

01123  
8



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

CARACTERIZACION DE LOS SISTEMAS DE DESCARGA DE  
AGUAS SUBTERRANEAS EN LA REGION DE  
VALLES CENTRALES, OAXACA.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**I N G E N I E R A G E O L O G A**

**P R E S E N T A :**

**MARIBEL OSORIO VELOZ**

DIRECTOR: ING. ALBERTO ARIAS PAZ.



Se hizo a la Direccion General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de este trabajo excepcional.  
Autor: Maribel Osorio Veloz

JUNIO 2003

23/VI/2003

A

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



SRITA. MARIBEL OSORIO VELOZ  
Presente

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

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

**CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DESCARGA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS  
EN LA REGIÓN DE VALLES CENTRALES, OAXACA**

- RESUMEN
- I INTRODUCCIÓN
- II GENERALIDADES
- III GEOLOGÍA REGIONAL
- IV HIDROGEOLOGÍA
- V HIDROGEOQUÍMICA
- VI MODELO HIDRODINÁMICO CONCEPTUAL
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES

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

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

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria, D. F., a 20 de mayo de 2003

EL DIRECTOR

M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB\*JAGC\*gtg

## **DEDICATORIA**

### **A MIS PADRES**

A la memoria de una gran mujer,  
A mi Madre.

A mi padre; con mucho cariño,  
Gracias por tu apoyo y comprensión en todo momento.

### **A MIS HERMANOS:**

Fer y Vicky.  
Los quiero mucho!

### **A MI FAMILIA:**

A la familia Veloz, muy especialmente a  
a mi tía Herme, gracias por tus consejos  
y por demostrarme un  
cariño verdadero, Te quiero mucho!

A todos mis primos.

Con cariño a mis sobrinos: Carlitos, Mari Fer,  
Lupita, Arturin, Beto, Lalo, tatan.

A la familia Osorio: a mi tío Arnulfo.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Institución que me brindó una formación profesional, y de la cual me siento muy orgullosa pertenecer: Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M.).

Doy gracias a Dios me haya dado la oportunidad de terminar una fase importante de mi vida y por que en los momentos más difíciles he encontrado en él una paz interior.

Agradezco al Ing. Alberto Arias su valiosa ayuda en la dirección de mi tesis.

Así mismo, quiero agradecer a mis Sinodales; Ing. Arturo Tapia, Ing. Héctor Macias, Ing. Javier Arellano, Ing. Jose Luis Arcos por sus valiosos comentarios.

A todos los profesores de la Facultad de Ingeniería, por su valiosa enseñanza. Especialmente a los Ingenieros: Carlos A. Rosas, Eric Castañeda, Arturo Tapia, Héctor Macias, Carlos Garza, Gilberto Silva, Jorge Nieto, Benjamín Márquez, Germán Arriaga, Víctor Malpica, y al Dr. Lugo Hubp, a quienes les tengo un gran aprecio.

Un especial agradecimiento al Ing. Noel Hernández, Ing. Anselmo Ordáz, Ing. Fernando Lara, Ing. Alfredo Cruz, Ing. Gabriel Salinas, Sr. Antonio Alba de la Gerencia de Aguas Subterráneas de Comisión Nacional del Agua, por haberme apoyado durante el proceso de la consulta de información existente en tal dependencia, y que resultó ser de gran utilidad en la elaboración del presente trabajo de tesis.

A las personas que se encuentran a cargo de la Biblioteca del Instituto de Geología por brindar siempre una atención de gran calidad al estudiante.

Al M. Luis Miguel Morales, y al Lic. Geog. Miguel Angel Ramírez por las facilidades ofrecidas para la elaboración de los planos que contiene esta tesis, realizados en el Lab. de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota del Instituto de Geografía de la U.N.A.M.

Al Laboratorista Juan José Ramírez y al Ing. Germán Arriaga por ayudarme en el análisis petrográfico.

A mi padre un especial agradecimiento por todo el apoyo brindado y porque siempre has representado, un ejemplo claro de superación, gracias pál.

A mi familia, por ser la parte importante de mi vida, y porque significan un todo para mí.

A Elena Lounejeva, te agradezco mucho me hayas brindado una amistad siempre basada en consejos de constancia y superación, que han sido muy significativos en mi vida.

De manera muy especial agradezco a las Familias Osorio Rosales y Osorio Pérez por un apoyo incondicional, MUCHAS GRACIAS!, gracias por su amistad y por los momentos gratos que compartimos.

A ti Mireya quiero expresar un profundo agradecimiento por tu amistad tan grande, porque eres una de mis mejores amigas, te quiero mucho!

Consideró que la manera en que surgió nuestra amistad ha sido muy especial, eres un amigo al que quiero mucho, gracias por todo,,,por ti ynaDE!. CH.u.Q.T.

A mis amigas Claudia Orduña, Beatriz Huescas, y Angeles Ramos, gracias por aquellos momentos inolvidables que compartimos, siempre las tengo presentes en todo momento.

A mis mejores amigos en la Facultad; Mireya Osorio, Myriam Osorio, Rocío Ortega, Rocío Elizalde, Justo Salas, Horacio Benavides, Claudia Romero, Marco A. Cabrera, Laura Hernández, Rafael Castrejón, Aurelio, Alejandro Lara, Elsa Zavala, Edgar Trejo, Gabriel Vázquez, Nelly Valencia, Cande Venado, Aryn y Carmen, Miguel A. Ibarra, Carlos , Cesar Granados, Oscar D. Pérez, Edgar Rubio, Daniel Sandoval, Gibran Armenta, Rodolfo Hidalgo, Oscar Susano, Issac Velázquez, Rosalía Reyes, Rufino Sánchez, Pilar Magaña, Susana Díaz, Eli, Alfonso Castañeda, Guillermo Chácon, Ruben Mireles, gracias por su amistad!.

A Edgar Trejo, gracias por estar conmigo y por los momentos gratos que hemos compartido, por fin ED!.

A mi amigo Gabino García; por recordarme que tengo conciencia.

A , Ranunito, Blanca Escobedo, Rocío Itzé Luna, Angélica López, Isabel Morales, Luis Arellano, Margarita Cruz, Ilma Huy, Celia López, por brindarme una linda amistad, los aprecio de verdad.

**Si tu consideras que puedes o que no puedes,  
Tienes toda la razón, esa es tu verdad!**

**Henrich Ford**

## INDICE

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	iii
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	iv
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>I.1 Antecedentes</b> .....	2
I.1.1 Trabajos Previos.....	2
<b>I.2 Objetivos</b> .....	9
<b>I.3 Justificación</b> .....	9
<b>I.4 Metas</b> .....	9
<b>I.5 Método de Trabajo</b> .....	9
I.5.1 Compilación y análisis bibliográfico.....	9
I.5.2 Trabajo de Campo.....	10
I.5.3 Trabajo de Gabinete.....	10
I.5.4 Procesamiento de la información obtenida.....	10
<b>CAPÍTULO II GENERALIDADES</b> .....	11
<b>II.1 Localización</b> .....	11
<b>II.2 Vías de comunicación</b> .....	11
<b>II.3 Clima</b> .....	13
<b>II.4 Hidrografía</b> .....	14
<b>II.5 Hidrología</b> .....	14
<b>II.6 Vegetación</b> .....	15
<b>II.7 Orografía</b> .....	15
<b>CAPÍTULO III GEOLOGÍA REGIONAL</b> .....	17
<b>III.1 Fisiografía</b> .....	17
<b>III.2 Estratigrafía</b> .....	17
<b>III.3 Rasgos Estructurales</b> .....	25
<b>III.4 Historia Geológica</b> .....	28
<b>CAPÍTULO IV HIDROGEOLOGÍA</b> .....	28
<b>IV.1 Censo general de aprovechamientos hídricos</b> .....	28
<b>IV.2 Hidrometría Subterránea</b> .....	32
<b>IV.3 Piezometría</b> .....	32
IV.3.1 Evolución del N.E. (1984-2001).....	40
<b>IV.4 Unidades Hidrogeológicas</b> .....	42

<b>IV.5 Rasgos indicadores de flujo subterráneo .....</b>	<b>45</b>
<b>IV.6 Balance hídrico.....</b>	<b>47</b>
<b>CAPÍTULO V HIDROGEOQUÍMICA .....</b>	<b>50</b>
<b>V.1 Hidrogeoquímica del Agua .....</b>	<b>50</b>
<b>V.2 Calidad del Agua .....</b>	<b>53</b>
<b>V.3 Caracterización Hidrogeoquímica.....</b>	<b>54</b>
<b>CAPÍTULO VI MODELO HIDRODINÁMICO CONCEPTUAL .....</b>	<b>59</b>
<b>VI.1 Sistemas de flujo subterráneo .....</b>	<b>59</b>
<b>VI.2 Caracterización del sistema acuífero.....</b>	<b>63</b>
<b>VI.3 Zona de descarga.....</b>	<b>64</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>67</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>73</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA II.1</b>	Localización del área de estudio .....	12
<b>FIGURA II.2</b>	Espaciomapa de Oaxaca.....	16
<b>FIGURA III.1</b>	Mapa Geológico.....	19
<b>FIGURA III.2</b>	Columna estratigráfica.....	20
<b>FIGURA III.3</b>	Afloramiento de esquistos cloríticos, inmediaciones del Población Trinidad de Vigueras ..	21
<b>FIGURA III.4</b>	Afloramiento de una secuencia de areniscas-lutitas de la Formación Jaltepetongo .....	22
<b>FIGURA III.5</b>	Afloramiento de caliza con estratificación tabular e intercalación de lentes de pedernal, correspondientes de la Formación Tepozcolula.....	23
<b>FIGURA IV.1</b>	Nivel de aprovechamiento de agua subterránea en VC .....	29
<b>FIGURA IV.2</b>	Censo general de aprovechamientos hídricos (1984) .....	30
<b>FIGURA IV.3</b>	Censo general de aprovechamientos hídricos (2001) .....	31
<b>FIGURA IV.4</b>	Profundidad al N.E. (1984).....	36
<b>FIGURA IV.5</b>	Profundidad al N.E. (2001).....	37
<b>FIGURA IV.6</b>	Elevación al N.E. (1984) .....	38
<b>FIGURA IV.7</b>	Elevación al N.E. (2001).....	39
<b>FIGURA IV.8</b>	Evolución al N.E. (1984-2001) .....	41
<b>FIGURA IV.9</b>	Plano hidrogeológico.....	44
<b>FIGURA IV.10</b>	Rasgos indicadores de flujo subterráneo.....	45
<b>FIGURA V.1</b>	Diagramas triangulares de Piper.....	55
<b>FIGURA V.2</b>	Análisis Hidrogeoquímico .....	57
<b>FIGURA VI.1</b>	Cargas hidráulicas en zonas de recarga, tránsito y descarga .....	61
<b>FIGURA VI.2</b>	Modelo diagramático del flujo subterráneo .....	62
<b>FIGURA VI.3</b>	Altos contenidos de humedad .....	65
<b>FIGURA VI.4</b>	Rasgo indicador de flujo local .....	65
<b>FIGURA VI.5</b>	Blouqe diagramático conceptual del funcionamiento hidrodinámico en VC .....	66

## ANEXOS

Anexo III.1 Petrografía

Anexo IV.1 Censo general de aprovechamientos (COPEI, 2001)

Anexo IV.2 Datos de evolución del N.E. (1984-2001)

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla II.1</b>	Datos de precipitación y evaporación .....	13
<b>Tabla IV.1</b>	Relación del número de aprovechamientos censados en 1984 y 2001.....	28
<b>Tabla IV.2</b>	Censo general de aprovechamientos hídricos en el 2001 .....	29
<b>Tabla IV.3</b>	Volumenes de extracción (Mm <sup>3</sup> /año) en el 2001 .....	32
<b>Tabla IV.4</b>	Resultados del balance.....	48
<b>Tabla V.1</b>	Resultados del análisis químico .....	53

## RESUMEN

Los Valles Centrales (VC) corresponden al área principal de análisis, que conjuntamente reúnen a los Valles Etla, Tlacolula y Grande (Zaachila y Zimatlán); que se localizan en la porción central del Estado de Oaxaca en un área aproximada de 8,120 km<sup>2</sup>; fisiográficamente constituyen una depresión geotectónica delimitada por sistemas montañosos de considerables elevaciones que logran superar los 3000 msnm, factor determinante de la variabilidad de climas en la región. Su entomo geológico se caracteriza por una secuencia litológica muy compleja que abarca desde unidades muy antiguas (basamento) del Precámbrico (proterozoico medio), hasta unidades litológicas recientes del Holoceno, estructuralmente estos Valles constituyen fosas tectónicas (grabens), delimitados por fallas de grandes dimensiones cuyo origen se debe a la gran actividad tectónica que ha acontecido en esta porción del país.

