces. Su nocividad y toxicidad son laxantes y de sabor amargo contribuye a la dureza del agua. La procedencia es de la disolución de dolomías y calizas dolomíticas, del ataque de silicatos magnésicos y ferromagnésicas (carnalita, kaiseterita). De la mezcla con agua del mar así como la contaminación industrial” ³²

La zona del ejido del Centro - Valle Umbroso - San Francisco y ejido el Palmar. Sus concentraciones son altas y de acuerdo con las normas establecidos para agua dulce,. El área donde hay menor concentración de Mg ⁺⁺ es en San Francisco pues registra 13.19 ppm, así esta disminuye el ejido del Palmar con el pozo CNA (5) 386. del ejido del Centro hacia Valle de Umbroso y San Francisco plano 4.13.

Dureza

“La dureza total es la suma de calcio y magnesio la que es una propiedad importante para el consumo humano, la agricultura y la industria. La dureza permanente es el contenido total en calcio y magnesio después de la ebullición”³³. Existen áreas con alta concentración de dureza como en la zona de Valle de Umbroso, el ejido el Palmar, y el ejido del Centro con concentraciones de 499.50 ppm, y 459.04 ppm, respectivamente y entre 300 - 500 ppm, indicado como conveniente para el agua potable pero para la industria no cumple con los requisitos.

³¹ IDEM

³² IDEM

³³ IDEM

Al igual que con los pozos, se trata de hacer una interpretación general de la calidad y movimiento del agua en la zona cubierta por las norias. Para dar una mejor explicación se elaboran planos de isovalores de igual concentración de aniones y cationes en ppm.

En general se presentan los valores más bajos en la noria CNA (5) 168, localizada en el poblado de Corte Primero, lo cual contrasta con el resto de los valores analizados.

Las concentraciones de HCO_3^- y de Cloro están dentro de los límites permitidos para agua potable, pero la cantidad de SO_4^- está muy fuera del rango que pide para agua dulce. Se puede considerar que hacia las márgenes de Pedregal, San Francisco, Rancho de Guadalupe y el Arenal, que agua al ir moviéndose va disolviendo las rocas que atraviesa, por tal razón en esa zona se presentan las mayores concentraciones de aniones.

Norias

Grupo de Aniones

Sulfato SO_4^-

En los poblados de Coyotillos, Corte Segundo y el Carrizal, plano 4.14, alcanzan valores de 600 ppm, hacia el centro se tiene una concentración de 140 ppm, donde se nota una disminución de este anión. Así mismo en el ejido del Centro y de Colón de San Francisco continúa aumentando de 300 ppm, a 339 ppm, y sigue la dirección del flujo la concentración de SO_4^- en el origen del lavado de terrenos, formando en general condiciones de gran aridez, cuando riegan o llueve el agua al disolver se lleva consigo las cantidades de SO_4 . Notándose que el suelo en la cuenca presenta diferentes condiciones desde aquel en el que se puede

sembrar hasta el empedrado y muy calichoso. El muestreo se llevó acabo en los meses de enero cuando no hay lluvias y por lo tanto no se presentó recuperación del nivel estático y en ésta época no se trabajaron la mayoría de las norias.

Cloruros Cl^-

La concentración más alta se registra en la noria CNA (5) 934', que está ubicada en el poblado de Coyotillos y su valor es de 155.66 ppm, cumpliéndose con las condiciones de agua dulce, donde el máximo permitido es de 250 ppm, presentándose una gran diferencia con la localidad de Corte Primero que tiene la concentración mas baja, con un valor de 49.52 ppm.

Bicarbonatos $CO_3^{=}$

En el poblado de Carrizal la noria CNA (5)30, en donde se registra la más alta concentración de $HCO_3^{=}$, con 355 ppm, lo cual rebasa un poco los límites permitidos para agua dulce que es de 350 ppm, En el área que abarca el Carrizal, Corte Segundo, Arenal y Corte Primero, se tiene una diferencia con respecto a la noria CNA (5) 313 que está ubicada en la localidad de Corte Primero, ésta presenta la menor concentración con 167.40 ppm.

Sodio Na^+

El origen de la concentración de sodio es por el ataque de feldespato, feldespatoides y otros silicatos, así como por el agua de lluvia, en las localidades del Arenal, Rancho de Guadalupe, Pedregal, San José de Cortes. Ahí las condiciones son bajas pero aumenta hacia Coyotillos y Corte Primero y Segundo.

Potasio K⁺

En los poblados de Carrizal y Coyotillos se registra la mayor concentración de potasio en la noria CNA (5) 30 y 934', con valores de 53.71 y 50.67 ppm, en Corte Primero se tiene una concentración de 10.15 ppm, que con relación a las dos norias anteriores dan una gran diferencia, se considera que parte de la concentración del Potasio proviene del agua de lluvia, y de la derivación por abonos, que se utilizan para fertilizar la tierra.

Calcio Ca⁺⁺

En el plano 4.15, se observa que las norias CNA (5) 30 y 934', tiene la más alta concentración de Ca⁺⁺, con 174.52 y 169 ppm, aquí se forma un triángulo con los poblados de Corte Segundo noria CNA (5) 313, pero hacia el centro del triángulo se localiza Corte Primero, con la noria CNA(5) 168, la que tiene menor concentración de Ca, donde se observa un notable contraste con las norias que lo rodean.

Magnesio Mg⁺

Con excepción de las norias de los poblados de Coyotillos y el Carrizal que tiene como valores 27.52 ppm, cumpliendo con el reglamento para agua potable.

Dureza

La suma de calcio y del magnesio, provoca incrustaciones en la tubería y afecta a la agricultura. En Coyotillos y Carrizal se presenta norias con una concentración de 509.04 ppm, y 549.94 ppm, pero en general presenta menor cantidad de dureza.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con las diferentes etapas de actividades durante el estudio se puede deducir que:

- La cuenca de Ahualulco debido a su situación geográfica se encuentra en una zona semidesértica donde las lluvias son escasas por lo que se depende del agua subterránea.
- Por lo anterior se sabe que la fuente principal de su economía es la agricultura, y en menor porción la ganadería lo que agudiza el problema en el uso de este vital líquido.
- Los pozos profundos se localizan en Guadalupe, Valle Umbroso y Colón San Francisco con gastos muy variados que van de 15 a 100 l/s.
- De acuerdo a la piezometría realizada y a los hidrógrafos en pozos a cielo abierto (norias) se puede deducir que el Río Justino funciona como efluente así como sus tributarios recargan de manera casi inmediata a las norias localizadas a sus costados.
- Por su confinamiento hidráulico el tipo de geología así como por la información del área de estudio se considera que el sistema esta constituido por 2 tipos de acuíferos. Uno libre formado por las terrazas aluviales y los depósitos de aluvión con espesores de 3 a 20 m, e incluso más y el otro por latita porfirítica así como por el conglomerado sepultado por la toba arenosa de la Formación Panalillo fracturada.
- En cuanto al acuífero libre, la red de flujo así como la concentración de los aprovechamientos indica que de Arenal, Barrancas, hacia la zona de San

Francisco se observa un pequeño cono de abatimiento en el Rancho de Guadalupe.

- La zona de recarga en el acuífero libre es debida a la red de drenaje de las serranías El Tepozán, Loma Cerro, El Pelón que tienen una gran influencia
- En el acuífero semiconfinado el agua subterránea se desplaza de Zapote Guadalupe y Valle Umbroso.
- Una característica importante es que en la zona de Barrancas y Arenal hasta el Porvenir las rocas adyacentes que confinan el acuífero son sedimentarias y caso contrario en la zona de San José de Cortes, Primero y Segundo hasta llegar a Colón San Francisco las rocas en general son de tipo ígneo.
- La calidad del agua se manifiesta de la siguiente manera para la zona de Corte Segundo hasta Carrizal se obtiene Bicarbonatada Cálcica Magnésica y para Arenal, Corte Primero, Ejido del Centro hasta Colon San Francisco el tipo de agua es sulfatada clorurada cálcica magénsica.
- En los pozos la calidad de agua pertenece a la familia de sulfatada clorurada cálcica. Con excepción del pozo CNA (5) 398 que tiene aporte de las aguas de las norias ya que nos dio una clasificación bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas.

RECOMENDACIONES

El logro de cualquier estudio geohidrológico en cuencas que no son estudiadas en forma continua trata de dar algunas alternativas de solución que pueden beneficiar a al región:

- Es necesario elaborar continuamente estudios para poder mantener actualizada la zona de Ahualulco y en un futuro poder desarrollar un modelo matemático a través del manejo de una buena base de datos.
- Apoyar en estudios de tipo geofísico para que brinden mayor información del subsuelo. Y poder dar diagnósticos más confiables que a su vez determinen la geometría del sistema acuífero para futuras extracciones.
- Poner sistemas de riego por goteo o bien planificar riegos nocturnos lo que puede evitar perdidas de agua por evaporación, o la planificación de un sistema de bombeo que no afecte a los conos de abatimiento entre norias cercanas.
- Dar asesoría por parte de la SARH, PROFEPA, CNA y La Escuela de Agronomía de la UASLP. Para el mejor manejo de fertilizantes, así como sugerir y planificar la aplicación de programas para que se prevenga la zona agrícola a coadyuvar al medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

1. Álvarez Jr Manuel- Guel D de L Arturo, “ Provincias Fisiográficas De la República Mexicana”, Sociedad Geológica Mexicana, Sobretiro de Boletín No 2, Tomo XXIV – 1961.
2. Aguillón Robles, “ Estructura Interna de los Domos Riolíticos del Area de Tepetate SLP” Instituto de Geología de la UASLP, Folleto técnico No 118, 1994.
3. Carrillo Bravo, “ La Plataforma Valles - San Luis Potosí “, Bol. Asoc. Mex, Geol, Pet 23.1971.
4. Custodio Emilio – Llamas Manuel Ramón, “ Hidrología Subterránea”, Tomo I, Ediciones Omega, S, A, Segunda Edición, Barcelona España, 1983.
5. Gran Diccionario Enciclopédico Ilustrado, Tomo III, Selecciones Readers Digest. 1979.
6. INEGI, “ Los Municipios de San Luis Potosí “, Editorial INEGI 1988 p.p. 21 –24.
7. “ Resultados Definitivos Tabulados Básicos 1995” Editorial INEGI, Editado Octubre 1996.
8. Labárthe–Tristán,, “ Cartografía Geológica de la Hoja Ahualulco San Luis Potosí, SLP”, Instituto de Geología de la UASLP, Folleto Técnico 70, 1981.
9. Labárthe–Tristán, “ Reintepretación de la Geología del Centro Volcánico de la Sierra de Ahualulco SLP”, Instituto de Geología de la UASLP, Folleto Técnico 121, 1995.

10. Labárthe-Tristán, “ Revisión Estratigráfica del Cenozoico de la Porción SW del Estado de San Luis Potosí” Instituto de Geología de la UASLP, Folleto Técnico 85, 1982.
11. López Ramos Geología de México Tomo II editorial
12. López Linares, “ Estudio Geohidrológico Preliminar de la Zona Moctezuma –Venado - Charcas Del Estado de San Luis Potosí” Facultad de Ingeniería UASLP. Tesis Licenciatura para obtener el título de Ingeniero Geólogo, 1982
13. Martínez Ruiz, V.J. “ Estudio Geohidrológico de la Hoja de Ahualulco Estado de San Luis Potosí” Folleto Técnico No 119, Instituto Geología de la UASLP México, 1994.
14. Ortiz Aguirre Ramón,” Elementos de Hidrogeología,” Facultad de Ingeniería, UASLP, Publicación G3, Mayo 1988.
15. Ortiz Aguirre Ramón, “ Cartografía Hidrogeológicas” Facultad de Ingeniería UASLP, Area Ciencias de la Tierra.
16. Trueba Coronel Samuel, “ Hidráulica” Editorial Continental S.A. de C. V. 23 Impresión México.
17. Springall, r, “ Apuntes de Hidrología” Publicación del Instituto de Ingeniería UNAM. México s /f p. p. 41 - 60.
18. Raize, “Land Forms of México”, Mapa con Texto Esc 1:3,000,000 Aprox Cambridge mass 1959.

ANEXOS

TABLAS

ANALISIS Y CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

Proyecto. AHUALULCO.
 Tipo de Aprovechamiento. NORIA.
 Identificación en el plano. CNA(5) 1090.
 Ubicación Colon San Francisco.
 Profundidad 20 m.

Temperatura del agua 27 ° C.
 p. H. 6.9 C.E 2100 Microhoms /cm
 D.T 299.987 mg/l
 Sólidos Totales Disueltos 1500 mg/l

ANIONES	Mg/l	RECIPROCA EQUIVALENTE	UNIDADES DE REACCION	%
Cl	63.68	0.0282	1.7957	6.99
SO ₄	300	0.0208	6.24	24.29
NO ₃		0.0161		
NO ₂		0.0217		
				31.28
CO ₃		0.0333		
HCO ₃	292.95	0.0164	4.8043	18.70
PO ₄		0.0316		
			12.8400	18.70
CATIONES				
Na	173.16	0.0435	7.5324	27.34
K	10.15	0.0256	0.2598	0.94
Li		0.1441		
NH ₄		0.0554		
				28.28
Ca	116.35	0.0499	5.8058	21.08
Mg	2.10	0.0823	0.1728	0.627
			13.7708	21.707

$$\text{CONCENTRACION SALINA} = \frac{12.8400 + 13.7708}{5} = 5.32$$

Af =	31.28 %	Ad =	18.70 %	Af + Ad = 49.98 %
Alc =	28.28 %	T =	21.70 %	Alc + T = 49.99 %

TABLA 4.9.1

ANALISIS Y CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

Proyecto. AHUALULCO.
 Tipo de Aprovechamiento. NORIA.
 Identificación en el plano. CNA(5) 168.
 Ubicación Carrizal.
 Profundidad 20 m.

Temperatura del agua 19 ° C.
 p. H. 6.9 C.E 1700 Microhoms /cm
 D.T 172.71 mg/l
 Sólidos Totales Disueltos 1214.28 mg/l

ANIONES	Mg/l	RECÍPROCA EQUIVALENTE	UNIDADES DE REACCIÓN	%
Cl	49.52	0.0282	1.3964	9.89
SO ₄	140	0.0208	2.912	20.64
NO ₃		0.0161		
NO ₂		0.0217		
				30.53
CO ₃		0.0333		
HCO ₃	167.40	0.0164	2.7453	19.46
PO ₄		0.0316		
			7.0537	19.46
CACIONES				
Na	69.19	0.0435	3.0097	22.40
K	10.15	0.0256	0.2598	1.93
Li		0.1441		
NH ₄		0.0554		24.33
Ca	63.63	0.0499	3.1751	23.63
Mg	3.31	0.0823	0.2724	2.02
			6.7170	25.65

$$\text{CONCENTRACION SALINA} = \frac{7.0537 + 6.7170}{5} = 2.75$$

Af =	30.53%	Ad =	19.46 %	Af + Ad =	49.99 %
Alc =	24.33 %	T =	25.65 %	Alc + T =	49.98 %

TABLA 4.9.2

ANALISIS Y CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

Proyecto. AHUALCO.
 Tipo de Aprovechamiento. NORIA.
 Identificación en el plano. CNA(5) 30
 Ubicación Carrizal .
 Profundidad 20 m.

Temperatura del agua 20 ° C
 p. H. 6.7 C.E 2200 Microhoms /cm
 D.T 549.94 mg/l
 Sólidos Totales Disueltos: 1571.42 mg/l

ANIONES	Mg/l	RECIPROCA EQUIVALENTE	UNIDADES DE REACCION	%
Cl	77.83	0.0282	2.1948	5.89
SO ₄	600	0.0208	12.48	33.51
NO ₃		0.0161		
NO ₂		0.0217		
				39.4
CO ₃		0.0333		
HCO ₃	240.64	0.0164	3.9464	10.55
PO ₄		0.0316		
			18.6212	10.55
CATIONES				
Na	160.74	0.0435	6.9921	30.90
K	9.13	0.0256	0.2337	1.0327
Li		0.1441		
NH ₄		0.0554		
				31.93
Ca	74.53	0.0499	3.7190	16.43
Mg	4.49	0.0823	0.3695	1.03
			11.314	17.46

$$\text{CONCENTRACION SALINA} = \frac{18.6212 + 11.314}{5}$$

$$= 5.98$$

Af =	39.40 %	Ad =	10.55 %	Af + Ad =	49.95 %
Alc =	31.93 %	T =	17.46 %	Alc + T =	49.39 %

TABLA 4.9.3

ANALISIS Y CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

Proyecto. AHUALULCO.
 Tipo de Aprovechamiento. NORIA.
 Identificación en el plano. CNA(5) 313.
 Ubicación Corte Segundo.
 Profundidad 20 m.

Temperatura del agua 17 ° C.
 p. H. 6.8 C.E 2000 Microhoms /cm
 D.T 363.60 mg/l
 Sólidos Totales Disueltos 1428.57 mg/l

ANIONES	Mg/l	RECIPROCA EQUIVALENTE	UNIDADES DE REACCION	%
Cl	58.17	0.0282	1.6432	5.44
SO ₄	415.43	0.0208	8.6409	28.63
NO ₃		0.0161		
NO ₂		0.0217		
				34.07
CO ₃		0.0333		
HCO ₃	292.95	0.0164	4.8043	15.92
PO ₄		0.0316		
			15.0884	15.92
CACIONES				
Na	157.06	0.0435	6.8321	23.61
K	14.60	0.0256	0.3727	1.201
Li		0.1441		
NH ₄		0.0554		24.90
Ca	136.35	0.0499	6.8038	23.51
Mg	5.53	0.0823	0.4551	1.57
			14.4647	25.08

$$\text{CONCENTRACION SALINA} = \frac{15.0884 + 14.4647}{5} = 5.91$$

Af =	34.07 %	Ad =	15.92 %	Af + Ad =	49.92 %
Alc =	24.90 %	T =	25.08 %	Alc + T =	49.98 %

TABLA 4.9.4

ANALISIS Y CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

Proyecto AHAULULCO.
 Tipo de Aprovechamiento. NORIA.
 Identificación en el plano. CNA(5) 398.
 Ubicación Ejido del Centro.
 Profundidad 20 m.

Temperatura del agua 27 ° C
 p. H. 7 C.E 2100 Microhoms /cm
 D.T 249.97 mg/l
 Sólidos Totales disueltos: 1500 mg/l

ANIONES	Mg/l	RECIPROCA EQUIVALENTE	UNIDADES DE REACCION	%
Cl	70.75	0.0282	1.9951	7.67
SO ₄	339.40	0.0208	7.0595	27.14
NO ₃		0.0161		
NO ₂		0.0217		
				34.81
CO ₃		0.0333		
HCO ₃	240.64	0.0164	3.9464	15.17
PO		0.0316		
			13.0011	15.17
CATIONES				
Na	122.61	0.0435	5.3335	25.23
K	9.48	0.0256	0.2426	1.14
Li		0.1441		
NH ₄		0.0554		
				26.37
Ca	92.71	0.0499	4.6262	21.89
Mg	4.42	0.0823	0.3637	1.72
			10.5660	23.61

$$\text{CONCENTRACION SALINA} = \frac{13.0011 + 10.5660}{5} = 4.7$$

Af =	34.81 %	Ad =	15.17 %	Af + Ad =	49.98 %
Alc =	26.37 %	T =	23.61 %	Alc + T =	49.98 %

TABLA 4.9.5

ANALISIS Y CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

Proyecto. AHAULULCO.
 Tipo de Aprovechamiento. NORIA.
 Identificación en el plano. CNA(5) 472.
 Ubicación Arenal.
 Profundidad 15 m.

Temperatura del agua 19 ° C
 p. H. 6.8 C.E 2000 Microhoms /cm
 D.T 204.52 mg/l
 Sólidos Totales Disueltos 1428.57 mg/l

ANIONES	Mg/l	RÉCIPROCA EQUIVALENTE	UNIDADES DE REACCION	%
Cl	28.30	0.0282	0.7980	5.51
SO ₄	120	0.0208	2.496	17.23
NO ₃		0.0161		
NO ₂		0.0217		
				22.74
CO ₃		0.0333		
HCO ₃	240.64	0.0164	3.9464	27.25
PO ₄		0.0316		
			7.2404	27.25
CATIONES				
Na	75.40	0.0435	3.2799	21.57
K	9.13	0.0256	0.2337	1.53
Li		0.1441		
NH ₄		0.0554		
				23.10
Ca	74.53	0.0499	3.7190	24.46
Mg	4.49	0.0823	0.3695	2.43
			7.6021	26.89

$$\text{CONCENTRACION SALINA} = \frac{7.2404 + 7.6021}{5}$$

$$= 2.96$$

Af =	22.74 %	Ad =	27.25 %	Af + Ad = 49.99 %
Alc =	23.10 %	T =	26.89 %	Alc + T = 49.99 %

TABLA 4.9.6

ANALISIS Y CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

Proyecto. AHUALULCO.
 Tipo de Aprovechamiento. NORIA.
 Identificación en el plano. CNA(5) 624.
 Ubicación Colon San Francisco.
 Profundidad 20 m.

Temperatura del agua 27 ° C
 p. H. 8.9 C.E 2000 Microhoms /cm
 D.T 0.00 mg/l
 Sólidos Totales Disueltos 1428.57 mg/l

ANIONES	Mg/l	RECÍPROCA EQUIVALENTE	UNIDADES DE REACCION	%
Cl	63.68	0.0282	1.7957	14.17
SO ₄	45	0.0208	0.9360	7.38
NO ₃		0.0161		
NO ₂		0.0217		
			6.3334	21.55
CO ₃	30.87	0.0333	1.0279	8.11
HCO ₃	156.94	0.0164	2.5738	20.31
PO ₄		0.0316		
			6.3334	28.42
CATIONES				
Na	145.57	0.0435	6.3322	49.94
K	0.25	0.0256	0.064	0.05
Li		0.1441		
NH ₄		0.0554		
				49.99
Ca	0.00	0.0499	0.0	0.0
Mg	0.00	0.0823	0.0	0.0
			0.0	49.99

$$\begin{aligned}
 \text{CONCENTRACION SALINA} &= \frac{6.3334 + 6.3386}{5} \\
 &= 2.5
 \end{aligned}$$

Af =	21.55 %	Ad =	28.42 %	Af + Ad =	49.97 %
Alc =	49.99 %	T =	0.0 %	Alc + T =	49.99 %

TABLA 4.9.7

ANALISIS Y CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

Proyecto. AHUALULCO.
 Tipo de Aprovechamiento. NORIA.
 Identificación en el plano. CNA(5) 934.
 Ubicación R ancho Guadalupe.
 Profundidad 20 m.

Temperatura del agua 27 ° C
 p. H. 6.8 C.E 2.300 Microhoms /cm
 D.T 509.04 mg/l
 Sólidos Totales Disueltos 1642.85 mg/l

ANIONES	Mg/l	RECIPROCA EQUIVALENTE	UNIDADES DE REACCION	%
Cl	155.60	0.0282	4.3896	10.29
SO ₄	550.00	0.0208	11.44	26.82
NO ₃		0.0161		
NO ₂		0.0217		
				37.11
CO ₃		0.0333		
HCO ₃	334.80	0.0164	5.4907	12.87
PO ₄		0.0316		
			21.3203	12.87
CATIONES				
Na	163.22	0.0435	7.10	19.12
K	50.67	0.0256	1.2971	3.49
Li		0.1441		
NH ₄		0.0554		
				22.61
Ca	169.07	0.0499	8.4365	22.72
Mg	20.99	0.0823	1.7274	4.65
			18.5610	27.31

$$\text{CONCENTRACION SALINA} = \frac{21.3203 + 18.5610}{5} = 7.97$$

Af =	37.11%	Ad =	12.87 %	Af + Ad = 49.98 %
Alc =	22.72 %	T =	27.31 %	Alc + T = 50.03 %

TABLA 4.9.8

ANALISIS Y CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

Proyecto. AHUALULCO.
 Tipo de Aprovechamiento pozo.
 Identificación en el plano CNA(5) 380.
 Ubicación Valle Umbroso.
 Profundidad 250 m.

Temperatura del agua 15 °C.
 p. H. 6.7 C.E 1700 Microhoms /cm
 D.T 499.50mg/l
 Sólidos Totales Disueltos 1214 mg/l

ANIONES	mg/l	RECIPROCA EQUIVALENTE	UNIDADES DE REACCION	%
Cl	99.05	0.0282	2.7932	11.26
SO ₄	206.06	0.0208	4.2860	17.28
NO ₃		0.0161		
NO ₂		0.0217		
				28.54
CO ₃		0.0333		
HCO ₃	324.34	0.0164	5.319	21.45
PO ₄		0.0316		
			12.3982	49.99
CATIONES				
Na	58.88	0.0435	2.5612	9.62
K	27.37	0.0256	0.70006	2.63
Li		0.1441		
NH ₄		0.0554		
				12.25
Ca	163.62	0.0499	8.1546	30.67
Mg	21.99	0.0823	1.8097	6.80
			13.3061	37.47

$$\text{CONCENTRACION SALINA} = \frac{12.3982 + 13.3061}{5}$$

$$= 5.1$$

Af =	28.54 %	Ad =	21.45 %	Af + Ad = 49.99%
Alc =	12.25%	T =	37.47 %	Alc + T = 49.72%

TABLA 4.9.9

ANALISIS Y CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

Proyecto AHUALULCO.
 Tipo de Aprovechamiento. POZO.
 Identificación en el plano. CNA(5) 382.
 Ubicación Valle Umbroso.
 Profundidad 300 m.

Temperatura del agua 27° C.
 p. H. 6.8 C.E 1500 Microhoms /cm
 D.T 349.56 mg/l
 Sólidos Totales Disueltos 1071.42 mg/l

ANIONES	mg/l	RECÍPROCA EQUIVALENTE	UNIDADES DE REACCION	%
Cl	120.28	0.0282	3.3918	14.0746
SO ₄	210.00	0.0208	4.3680	18.1255
NO ₃		0.0161		
NO ₂		0.0217		
				32.2001
CO ₃		0.0333		
HCO ₃	261.56	0.0164	4.2895	17.7997
PO ₄		0.0316		
			12.0493	17.7997
CACIONES				
Na	65.46	0.0435	2.8475	13.5922
K	25.34	0.0256	0.6487	3.0965
Li		0.1441		
NH ₄		0.0554		
				16.6887
Ca	116.35	0.0499	5.8058	27.7134
Mg	14.25	0.0823	1.1727	5.5977
			10.4747	33.30

$$\text{CONCENTRACION SALINA} = \frac{12.0493 + 10.4747}{5} = 4.5$$

Af =	32.00 %	Ad =	17.79 %	Af + Ad =	49.99 %
Alc =	16.68 %	T =	33.30 %	Alc + T =	49.99 %

TABLA 4.9.10

ANALISIS Y CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

Proyecto. AHAULCO.
 Tipo de Aprovechamiento. POZO.
 Identificación en el plano. CNA(5) 386.
 Ubicación Ejido el Palmar.
 Profundidad 250 m.

Temperatura del agua 30 °C.
 p. H. 7.1 C.E 1800 Microhoms /cm
 D.T 499.50mg/l
 Sólidos Totales Disueltos 1285.71 mg/l

ANIONES	Mg/l	RECIPROCA EQUIVALENTE	UNIDADES DE REACCION	%
Cl	63.68	0.0282	1.7957	6.4585
SO ₄	334.54	0.0208	6.9584	25.0271
NO ₃		0.0161		
NO ₂		0.0217		
				31.48
CO ₃		0.0333		
HCO ₃	313.88	0.0164	5.1476	18.5142
PO ₄		0.0316		
			13.9017	18.5142
CATIONES				
Na	92.79	0.0435	4.0363	14.3499
K	13.19	0.0256	0.3376	1.1759
Li		0.1441		
NH ₄		0.0554		
				15.52
Ca	103.62	0.0499	5.1706	18.0098
Mg	58.45	0.0823	4.8104	0.7552
			14.3549	18.76

$$\text{CONCENTRACION SALINA} = \frac{13.9017 + 14.3549}{5}$$

$$= 5.6$$

Af =	31.48 %	Ad =	18.514 %	Af + Ad = 49.99 %
Alc =	15.52 %	T =	18.76 %	Alc + T = 49.99 %

TABLA 4.9.11

ANALISIS Y CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

Proyecto. AHUALULCO.
 Tipo de Aprovechamiento. POZO.
 Identificación en el plano. CNA(5) 387.
 Ubicación Colon San Francisco.
 Profundidad 250 m.

Temperatura del agua 28 °C
 p. H. 7.7 C.E 1400 Microhoms /cm
 D.T 286 mg/l
 Sólidos Totales Disueltos 1000 mg/l

ANIONES	Mg/l	RECIPROCA EQUIVALENTE	UNIDADES DE REACCION	%
Cl	14.15	0.0282	0.3990	2.42
SO ₄	120.00	0.0208	2.496	15.19
NO ₃		0.0161		
NO ₂		0.0217		
				17.61
CO ₃	20.58	0.0333	0.6853	4.1720
HCO ₃	282.49	0.0164	4.6328	28.20
PO ₄		0.0316		
			8.2131	32.37
CATIONES				
Na	43.10	0.0435	1.8748	11.71
K	16.23	0.0256	0.4154	2.59
Li		0.1441		
NH ₄		0.0554		
				14.3
Ca	83.62	0.0499	4.1726	26.07
Mg	18.70	0.0823	1.5390	9.61
			8.0019	35.68

$$\text{CONCENTRACION SALINA} = \frac{8.2131 + 8.0019}{5}$$

$$= 3.24$$

Af =	17.61 %	Ad =	28.20 %	Af + Ad = 49.98 %
Alc =	14.3 %	T =	35.68 %	Alc + T = 49.98 %

TABLA 4.9.12

ANALISIS Y CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

Proyecto AHAULULCO.
 Tipo de Aprovechamiento. POZO.
 Identificación en el plano. CNA(5) 389.
 Ubicación Ejido Guadalupe.
 Profundidad 233 m.

Temperatura del agua 26 °C
 p. H. 6.7 C.E 1900 Microhoms /cm
 D.T 427.23mg/l
 Sólidos Totales Disueltos 1357.14 mg/l

ANIONES	Mg/l	RECIPROCA EQUIVALENTE	UNIDADES DE REACCION	%
Cl	14.15	0.0282	0.3990	1.85
SO ₄	225.00	0.0208	4.68	21.78
NO ₃		0.0161		
NO ₂		0.0217		
				23.63
CO ₃		0.0333		
HCO ₃	345.26	0.0164	5.6622	26.35
PO ₄		0.0316		
			10.7412	26.35
CATIONES				
Na	54.28	0.0435	2.3611	10.29
K	22.31	0.0256	0.5711	2.49
Li		0.1441		
NH ₄		0.0554		
				12.78
Ca	109.08	0.0499	5.443	23.73
Mg	37.56	0.0823	3.0911	13.47
			11.4665	37.2

$$\text{CONCENTRACION SALINA} = \frac{10.7412 + 11.4665}{5}$$

$$= 4.44$$

Alf =	23.63 %	Ad =	26.35 %	Alf + Ad =	49.97 %
Alc =	12.78 %	T =	37.20 %	Alc + T =	49.99 %

TABLA 4.9.13

ANALISIS Y CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

Proyecto. AHUALULCO.
 Tipo de Aprovechamiento. POZO.
 Identificación en el plano. CNA(5) 398.
 Ubicación Ejido del Centro.
 Profundidad 350 m.

Temperatura del agua 27 ° C
 p. H. 6.8 C.E 21000 Microhoms /cm
 D.T 459.04 mg/l
 Sólidos Totales Disueltos 1312.5 mg/l

ANIONES	Mg/l	RECIPROCA EQUIVALENTE	UNIDADES DE REACCION	%
Cl	106.35	0.0282	2.9990	7.21
SO ₄	575	0.0208	11.96	28.75
NO ₃		0.0161		
NO ₂		0.0217		
				35.96
CO ₃		0.0333		
HCO ₃	355.73	0.0164	5.8339	14.02
PO ₄		0.0316		
			20.7929	14.02
CATIONES				
Na	222.11	0.0435	9.6617	23.90
K	53.71	0.0256	1.3749	3.40
Li		0.1441		
NH ₄		0.0554		
				27.30
Ca	139.98	0.0499	6.9850	17.27
Mg	26.62	0.0823	2.1908	5.41
			20.2124	22.68

$$\text{CONCENTRACION SALINA} = \frac{20.7929 + 20.2124}{5}$$

$$= 8.2$$

Af =	35.96 %	Ad =	14.02 %	Af + Ad = 49.98 %
Alc =	27.30 %	T =	22.68 %	Alc + T = 49.99 %

TABLA 4.9.14

DIAGRAMAS SEMILOGARITMICOS DE ANALISIS DE AGUA

TABLA 4.11.1

ANALISIS CNA (5) 1090
 FECHA FEBRERO 97

PROCEDENCIA DEL AGUA NORIA (-)
 OBSERVACIONES GEOLOGICAS CONGLOMERADOS Y DEPOSITOS DE ALUVION

ANALISIS N CNA (5) 472
 FECHA FEB 97

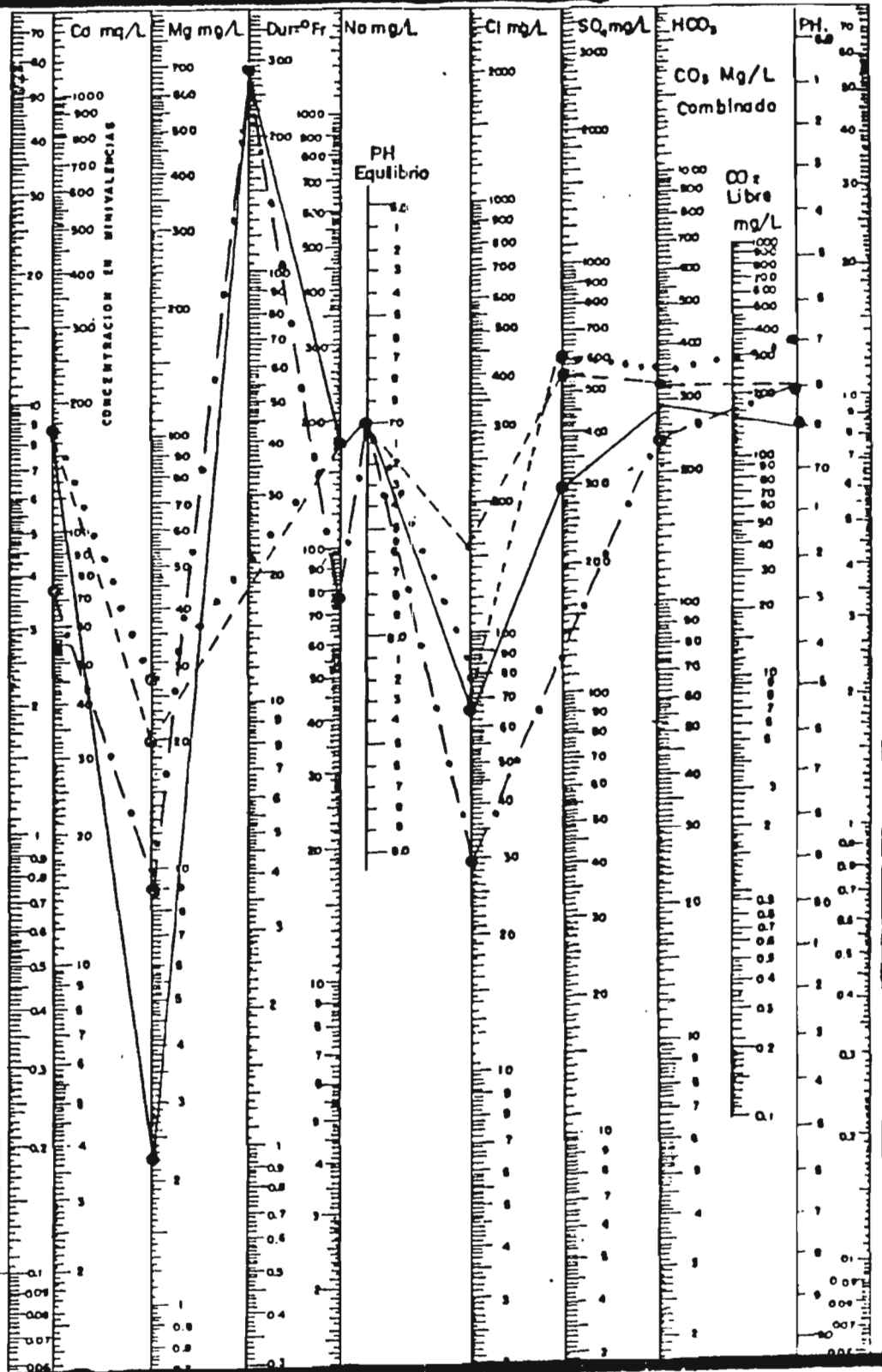
PROCEDENCIA DEL AGUA NORIA (---)
 OBSERVACIONES GEOLOGICAS CONGLOMERADOS Y DEPOSITOS DE ALUVION

ANALISIS CNA (5) 30
 FECHA FEB 97

PROCEDENCIA DEL AGUA NORIA (---)
 OBSERVACIONES GEOLOGICAS CONGLOMERADOS Y DEPOSITOS DE ALUVION

ANALISIS CNA (5) 934
 FECHA FEB 97

PROCEDENCIA DEL AGUA NORIA (---)
 OBSERVACIONES GEOLOGICAS CONGLOMERADOS Y DEPOSITOS DE ALUVION



DIAGRAMAS SEMILOGARITMICOS DE ANALISIS DE AGUA

TABLA 4.11.2

ANALISIS CNA (5) 398 1
 FECHA FEB 97
 PROCEDENCIA DEL AGUA NORIA (-)

OBSERVACIONES GEOLOGICAS DEPOSITOS DE ALUVION CON FRAGMENTOS CON - GLOMERADOS

ANALISIS N° CNA (5) 168 2
 FECHA FEB 97
 PROCEDENCIA DEL AGUA NORIA (xxxxx)

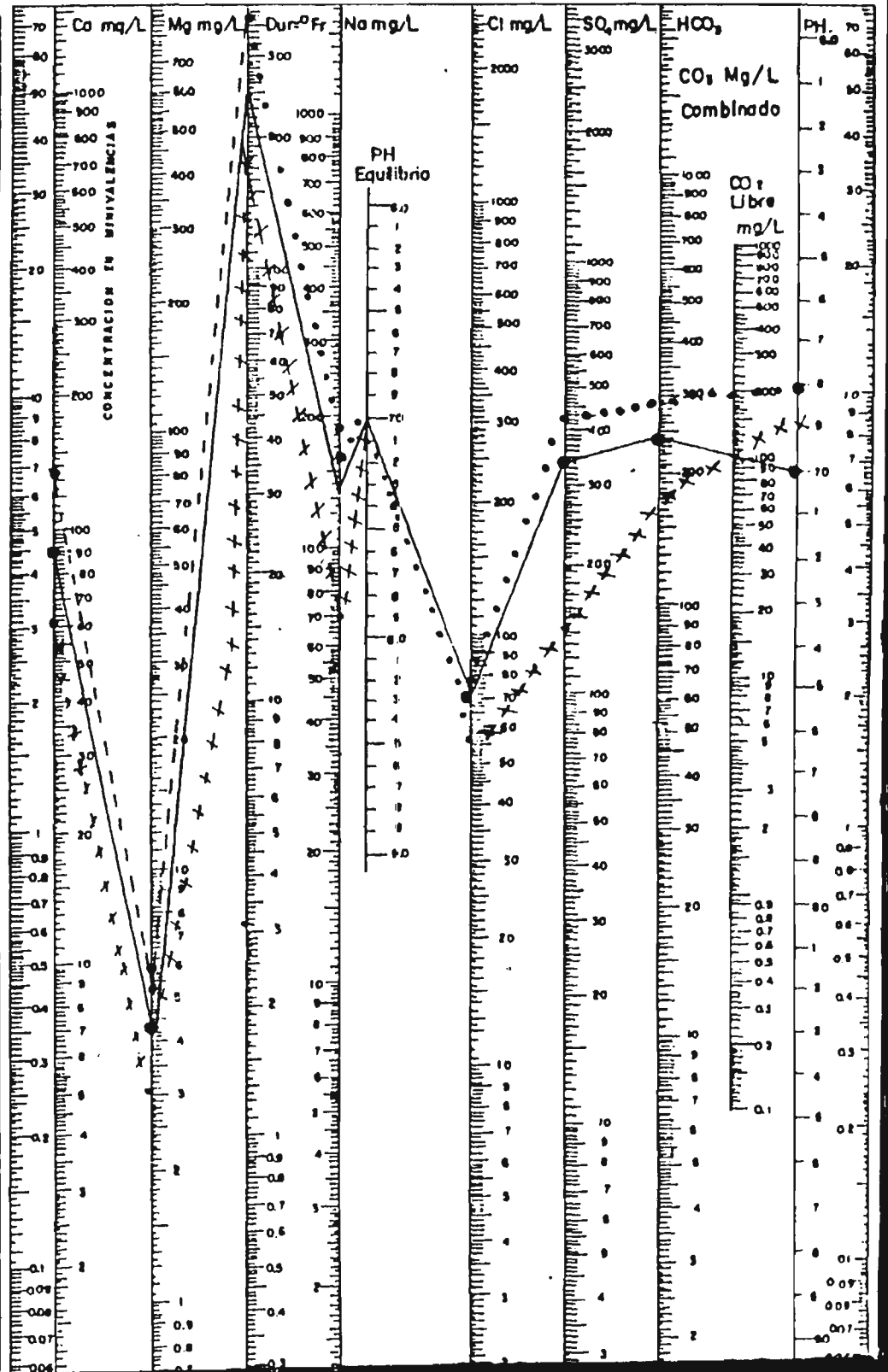
OBSERVACIONES GEOLOGICAS DEPOSITOS DE ALUVION

ANALISIS CNA (5) 313 3
 FECHA FEB 97
 PROCEDENCIA DEL AGUA NORIA (....)