El objetivo principal de este trabajo de tesis, consistió en la elaboración de un análisis integral de la funcionalidad del flujo subterráneo en los VC, para poder lograr establecer un modelo hidrodinámico conceptual.

Las unidades litológicas potencialmente acuíferas de la región, corresponden a un medio granular en aluviones y fracturado en rocas calcáreas, que representan las áreas donde existe la mayor concentración de aprovechamientos hídricos. El mayor nivel de extracción de agua subterránea se logra por medio de pozos profundos cuyo nivel de aprovechamiento en la región es básicamente público-urbano. De acuerdo al análisis piezométrico, se ha logrado diferenciar que los niveles freáticos, regionalmente son muy someros en el orden de 5m promedio, inclusive se han llegado a manifestar condiciones de artesianismo, lo cual sugiere un nivel importante de aporte de agua subterránea, no obstante para fechas más recientes se tienen registrados una serie de abatimientos de los niveles estáticos a nivel local, que son una respuesta inmediata de la intensificación del incremento en los volúmenes de extracción de agua subterránea en zonas donde existen grandes concentraciones de aprovechamientos hídricos.

El funcionamiento del flujo subterráneo en la región se comporta de la siguiente manera; En el Valle Etla el flujo superficial recarga al acuífero en su porción norte para posteriormente adquirir movilidad a través del subsuelo en la dirección noroeste-sureste, en el Valle Tlacolula su porción noreste constituye el área principal de recarga, y se distribuye en dirección este-oeste para finalmente unirse con el flujo subterráneo procedente del Valle Etla y tener confluencia hacia la dirección sur, donde se ubica el Valle Grande que corresponde al Valle con las mejores condiciones de almacenamiento de agua subterránea.

Los VC hidrogeológicamente constituyen un área potencial de descarga con indicio de flujo local, es por tanto, el área que presenta las mejores condiciones acuíferas de la región debido a su recarga.

# PAGINACIÓN DISCONTINUA

## **CAPITULO I INTRODUCCIÓN**

### **I.1 Antecedentes**

#### **I.1.1 Trabajos Previos**

Organismos privados tales como TACSA, PROYESCO Y COPEI-INGENIERÍA han realizado en el área de estudio una serie de trabajos de carácter hidrogeológico, que han contribuido de manera importante en la caracterización de la distribución y el funcionamiento del flujo subterráneo en esta porción del Estado de Oaxaca, tal información resulto ser de gran utilidad en la elaboración del presente trabajo de tesis.

A continuación se cita por cada trabajo, los objetivos de realización y conclusiones principales a las que se llegó con su elaboración:

1).- Estudio para determinar las fuentes recomendables para el abastecimiento de agua potable de la Ciudad de Oaxaca (1979), reporte realizado para Comisión Nacional del Agua por PROYESCO S.A. México.

Como una necesidad por conocer y determinar las fuentes de abastecimiento a corto y mediano plazo (15 años), el Gobierno del Estado de Oaxaca contrató a la empresa PROYESCO, S.A. para la realización de este trabajo.

Los objetivos principales fueron:

- Investigación y evaluación de las fuentes actuales de suministro a la Cd. de Oaxaca.
- Exploración de áreas probables de abastecimiento futuro.
- Definición del emplazamiento de las baterías de pozos, y alternativas de explotación adecuada.

Conclusiones:

- Existen dos áreas de interés geohidrológico; la primera se localiza en la Cd. de Oaxaca y el aeropuerto con buenas condiciones hasta la profundidad media de 60m y la segunda se localiza en Zaachila con una profundidad media aprovechable de 50m, de igual forma el Valle de Etna con una profundidad de 60m y entre las localidades de Soledad y Nazareno Etna es de 40 y 50m de espesor.

- En el Valle de Tlacolula las condiciones acuíferas favorables se han delimitado a zonas más localizadas, debido a las discontinuidades litoestratigráficas registradas en casi todos los perfiles de investigación.

- Las áreas localizadas entre Santa Lucía del Camino y Santa María del Tule presentan espesores acuíferos con probabilidades entre 60-80m de profundidad, mientras que para sitios localizados entre Santa Cruz Papalutla-San Juan Teitipac se restringen a perforaciones mayores a los 60-100 m de profundidad con posibilidad de ser productoras.

## Caracterización de los sistemas de descarga de aguas subterráneas en la región de Valles Centrales, Oaxaca.

- De acuerdo a las estimaciones realizadas en las proyecciones del crecimiento anual de la población, se determinaron los volúmenes de agua potable para los años 1980, 1990 y 2000, los que resultaron del orden de  $17.16 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,  $26.87 \times 10^6 \text{ m}^3$  y  $41.09 \times 10^6 \text{ m}^3$  respectivamente, correspondiendo este último a un caudal equivalente de  $1.3 \text{ m}^3/\text{seg}$ .
- Con base en la aplicación de métodos geofísicos, tal es el caso del método resistividad eléctrica por medio de 133 sondeos eléctricos verticales implantados en los tres valles, y con el apoyo básico de datos geológicos, se pudo zonificar las áreas probables de explotación de agua subterránea en depósitos aluviales y rocas volcánicas que son las que constituyen los dos principales acuíferos en Valles Centrales, habiéndose logrado definir que en la mayor parte de los casos, los espesores de interés no rebasan los 70m.
- De la interpretación de análisis químicos realizados a 92 muestras de agua subterránea, se le clasificó como sódico-bicarbonatada de reciente infiltración, en los que la cantidad en sólidos totales disueltos en general son menores a los 1000 ppm.
- Del censo de aprovechamiento efectuado en el Valle de Etna, Tlacolula y Zimatlan, Oax. arrojó un total de 717 alumbramientos, de los cuales 105 son pozos, 600 norias, 12 galerías filtrantes y un manantial.
- La explotación actual de agua subterránea se calculó para el Valle de Etna en 5.5 mill  $\text{m}^3/\text{año}$ , para el Valle de Tlacolula de 8.5 mill  $\text{m}^3/\text{año}$ , y para el Valle de Zimatlan-Zaachila 17 mill  $\text{m}^3/\text{año}$ .
- Del balance realizado en los Valles Centrales, se obtuvieron los siguientes datos: el volumen disponible para el Valle de Etna es de 5.36 mill  $\text{m}^3/\text{año}$  que equivale a un caudal instantáneo de 170 lps, el cual con una distribución adecuada se puede incrementar hasta 325 lps, y para el Valle de Zimatlan y Zaachila se encuentran disponibles 470 lps.

2).- Estudio de las condiciones hidrológicas del Valle de Tlacolula y alrededores (1980), reporte realizado para Comisión Nacional del Agua por GEOCA, S.A., México.

### Objetivos:

- Conocer las condiciones geohidrológicas de los alrededores del Valle de Tlacolula, Oax., cubriendo aspectos de tipo geológicos, hidrológicos y su combinación.
- Delimitar la extensión y posibilidades acuíferas de la región.
- Determinar el funcionamiento de los sistemas acuíferos del pozo artesiano (Tanivet) Tlacolula, y de los manantiales de agua salada.

### Conclusiones:

- El proceso dominante del ciclo hidrológico de esta región es la evapotranspiración y en menor escala la infiltración, en algunos lugares no hay escurrimientos superficiales permanentes.
- La zona de recarga en el área de estudio se caracteriza por estar constituida principalmente por rocas terciarias y fuera del área en dirección norte por calizas mesozoicas.
- En el Valle de Tlacolula se encuentran indistintamente las familias de agua cálcico-bicarbonatada y sódico-bicarbonatada, debido a la existencia de tobas y aluviones, producto de la erosión de rocas en particular de tipo ígneo.

## Caracterización de los sistemas de descarga de aguas subterráneas en la región de Valles Centrales, Oaxaca.

- Los manantiales en calizas que se ubican al norte de la Ciudad de Oaxaca, pertenecen a las familias de agua magnesio-bicarbonatadas y cálcico-bicarbonatadas, indicando que los sedimentos calcáreos contienen horizontes dolomíticos.
- Las concentraciones de sólidos totales disueltos que se obtuvieron de las muestras analizadas, presentaron concentraciones mínimas de 233 ppm y máximas de 7321 ppm, siendo el promedio aritmético de 851 ppm del total de las muestras analizadas.
- Las concentraciones de sólidos totales disueltos más bajas correspondieron a los manantiales en calizas, localizadas al norte de la Ciudad de Oaxaca, lo cual indica que son aguas de reciente infiltración y que la zona de recarga se encuentra cercana a los manantiales, sin la presencia de horizontes evaporíticos cercanos con los cuales pudiera el agua tener contacto.
- Las concentraciones de sólidos totales disueltos en el Valle de Tlacolula, fluctúan entre 500 y 700 ppm, a excepción de algunos aprovechamientos.

### **3).- Estudio Geohidrológico preliminar en la zona Valle de Tlacolula (1984), reporte realizado para Comisión Nacional del Agua por TACSA., México.**

#### Objetivos:

- Definir las características hidrogeológicas de las calizas localizadas en la porción sur del Valle.
- Determinar las condiciones actuales de explotación, disponibilidad adicional de agua subterránea y volumen de la misma que descarga al Valle de Zimatlán.

#### Conclusiones:

- De acuerdo a los aforos realizados en el Río Salado principal dren de la zona, se observó que los caudales del mismo varían de 2.2 lps a 17.6 lps, los cuales son sumamente pobres, correspondiendo el aforo a época de estiaje.
- El acuífero principal y actualmente explotado se localiza en los rellenos aluviales, manifestado en la porción central del Valle, aunque existe otro acuífero alojado en materiales volcánicos, el cual presenta agua de muy mala calidad.
- Aparentemente no existe interconexión alguna entre estos dos acuíferos.
- El espesor de los rellenos es variable, fluctuando de unos cuantos metros en los bordes del valle a unos 50 o 60m al centro del mismo.
- Los valores de Transmisividad varían de  $0.2 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{seg}$  a  $10.7 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{seg}$ , valores muy bajos, debido principalmente al exceso de materiales finos.
- El volumen de agua extraída de las diversas captaciones se estimo en  $7.58 \times 10^6 \text{m}^3/\text{período}$ .
- El flujo subterráneo presenta una dirección predominante de SE a NW con gradientes hidráulicos que varían de  $8.6 \times 10^{-3}$  a  $5.7 \times 10^{-3}$ .
- Las entradas por flujo subterráneo lateral provienen de las sierras localizadas en las márgenes del valle, sin embargo, son cantidades minoritarias debido a la presencia de materiales de baja permeabilidad.

### **4).- Estudio Geohidrológico cuantitativo del Valle de Zimatlán, Oaxaca (1984), reporte realizado para Comisión Nacional del Agua por TACSA, México.**

**Objetivos:**

- Conocer las condiciones geohidrológicas actuales del Valle de Zimatlán.
- Determinar el régimen de explotación actual.
- Cuantificar la disponibilidad del agua subterránea.

**Conclusiones:**

- El acuífero del Valle está constituido por rellenos aluviales, arenas y gravas con materiales arcillosos.
- El río Atoyac es la corriente más importante; ya que funciona como dren del acuífero del cual recibe un volumen anual estimado de  $1.0 \times 10^6 \text{m}^3$ .
- El agua subterránea es de muy buena calidad, su contenido en sólidos totales disueltos varía de 200 a 600ppm.
- El flujo subterráneo entra al Valle por su extremo norte a través del estrechamiento que lo comunica con los valles de Etna y Tlacolula.
- Los niveles estáticos presentan profundidades que varían de unos cuantos centímetros a unos 15m.
- El valor de Transmisividad del acuífero es bajo debido a la abundancia de materiales arcillosos.
- La recarga del acuífero tiene lugar por flujo subterráneo procedente de los valles altos, así como por infiltración en el mismo Valle.
- Para 1972 la recarga total del acuífero, fue del orden de  $40 \times 10^6 \text{m}^3$  de los cuales unos  $35 \times 10^6 \text{m}^3$  se originaron por infiltración en el Valle y unos  $5.0 \times 10^6 \text{m}^3$  entraron por flujo subterráneo.
- La descarga del mismo se realiza a través de evapotranspiración y por bombeo, el cual se estima en unos  $5.0 \times 10^6 \text{m}^3$ .