OBSERVACIONES GEOLOGICAS CONGLOMERADOS Y ALU - VION

ANALISIS 4
 FECHA
 PROCEDENCIA DEL AGUA

OBSERVACIONES GEOLOGICAS



DIAGRAMAS SEMILOGARITMICOS DE ANALISIS DE AGUA

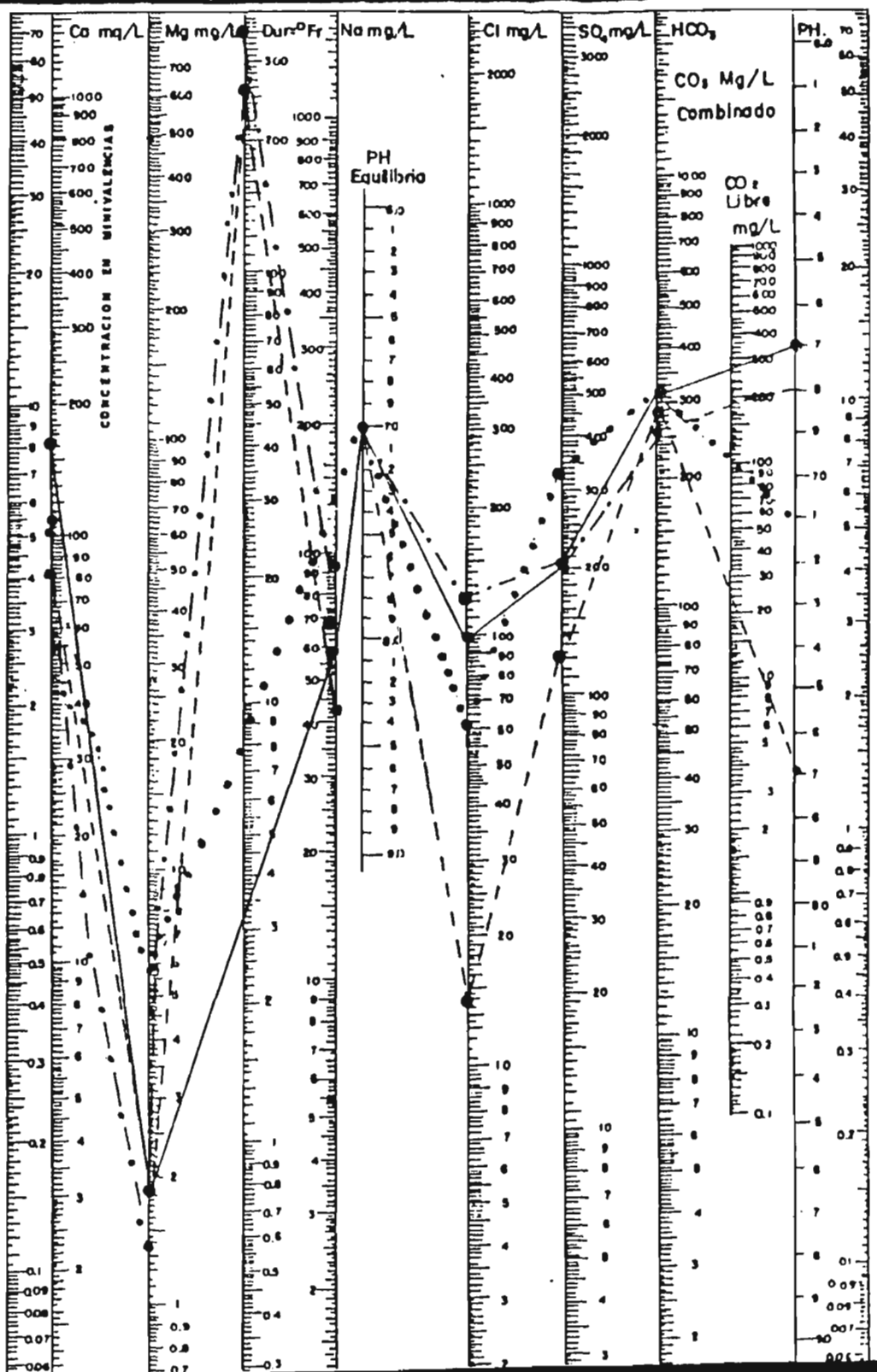
TABLA 4.11. 3

ANALISIS CNA (5) 380 1
 FECHA FEB 97
 PROCEDENCIA DEL AGUA POZO ()
 OBSERVACIONES GEOLOGICAS _____

ANALISIS N° CNA (5) 382 2
 FECHA FEB 97
 PROCEDENCIA DEL AGUA POZO (- - -)
 OBSERVACIONES GEOLOGICAS _____

ANALISIS CNA (5) 386 3
 FECHA FEB 97
 PROCEDENCIA DEL AGUA POZO (. . . .)
 OBSERVACIONES GEOLOGICAS _____

ANALISIS 387 4
 FECHA FEB 97
 PROCEDENCIA DEL AGUA POZO (- - - -)
 OBSERVACIONES GEOLOGICAS _____



DIAGRAMAS SEMILOGARITMICOS DE ANALISIS DE AGUA

TABLA 4.11. 4

ANALISIS CNA (5) 389 (1)
FECHA FEB 97

PROCEDENCIA DEL AGUA _____
POZO (-)

OBSERVACIONES GEOLOGICAS _____

ANALISIS N° CNA (5) 398 (2)
FECHA FEB 97

PROCEDENCIA DEL AGUA _____
POZO

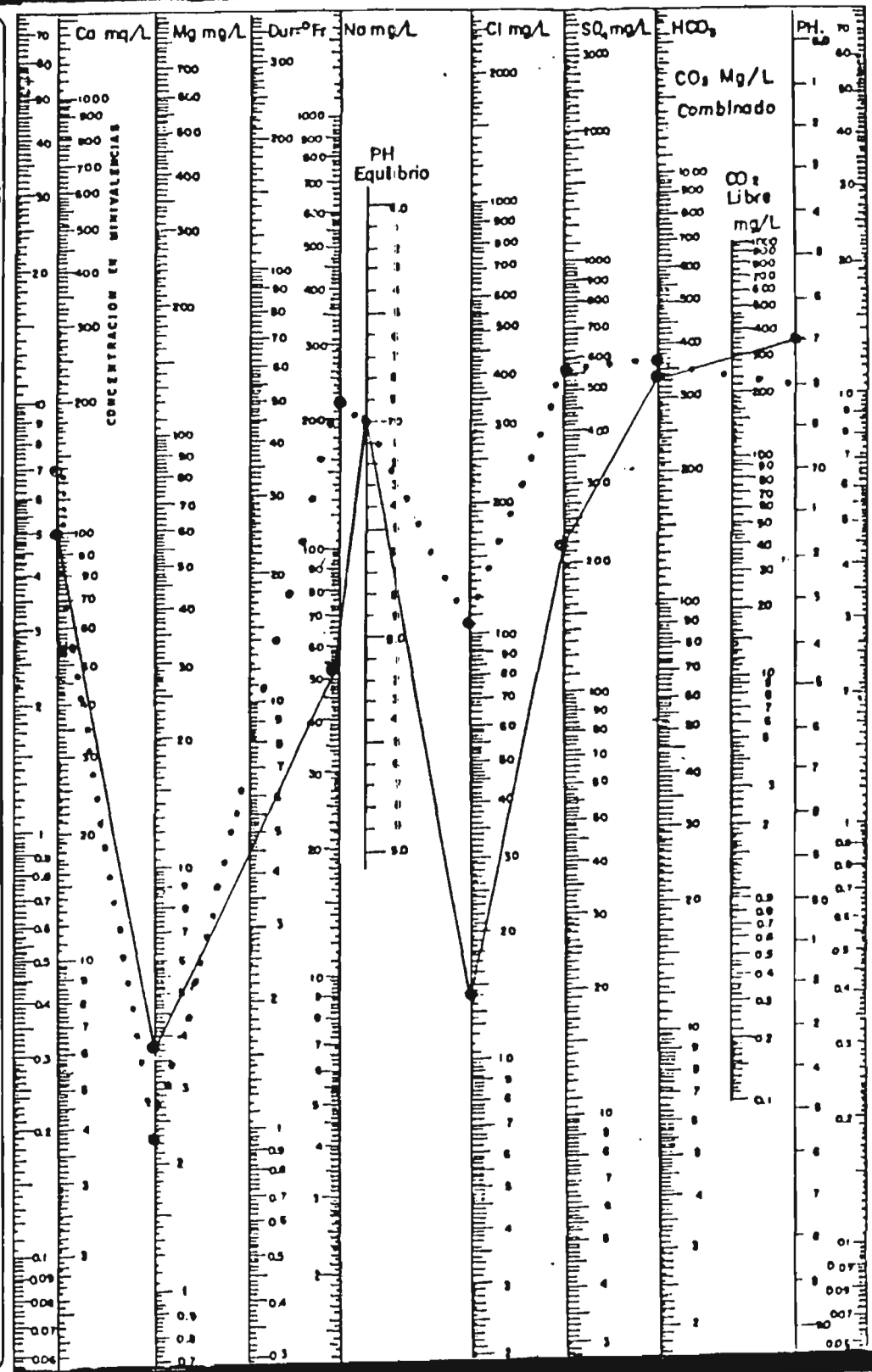
OBSERVACIONES GEOLOGICAS _____

ANALISIS _____ (3)
FECHA _____
PROCEDENCIA DEL AGUA _____

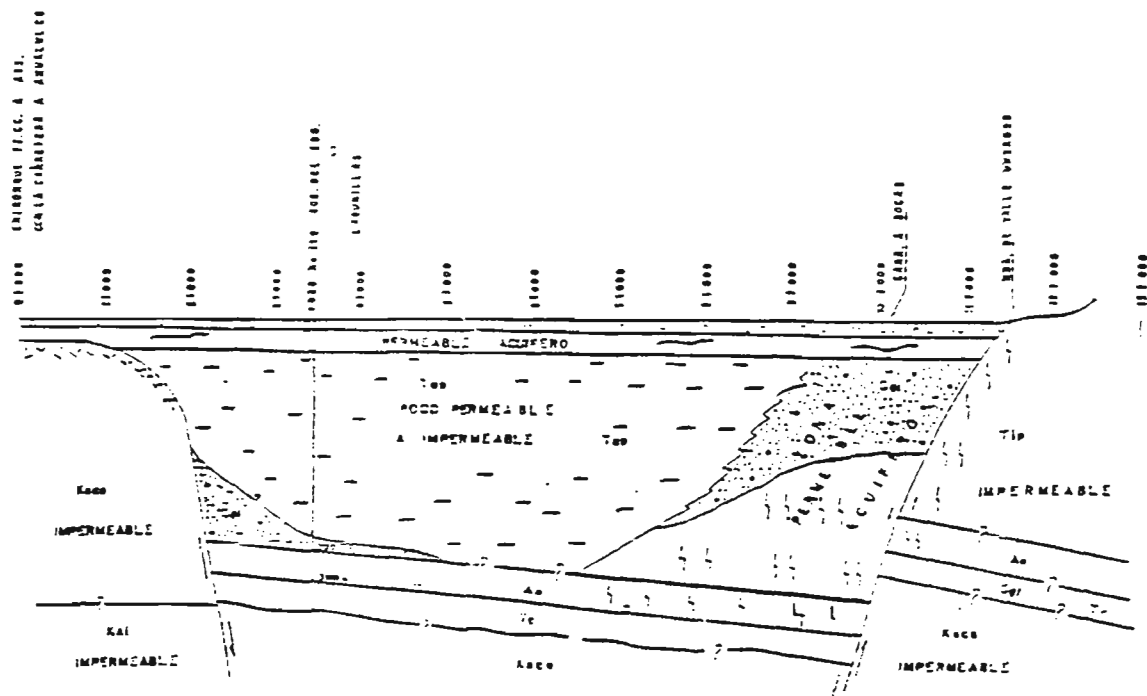
OBSERVACIONES GEOLOGICAS _____

ANALISIS _____ (4)
FECHA _____
PROCEDENCIA DEL AGUA _____

OBSERVACIONES GEOLOGICAS _____



FIGURAS



NOTA SE TOMO DE:
MARTINEZ HERRERA V. "Estudio Geohidrologico de la Hoya de Ahualulco en Estado de San Luis Potosi", Instituto de Geologia de la UASLP, Folio Técnico No. 11
Mexico, 1984

- A ALUVION GRANES, ARENAS Y COLUJARROS
- Col. T20 CONGLOMERADO T 20
- T10 LATA PORTEZUELOS
- Ao ANDESITA
- Tc TERCIARIO CONTINENTAL
CONGLOMERADO LIMOS ARCILLOSOS
- Asca FORMACION CARACOL
LUTITAS Y ARENISCAS
- Ksl FORMACION ORIDOWRA
CALIZAS, ARCILLAS Y LIMOLITA CALIZARAS
- RED DE FLUJO

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
TRABAJO RECEPCIONAL

ACTUALIZACION GEOHIDROLOGICA DEL VALLE DE
AHUALULCO SAN LUIS POTOSI, SLP.

SECCION GEOHIDROLOGICA NE - SW DEL
VALLE DE AHUALULCO VIENDO HACIA EL
NOROESTE

ESC. HOR 1:50,000
VERT 1:500

FORMO HECTOR MANUEL MENDEZ M.
REVISO ING LETICIA PADILLA SANCHEZ

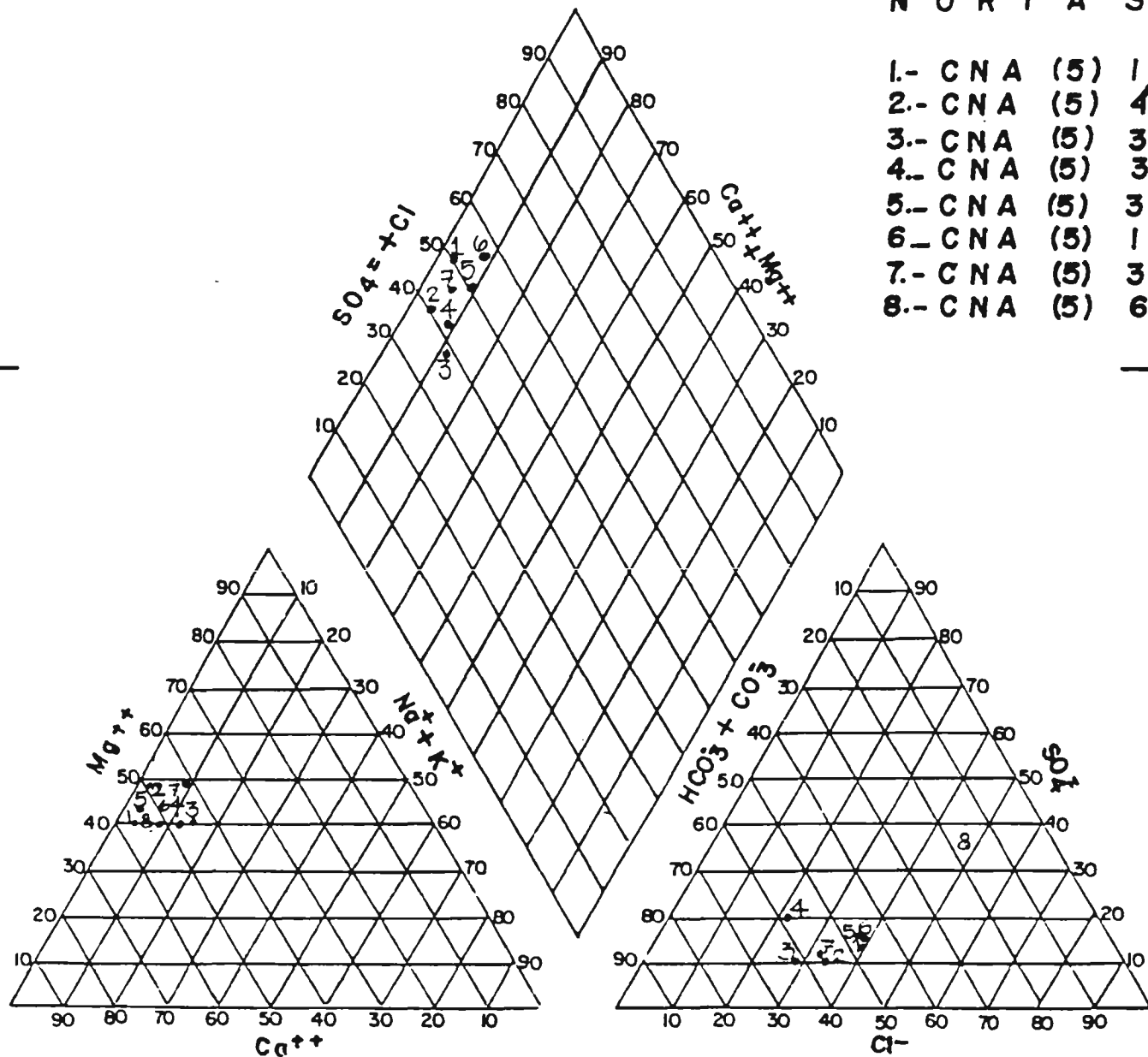
AGOSTO 1998

SAN LUIS POTOSI SLP

FIGURA 4 C

DIAGRAMA TRIANGULAR PARA LA REPRESENTACION GRAFICA DE ANALISIS DE AGUA

FIGURA 4.3

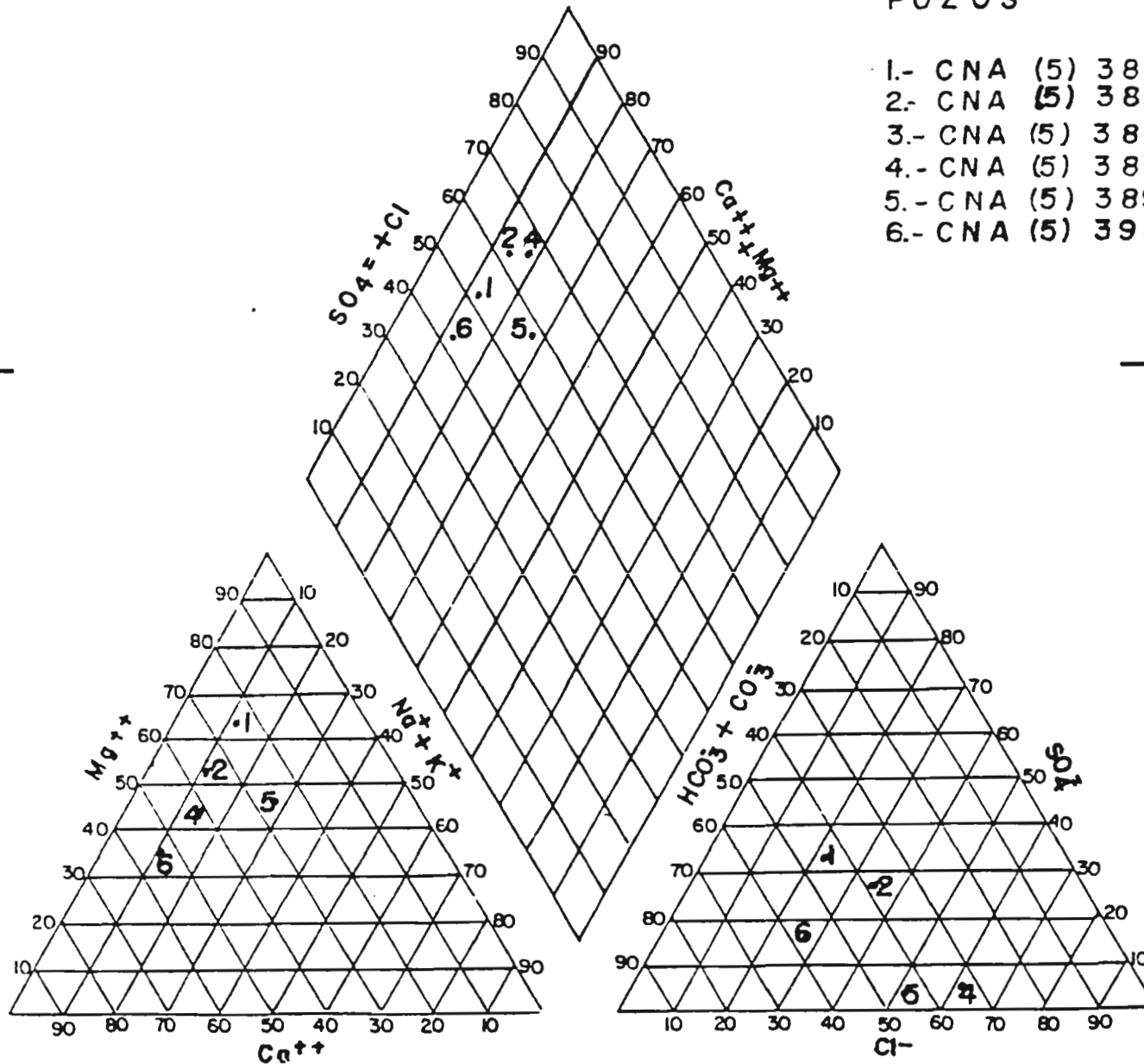


N O R I A S

- 1.- CNA (5) 1090
- 2.- CNA (5) 472
- 3.- CNA (5) 30
- 4.- CNA (5) 374'
- 5.- CNA (5) 398'
- 6.- CNA (5) 168
- 7.- CNA (5) 313
- 8.- CNA (5) 624