**5).- Estudio Geohidrológico preliminar de la zona Valle de Etna (1984), reporte realizado para Comisión Nacional del Agua por TACSA, México.**

**Objetivos:**

- Definir el funcionamiento del acuífero.
- Definir el estado actual de explotación del acuífero.
- Establecer el nivel de disponibilidad permanente aprovechable sin afectar las captaciones someras.
- Determinar las condiciones actuales de explotación, de la disponibilidad adicional de agua subterránea y volumen de agua subterránea que descarga al valle de Zimatlán.

**Conclusiones:**

- El acuífero explotado por las captaciones censadas, está constituido por depósitos aluviales que fueron depositados por las corrientes fluviales que escurrían de las sierras laterales.

- El tipo de rocas representativas del área de estudio corresponde a rocas volcánicas y metamórficas que sólo bajo condiciones de intenso fracturamiento pueden presentar posibilidades acuíferas, aunque de poca magnitud.
- La dirección preferencial del flujo en este valle es de NW a SE.
- Los valores de Trasmisividad, de acuerdo a estudios anteriores varían de  $1.2 \times 10^{-3}$  a  $14.6 \times 10^{-3}$ , mientras que el coeficiente de almacenamiento considerado fue de 0.06.
- La recarga natural del acuífero es generada por las sierras que circundan al valle, al infiltrarse ó escurrir superficialmente el agua de lluvia.
- El volumen de agua extraído por medio del bombeo de los aprovechamientos activos, es del orden de  $10.8 \times 10^6 \text{m}^3$ , considerándose un período de 7 meses (de enero a julio de 1984).
- La recarga efectiva del acuífero es de  $20.22 \times 10^6 \text{m}^3$ , mientras que la descarga total es de  $12.6 \times 10^6 \text{m}^3$ .
- De acuerdo a lo anterior y al período analizado en este estudio, se tiene una disponibilidad en el acuífero de  $7.6 \times 10^6 \text{m}^3$ .

**6.- Estudio de Actualización geohidrológica del acuífero de Valles Centrales (2001), reporte realizado para Comisión Nacional del Agua por COPEI Ingeniería, México.**

**Objetivos:**

- Conocer la disponibilidad de agua subterránea en el acuífero de Valles Centrales (Etna, Tlacolula y Zimatlán), Estado de Oaxaca, con la finalidad de poder incrementar las políticas de explotación futuras de los acuíferos.
- Conocer la evolución del acuífero a través del tiempo, el censo actualizado de aprovechamientos hidráulicos y sus datos principales, así como las condiciones de operación de los mismos.
- Definir la evolución piezométrica y determinación de los niveles piezométricos actuales de los acuíferos.
- Determinar la calidad del agua de los acuíferos, de acuerdo a la normatividad vigente.
- Definir el modelo geométrico y la distribución espacial de los parámetros hidráulicos de los acuíferos.
- Proponer el modelo conceptual hidrodinámico y explicar los mecanismos que controlan la dinámica del agua subterránea.
- Tener el conocimiento de las condiciones de explotación y recarga de los acuíferos, para llevar a cabo la reglamentación sobre uso y aprovechamiento del agua subterránea.
- Identificar las áreas o estructuras que ofrezcan buenas posibilidades de almacenar agua subterránea y ubicación de sitios y/o zonas para la construcción de nuevos aprovechamientos.
- Conocer el funcionamiento actual y la relación existente entre los tres acuíferos locales conocidos como: Etna, Tlacolula y Zimatlán.

**Conclusiones:**

- Valles Centrales es una zona que presenta en relación a la población un proceso de migración local, de una sociedad predominantemente rural a urbana, que conlleva al incremento de la demanda de servicios, entre otros

los de agua potable la cual es satisfecha primordialmente bajo condiciones cada vez más críticas de explotación del agua subterránea.

- El abastecimiento para uso público urbano es cada día más difícil de satisfacer, para una población aproximada de 732,448 habitantes (dato proporcionado del censo realizado en el año 2000), que presenta una tasa de crecimiento demográfico del 4.74% anual.

- La calidad del agua subterránea esta siendo afectada seriamente por las descargas de aguas residuales que provienen de las principales poblaciones que se asientan en los tres valles y que son vertidas sin tratamiento previo a los cauces de las corrientes, siendo la zona más afectada, la que se encuentra a partir de la ciudad capital de Oaxaca, hacia el valle de Zimatlán.

- De acuerdo con la información proporcionada, el volumen concesionado o comprometido a extraer del acuífero, con los 3,454 aprovechamientos titulados y registrados en el REPTA, asciende a la cantidad de 95,123,235 m<sup>3</sup>/año, de tal manera que el 56.20% (53.46 Mm<sup>3</sup>/año) corresponden a uso agrícola; el 41.46% (39.05 Mm<sup>3</sup>/año) al público urbano; el 0.05% (0.052 Mm<sup>3</sup>/año) uso pecuario; 0.002% (0.002 Mm<sup>3</sup>/año) al uso múltiple; y finalmente el 1.01% (0.96 Mm<sup>3</sup>/año) para el uso doméstico.

- Del balance de aguas superficiales, se obtuvo que el volumen anual de infiltración es de 1,169 Mm<sup>3</sup>.

- Las principales fuentes de aprovechamiento subterráneo en la zona de estudio son pozos y norias, dándose una gran cantidad de reposiciones de estas últimas ya sea por bajo rendimiento o por afectación a la calidad del agua que extraen, dependiendo de la porción del acuífero en que se encuentren.

- En el desarrollo de este trabajo se censaron un total de 394 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 382 se encuentran activos, los diámetros de descarga más comunes son de 6", las profundidades de los pozos varían en las diferentes zonas de estudio, para el Valle de Etla los rangos obtenidos son desde 6 hasta 76m, presentándose con mayor frecuencia en las profundidades de 30 a 49m para los pozos y de 10 a 15m para las norias. Para el Valle de Tlacolula el rango de profundidades varía de 7 a 80m distribuidos sin ninguna preferencia. En el Valle de Zimatlán, el rango varía desde 8 hasta 119m, la mayor frecuencia se observa de los 40m a los 65m.

- Las mediciones obtenidas en campo indican una gran desviación de la salinidad del agua subterránea, tomada está como la variación de la conductividad eléctrica, siendo el agua proveniente de las norias la que tiene el mayor valor promedio y presenta más dispersión.

- De las muestras estudiadas, el Calcio (Ca<sup>+</sup>) es el catión predominante con concentraciones entre 4.0 y 234.7 mg/l con un valor promedio de 71.7 mg/l. La concentración promedio de Sodio (Na<sup>+</sup>) es la siguiente más alta con un valor promedio de 43.5% mg/l y valores entre 8.2 y 148.2 mg/l.

- En los aniones predominan los Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) con concentraciones promedio de 340.0 mg/l y rango entre 24.4 y 1120.5 mg/l.

- La zona de estudio, presenta en general aguas ligeramente enriquecidas en sodio y en bicarbonato, como el ion predominante, por lo que puede establecerse la posible disolución de silicatos provenientes de los materiales del acuífero, como las fuentes de aporte del Sodio.

- En el Valle de Zimatlán se refleja el efecto de la presencia de halita como el proceso dominante, aunque hay una leve tendencia de enriquecimiento de Na que se ve más acentuada en la muestra Z-70, lo cual podría ser muestra de un intercambio iónico, ya que en las inmediaciones de esta parte del Valle se encuentran andesitas.

Caracterización de los sistemas de descarga de aguas subterráneas en la región de Valles Centrales, Oaxaca.

- Para el Valle Etla se observa tendencia al enriquecimiento de sodio con respecto al cloro lo que podría interpretarse como un posible intercambio iónico hacia esta zona.
- Para todas las aguas de la zona de Tlacolula se observa que existe una ligera deficiencia de  $(Ca + Mg)$  relativa al  $(SO_4 + HCO_3)$ , la cual podría establecerse con base en el intercambio iónico, como un proceso que produzca el reemplazo de estos iones por  $Na^+$ .
- En general, en el caso del arsénico, la mayor parte de las muestras están por debajo del límite establecido para la NOM  $As = 0.025 \text{ mg/l}$ , salvo dos muestras recolectadas del Valle de Tlacolula el T-53 ( $As = 0.028 \text{ mg/l}$ ) y el T-8 ( $As = 0.036 \text{ mg/l}$ ) que se encuentran ligeramente por encima de la norma.
- En cloruros el límite permisible por la NOM es de  $2250 \text{ mg/l}$ . La única muestra que rebasa el límite es la recolectada en el pozo T-53 ( $297 \text{ mg/l}$ ).
- Varias de las muestras tienen valores en Mn por encima de la norma, sobre todo en Tlacolula y Etla, al igual que con el hierro son elementos que provienen de la interacción del agua con las rocas ígneas cercanas de composición andesítica.
- Los depósitos aluviales y las tobas en los Valles, conforman las principales unidades acuíferas de la región.
- Los retornos de riego son parte importante de la recarga, y en cuanto a la descarga, el bombeo es la principal actividad que influye de manera directa en el nivel del agua, que se observa en el abatimiento causado por el incremento en la extracción del agua subterránea en algunas localidades del área de estudio.
- En Valles Centrales no se cuenta con un historial piezométrico propiamente dicho, debido a que la información se encuentra muy dispersa y actualmente no se ha establecido una correlación y actualización sobre las posibles modificaciones para cada tipo de aprovechamiento hídrico.
- Las profundidades al Nivel Estático en general, se consideran someros; ya que algunas localidades, como lo son en el Valle de Tlacolula y propiamente en la Ciudad de Oaxaca existen pozos brotantes principalmente en época de lluvias.
- A fechas actuales 2001, se observa la existencia de conos de abatimiento en zonas muy puntuales de cada Valle, que han sido provocados por el incremento de la extracción de agua subterránea.
- Las entradas por flujo subterráneo se dan principalmente en los flancos de las sierras que circundan cada valle, aportación al acuífero que se da únicamente durante la temporada de lluvias, de mayo a septiembre, mientras que las salidas se dan durante todo el año, ya que están permanentemente alimentadas por el agua contenida en el acuífero.
- Los volúmenes de entradas por flujo horizontal subterráneo por valle resultó: Valle Etla  $27 \times 10^6 \text{ m}^3$ ; Valle Tlacolula  $5.8 \times 10^6 \text{ m}^3$  y Valle Zimatlán  $11.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ .
- Los volúmenes de salidas por flujo horizontal subterráneo por valles es: Valle Etla  $3.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ , Valle Tlacolula  $5.8 \times 10^6 \text{ m}^3$  y Valle Zimatlán  $11.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **1.2 Objetivos**

Caracterizar el modelo de funcionalidad del flujo subterráneo y los principales sistemas en la región de Valles Centrales (VC), Oaxaca.

Analizar la tendencia piezométrica evolutiva en los VC, con fines de conocer el nivel de potencialidad del acuífero.

Analizar la calidad química del agua.

## **1.3 Justificación**

Cabe señalar que de los trabajos previamente realizados en VC, no existe alguno que mencione a los sistemas de flujo subterráneo, como una metodología alternativa complementaria en la caracterización hidrogeológica de la región, por lo que se consideró oportuno llevar a cabo un análisis de este tipo, en la medida de lograr establecer una perspectiva más amplia sobre las tendencias de movilidad, distribución y calidad del agua subterránea en la región.

## **1.4 Metas**

a).- Contar con un modelo de funcionamiento hidrodinámico de los VC, que permita aportar datos importantes sobre la caracterización del acuífero, y la calidad química del agua en la región.

b).- Contribuir con un análisis integral de la distribución del flujo subterráneo, importante en la determinación de las áreas óptimas de extracción y de condición vulnerable a la contaminación.

c).- Señalar la importancia que existe por mantener un control actualizado de la información hidrogeológica en la región.

## **1.5 Método de trabajo**

### **1.5.1 Compilación y análisis bibliográfico:**

Inicialmente se llevó a cabo la recopilación de información de tipo geológica y topográfica del área de análisis, se utilizaron dos cartas geológico - mineras editadas por el Consejo de Recursos Minerales en el 2001 a escala 1:250,000 cuyas claves son: E14-9 (Hoja Oaxaca) y E14-12 (Hoja Zaachila), mismas claves que corresponden a las cartas topográficas utilizadas, posteriormente. Se llevo a cabo la consulta de una serie de artículos científicos que abarcaban el área de VC e inmediaciones, material bibliográfico consultado en la Biblioteca del Instituto de Geología y Geografía de la U.N.A.M., Biblioteca y Mapoteca del Consejo de Recursos Minerales (CEDOREM), Biblioteca de la Comisión Nacional del Agua (CNA), Méx. D.F.

La selección de la información consistió en reunir por cada trabajo consultado, los datos más representativos y de interés, y así posteriormente llevar a cabo la correlación e integración de dicha información.

En cuanto a la información hidrogeológica existente para esta porción del estado de Oaxaca, se contó con la autorización del Ing. Noel Hernández en la consulta de este material, existente en la Biblioteca de la Gerencia de Aguas Subterráneas de CNA, adicionalmente fue de gran ayuda contar con la valiosa ayuda del Ing. Anselmo Ordaz y del Ing. Gabriel Salinas en la obtención de información actual; toda la información antecedente fue de gran utilidad en la elaboración del presente trabajo de tesis.

### 1.5.2 Trabajo de Campo

Se llevaron a cabo dos salidas a campo, cuyo propósito principal consistió en lograr identificar y corroborar la información cartográfica existente. Primeramente se seleccionaron los puntos apropiados para la verificación de las unidades aflorantes en la región que fueran representativas; posteriormente se eligieron caminamientos que condujeran hacia cada unidad de interés. La metodología a seguir consistió en ubicar el punto de verificación mediante un orden progresivo mediante siglas FIM - y su número correspondiente sobre un mapa geológico y establecer la correlación cartográfica, coleccionar y analizar muestras de mano para realizar su descripción macroscópica, e identificar aspectos geológicos importantes como: grado de fracturamiento, estructuras, morfológica y posición estratigráfica en relación con las unidades con las que se encuentra en contacto.

### 1.5.3 Trabajo de Gabinete

La información obtenida en campo, se integró en cartas topográficas escala 1:250,000 con la finalidad de establecer una correlación con la información cartográfica existente. Con el propósito de realizar una mejor identificación mineralógica de las muestras recolectadas en campo, se contó con la valiosa ayuda y asesoría del Laboratorista Juan José Ramírez del Laboratorio de Yacimientos Minerales y Minerografía de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M, para la elaboración de las secciones delgadas por cada muestra de roca. Posteriormente se realizó el análisis petrográfico, adicionalmente se contó con la supervisión en la descripción microscópica de las muestras, del profesor Ing. Germán Arriaga.

### 1.5.4. Procesamiento de la información obtenida

Todos los datos recabados fueron analizados, los datos cartográficos fueron plasmados en una cobertura de albanene, con fines prácticos de sobreponer a las cartas geológico-mineras escala 1:250,000 (CEDOREM) e integrar toda la información; una vez hechos los cambios y ajustes pertinentes de datos se procedió a su procesamiento a partir de la georeferenciación en un Sistema de Información Geográfica (SIG), utilizando el programa ILWIS 3.7, que consiste en una metodología cuya capacidad de almacenamiento y manipulación de datos cada vez es mayor, además de que permite desplegar información de acuerdo con el requerimiento que se tenga, es sin duda una metodología muy eficiente en ordenamiento, jerarquización y procesamiento de datos en el área de Ciencias de la Tierra.

## **CAPITULO II GENERALIDADES**

### **II.1 Localización**

Geográficamente el área de VC se encuentra enmarcada entre los paralelos 16°30'-17°25' de latitud norte y meridianos 96°15'-97°00' de longitud oeste, ubicados en el centro geográfico y político del estado de Oaxaca; corresponde con la conjunción de tres Valles, donde cada uno recibe el nombre de la cabecera política o del centro socioeconómico de cada región: Valle de Etla, Valle Tlacoíula y Valle Grande (Zaachila y Zimatlán), que cubren una superficie aproximada de 8,120 km<sup>2</sup> (Fig. II.1).

### **II.2 Vías de comunicación**

El Estado de Oaxaca presenta un relieve muy irregular, sumamente complejo y de abrupta topografía, lo cual dificulta la construcción de vías de comunicación; por lo tanto eleva los costos de su realización, no obstante es notable observar que en lugares apartados y de difícil acceso, los pobladores que radican en ellos opten por realizar gran diversidad de veredas y caminos de terracería, como el medio alternativo de comunicación y enlace entre las comunidades aledañas.

Las principales rutas de acceso al área de estudio son: Carretera federal N°.190 (Carretera Panamericana) que comunica a la Cd. de México con el Estado de Oaxaca, pasando por el Estado de Puebla al poniente y al oriente con Chiapas; la Carretera federal N°.175 que comunica a Tuxtepec, Oaxaca y Puerto Ángel, y la Carretera federal N°.131 que comunica a las ciudades de Puebla, Oaxaca y Puerto Escondido.

Así también se cuenta con una red ferroviaria que con anterioridad era reconocido como la línea Ferrocarril Mexicano del Sur constituida por 643 km, que comunica a VC con Tehuacán -Puebla-Distrito Federal. También existe el Aeropuerto Internacional localizado en la Cd. de Oaxaca.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

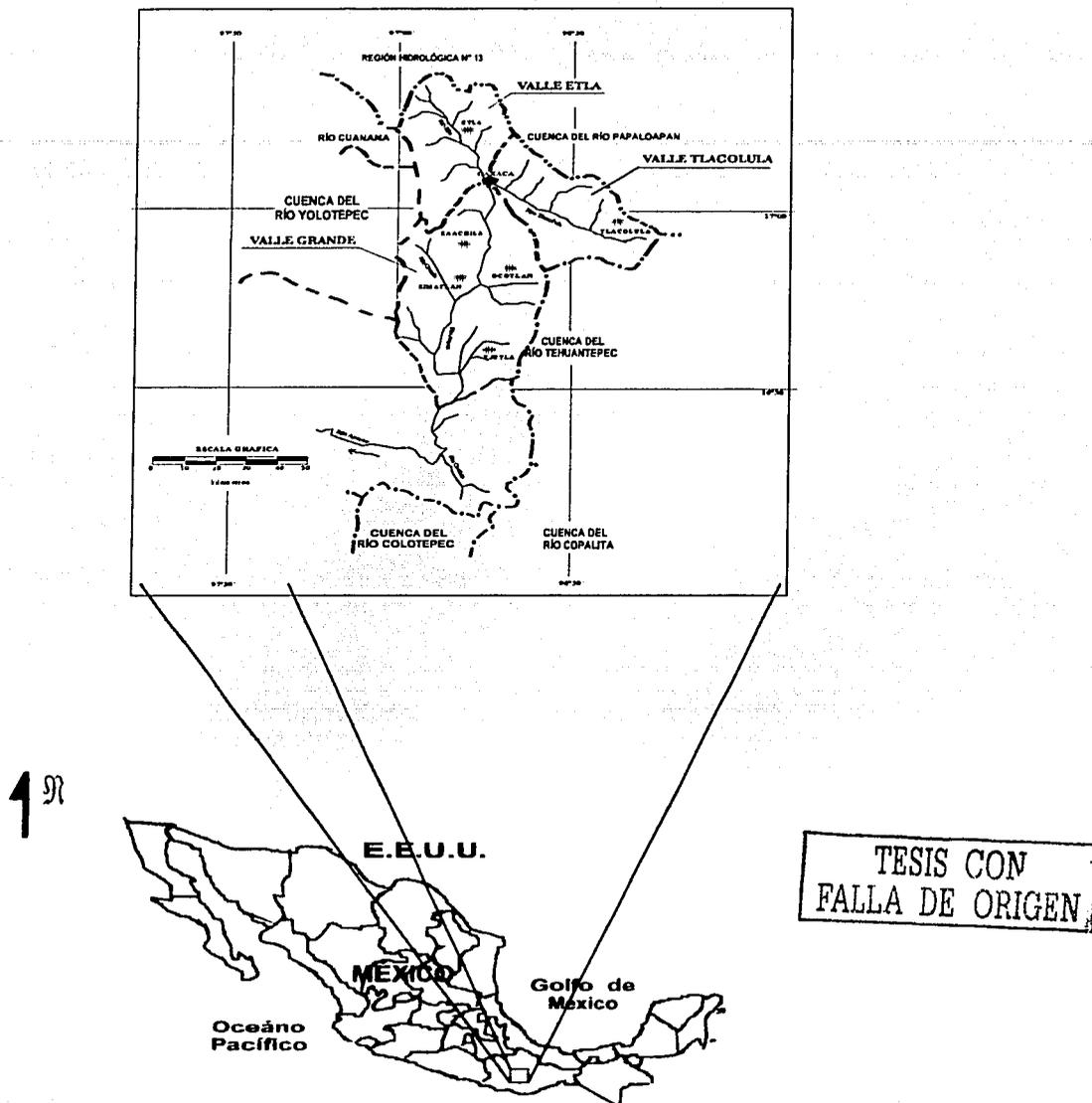


Figura II.1. Localización del área de estudio.

Otros de los servicios principales con los que cuenta la región son: servicio telefónico, correo, telégrafo y fax, principalmente en municipios y las zonas más próximas a su capital (CRM, 1996).

### II.3 Clima

La distribución de climas es un factor que depende en gran medida del tipo de relieve y posición geográfica, Oaxaca constituye uno de los estados con mayor variedad en climas, pues la relación que existe entre relieve e influencia de vientos, diversifican la presencia de estos.

Fisiográficamente los VC corresponden con depresiones geotectónicas que logran superar barreras geográficas, y por lo tanto perder humedad, lo que involucra condiciones climáticas de tipo semicálido subhúmedo para elevaciones correspondientes a los 1000 msnm, que posteriormente cambian a semiseco semiárido con presencia de lluvias en verano (INEGI, 1995); regionalmente los niveles de precipitación media anual promedio varían de 800 a 1500 mm, siendo los meses de mayo a septiembre las épocas de mayor cantidad de lluvias, y el mes de junio el de mayor precipitación. Se tienen valores de 1300 a 1800 mm de evaporación, observables de acuerdo al siguiente historial registrado en las estaciones meteorológicas (Tabla II.1).

ESTACIÓN CLAVE NACIONAL	LATITUD	LONGITUD	TEMP. °C	PRECIP. (mm)	EVAPORACIÓN (mm)
ETLA 20034	17°22'	96°08'	1963-1989 16°	1963-1989 695.1	1962-1989 1561.8
OAXACA 20079	17°07'	96°73'	1952-1984 16.5°	1962-1985 731.7	1953-1984 1708.5
O. DE MORELOS 20080	17°08'	96°67'	1962-1985 14.8°	1962-1985 823.8	1962-1985 1813.4
EJUTLA 20118	16°58'	96°75'	NO HAY DATOS	1961-1984 669	1961-1989 1910.7
TAVICHE 200109	16°73'	96°58'	1946-1985 15.6°	1946-1988 684.2	1975-1988 999.9
ZIMATLÁN 20209	16°88'	96°75'	1972-1983 15.4°	1972-1989 730.6	1972-1989 2135.2
TLACOLULA 20282	16°85'	95°53'	1977-1988 20.7°	1977-1989 1464.7	1977-1984 1349.4

Tabla II.1. Datos de precipitación y evaporación (Fuente: COPEI, 2001).

## II.4 Hidrografía

La morfología de la región se caracteriza principalmente por sierras y valles que influyen de manera importante sobre el nivel de movilidad y distribución del agua que precipita, de tal forma que una parte escurre y otra logra infiltrarse a través de las unidades de roca permeable bajo procesos importantes de fracturamiento y fallamiento.