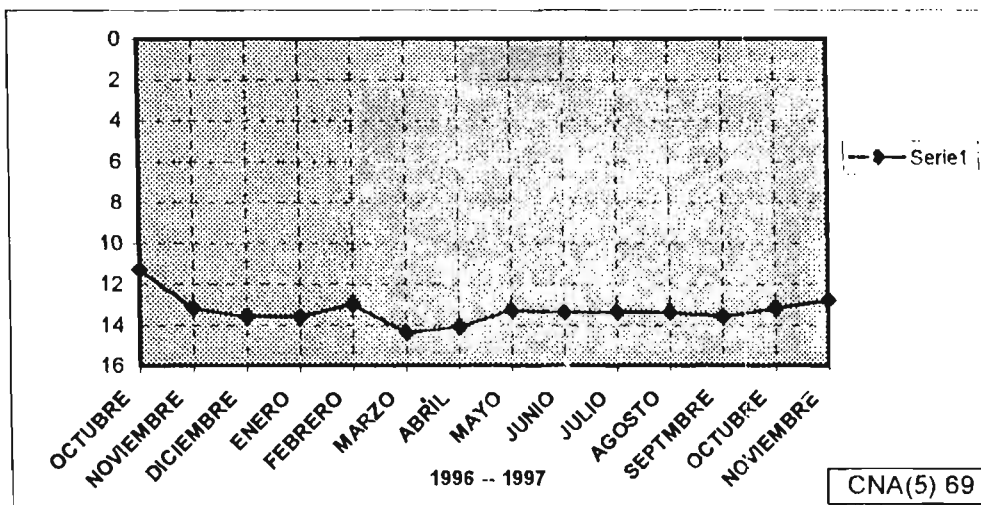
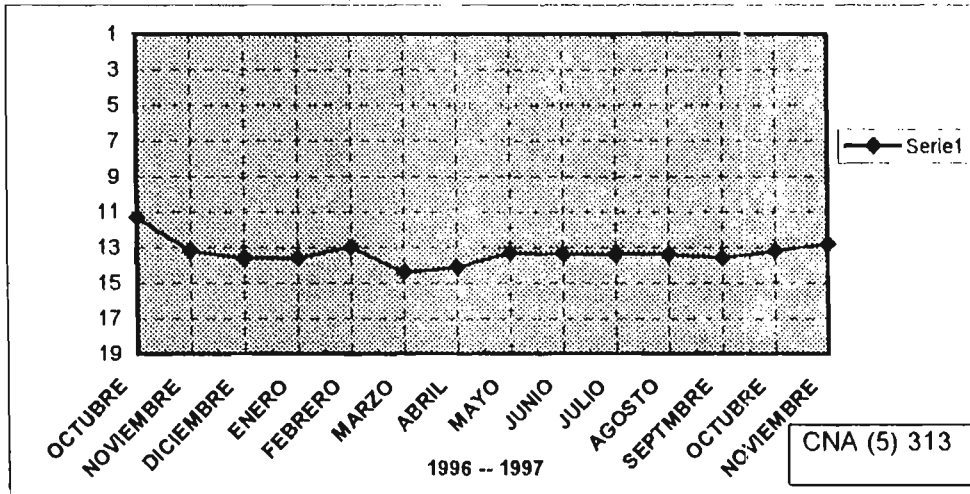
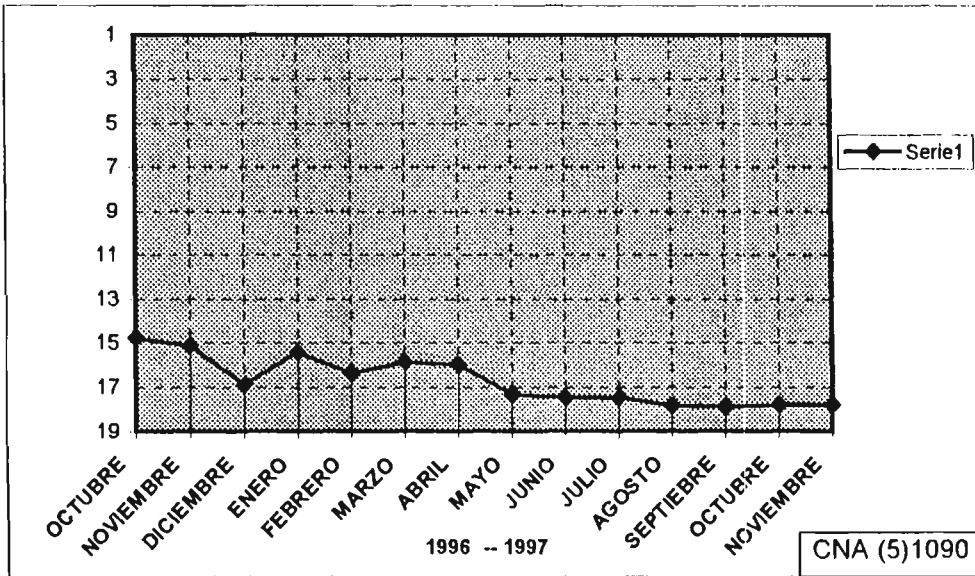
DIAGRAMA TRIANGULAR PARA LA REPRESENTACION GRAFICA DE ANALISIS DE AGUA

FIGURA 4.4

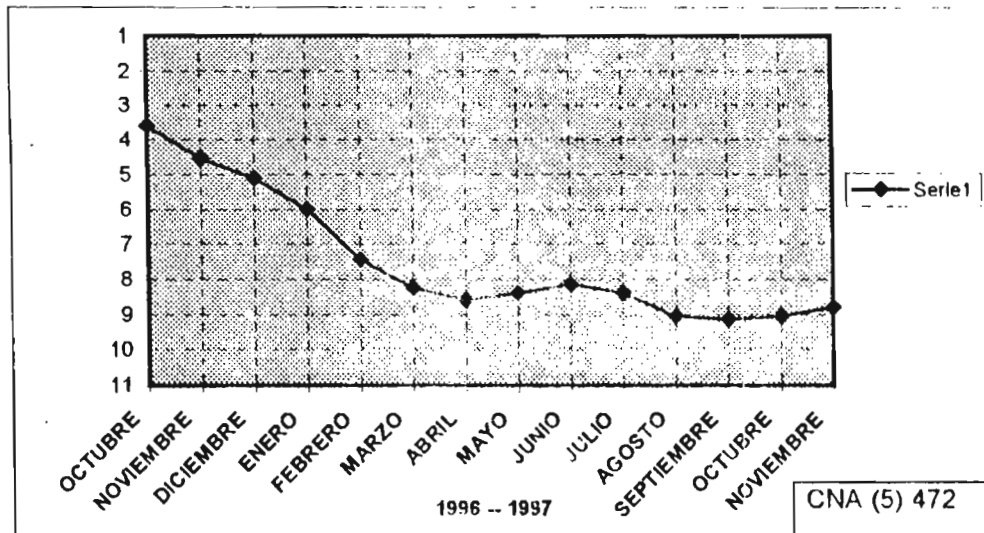
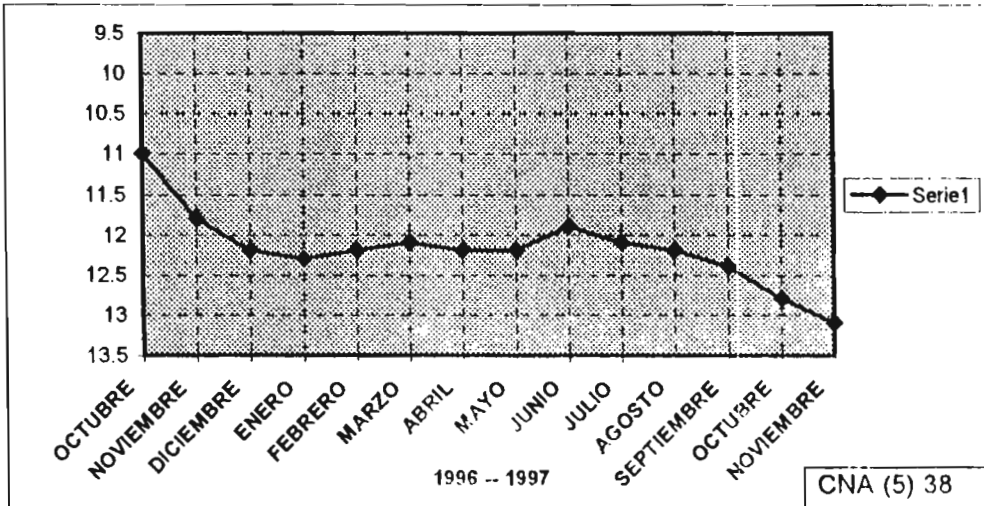
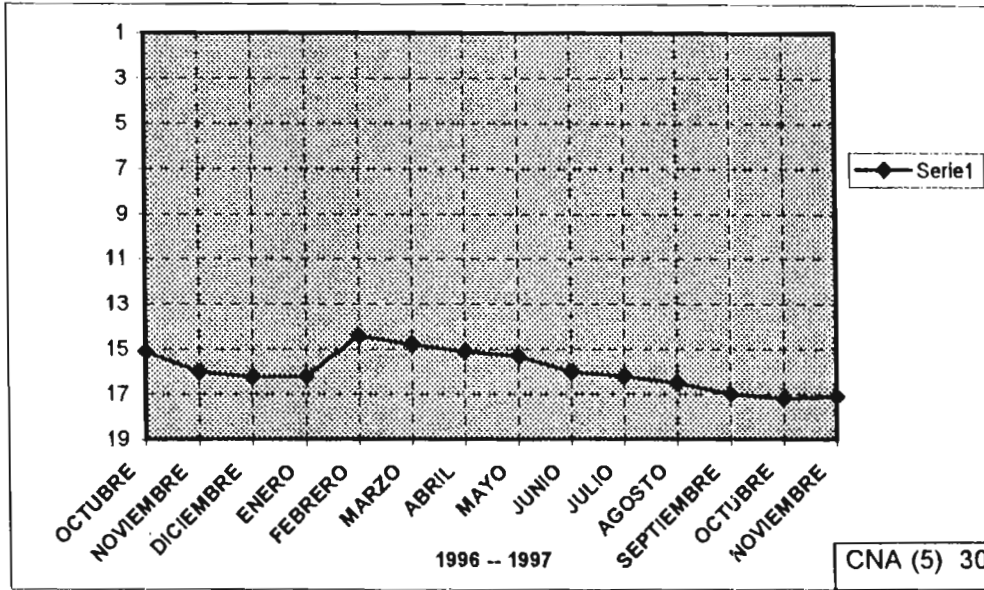


LAMINAS

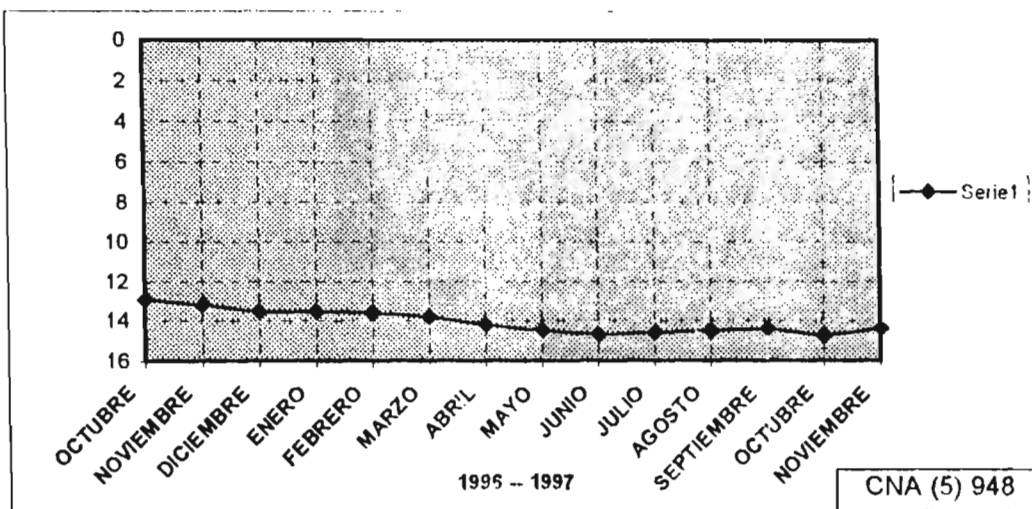
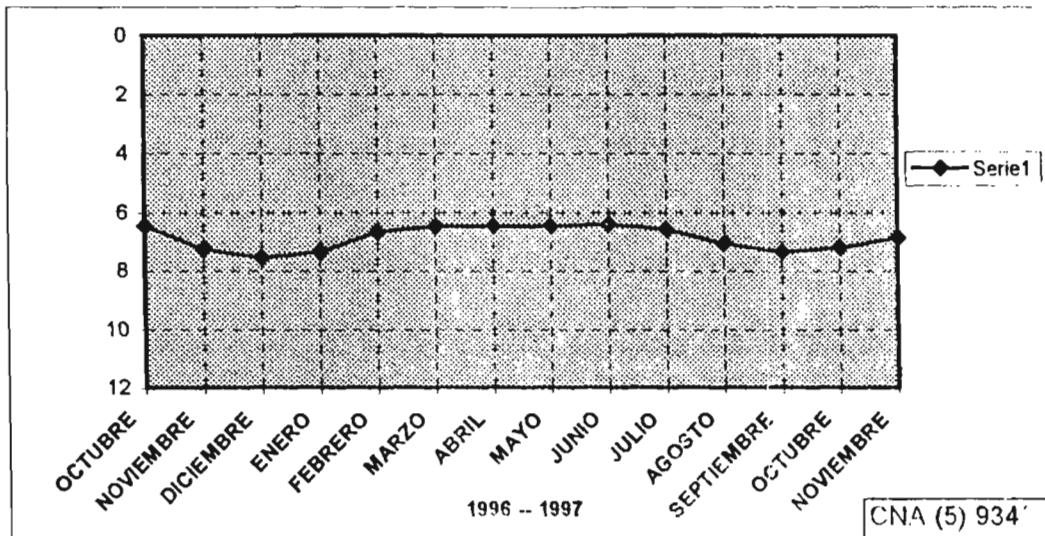
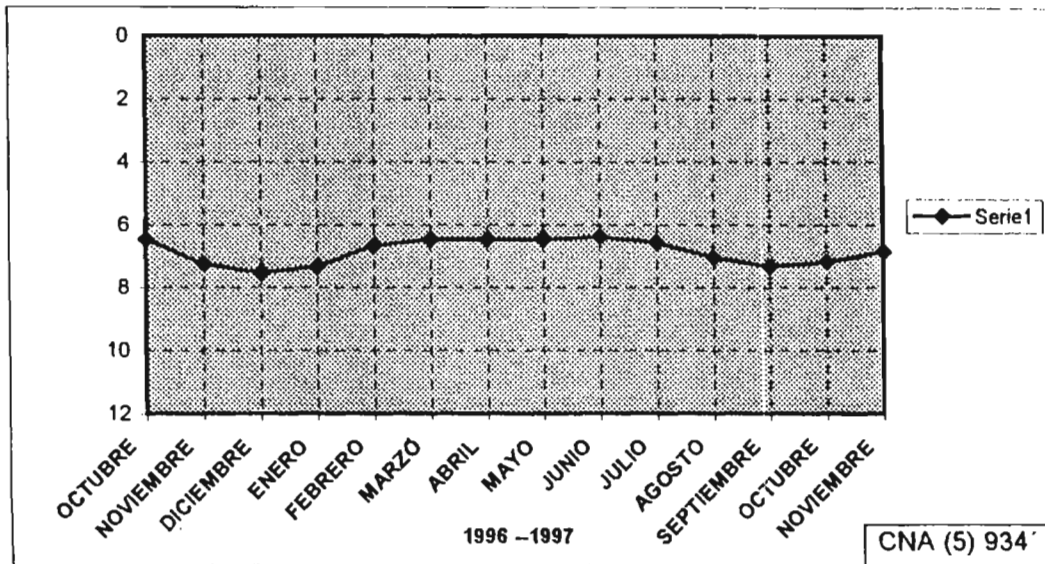
HIDROGRAFOS DE POZOS A CIELO ABIERTO (NORIAS)



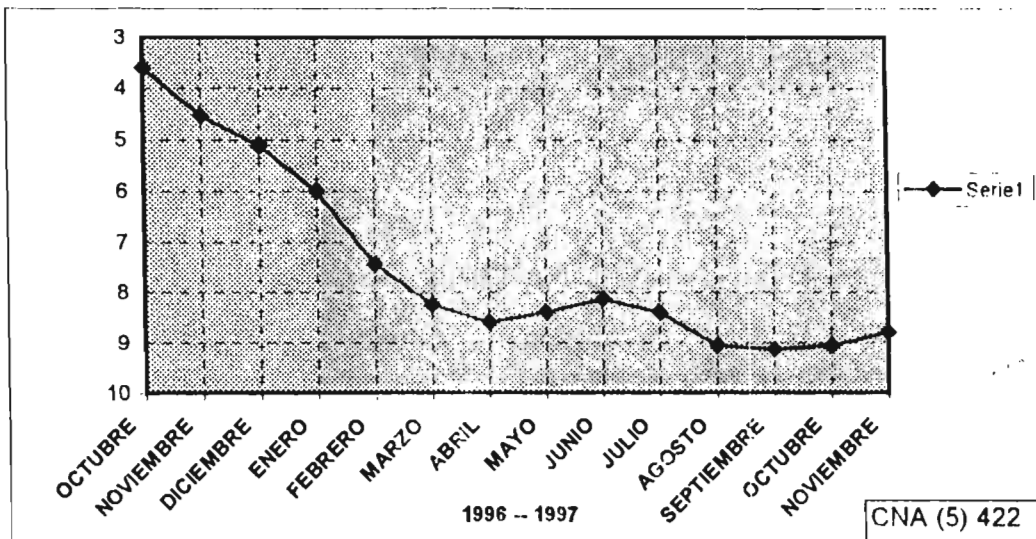
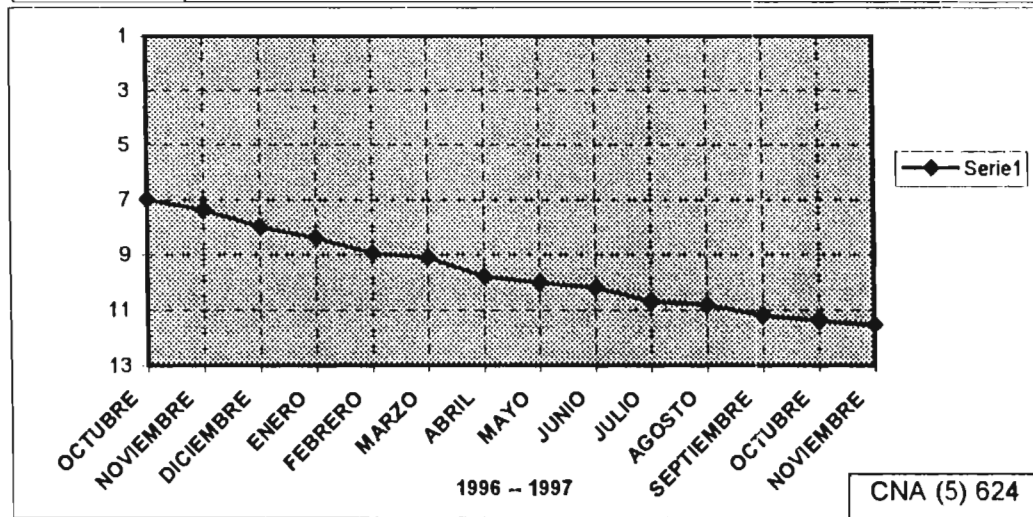
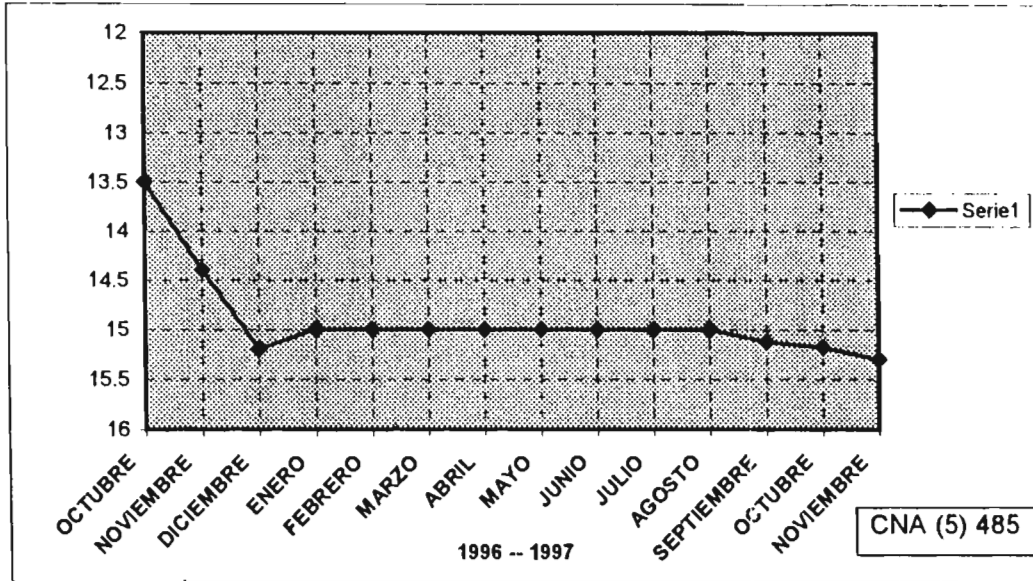
HIDROGRAFOS DE POZOS A CIELO ABIERTO (NORIAS)