El nivel de potencialidad de las rocas y la presencia de estructuras geológicas, tales como fallas regionales y la interconexión de fracturas, son factores que en gran medida contribuyen en el nivel de recarga al acuífero.

El tipo de drenaje característico en el área de estudio, de acuerdo con la expresión en superficie, es un rasgo claro que ayuda a reconocer la unidad o unidades con mayor grado de permeabilidad y aquellas con menores posibilidades; en VC el tipo de drenaje es dendrítico hacia las partes altas, dendrítico denso a circular en rocas metamórficas, y hacia las partes bajas y flancos de las sierras de tipo subparalelo a paralelo hasta desembocar en el Río Atoyac.

Las unidades permeables corresponden al relleno aluvial conformado por material de acarreo (no consolidado) producto de la erosión de las sierras circundantes; también se tiene a la caliza de la Formación Tepozcolula que constituye una secuencia de rocas carbonatadas con alta susceptibilidad al ataque químico que favorecen el desarrollo de grietas de disolución y estructuras cársticas, que propician el incremento en la capacidad de infiltración del agua superficial hacia el subsuelo.

Contrariamente a lo anterior, existen unidades litológicas de permeabilidad baja, tal es el caso de las rocas metamórficas, secuencias alternantes de areniscas-lutitas y algunas rocas volcánicas Cenozoicas que se caracterizan por ser altamente competentes.

## II.5 Hidrología

Los VC son vertidos y drenados principalmente por el Río Atoyac y sus afluentes, entre los que destacan el Río de Etla, el Río de Tlacolula o Salado, el Río de Santa Cruz o Grande de Tlapacoyan, el Río Serrano, el Río de Miahuatlán y el Río de Sola; siendo el Río Atoyac el de mayor importancia y el que drena una gran extensión de la Mixteca en sus porciones orientales.

Una serie de formas caracterizan el relieve de los mismos, principalmente se observa que los parteaguas constituyen el límite físico con otras cuencas vecinas como las del Papaloapan, Tehuantepec y Balsas, en estas zonas el escurrimiento que se dirige hacia los diversos cursos tributarios del Río Atoyac (D.R.S., 1988).

En el territorio Oaxaqueño existen ocho regiones hidrológicas que controlan el patrón de escurrimiento y circulación de los principales ríos, los VC quedan comprendidos dentro de las regiones Costa Chica-Río Verde, Tehuantepec y Papaloapan (CRM, 1996); siendo las dos primeras de gran importancia a nivel estatal.

### **Región Hidrológica Costa Chica - Río Verde**

En la región hidrológica de mayor extensión, que ocupa la porción centro-occidental del estado. Las principales corrientes que drenan hacia esta región hidrológica, son los Ríos Atoyac, Tlacolula, Etla y Sordo. Adicionalmente en ella, se localizan tipos de obras civiles de importancia, tal es el caso de las presas Tamazulapan, El Bayito y El Estudiante, fuente principal para uso agrícola.

### **Región Hidrológica Tehuantepec**

Región que se caracteriza por contener en ella corrientes fluviales de importancia, tales como las de los ríos Tequisistlán, Tehuantepec, Niltepec y Salado; así como también los cuerpos Lagunares Inferior, Superior y la Presa Benito Juárez.

### **Región Hidrológica Papaloapan**

Se considera como una región que abarca gran parte de la porción centro-septentrional de Oaxaca, sus corrientes tienen una disposición radial y paralela controlada por algunas elevaciones de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico, se encuentra conformada por varias cuencas como Papaloapan, Cajonos y Santo Domingo.

## **II.6 Vegetación**

En esta porción de Oaxaca, la vegetación corresponde a la de bosque aciculiesclerófilo, pastizales inducidos, gran variedad de pinos y encinos, copal y diversos tipos de maguey, pitahayo, órgano y palo verde; así como también una vegetación de tipo manglar de selva baja hacia la zona de Ocotlán que es caducifolia; tipo sabana, compuesta por guamúchil, guayabo, ciruelo, cedro, caoba y jaboncillo. Hacia las inmediaciones de la Ciudad de Oaxaca existen árboles de grandes dimensiones que corresponden a la de ahuehuetes que para fines de análisis son un tipo de vegetación característica de niveles de agua muy someros (INEGI, 1995).

## **II.7 Orografía**

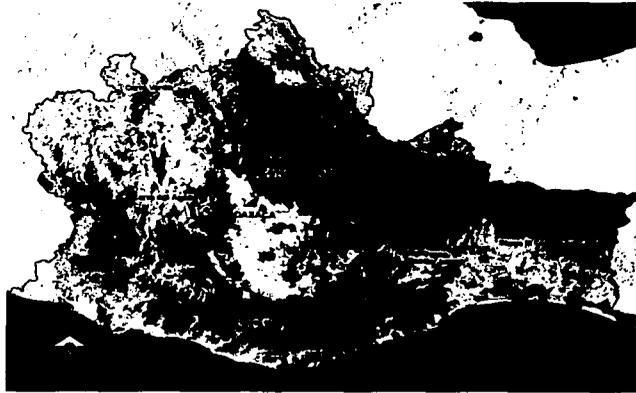
El estado de Oaxaca en particular, se caracteriza por un relieve sumamente complejo, que comprende sistemas montañosos alargados que superan en elevación los 1000 msnm, y que delimitan a la zona aluvial que conforman a los valles, tal morfología procede de los eventos de tipo endógenos y exógenos que han modelado la región de manera adicional a la actividad tectónica y volcánica que ha acontecido para esta porción del país.

El principal sistema montañoso corresponde a la Sierra Madre del Sur (SMS), el cual constituye un relieve de grandes escarpes, con superficies de nivelación escalonadas, que son regidos por un proceso tectónico activo, y de donde se desprenden la Sierra de Juárez, la Sierra Mazateca y la Sierra Atravesada; que delimitan valles longitudinales de corta extensión y planicies de reducida amplitud y por lo tanto a los VC (Lugo-Hubp, 1990).

La SMS adicionalmente a su complejidad estructural, es la menos conocida del país, es una provincia formada por cadenas montañosas comprendidas en una zona con alto grado de sismicidad a lo largo de la costa del Pacífico. La altitud de esta Sierra supera los 2000 msnm, elevaciones que tienden a disminuir conforme hay proximidad hacia el Océano Pacífico.

La Sierra de Juárez o también conocida como Sierra Madre de Oaxaca, localizada al noreste de la ciudad de Oaxaca, presenta elevaciones del orden de los 2000 a 3250 msnm; se conforma por unidades metamórficas con un patrón de drenaje en densidad variable que va de moderado a escaso ante un nivel de fracturamiento menor, lo que implica en gran medida que el agua pluvial en esta región escurra y solo se logre infiltrar a través de fallas y fracturas existentes en las porciones bajas de la sierra.

Por otra parte la Sierra Mazateca es la prolongación en dirección norte de la Sierra Juárez, cuyas elevaciones varían entre los 500 y 2750 msnm, que se extiende a través del Estado de Oaxaca en la porción limítrofe meridional del sistema cordillerano.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Fig. II.2** Espaciograma de Oaxaca,

Tonos rojo: Vegetación; azul: grandes localidades urbanas; negro: presas y lagos profundos transparentes; y rosa: áreas de cultivo de riego y regiones planas.

<http://oax.inegi.gob.mx/territorio/español/espaciograma.htm>

Hacia las partes más bajas de la región se localizan los VC, con una elevación correspondiente a los 1600 msnm y una superficie de considerable extensión. Esta región es de gran interés económico, debido a que tiene un nivel de productividad agrícola muy significativo, por su clima, su relieve y por constituir un importante centro de asentamiento poblacional.

## **CAPITULO III GEOLOGÍA REGIONAL**

El marco geológico del área de estudio, se caracteriza por contener una gran diversidad y complejidad en unidades de roca, la columna litológica consta de una secuencia que cronológicamente varía desde edades muy antiguas correspondientes del Precámbrico (Proterozoico medio), hasta unidades jóvenes del Cenozoico; para algunos casos se suele diferir en cuanto a valores de espesor real, dada la dificultad que existe en establecer los potentes espesores de roca no expuestos en superficie (Figura III.2).

Cabe señalar que para esta porción del país, existen grandes períodos de hiatus, para los cuales aun no se ha establecido su correspondencia cronológica, tal circunstancia sugiere la necesidad por realizar mayor investigación cartográfica y geológica.

### **III.1 Fisiografía**

Fisiográficamente los VC corresponden a enormes planicies que quedan comprendidas dentro de la provincia Sierra Madre del Sur (SMS), en las subprovincias Sierras plegadas del noroeste y Tierras Altas de Oaxaca, que son las que los delimitan (D.R.S, 1998).

La provincia (SMS), constituye una cadena montañosa que ocupa una gran parte de la porción occidental de Oaxaca, dando frente al Océano Pacífico y extendiéndose hasta el Istmo de Tehuantepec, incluye las cadenas montañosas que forman la Sierra del sur propiamente dicha, la cuenca del Balsas y la Mixteca Alta en Oaxaca, que corresponde a la porción limítrofe meridional del sistema cordillerano, que se extiende 1000 km<sup>2</sup> en la dirección noroeste-sureste, con una topografía sumamente escabrosa que llegan a superar la elevación de 3000 msnm (INEGI, 1986).

Hacia la porción noreste del estado se eleva un macizo montañoso denominado Sierras Plegadas conocido como Sierra Madre de Oaxaca; cuyas elevaciones superaran los 3000 msnm. La subprovincia de las Tierras altas de Oaxaca, representan un terreno predominantemente montañoso que se encuentra dividido por los valles de los ríos Grande y Atoyac.

### **III.2 Estratigrafía**

Dado que el tema principal de este trabajo de tesis es de carácter hidrogeológico, la estratigrafía del área de estudio se definió con base en la información recopilada en artículos científicos, técnicos y en estudios de cartografía existentes (Figura III.1).

Así mismo, en la medida de lograr realizar un mejor nivel de descripción de las unidades litológicas que afloran en la región, se realizó un análisis petrográfico de las muestras recolectadas durante el trabajo de campo (Anexo III.1).

## **Precámbrico**

### **Proterozoico Metamórfico (pTmCM)**

Esta unidad reúne a las rocas más antiguas que afloran en la región (Ortega Gutiérrez, 1976); cuya correspondencia cronológica se relaciona con el basamento metamórfico del Sur de México, que tiene amplia exposición en toda la porción occidental del área de interés (Figuras III.1 y III.2).

De acuerdo a estudios radiométricos practicados a unidades representativas de esta unidad como lo son vetas pegmatíticas de cristalización gruesa, arrojaron edades de 1100–900 m.a., lo que sugiere su correlación con el Precámbrico, y así mismo el final de un periodo de tectonismo que resulta ser equivalente a la Orogenia Grenvilliana de Estados Unidos y Canadá (Fries *et al.*, 1963).

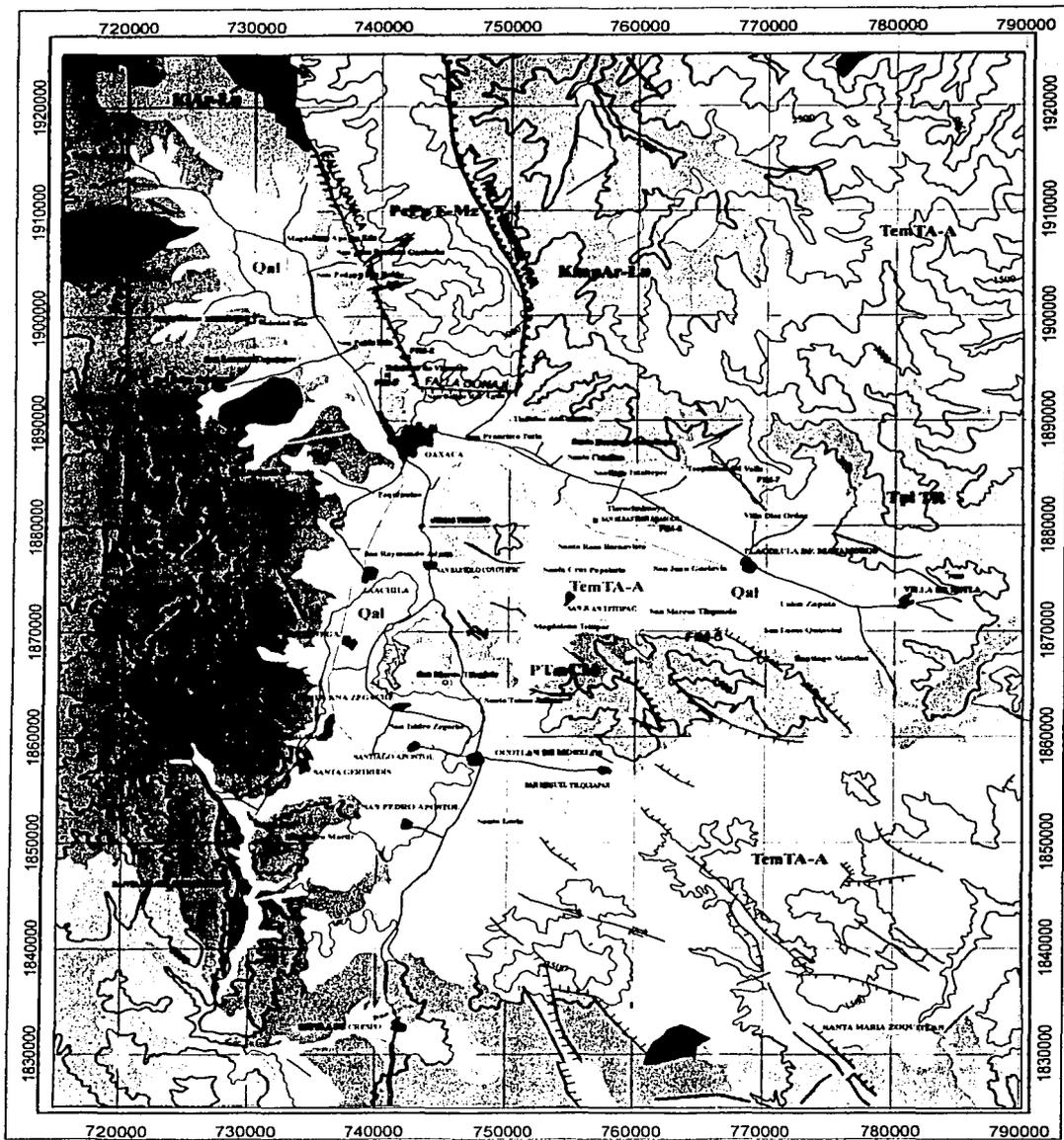
Litológicamente la secuencia metamórfica se encuentra constituida por una gran diversidad de rocas en facies de granulita, tales como: chamoquitas, ortogneis, paragneis, gneis cuarzo-feldespáticos, nelsonitas, pegmatitas y mármoles, cuyo espesor estructural es mayor a los 15 km en un área de exposición correspondiente a 10000 km<sup>2</sup> (Ortega-Gutiérrez, 1984), pertenecientes al denominado Complejo Oaxaqueño (CO) por (Fries *et al.*, 1966).

En las inmediaciones de la localidad de San Antonio Arrazola, fue posible observar un afloramiento de gneis con alto contenido en cuarzo y biotita a nivel muestra de mano (muestra FIM-1); del análisis petrográfico se encontraron cuarzo, mica (biotita), plagioclasas de composición media (oligoclasa-andesina), escaso contenido de hornblenda, circón, apatito y ferromagnesianos. En general son rocas producto de un metamorfismo de tipo regional, que varía en intensidad de medio a alto.

Estratigráficamente esta secuencia de rocas metamórficas, constituyen la parte inferior de toda la columna, que corresponde con el basamento de la región.

## **Paleozoico**

**Complejo Metamórfico Sierra Juárez (Pc PpE-Ms):** En la región afloran dos secuencias metamórficas de edades cronológicamente diferentes, por un lado existe un complejo Precámbrico metamórfico (basamento cristalino) correspondiente al CO, y sobreyaciendo a este en forma discordante, se tiene identificada una secuencia paleozoica a la que se ha denominado Complejo Metamórfico Sierra de Juárez, de edad aún discutible; pues de acuerdo a estudios radiométricos, se determinó su correspondencia con el Carbo-Pérmico, aunque también existe la posibilidad de que pertenezcan al mesozoico. El área de su exposición corresponde con los flancos sur occidentales de la Sierra Madre Oriental en dirección hacia Teotitlan y el Estado de Puebla. Dentro del área de estudio aflora hacia la porción noreste de la Ciudad de Oaxaca, consta principalmente de rocas metamórficas en facies de esquistos verdes, tales como esquistos cloríticos, esquistos de cuarzo-muscovita,



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**LEYENDA**

- |  |                                  |  |                           |  |                             |
|--|----------------------------------|--|---------------------------|--|-----------------------------|
|  | Principales zonas urbanas        |  | × FIM-1 Muestra de roca   |  | Qal Aluvion                 |
|  | Pobladros pequeños               |  | Fm Yucunama               |  | Granodiorita                |
|  | Carretera federal                |  | Fm Tepozcolula            |  | Granito                     |
|  | Via ferrea                       |  | Fm Jaltepetongo           |  | Riolitas- Tobas Rioliticas  |
|  | Curva de nivel anotada en metros |  | Fm Todos Santos           |  | Conglomerado polyimictico   |
|  | Fallias                          |  | Equisto meta-sedimentario |  | Tobas Andesiticas-Andesitas |
|  | Fracturas                        |  | Complejo Metamorfico      |  | Fm. Tamazulapan             |

1:100,000

0 10 (km)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA

Caracterización de los sistemas de descarga de aguas subterráneas  
en la región de Valles Centrales, Oaxaca

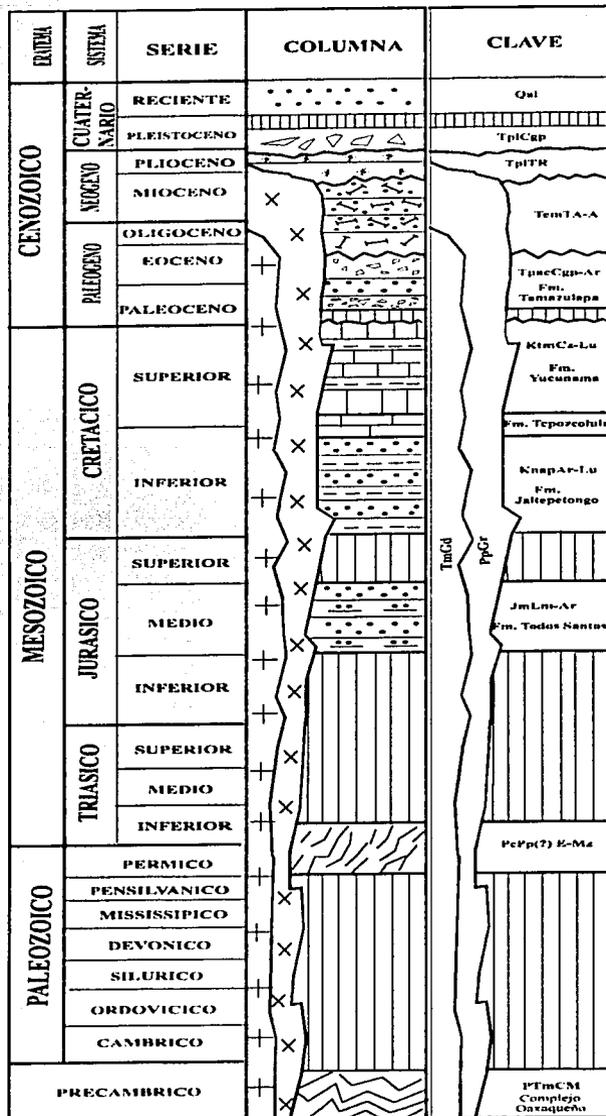
Tesis Profesional



Figura III.1. Mapa Geológico

Manuel Osorio Vela,

2011



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura III.2 Columna Estratigráfica

esquistos de cuarzo-biotita, esquistos de actinolita tremolita, así como también meta-areniscas, metaconglomerados y metacalizas (CRM 2000).

En las inmediaciones del poblado Trinidad de Vigueras y San Felipe del Agua, fue posible verificar una unidad de roca foliada, de color verde con un lustre sedoso y altamente intemperizada; localmente se observó fracturamiento de tipo secundario, donde las fracturas que presenta la roca se encuentran rellenas por calcita, dicha condición le confiere a esta unidad propiedades reducidas de permeabilidad debido a su alto nivel de competencia (Figura III.3).

Megascópicamente la determinación mineralógica de la roca no resultó tan sencilla, debido a su textura muy fina. Con el análisis en lámina delgada en el microscópico petrográfico, se observó una roca conformada por cuarzo, plagioclasa (andesina con alteración a sericita), clorita, apatito, muy intemperizada; se clasificó como esquistos de clorita (muestra FIM-2).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura III.3.** Afloramiento de esquistos cloríticos, inmediaciones del Poblado Trinidad de Vigueras.

Cabe señalar que entre el Paleozoico y Mesozoico existen enormes discontinuidades estratigráficas, que señalan grandes períodos de hiatus y discordancias.

Mesozoico

#### **Jurásico Medio**

**Formación Todos Santos (JmLm-Ar):** En dirección norte del Valle Etla, se encuentra aflorando una secuencia conformada por lechos rojos continentales de areniscas, conglomerados y lutitas con estratificación cruzada, que sobreyace, discordantemente al Complejo Oaxaqueño (López Ramos, 1983).

**Cretácico Inferior**

**Formación Jaltepetongo (KiAr-Lu):** Se designa con este nombre a la secuencia de areniscas calcáreas intercaladas con lutitas apizarradas, cuya base aflora por contacto de falla con el Complejo metamórfico Sierra Juárez (Figura III.4), específicamente hacia la porción nororiente y suroriente de la Ciudad de Oaxaca (CRM, 2000).

En las inmediaciones del Poblado San Pablo Etla, se observó una secuencia litológica constituida por conglomerados con fragmentos de gneisses subredondeados que gradúan progresivamente hacia su cima a areniscas conglomeráticas de grano fino a medio de color café ocre a la intemperie y café claro al fresco, con estratos de espesores delgados que van de 2 hasta 15 cm; la arenisca progresivamente se encuentra intercalada por lutitas negras altamente deleznales cuyos espesores de estratos varían entre 1 y 7 cm. Se puede observar un fracturamiento que coincide de forma paralela a los planos de estratificación NW 75° SE/87° NE (muestra FIM-8).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura III.4.** Afloramiento de una secuencia de areniscas-lutitas de la Formación Jaltepetongo.

Microscópicamente la roca se encuentra constituida aproximadamente por un 75% de cuarzo, 20% de líticos entre los cuales destacan fragmentos de caliza; feldespato potásico (5%), y cementante calcáreo arcilloso; de acuerdo a estas características se le clasificó como una subarcosa.

**Formación Tepozcolula (KaceCz-Do):** Salas G.P. en 1949, denominó como Calizas Tepozcolula a la unidad de rocas calizas de color crema a gris, estructura masiva, textura wackestone a packstone; con fauna de rudistas que se encuentra intercalada de manera esporádica por lentes de pedernal negro. El espesor cuyos espesores se ha estimado que es superior a los 300 m. Es una secuencia de potente espesor con una serie de fracturas ocasionalmente rellenas por calcita (Figura III.5).



**Figura III.5.** Afloramiento de caliza con estratificación tabular e intercalaciones de lentes de pedernal, correspondiente de la Formación Tepozcolula.

Esta secuencia de roca aflora en las porciones norte y sureste del área de estudio, específicamente en las inmediaciones de San Antonio de la Cal, Santa María Gelaxe, San Lucas Quiavini.

Debido a la dificultad de acceso a la zona donde se encuentran aflorando este tipo de rocas, no fue posible obtener una muestra representativa de la unidad, sin embargo, sobre el trayecto de la Autopista Huajuapán de León-Oaxaca a la altura del km 180+10, se logró observar un afloramiento muy representativo de caliza (muestra FIM-3); es una secuencia de estratificación delgada hacia su base y se incrementa su espesor hacia la cima, con bandas de pedernal negro y vetillas rellenas por calcita.