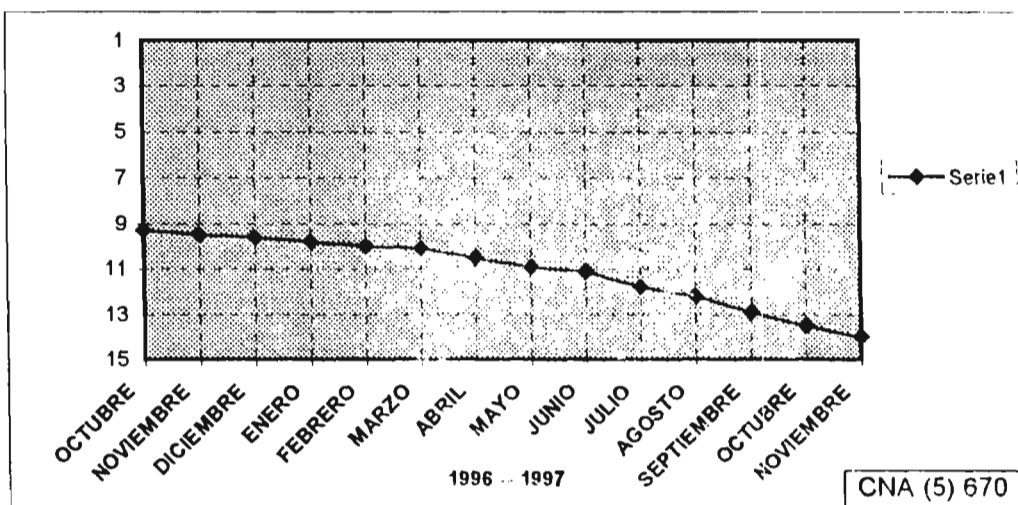
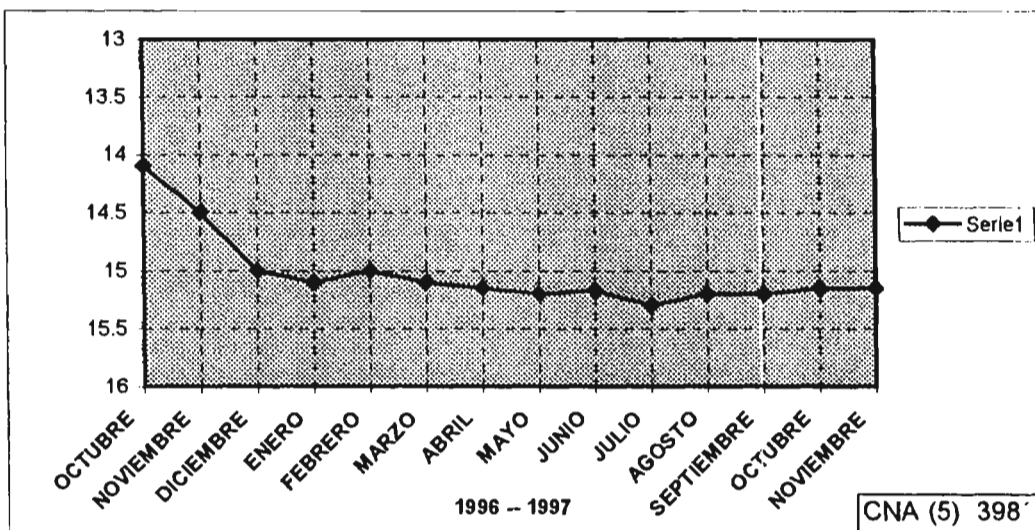
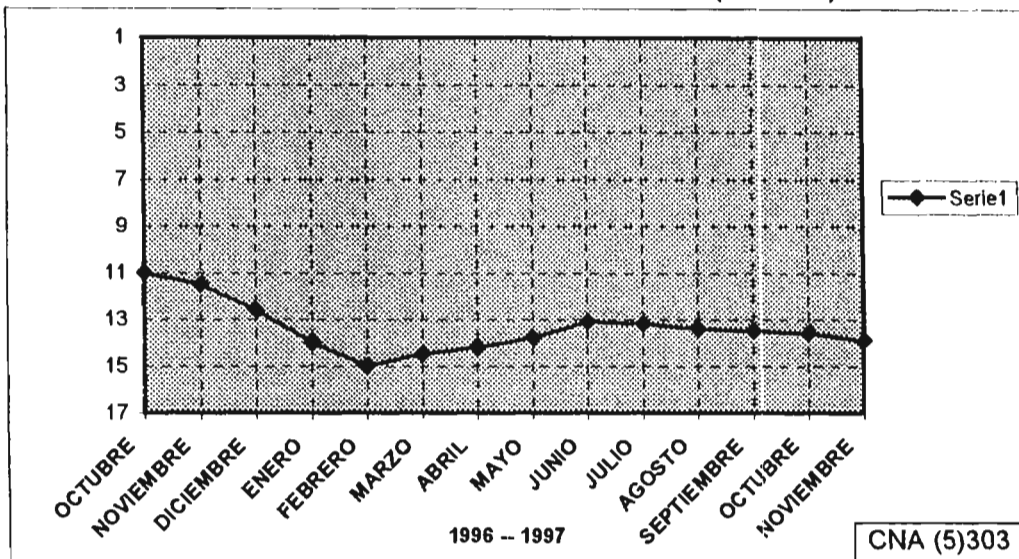
HIDROGRAFOS DE POZOS A CIELO ABIERTO (NORIAS)



HIDROGRAFOS DE POZOS A CIELO ABIERTO (NORIAS)



HIDROGRAFOS DE POZOS A CIELO ABIERTO (NORIAS)



PLANOS

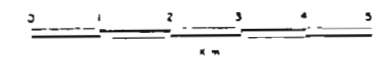


842	FM CANALIZADO
843	FM INOCENCIA MENAHO SUP
844	FM INOCENCIA MENAHO INF
845	FM CUERTA DEL SUR
846	FM BELL

LEYENDA

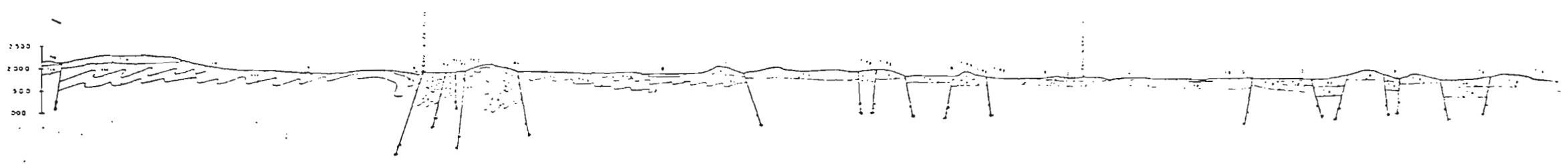
- == CARRETERA TRÁFICO INTENSIVO
- - - - - VERTICALES
- VEREDA
- P. P. CC.
- - - - - ANCHO
- L. A.
- EMBALSE
- F. P. L. A. D.
- RANCHERIA
- RUMBO Y ESCALA DE REDES VECINALES
- RUMBO Y ESCALA
- EJE DE ANTICLINAL REGISTRADO ANTIGUO
- EJE DE SINCLINAL REGISTRADO
- FRACTURA O FALLA SIN ESPECIFICAR
- FALLA NORMAL MOSTRANDO EL LADO HUNDIDO
- FUENTE DE MATERIAL VOLCÁNICO
- M. A. D. C.
- RED DE RIEGO
- RED DE DRENAJE
- CORTADO

ESPIRITU SANTO	MOCTEZUMA	VILLA DE ARISTA
PINOS	AHUALULCO	VILLA HIDALGO
EL CERRAJE	TEPETATE	SAN LUIS POTOSÍ

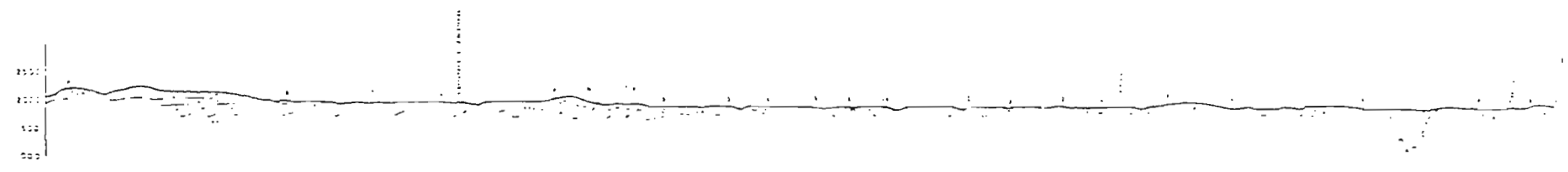


BASE TOPOGRAFICA HOJA DETENAL F-14-A-73

SECCION GEOLOGICA A - B



SECCION GEOLOGICA C - D



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TRABAJO RECEPCIONAL

ACTUALIZACION GEOMORFOLOGICA DEL VALLE DE AHUALULCO SAN LUIS POTOSÍ, SLP

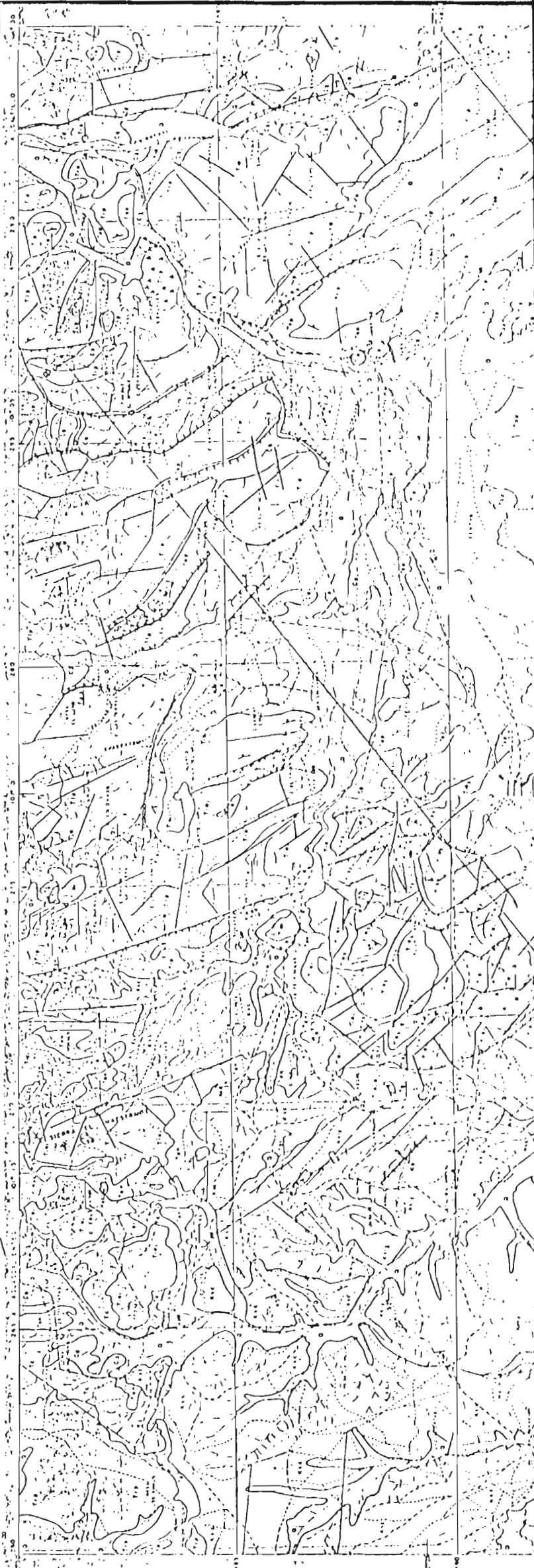
PLANO GEOLOGICO DEL AREA DE ESTUDIO

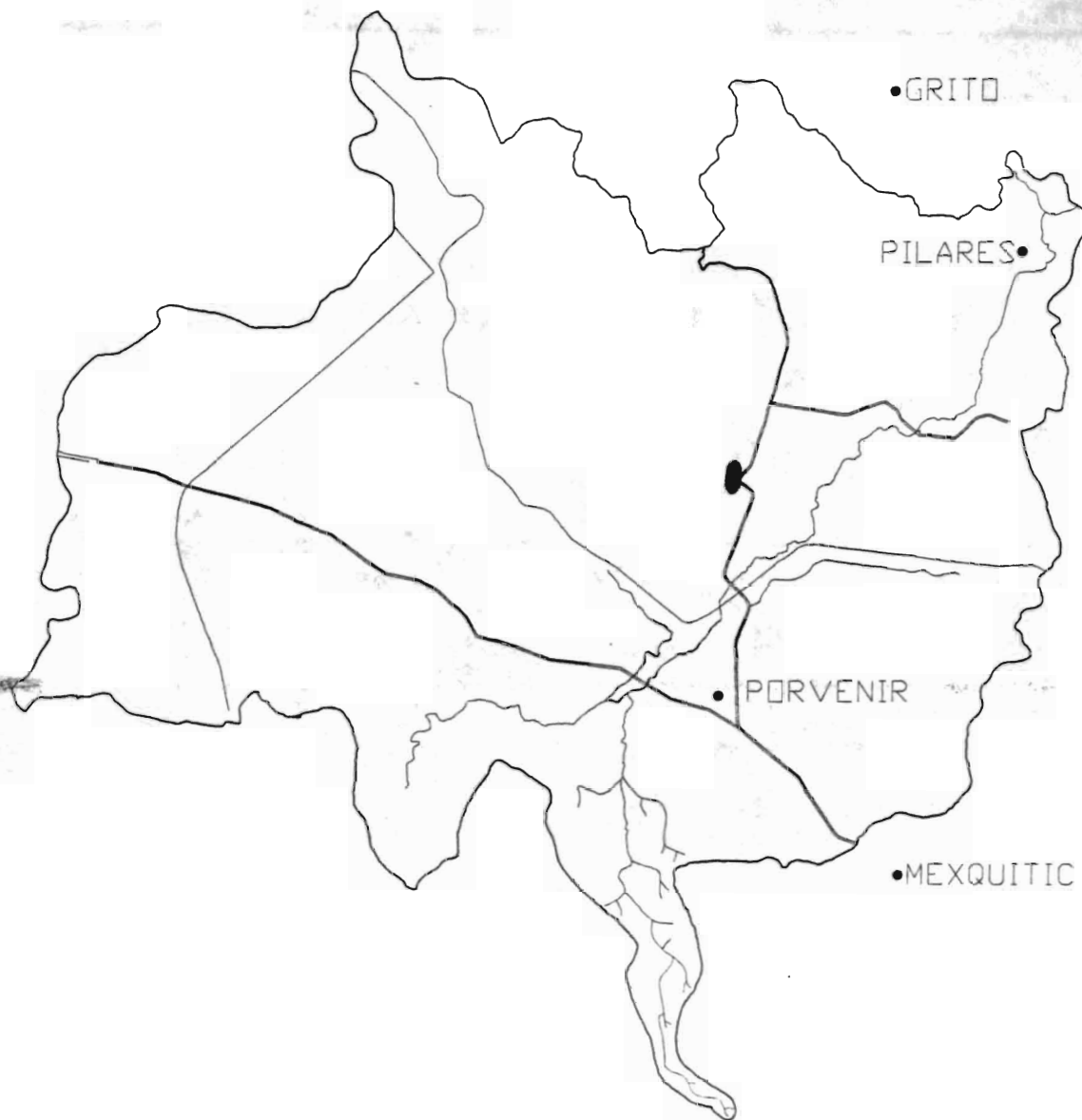
PROFESOR DIRECTOR MANUEL MENDOZA M.
INGENIERA AUXILIAR LETICIA PADILLA SANCHEZ

IMPRESION Y DISEÑO: ...

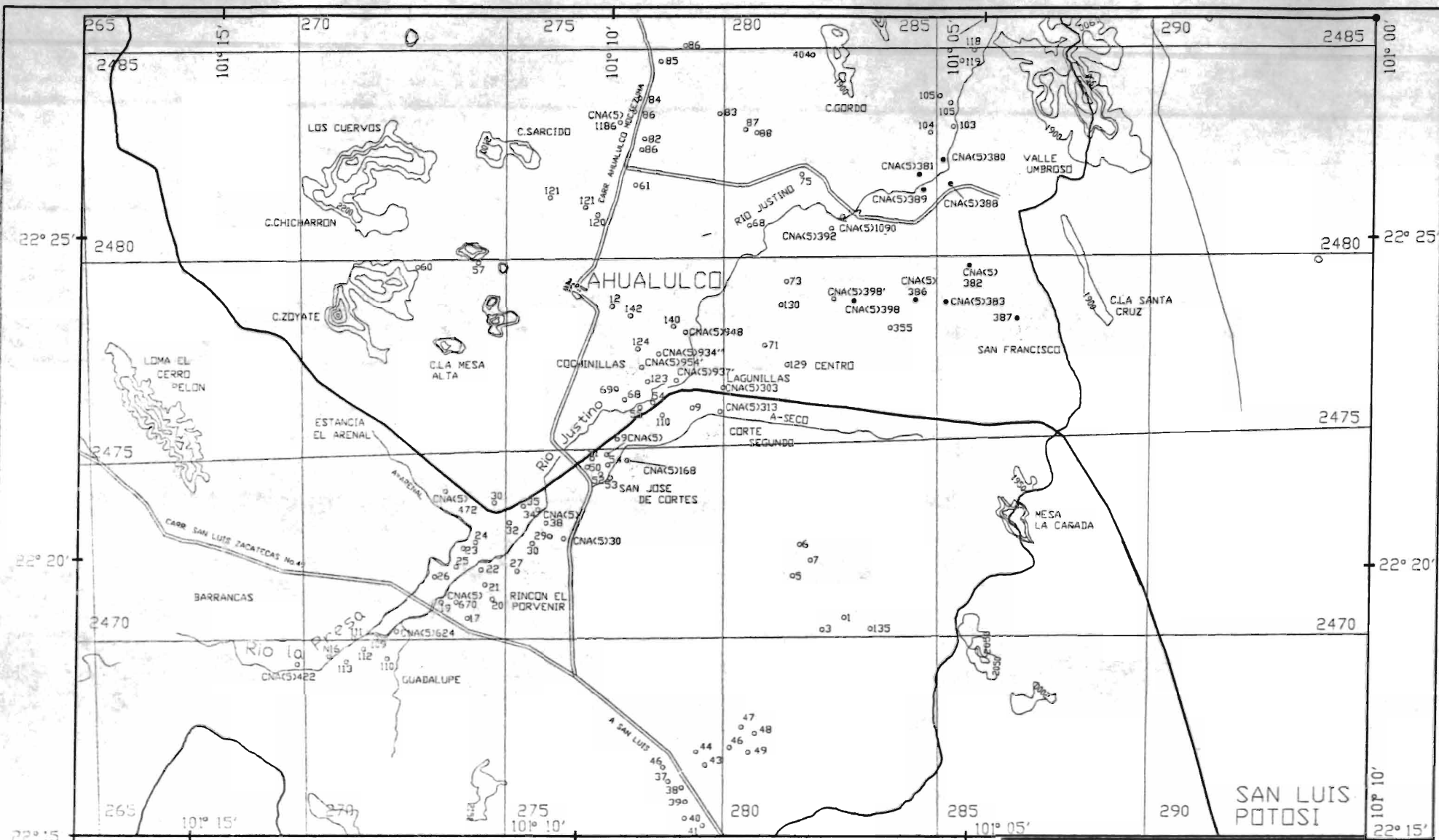
COLUMNA GEOLOGICA

1	Aluviales
2	SUELOS DEL SIA
3	DEPOSITOS DE TALA
4	CONCRETIONES
5	BAJOS
6	Chambray, Pineda, y Madero (P)
7	IGRA (COLUMNA) que fue retirada en 1974
8	DEPOSITOS DE TALA
9	DEPOSITOS DE TALA
10	DEPOSITOS DE TALA
11	DEPOSITOS DE TALA
12	DEPOSITOS DE TALA
13	DEPOSITOS DE TALA
14	DEPOSITOS DE TALA
15	DEPOSITOS DE TALA
16	DEPOSITOS DE TALA
17	DEPOSITOS DE TALA
18	DEPOSITOS DE TALA
19	DEPOSITOS DE TALA
20	DEPOSITOS DE TALA





UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI		
FACULTAD DE INGENIERIA		
AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA		
TRABAJO RECEPCIONAL		
ACTUALIZACION GEOHIDROLOGIA DEL VALLE DE AHUALULCO SAN LUIS POTOSI, S. L. P.		
UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES CLIMATOLOGICAS QUE INFLUYEN EN LA CUENCA DE AHUALULCO, S. L. P.		
FORMO: HECTOR MENDEZ M.		
REVISO: ING. LETICIA PADILLA SANCHEZ		
MAYO 1998	SAN LUIS POTOSI, S.L.P.	PLANO 3.1



SIMBOLOGIA

- CARRETERA PAVIMENTADA
- TERRACERIA
- - - BRECHA
- VIA DE FERROCARRIL
- POBLACIONES
- PUEBLO
- LIMITE DE ESTADO
- CURVA DE NIVEL
- RIO
- CNA(S)380 POZO
- CNA(S)934 NORIA

ESCALA GRAFICA

0 1 2 3 4 5

ESC. 1: 50,000

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
 FACULTAD DE INGENIERIA
 AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

(TRABAJO RECEPTACIONAL)

ACTUALIZACION GEOHIDROLOGIA DEL VALLE DE
 AHUALULCO SAN LUIS POTOSI, S. L. P.