### **Cretácico Superior**

**Formación Yucunama (KtmCz-Lu):** Se designa como formación Yucunama a una potente secuencia de calizas de color gris claro, estructura compacta, de textura variable de mudstone a grainstone, estratificación tabular con espesores que varían de delgados a gruesos; presenta intercalación rítmica por reducidos espesores de lutitas negras muy deleznable. La unidad se encuentra aflorando en las inmediaciones de Santa María Tecomavaca, aun no identificables en VC dado que se encuentran fuera del área de estudio (CRM, 1996).

### **Cenozoico**

#### **Paleogeno - Neogeno**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Formación Tamazulapan (Tpaecgp-Ar):** Cubriendo de manera discordante a la Formación Yucunama se depositó una unidad conglomerática semicompacta polimictica, a la que se denominó Conglomerado Basal (Salas G.P., 1949), esta unidad se conforma por fragmentos que van de subredondeados a subangulosos de caliza de color gris oscuro, gneis, cuarzo y pedernal negro; presenta una matriz arenosa calcárea. Son de estratificación masiva, cuyo espesor máximo corresponde a 100 m, y su edad al período paleoceno-eoceno, con un área de exposición muy reducida en el área de estudio.

## **Rocas ígneas**

En el Oligoceno ocurre la fase principal de actividad ígnea en el área, a partir de una serie de emisiones lávicas que son el reflejo de intrusiones graníticas que cortan prácticamente a todas las unidades de roca; su morfología es característica y representativa de cuerpos ígneos, correspondiente a domos, depósitos piroclásticos o derrames como en el caso de rocas andesíticas, riolíticas e ignimbritas presentes en la región (Morán-Zenteno, 1985).

A continuación se describen las principales características de las secuencias ígneas:

### *Rocas de origen extrusivo:*

En el área de estudio, afloran rocas ígneas correspondientes del Cenozoico, tal es el caso de rocas andesíticas (**TemTA-A**) que se encuentran expuestas principalmente hacia la porción norte y sur, dicha unidad corresponde con un derrame y los depósitos piroclásticos asociado a un mismo evento volcánico. La roca es de color gris oscuro a la intemperie y gris claro al fresco, textura afanítica, estructura compacta masiva, fracturada, y sumamente alterada (muestra FIM-7).

Del análisis petrográfico, se observó que tiene textura porfirítica, con fenocristales de plagioclasas de formas anedrales y subanedrales contenidas en una matriz de microlitos de plagioclasas de composición intermedia (andesina-oligoclasa), con poco contenido en cuarzo, minerales máficos (ferromagnesianos), apatito y augita, así como vidrio intersticial dentro de la matriz; por tales características se le clasificó como una andesita de augita.

Otra unidad extrusiva corresponde a la unidad de roca conformada por Tobas Riolíticas-(Riolitas **Tpl IR**) que afloran principalmente en las inmediaciones de la localidad de Mitla; esta unidad es de color café rojizo, estructura compacta, textura porfidica. Está constituida por cuarzo y feldespato principalmente; microscópicamente se observó una textura vítrea vermiculosa, cuyo contenido mineralógico consta de cuarzo, plagioclasas de composición media (oligoclasa-andesina), sericita y alto contenido en Fe. Debido a su textura vítrea se clasificó como Ignimbritas (muestra FIM-5), mientras que las tobas riolíticas son de color café amarillento a gris de estructura compacta, de textura principalmente porfirítica cuya mineralogía consta de cuarzo, feldespato, fragmentos de roca y algunos cristales disseminados en una matriz vítrea (FIM-6).

### *De origen intrusivo:*

Las unidades litológicas de este género corresponden a granitos y granodioritas, cuya distribución en superficie es muy reducida, estas rocas son de color gris claro, de estructura

compacta, textura porfídica de grano medio, que contienen cristales de cuarzo y micas (biotita); ocasionalmente se tiene la presencia de cuerpos hipabisales como son pórfidos andesíticos. La relación estratigráfica de estas unidades de rocas es la de intrusión a toda la secuencia, desde la unidad precámbrica hasta las del Cenozoico, su edad corresponde al Neogeno; en cuanto a su posible origen se señalan ser pertenecientes de un ambiente continental y se relacionan con zonas de fallamiento y fracturamiento en el área de estudio (CRM, 1996).

Cuaternario

Holoceno

**Conglomerado Polimíctico (Tpl – Cgp):** Unidad que aflora en pequeñas dimensiones, no siempre es cartografiable, tal unidad consiste de fragmentos de roca de diversos tamaños, son de color gris oscuro a negro, cuyo diámetro varía desde tamaños de la grava hasta la de cantos rodados; mal clasificados y presentan formas subangulosas a subredondados, mal cementados. Los fragmentos que conforman a esta unidad son principalmente procedentes de rocas ígneas extrusivas en una matriz arenosa (CRM, 2000).

**Aluvi3n (Qal):** Material aluvial que se encuentra rellenando las partes topográficas más bajas de los VC, su procedencia se relaciona con el nivel de erosión que persiste en la región sobre los lomeríos y sierras que les circundan, se caracteriza por contener sedimentos no consolidados, tales como cantos rodados, gravas, arenas, arcillas y limos, formando una mezcla heterogénea. Los espesores máximos de acumulación ocurre hacia la parte central de cada valle en un orden de hasta 200 m, mientras que hacia los flancos o laderas de las sierras disminuye de 30 a 10 m.

### III.3 Rasgos Estructurales

El Sur de México constituye un área de gran complejidad estructural y estratigráfica, producto de una gran serie de episodios tectónicos que han acontecido en esta porción del país, tal circunstancia ha propiciado dificultad por establecer una paleogeográfica y tectónica clara, que permita explicar el verdadero origen de los rasgos estructurales presentes en la región.

En la porción central de Oaxaca, existe una asociación de rocas metamórficas del Proterozoico (CO), el cual constituye el basamento del denominado Terreno tectonoestratigráfico Mixteco y parte del Terreno Cuicateco (Campa y Coney, 1983).

Ambos terrenos, se encuentran asociados a rocas muy antiguas, que corresponden a un basamento siálico aloctono que representan la yuxtaposición de los Complejos Acatlán y Oaxaqueño (Sedlock *et. al.*, 1993).

Los VC son depresiones fluvioacustres, que morfoestructuralmente, corresponden con fosas tectónicas (graben), limitadas hacia la porción central por la Falla Oaxaca y hacia el sur por la Falla Donají a manera de segmentos interrumpidos por valles transversales reconocidos hasta la localidad de Ocotlán. El Terreno Oaxaca ocupa la porción central del estado,

conformado por diferentes unidades de rocas producto del metamorfismo regional (dinamotérmico) originado por la influencia de la Orogenia Grenville.

Como se mencionó con anterioridad, la geología de la región comprende una columna estratigráfica que abarca desde unidades del Precámbrico hasta el Holoceno, afectadas por un régimen deformacional al que fueron sometidas, desde la orogenia Taconiana, Apalachiana, Nevadiana y finalmente la Laramide, que actuaron y originaron rasgos estructurales a nivel regional, con un régimen deformacional de tipo dúctil (Complejo milonítico Sierra de Juárez), y frágil (Fallas de Oaxaca y Donají), a partir de los cuales se lograron evidenciar algunos de los procesos tectónicos imperantes en la región (Alaniz-Álvarez *et al.*, 1997).

Las estructuras regionales de principal interés que funcionaron como controles estructurales sobre las unidades de roca que conforman el área de interés son las Fallas Oaxaca y Donají, cuyas características principales se describen a continuación:

Morfológicamente la Falla Oaxaca corresponde con una falla de tipo normal, que se extiende desde Tehuacan – Puebla, hasta las inmediaciones de la Ciudad de Oaxaca; su traza coincide con el complejo milonítico Sierra de Juárez que corresponde con una zona de cizalla de más de 130 km de longitud por 10 a 15 km de anchura. Morfológicamente es una falla con un escarpe alineado en dirección norte-sur, se reactiva como cabalgadura en el lapso del Paleozoico Tardío-Jurásico Medio, y que fue reactivada posteriormente en varias ocasiones hasta el Cenozoico Tardío (Alaniz-Álvarez *et al.*, 1994).

Por otra parte, la Falla Donají corresponde a una falla de tipo normal, con orientación oriente-poniente que corta a la Falla Oaxaca, dicha falla coincide morfológicamente con una depresión alargada en la misma dirección de su traza, el tipo de movimiento estructural se realizó a partir de la identificación de litologías distinguibles en su traza, de tal manera que hacia la porción del bloque septentrional se encontraron aflorando rocas pertenecientes al Complejo milonítico Sierra de Juárez, y en el bloque meridional sedimentos marinos cretácicos que indican la presencia de rocas más jóvenes en el bloque del alto y por lo tanto sugieren que el movimiento es de tipo normal (Ortega Gutiérrez *et al.*, 1985).

#### **III.4 Historia Geológica**

La evolución geológica del área, comienza a partir de una secuencia que contempla desde unidades de rocas metamórficas del Precámbrico hasta unidades recientes correspondientes del Cenozoico, que a través del tiempo fueron afectadas por diversos episodios tectónicos, y que han regido de manera importante su medio de distribución y comportamiento estructural actual.

Fries *et al.*, 1962 indica la presencia de un "geosinclinal" Precámbrico en el Estado de Oaxaca que logró extenderse hacia el norte, más allá del Anticlinorio de Huiznopala. Las edades radiométricas corresponden con 1100-900 m.a., para rocas equivalentes al gneis Precámbrico de Huiznopala del área de Peregrina en Ciudad Victoria, Tamps. Esta secuencia se asocia con la orogenia Grenville que aflora en Norteamérica, cuyo origen está asociado a los cinturones Grenvillianos presentes en todo el mundo.

En su base el CO se interpreta una secuencia de lutitas y areniscas con intercalaciones de horizontes calcáreos que se depositaron en una cuenca marina y que una vez litificados, fueron afectados por eventos tectónicos correspondientes del Precámbrico, bajo la influencia de la orogenia Grenville que produjo una serie de plegamientos, fallas e intrusiones ígneas, hasta alcanzar condiciones de metamorfismo regional de alto grado. Posteriormente el basamento Precámbrico se vio afectado por una serie de fases tectónicas, entre las que se puede señalar las orogenias Taconiana, Acadiana, Apalachiana, Palizada, etc., que lo afectaron significativamente.

Posteriormente hacia el inicio del Jurásico Tardío, es cuando la tectónica distensiva origina la apertura del Golfo de México, que tuvo una influencia importante en la tectónica de la porción Sur del país, a partir de un proceso de deposición de sedimentos terrígenos tales como Lechos Rojos en ambientes de tipo mixto. Para el Cretácico Inferior la inestabilidad tectónica es probable se haya reactivado a partir de la subsidencia periódica, lo que permitió el depósito de clastos rítmicos en ambientes mixtos progradantes a plataforma, conformando así la base de la Fm. Jaltepetongo, lo que sugiere la gran invasión marina que comunicó al Pacífico con el Golfo de México en el Cretácico Superior. Por otro lado la sedimentación terrígena en el Cretácico Inferior evolucionó transicionalmente a una sedimentación pelítico arenosa hasta terminar en carbonatos arcillosos de Plataforma externa (Fm. Jaltepetongo), a medida que los mares transgresivos invadieron el continente se alcanzó una estabilidad sedimentaria en quietud, lo que permitió el depósito de carbonatos arcillosos y pedernal en un ambiente de plataforma externa con influencia de mar abierto de baja energía. Posteriormente del Cenomaniano hasta el Turoniano ocurrieron depósitos básicamente de carbonatos (Fm. Tepozcolula), durante el Santoniano-Maestrichtiano los mares sufrieron mayor profundización que en consecuencia originaron una nueva etapa de sedimentación y un régimen arcillo-calcáreo común de un ambiente de plataforma externa con influencia de mar abierto (Fm. Tilantongo), en cambio hacia el oriente se desarrolló una sedimentación terrígeno-calcáreo tipo "Flysh" característico de un ambiente de borde de Talud.