PLANO DE LOCALIZACION DE POZOS Y NORIAS

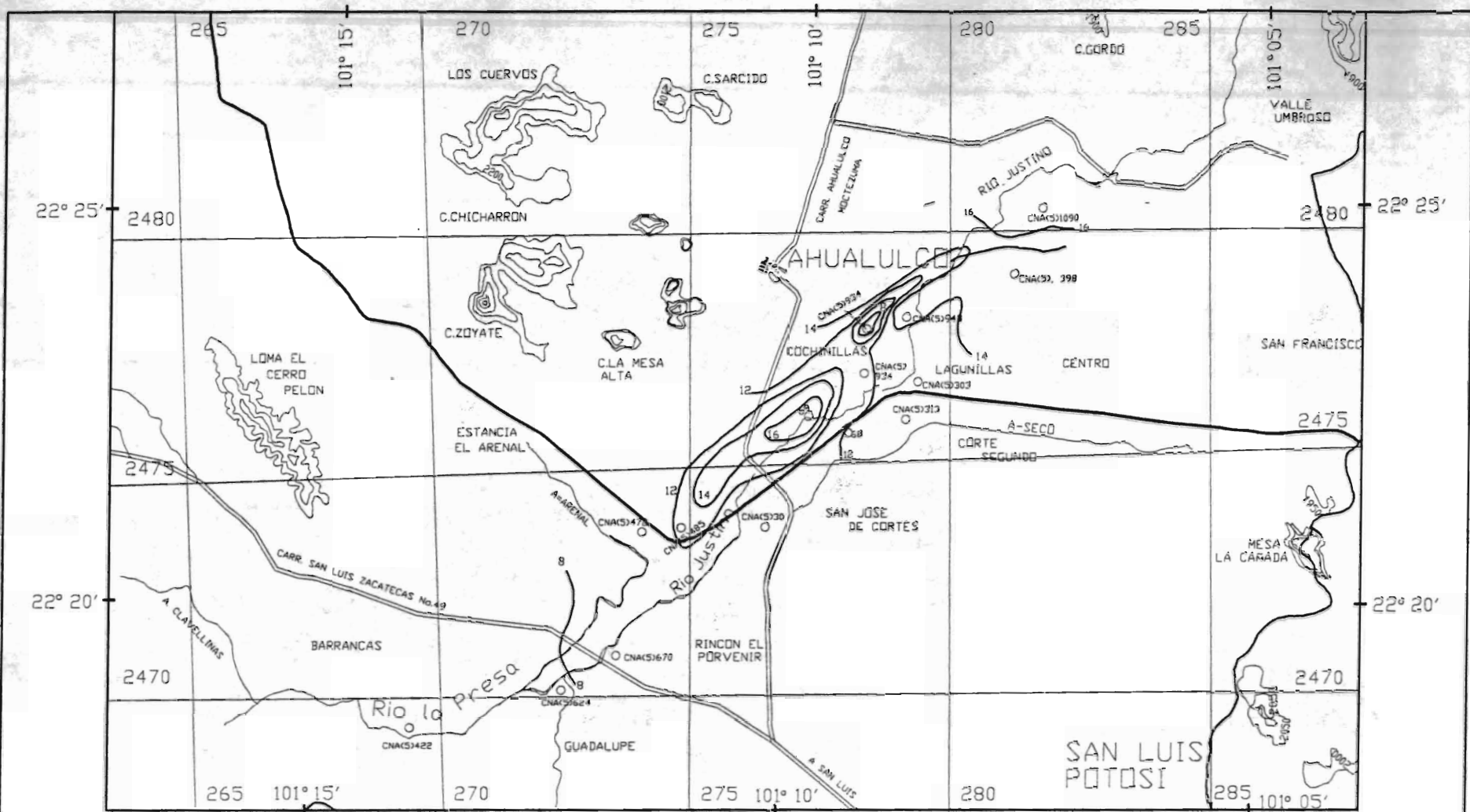
FORMO: HECTOR MENDEZ M.

REVISO: ING. LETICIA PADILLA SANCHEZ

AGOSTO 1998

SAN LUIS POTOSI, S.L.P.

PLANO 4.1



SIMBOLOGIA

- CARRETERA PAVIMENTADA
- TERRACERIA
- - - BRECHA
- VIA DE FERROCARRIL
- POBLACIONES
- PUEBLO
- LIMITE DE ESTADO
- CURVA DE NIVEL
- RIO
- NORIA
- 12 — CURVA DE PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO

ESCALA GRAFICA

0 1 2 3 4 5



ESC. 1: 50000

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
 FACULTAD DE INGENIERIA
 AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

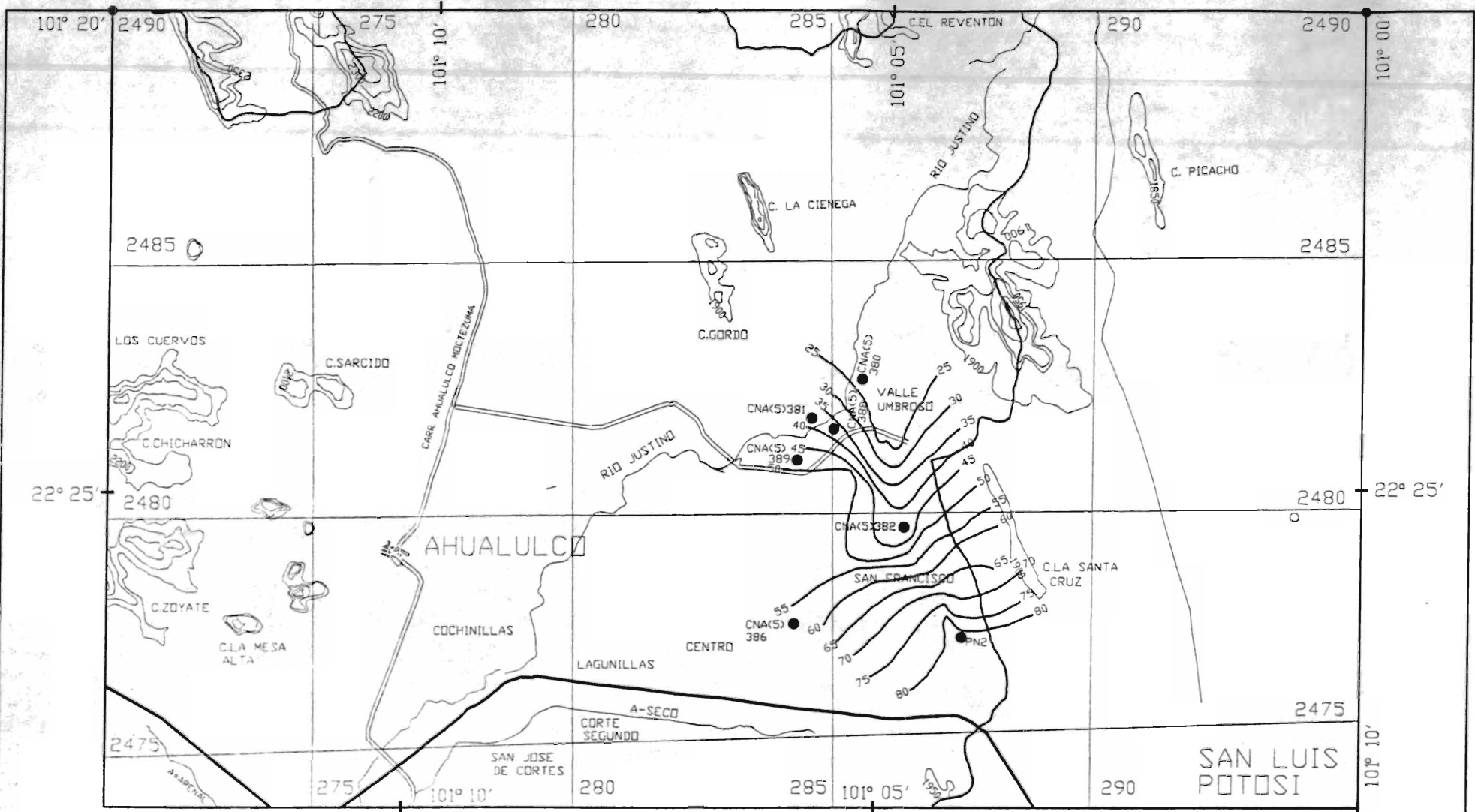
TRABAJO RECEPCIONAL

ACTUALIZACION GEOMORFOLOGIA DEL VALLE DE
 AHUALULCO SAN LUIS POTOSI, S. L. P.

PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTATICO DEL MES DE
 JUNIO DE 1997 (NORIAS)

FORMU: HECTOR MENDEZ M.
 REVISO: ING. LETICIA PABILLA SANCHEZ

AGOSTO 1998 | SAN LUIS POTOSI, S.L.P. | PLANO 4.2



SIMBOLOGIA

- CARRETERA PAVIMENTADA
- TERRACERIA
- - - BRECHA
- VIA DE FERROCARRIL
- POBLACIONES
- PUEBLO
- LIMITE DE ESTADO
- CURVA DE NIVEL
- RIO
- POZO
- 75 — CURVA DE IGUAL PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTATICO

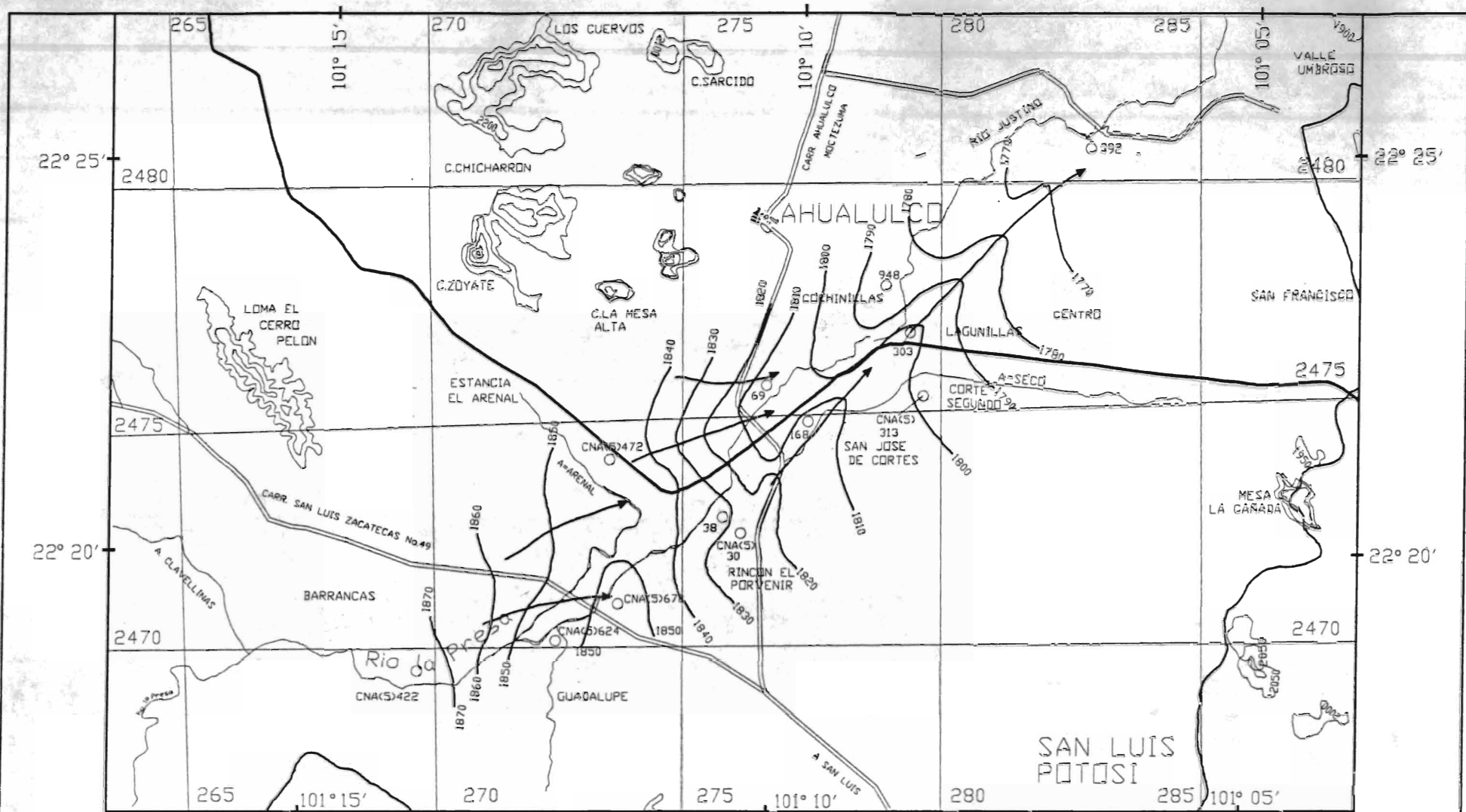
ESCALA GRAFICA

0 1 2 3 4 5



ESC. 1: 50000

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI		
FACULTAD DE INGENIERIA		
AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA		
TRABAJO RECEPCIONAL		
ACTUALIZACION GEOHIDROLOGIA DEL VALLE DE AHUALULCO SAN LUIS POTOSI, S. L. P.		
PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTATICO: FEBRERO 1997 (POZOS)		
FORMO: HECTOR MENDEZ M.		
REVISO: ING. LETICIA PADILLA SANCHEZ		
AGOSTO 1998	SAN LUIS POTOSI, S.L.P.	PLANO 4.3



- CARRETERA PAVIMENTADA
- TERRACERIA
- - - BRECHA
- VIA DE FERROCARRIL
- POBLACIONES
- PUEBLO
- LIMITE DE ESTADO
- RED DE FLUJO
- CURVA DE NIVEL
- RIO
- NORIA
- CURVA DE IGUAL ELEVACION AL NIVEL ESTATICO

ESCALA GRAFICA

0 1 2 3 4 5



ESC. 1: 50000

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TRABAJO RECEPCIONAL

ACTUALIZACION GEOHIDROLOGIA DEL VALLE DE
AHUALULCO SAN LUIS POTOSI, S. L. P.

ELEVACION AL NIVEL ESTATICO DEL MES

OCTUBRE DE 1996 (NORIAS)

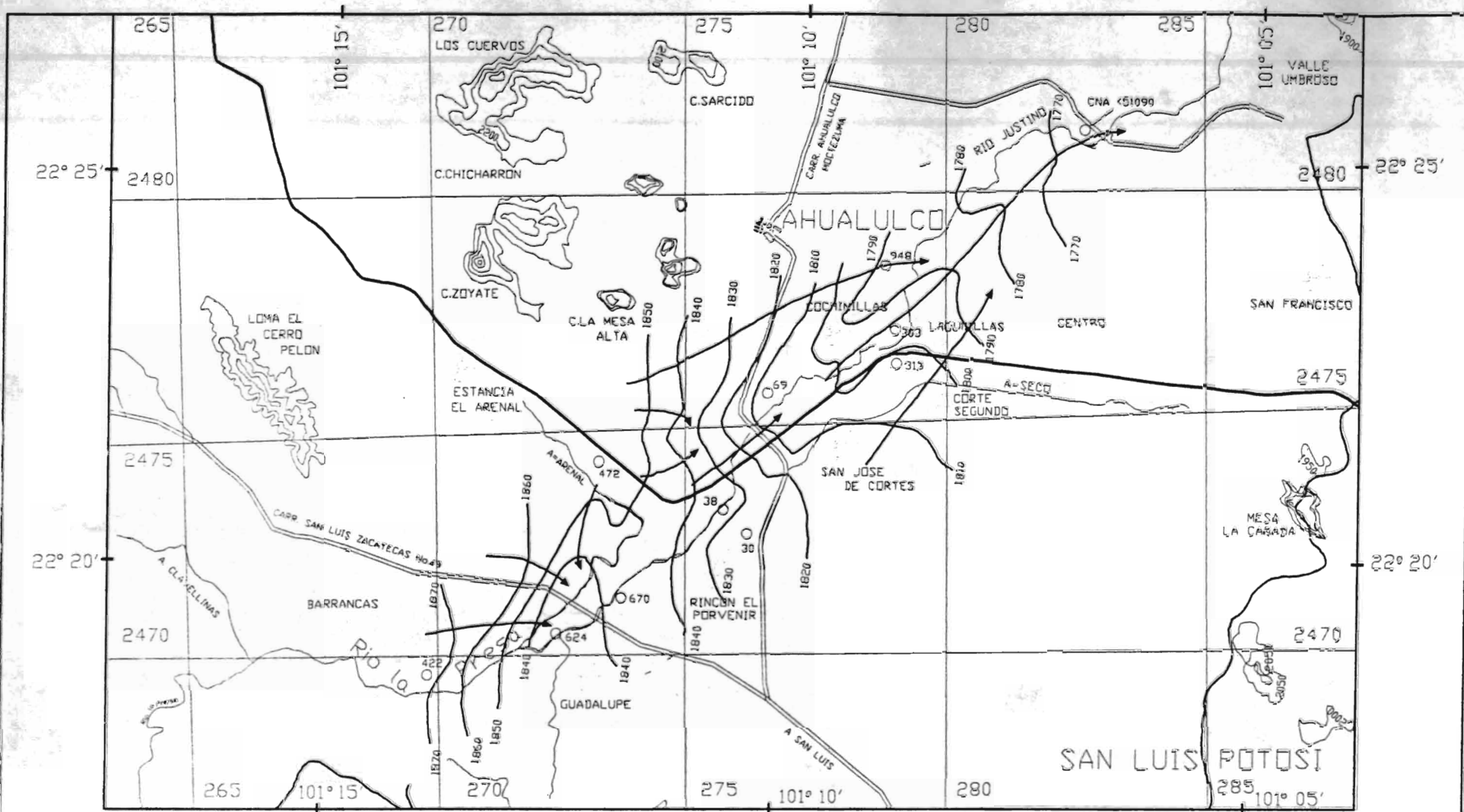
FORMO: HECTOR MENDEZ M.

REVISO: ING. LETICIA PADILLA S.

AGOSTO 1998

SAN LUIS POTOSI, S.L.P.

PLANO 4.4



SIMBOLOGIA

- CARRETERA PAVIMENTADA
- - - TERRACERIA
- · - · BRECHA
- VIA DE FERROCARRIL
- PUEBLACIONES
- LIMITE DE ESTADO
- RED DE FLUJO
- CURVA DE NIVEL
- RIO
- NORIA
- · - · CURVA DE EVOLUCION AL NIVEL ESTATICO

CNA(S)472 ○

ESCALA GRAFICA

0 1 2 3 4 5

ESC. 1: 50000

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

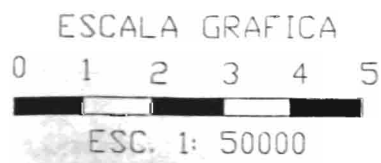
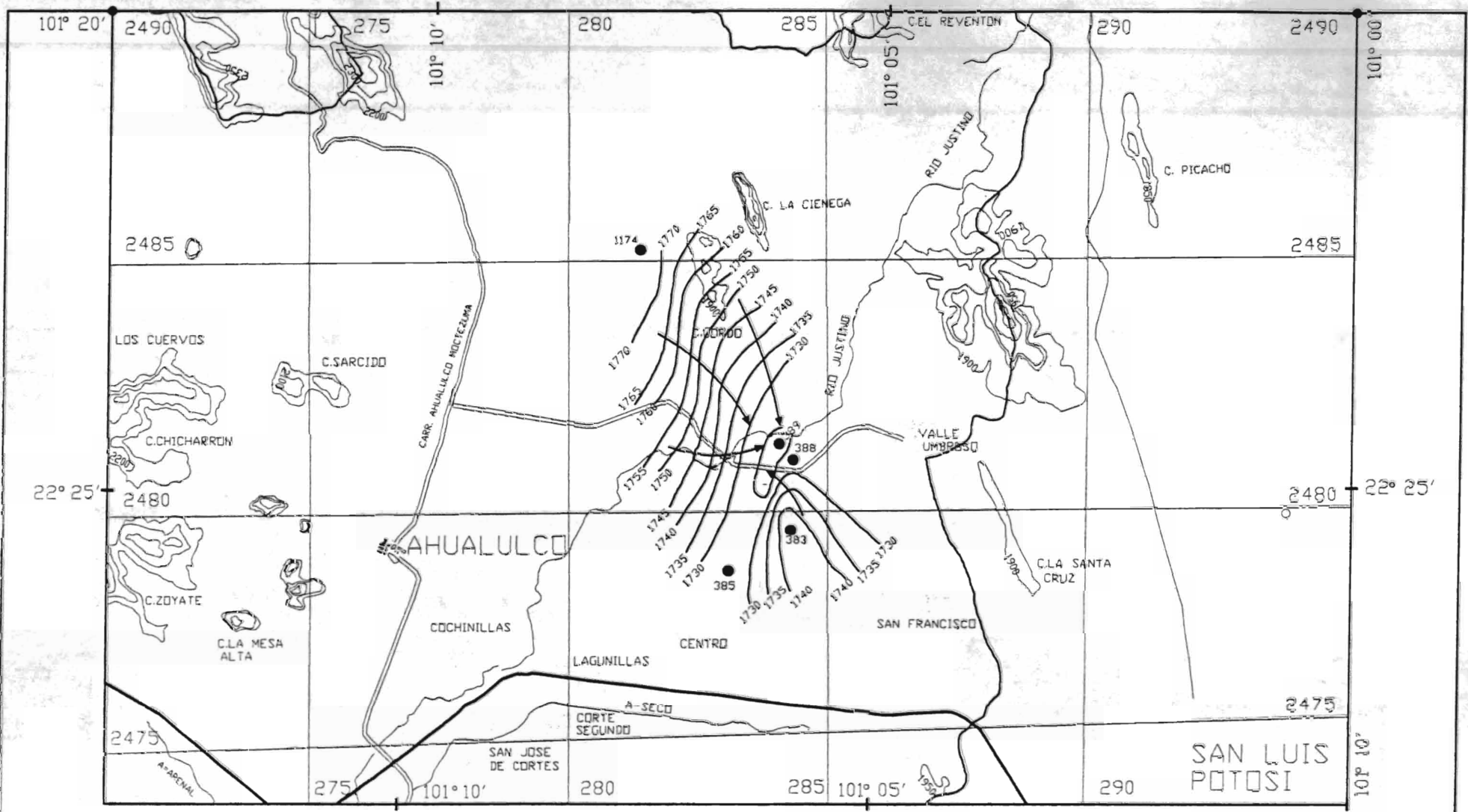
TRABAJO RECEPTACIONAL

ACTUALIZACION GEOMORFOLOGIA DEL VALLE DE
AHUALULCO SAN LUIS POTOSÍ, S. L. P.

ELEVACION AL NIVEL ESTATICO
DEL MES DE NOVIEMBRE DE 1997 (NORIAS)

FORMO: HECTOR MENDEZ M.
REVISO: ING. LETICIA PADILLA SANCHEZ

AGOSTO 1998 SAN LUIS POTOSÍ, S.L.P. PLANO 45



SIMBOLOGIA

- CARRETERA PAVIMENTADA
- TERRACERIA
- BRECHA
- VIA DE FERROCARRIL
- POBLACIONES
- PUEBLO
- LIMITE DE ESTADO
- CURVA DE NIVEL
- RIO
- POZO
- CURVA DE EVOLUCION AL NIVEL ESTATICO

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
 FACULTAD DE INGENIERIA
 AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

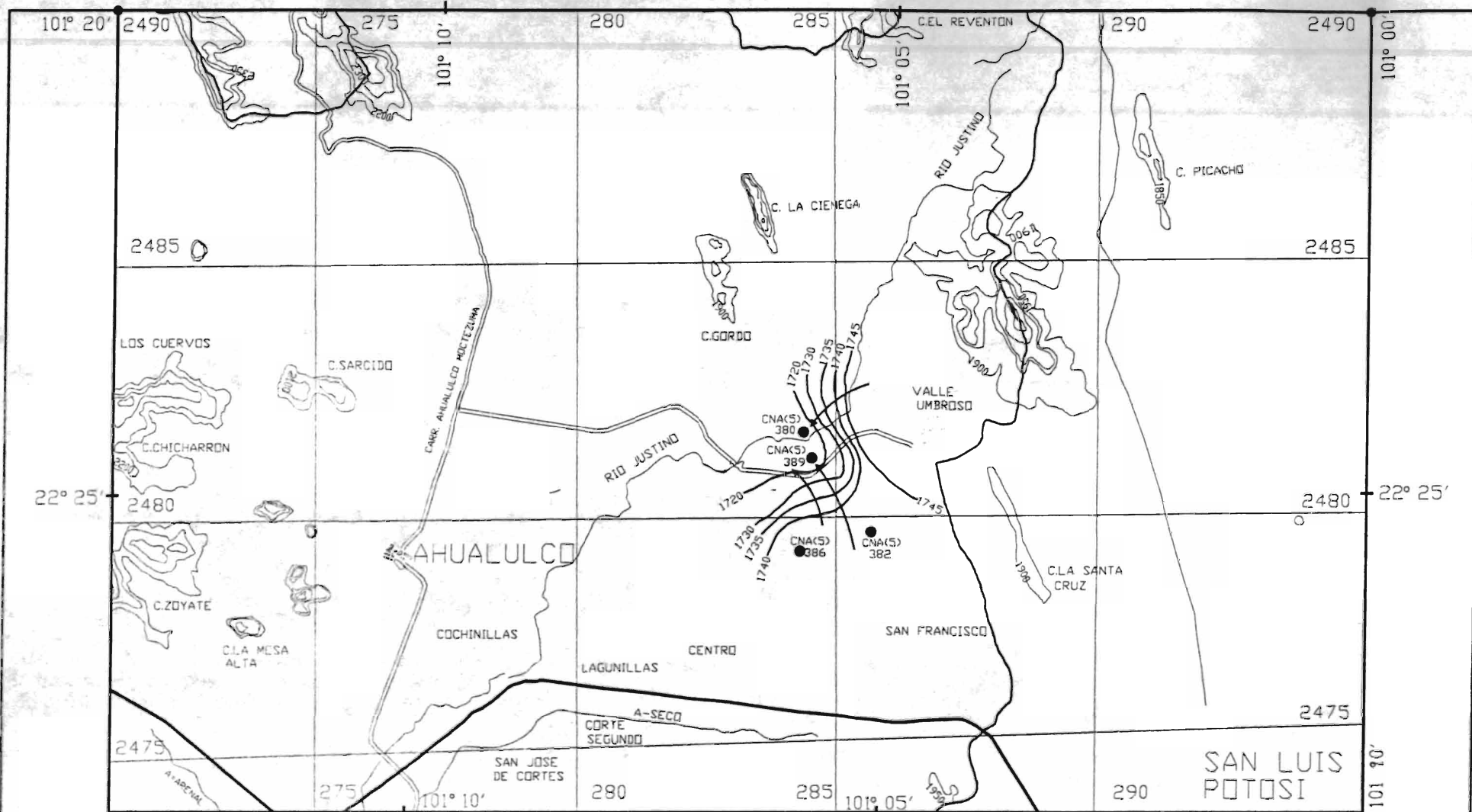
TRABAJO RECEPTACIONAL

ACTUALIZACION GEOHIDROLOGIA DEL VALLE DE AHUALULCO SAN LUIS POTOSI, S. L. P.

ELEVACION AL NIVEL ESTATICO
 MES OCTUBRE DE 1996 (POZOS)

FORMO: HECTOR MENDEZ M.
 REVISO: ING. LETICIA PADILLA SANCHEZ

AGOSTO 1998 | SAN LUIS POTOSI, S.L.P. | PLANO 46



SIMBOLOGIA

- CARRETERA PAVIMENTADA
- TERRACERIA
- - - BRECHA
- - - VIA DE FERROCARRIL
- POBLACIONES
- PUEBLO
- LIMITE DE ESTADO
- CURVA DE NIVEL
- RED DE FLUJO
- POZO
- CNA(S)386
- 1720
- CURVA DE EVOLUCION AL NIVEL ESTATICO

ESCALA GRAFICA

0 1 2 3 4 5



ESC. 1: 50000

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TRABAJO RECEPCIONAL

ACTUALIZACION GEOHIDROLOGIA DEL VALLE DE
AHUALULCO SAN LUIS POTOSI, S. L. P.

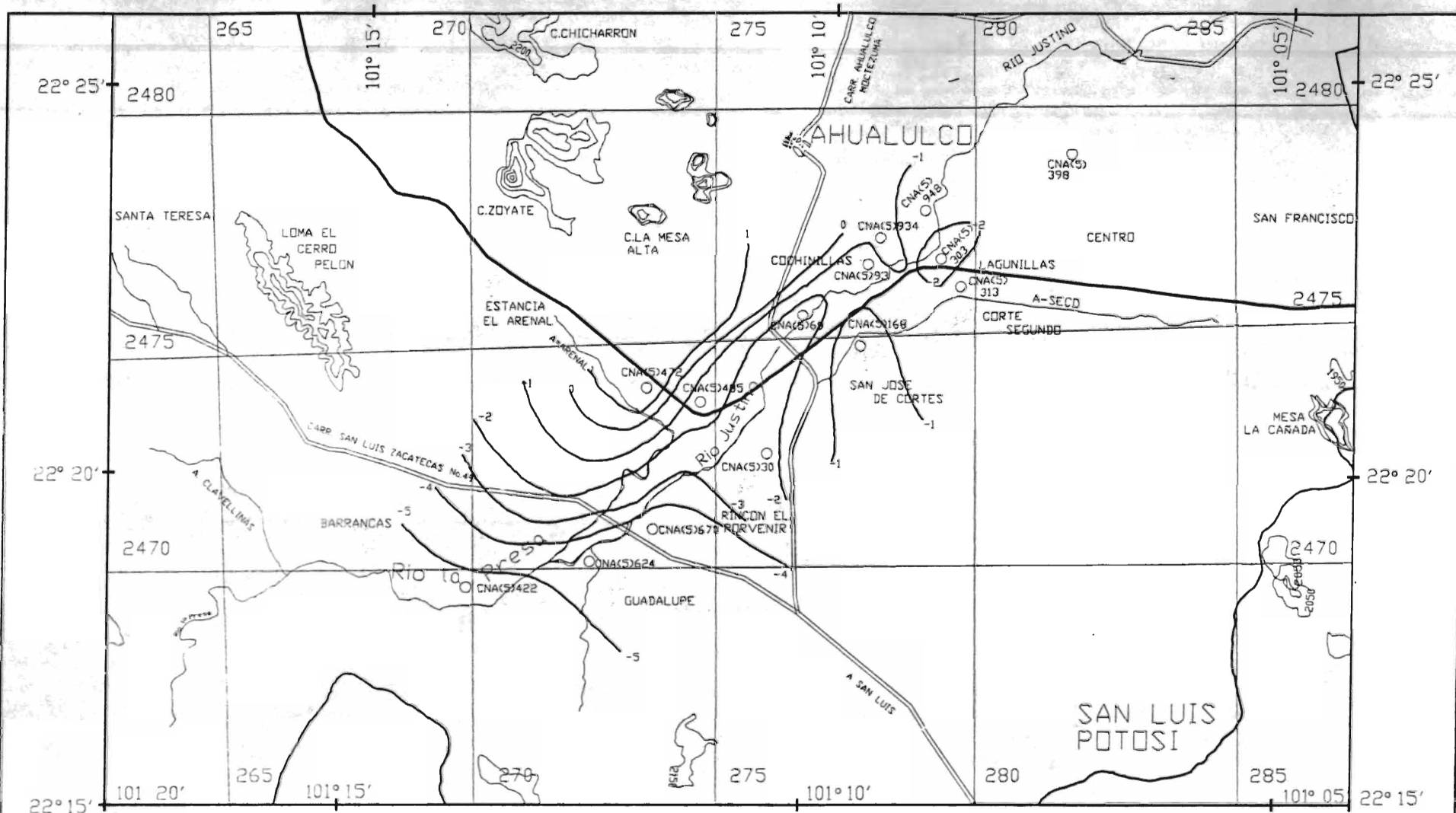
PLANO DE ELEVACION AL NIVEL ESTATICO
MES DE FEBRERO 1997 (POZOS)

FORMO: HECTOR MENDEZ M.
REVISO: ING. LETICIA PADILLA SANCHEZ

AGOSTO 1998

SAN LUIS POTOSI, S.L.P.

PLANO 4.7



SIMBOLOGIA

- CARRETERA PAVIMENTADA
- - - TERRACERIA
- · - · - BRECHA
- VIA DE FERROCARRIL
- • • POBLACIONES
- PUEBLO
- LIMITE DE ESTADO
- CURVA DE NIVEL
- RIO
- NORIA
- - - CURVA DE EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO

ESCALA GRAFICA

0 1 2 3 4 5



ESC. 1: 50000

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TRABAJO RECEPCIONAL

ACTUALIZACION GEOHIDROLOGIA DEL VALLE DE
AHUALULCO SAN LUIS POTOSI, S. L. P.

EVOLUCION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTATICO
OCTUBRE DE 1996 A NOVIEMBRE DE 1997 (NORIAS)

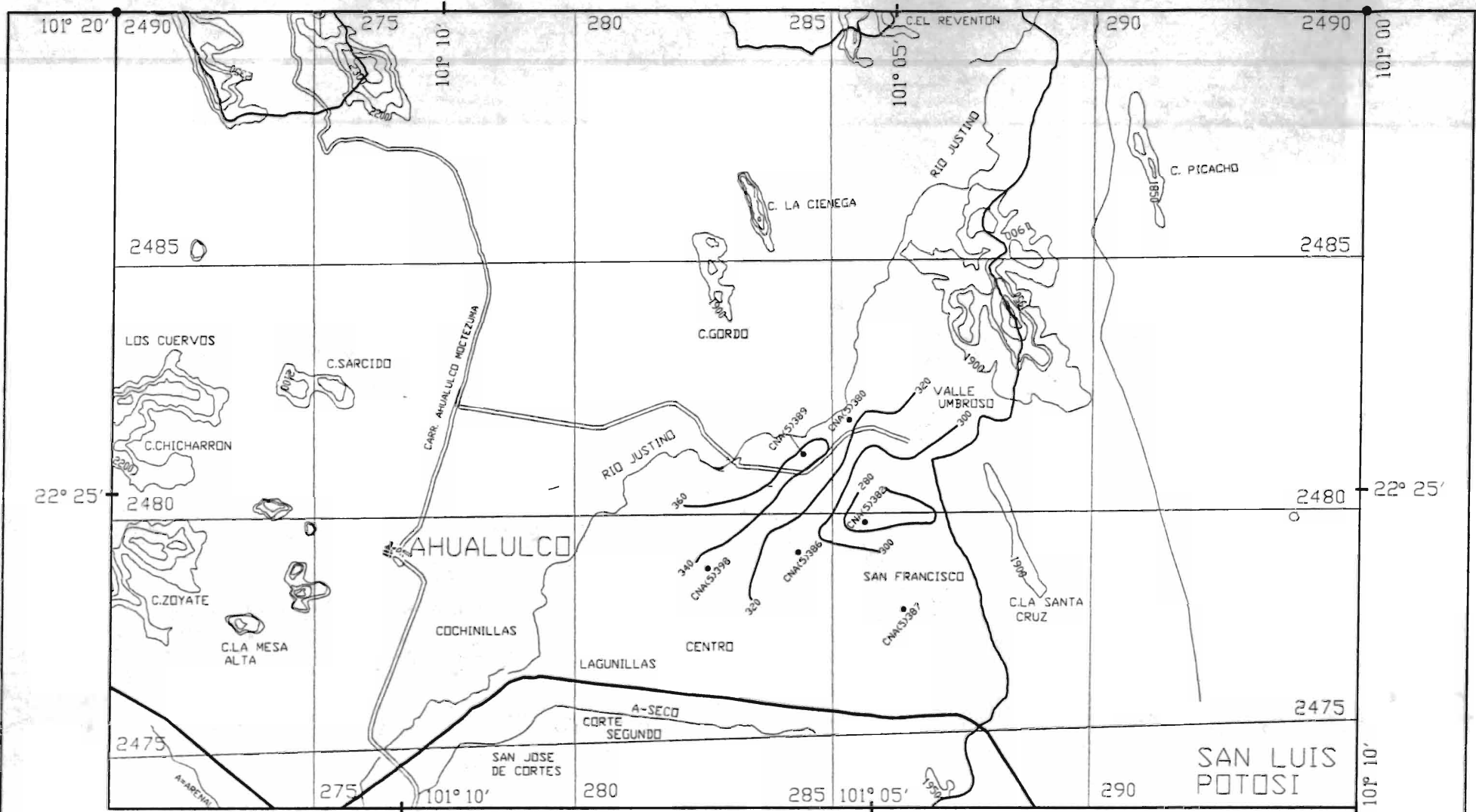
FORMO: HECTOR MENDEZ M.

REVISO: ING. LETICIA PADILLA SANCHEZ

AGOSTO 1998

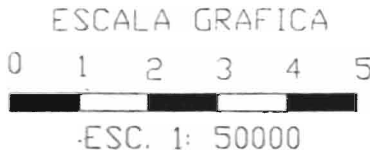
SAN LUIS POTOSI, S.L.P.

PLANO 4.8



SIMBOLOGIA

- == CARRETERA PAVIMENTADA
- TERRACERIA
- - - BRECHA
- VIA DE FERROCARRIL
- POBLACIONES
- PUEBLO
- LIMITE DE ESTADO
- CURVA DE NIVEL
- RIO
- POZO
- 320 — CURVA DE IGUAL VALOR DEL ELEMENTO HCO_3^- EN PPM



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
 FACULTAD DE INGENIERIA
 AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

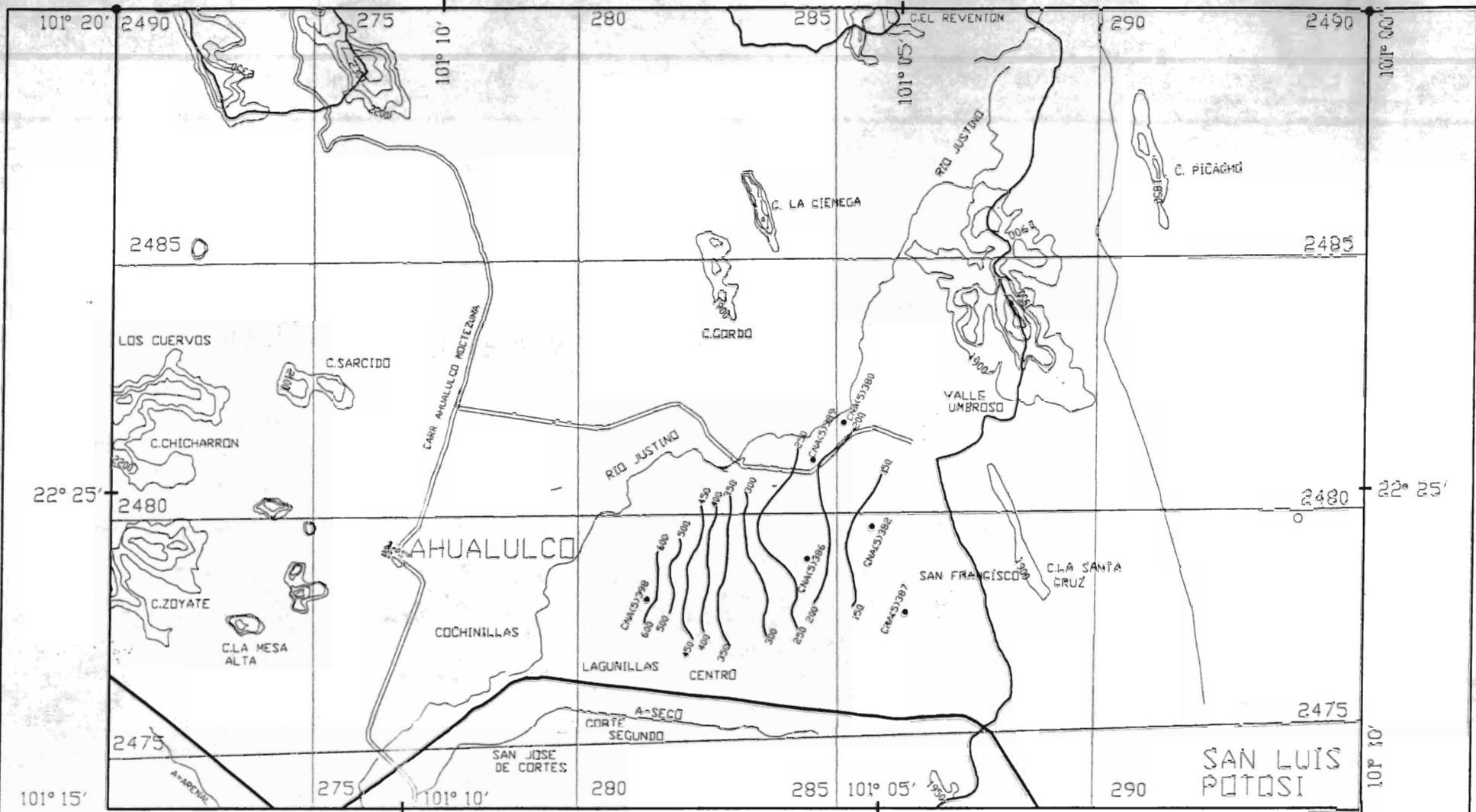
TRABAJO RECEPCIONAL

ACTUALIZACION GEOHIDROLOGIA DEL VALLE DE
 AHUALULCO SAN LUIS POTOSI, S. L. P.

PLANO DE CURVAS DE IGUAL VALOR DE HCO_3^- =
 FEBRERO DE 1997 (POZOS)

FORMO: HECTOR MENDEZ M.
 REVISO: ING. LETICIA PADILLA SANCHEZ

AGOSTO 1998 | SAN LUIS POTOSI, S.L.P. | PLANO 4.9



SIMBOLOGIA

- CARRETERA PAVIMENTADA
- TERRACERIA
- - - BRECHA
- VIA DE FERROCARRIL
- POBLACIONES
- PUEBLO
- LIMITE DE ESTADO
- CURVA DE NIVEL
- RIO
- POZO
- 400 — CURVA DE IGUAL VALOR DEL ELEMENTO $SO_4 =$ EN PPM

ESCALA GRAFICA

0 1 2 3 4 5



ESC. 1: 50000

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TRABAJO RECEPCIONAL

ACTUALIZACION GEOHIDROLOGIA DEL VALLE DE
AMEALCO SAN LUIS POTOSI, S. L. P.

PLANO DE CURVAS DE IGUAL VALOR DE $SO_4 =$
FEBRERO DE 1997 (POZOS)

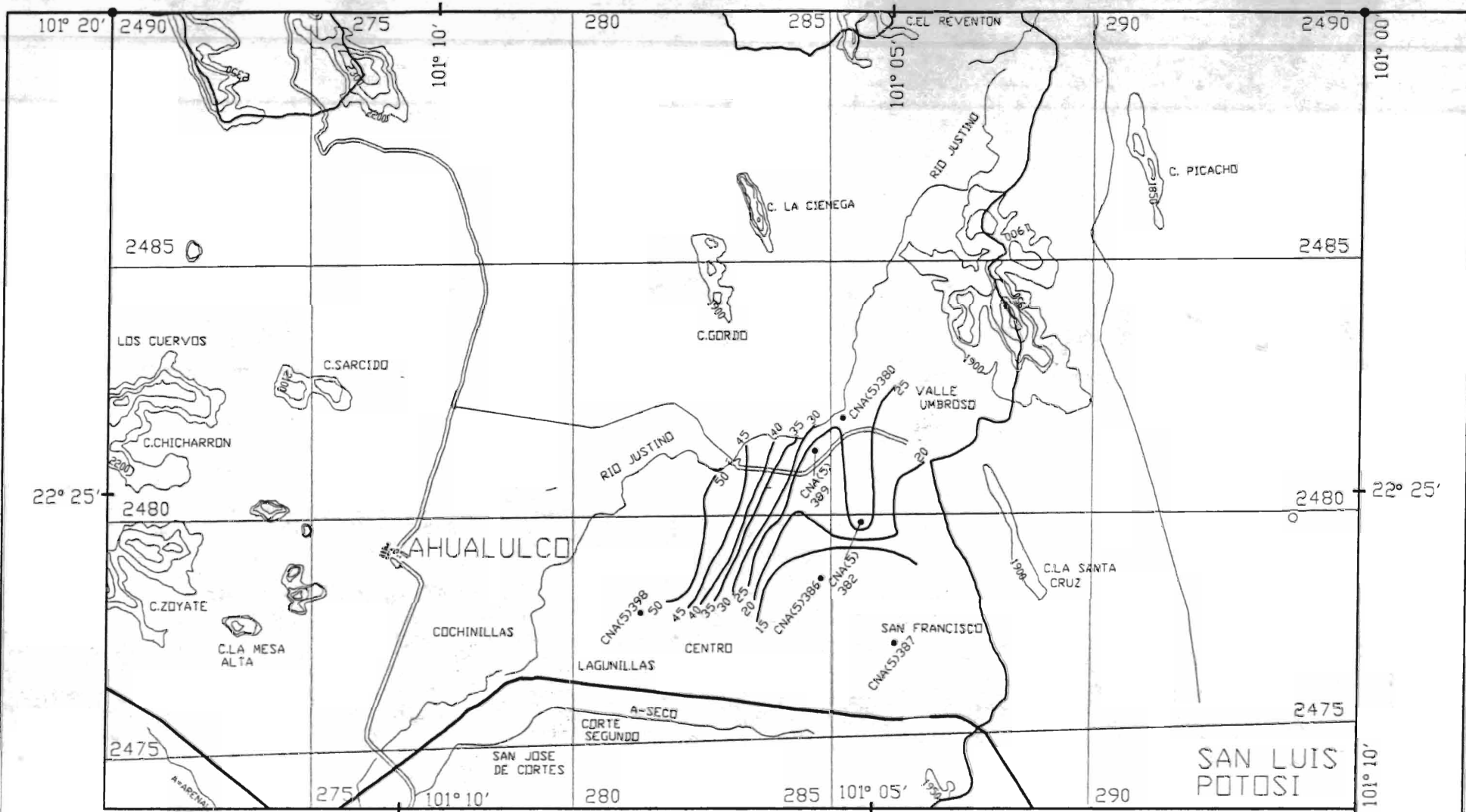
FORMO: HECTOR MENDEZ M.

REVISO: ING. LETICIA PADILLA SANCHEZ

AGOSTO 1998

SAN LUIS POTOSI, S.L.P.

PLANO 4.10



SIMBOLOGIA

- CARRETERA PAVIMENTADA
- TERRACERIA
- BRECHA
- VIA DE FERROCARRIL
- POBLACIONES
- PUEBLO
- LIMITE DE ESTADO
- CURVA DE NIVEL
- RIO
- POZO
- 50 — CURVA DE IGUAL VALOR DEL ELEMENTO K++ EN PPM

ESCALA GRAFICA

0 1 2 3 4 5



ESC. 1: 50000

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TRABAJO RECEPTACIONAL

ACTUALIZACION GEOHIDROLOGIA DEL VALLE DE
AHUALULCO SAN LUIS POTOSI, S. L. P.

PLANO DE CURVAS DE IGUAL VALOR DE K++
FEBRERO DE 1997 (POZOS)

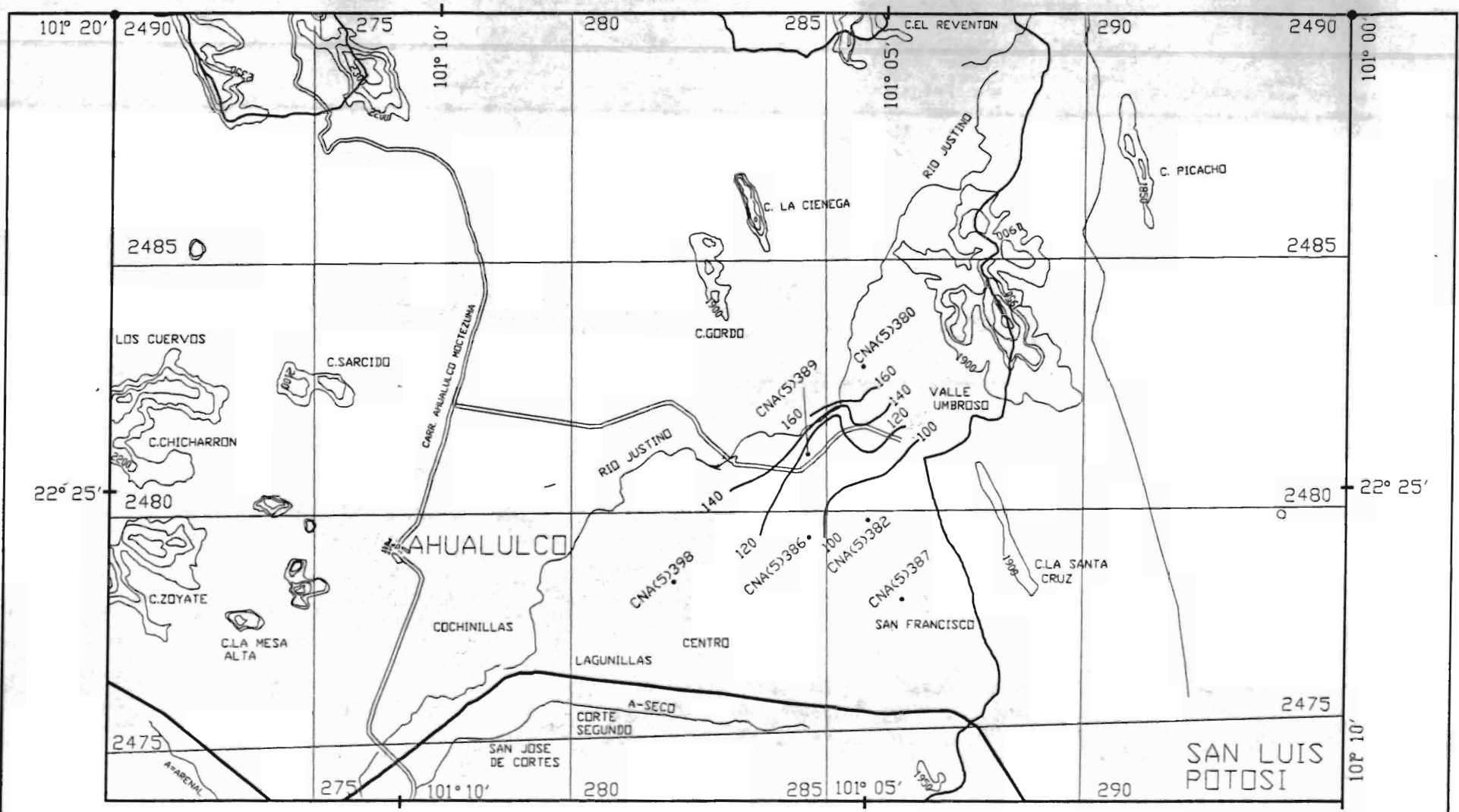
FORMO: HECTOR MENDEZ M.

REVISO: ING. LETICIA PADILLA SANCHEZ

AGOSTO 1998

SAN LUIS POTOSI, S.L.P.

PLANO 4.11



SIMBOLOGIA

- CARRETERA PAVIMENTADA
- - - TERRACERIA
- · - · - BRECHA
- VIA DE FERROCARRIL
- · · · · POBLACIONES
- · · · · PUEBLO
- LIMITE DE ESTADO
- CURVA DE NIVEL
- RIO
- POZO
- 140 — CURVA DE IGUAL VALOR DEL ELEMENTO Ca++ EN PPM

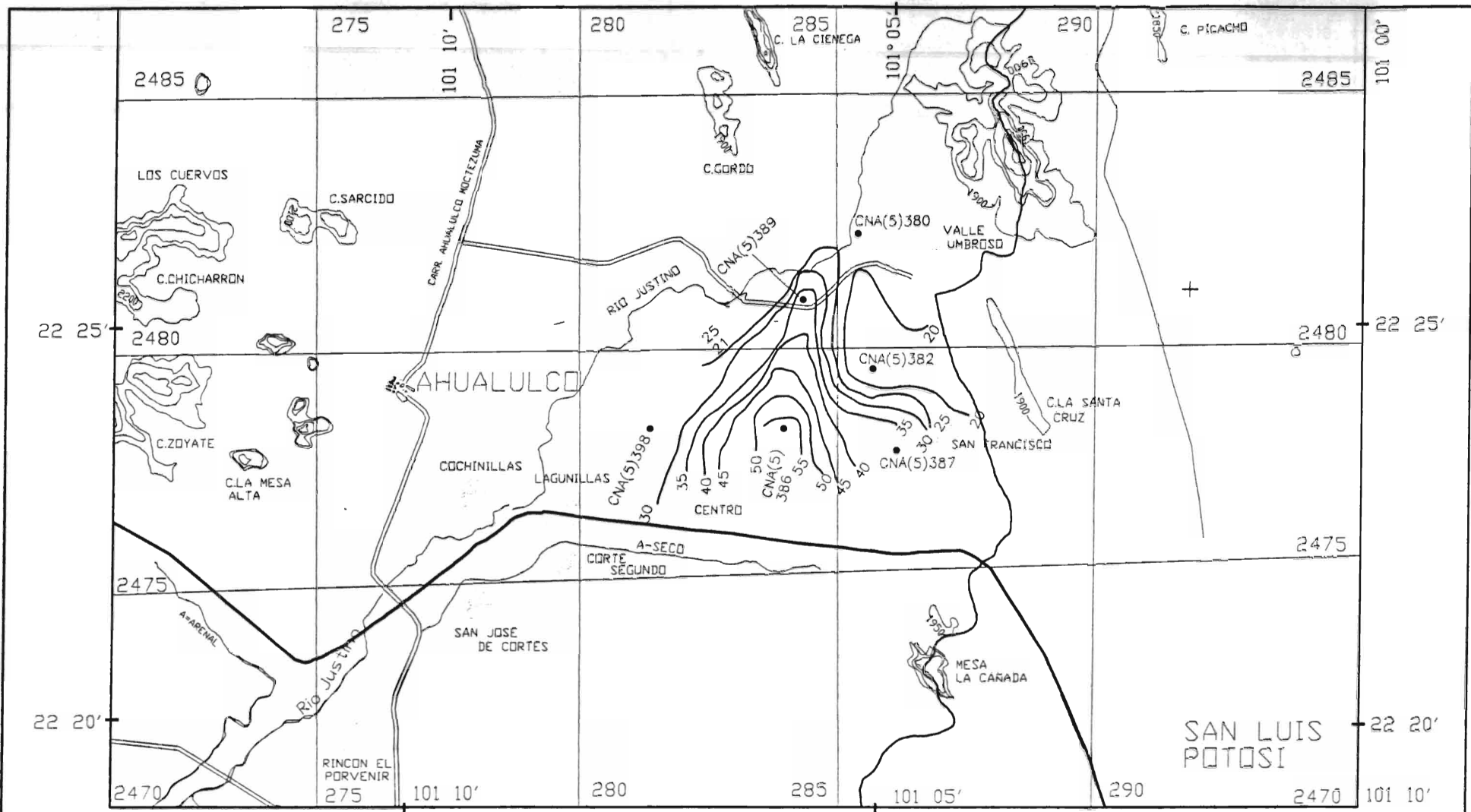
ESCALA GRAFICA

0 1 2 3 4 5



ESC. 1: 50000

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI		
FACULTAD DE INGENIERIA		
AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA		
TRABAJO RECEPCIONAL		
ACTUALIZACION GEOHIDROLOGIA DEL VALLE DE		
AHUALULCO SAN LUIS POTOSI, S. L. P.		
PLANO DE CURVAS DE IGUAL VALOR DE Ca++		
FEBRERO DE 1997 (POZOS)		
FORMO: HECTOR MENDEZ M.		
REVISO: ING. LETICIA PADILLA SANCHEZ		
AGOSTO 1998	SAN LUIS POTOSI, S.L.P.	PLANO 4.12



SIMBOLOGIA

- CARRETERA PAVIMENTADA
- TERRACERIA
- - - BRECHA
- VIA DE FERROCARRIL
- POBLACIONES
- PUEBLO
- LIMITE DE ESTADO
- CURVA DE NIVEL
- RIO
- POZO
- 30 — CURVA DE IGUAL VALOR DEL ELEMENTO Mg ++ EN PPM

ESCALA GRAFICA

0 1 2 3 4 5



ESC. 1: 50000

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
 FACULTAD DE INGENIERIA
 AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

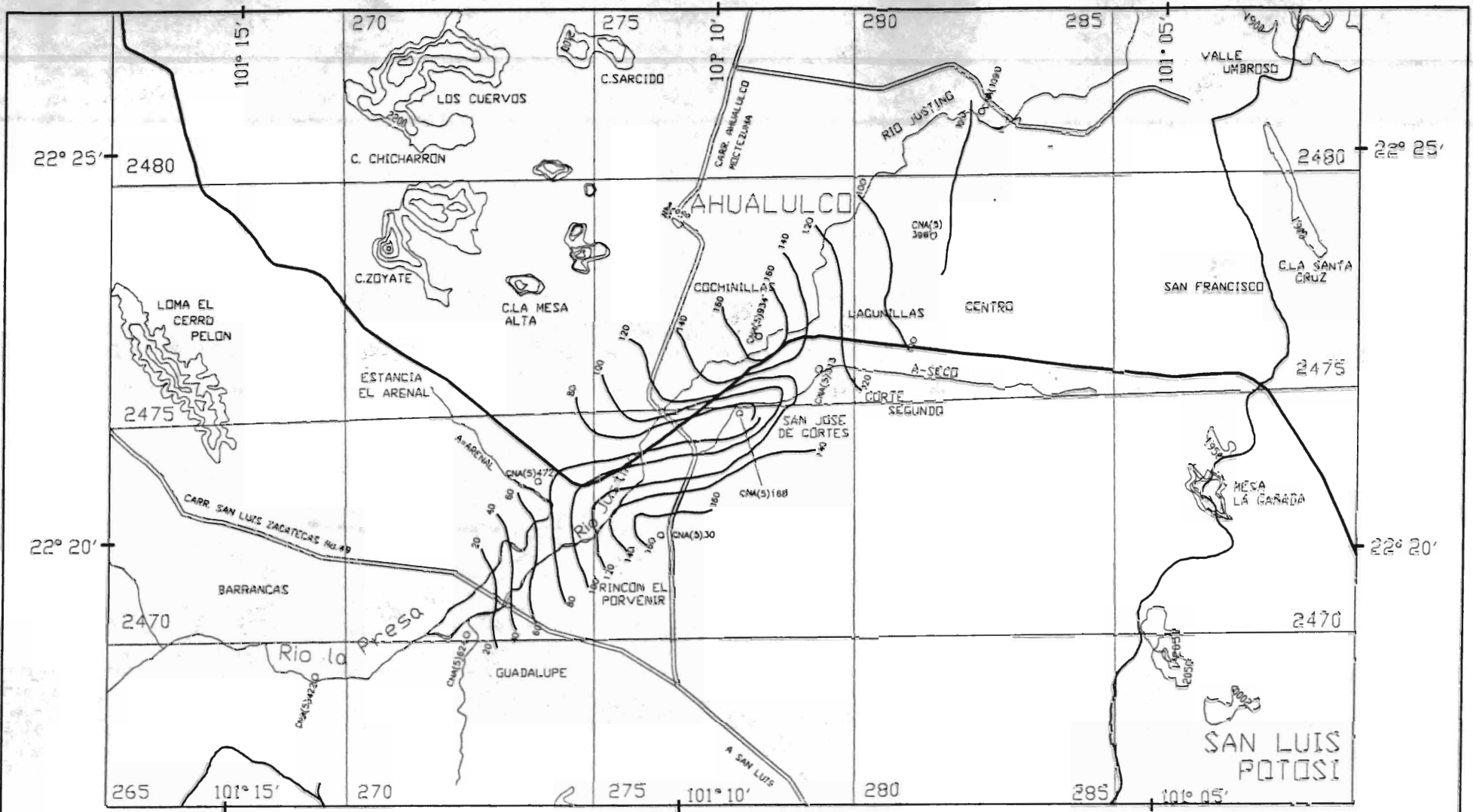
TRABAJO RECEPCIONAL

ACTUALIZACION GEOHIDROLOGIA DEL VALLE DE
 AHUALULCO SAN LUIS POTOSI, S. L. P.

PLANO DE CURVAS DE IGUAL VALOR DE Mg ++
 FEBRERO DE 1997 (POZOS)

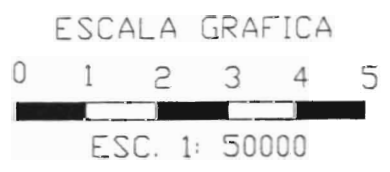
FORMO: HECTOR MENDEZ M.
 REVISO: ING. LETICIA PADILLA SANCHEZ

AGOSTO 1998 | SAN LUIS POTOSI, S.L.P. | PLANO 4.13



SIMBOLOGIA

- == CARRETERA PAVIMENTADA
- TERRACERIA
- - - BRECHA
- +— VIA DE FERROCARRIL
- POBLACIONES
- PUEBLO
- LIMITE DE ESTADO
- CURVA DE NIVEL
- RIO
- NORIA
- 40 — CURVA DE IGUAL VALOR DEL ELEMENTO Ca



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
 FACULTAD DE INGENIERIA
 AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

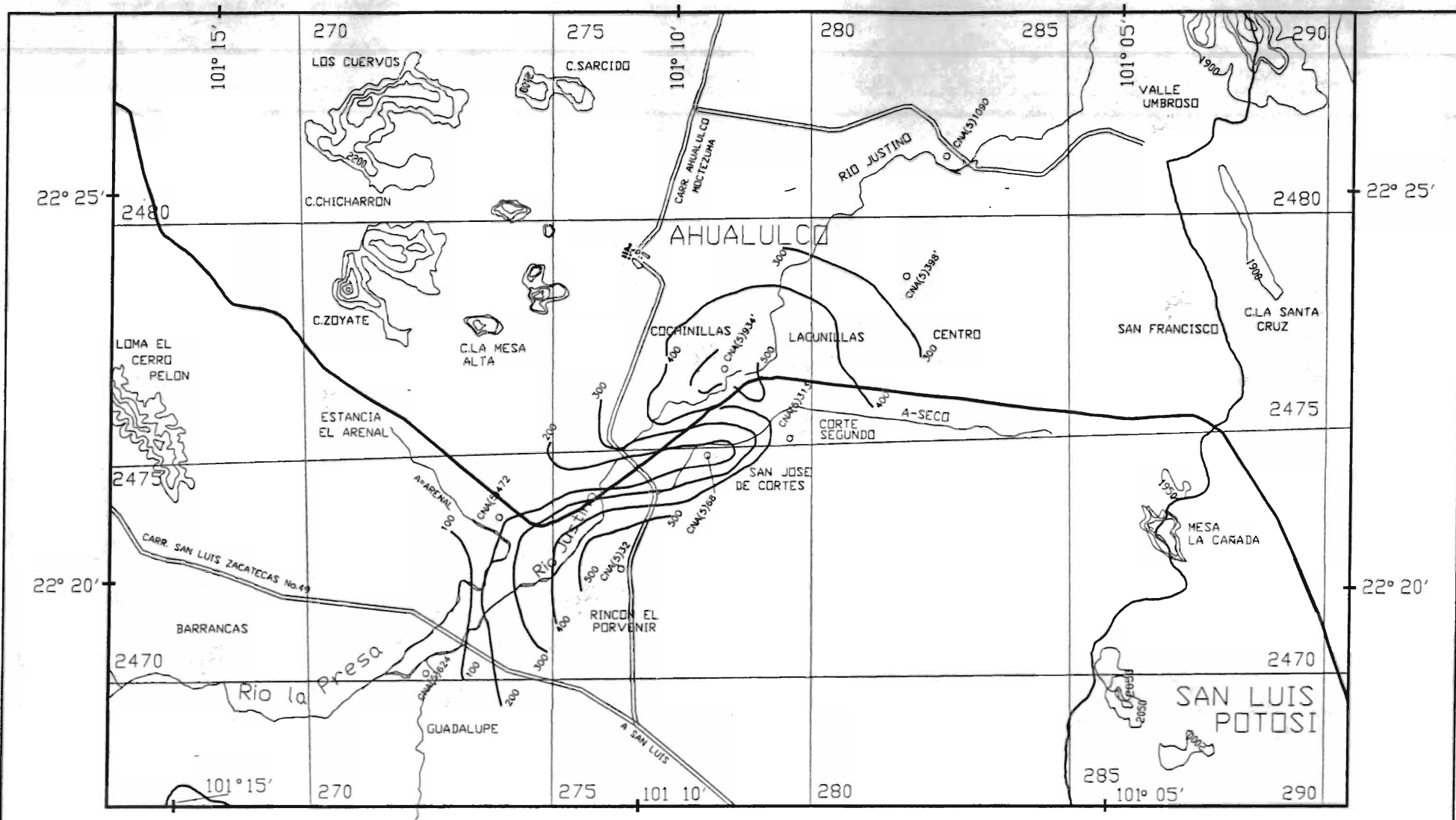
TRABAJO RECEPCIONAL

ACTUALIZACION GEOMORFOLOGIA DEL VALLE DE
 AHUALULCO SAN LUIS POTOSI, S. L. P.

PLANO DE CURVAS DE IGUAL VALOR DE Ca.
 FEBRERO DE 1997 (NORIAS)

FORMO: HECTOR MENDEZ M.
 REVISO: ING. LETICIA PADILLA SANCHEZ

AGOSTO 1998 | SAN LUIS POTOSI, S.L.P. | PLANO 4.15



SIMBOLOGIA

- CARRETERA PAVIMENTADA
- TERRACERIA
- - - BRECHA
- VIA DE FERROCARRIL
- POBLACIONES
- PUEBLO
- LIMITE DE ESTADO
- CURVA DE NIVEL
- RIO
- NORIA
- CURVA DE IGUAL VALOR DEL ELEMENTO $SD_4 =$ EN PPM

ESCALA GRAFICA

0 1 2 3 4 5



ESC. 1: 50000

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TRABAJO RECEPCIONAL

ACTUALIZACION GEOHIDROLOGIA DEL VALLE DE
AHUALULCO SAN LUIS POTOSI, S. L. P.

PLANO DE CURVAS DE IGUAL VALOR DE $SD_4 =$
FEBRERO DE 1997 (NORIAS)

FORMO: HECTOR MENDEZ M.
REVISO: ING. LETICIA PADILLA SANCHEZ

AGOSTO 1998 SAN LUIS POTOSI, S.L.P. PLANO 4.14