El límite Cretácico Superior-Paleogeno se evidencia en un área de condiciones altamente tectónicas de tipo compresivo, correspondiente con la Orogenia Laramídica que afectó a toda la secuencia preexistente dando origen a estructuras de pliegues, fallas e intrusiones ígneas hasta culminar en un proceso de levantamiento regional con secuencias sedimentarias plegadas. Para el Paleogeno tuvo lugar una sedimentación conglomerática en áreas de piamonte (Continental), que fue cubierta por efusiones lávicas y piroclásticas de composición intermedia en zonas aluviales y lacustres durante el Neogeno (Paleogeno Volcánico, Fm. Suchilquitongo).

Posteriormente en el Neogeno (Mioceno Medio-Tardío), se manifiesta una etapa tectónica compresiva orientada N-NW a S-SE que registran fallas inversas, transcurrentes, pliegues, cuerpos intrusivos de composición ácida y de dimensiones pequeñas conformando la secuencia Cenozoica, y por lo tanto evidenciando un evento que actualmente se encuentra activo, debido a la actividad tectónica que prevalece por la interacción de la Placa de Cocos (Placa Oceánica) y la Placa de Norteamérica (Placa Continental), (CRM, 1996).

## CAPITULO IV HIDROGEOLOGÍA

Actualmente se considera necesario implementar estudios que permitan concebir el funcionamiento del flujo subterráneo, en la medida de poder establecer mejores alternativas sobre el nivel de extracción y aprovechamiento de este vital recurso.

El funcionamiento de los sistemas de flujo constituye una metodología complementaria a un análisis hidrogeológico convencional; que consiste en un método teórico-analítico basado en la identificación directa de rasgos físicos, químicos y biológicos del área de análisis, que son de gran utilidad en la caracterización del flujo subterráneo.

### IV.1 Censo general de Aprovechamientos Hídricos

Elaborar un censo de aprovechamientos hídricos implica recabar la mayor cantidad de información posible, en relación a los tipos de aprovechamientos hídricos y sus respectivas características físicas, mecánicas e hidráulicas, como parte de la fase inicial de un análisis hidrogeológico.

Las principales características son: localización, tipo de aprovechamiento, profundidad total, estado actual, datos piezométricos, caudal, usos, entre otros.

A continuación se señalan datos totales sobre el número de aprovechamientos censados en los períodos correspondientes a 1984 y 2001 en los Valles Centrales, Oaxaca.

EMPRESA	Año	No. Total de aprovechamientos
TACSA	1984	448
COPEI	2001	394

Tabla IV.1. Relación del número de aprovechamientos censados en 1984 y 2001.

De la tabla anterior cabe señalar, que a través principalmente de pozos y norias se lleva a cabo el abastecimiento de agua potable a los VC, Figuras IV.1 y IV.2.

Es notable observar la diferencia que existe en cuanto a la cantidad de aprovechamientos censados para fechas actuales en comparación a la cantidad registrada en el censo de 1984, la razón de esta discrepancia se debe a que en el censo más reciente, se reporta que de los aprovechamientos censados con anterioridad, muchos de ellos ya no existen o fueron repuestos.

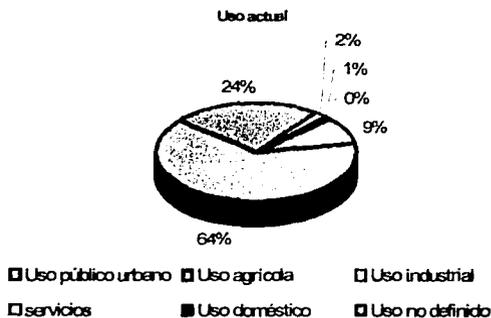
Como parte de la actualización geohidrológica que realizó el organismo privado COPEI Ingeniería en el 2001, se obtuvo la siguiente información:

Se lograron censar un total de 394 aprovechamientos hídricos en el área de estudio, de los cuales;

Tipo de Aprov.	Activos	Inactivos	Total
Pozos	287	24	311
Norias	71	8	79
Manantiales	2		2
Galerías	2		2
		<b>TOTAL</b>	<b>394</b>

**Tabla IV.2 .Censo general de aprovechamientos hídricos en el 2001.**

Del número total de aprovechamientos, 252 son utilizados para uso público urbano (64%); 94 para uso agrícola (24%); 7 para uso industrial (2%); 3 para servicios (0.8%)y 1 para uso doméstico (0.2%); habiéndose encontrado un 9% de aprovechamientos sin uso definido.

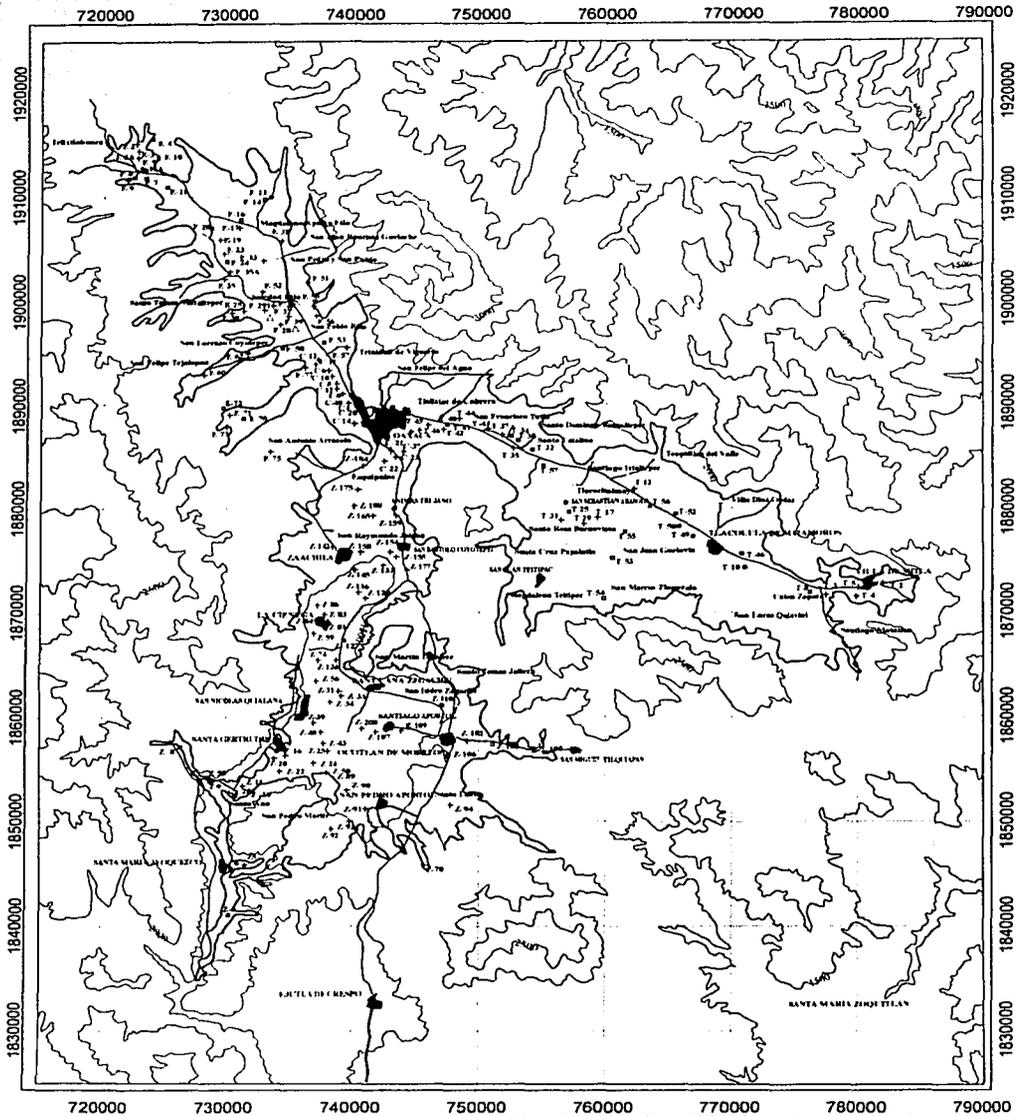


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura IV.1. Nivel de aprovechamiento de agua subterránea en VC.**

En los VC la principal fuente de abastecimiento de agua potable, se logra principalmente a través pozos, cuyas profundidades son de 30 a 110 m, con diámetros de descarga que varían de 2 a 10 pulgadas (Anexo IV.1), para el caso de manantiales, en la región son en cantidad muy reducidos, pues de acuerdo con el censo realizado en el 2001, solo se tienen registrados dos de ellos (COP-E-28 y COP-E-29), y del trabajo de campo se lograron identificar adicionalmente tres manantiales más, que se ubican en las localidad de Trinidad de Vigueras, San Felipe del Agua y San Lorenzo Albarradas.





TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

LEYENDA	SIMBOLOS CONVENCIONALES	
Tipos de aprovechamientos hidricos P. 10 Pozo T. 10 Noria A. 20 Manantial	 Delimitación de los Valles   Principales áreas urbanas   Poblados pequeños   Carretera federal	Via ferrea   Curva de nivel acotada en metros  <div style="text-align: center;">               10 KM           </div>

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
 Caracterización de los sistemas de descarga de aguas subterráneas  
 en la región de Valles Centrales, Oaxaca  
 Tesis Profesional

**Figura IV.3** Censos general de aprov. (2001)

Manuel Osorio Veloz 2011

## IV.2 Hidrometría Subterránea

En cuanto al volumen de extracción de agua subterránea que se obtiene de VC, el 90% se logra a través de pozos, 8% de norias y en menor proporción un 2% se extrae a partir de manantiales y galerías. En la siguiente tabla se muestra un resumen sobre el volumen de extracción registrado durante el período 2001:

Valle	Manantial	Galerías	Norias	Pozos	Q total
Etla	386,302.25 lts.		1,317,825.80 Mm <sup>3</sup>	6,484,061.10 Mm <sup>3</sup>	8,818,189.2 Mm <sup>3</sup>
Tlacolula		111,587.91 lts.	148,830.00 lts.	1,192,413.83 Mm <sup>3</sup>	1,452,831.7 Mm <sup>3</sup>
Zimatlán			891,225.00 lts.	18,913,773.80 Mm <sup>3</sup>	19,804,998.8 Mm <sup>3</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>386,302.25 lts.</b>	<b>111,587.91 lts.</b>	<b>2,357,837.80 Mm<sup>3</sup></b>	<b>26,590,248.73 Mm<sup>3</sup></b>	

Lts= litros

Mm<sup>3</sup>= millones de metros cúbicos

**Gran Total 29,445,976.6Mm<sup>3</sup>**

**Tabla IV.3.** Volúmenes de extracción (Mm<sup>3</sup>/año) en el 2001.

## IV.3 Piezometría

Las mediciones correspondientes a Elevación al Nivel Estático (N.E.), Profundidad al N.E., y Evolución al N.E. para 1984 y 2001, corresponden con los dos períodos que contienen la mayor cantidad de datos piezométricos del área de VC, cuya configuración e interpretación serán objeto de discusión en el siguiente apartado, de manera puntual por cada valle, con su correspondiente plano:

Figura IV.4 Profundidad al N.E. (1984)

Figura IV.5 Profundidad al N.E. (2001)

Figura IV.6 Elevación al N.E. (1984)

Figura IV.7 Elevación al N.E. (2001)

De acuerdo con la información proporcionada por TACSA (1984):

### **Profundidad al N.E.**

**Valle Etla:** los valores máximos de profundidad al N.E. registrados en todo el Valle se localizan en el borde noreste del mismo, con un valor promedio de 5 m, en relación al nivel del terreno, observables principalmente en las inmediaciones de Soledad Etla al norte, San Pablo Etla al sur y proximidades hacia la Ciudad de Oaxaca.

**Valle Tlacolula:** En este Valle, las profundidades al N.E. van desde los 5 hasta 10 m, siendo que el valor promedio corresponde a 5 m para todo el Valle. Los niveles estáticos son someros hacia el interior del Valle, mientras que hacia los bordes de la sierra tienden a profundizar, situación observable en los poblados de Villa Mitla, Magdalena Teitipac, Santiago Ixtaltepec, Tlalixtac de Cabrera donde los niveles alcanzan los 10 m de profundidad.

**Valle Grande (Zimatlán y Zaachila):** De manera muy similar, para este Valle los niveles de profundidad al N.E., son de 2 m en Zaachila hasta 10 m hacia las inmediaciones de Ocotlán de Morelos, siendo que su valor promedio es de 5 m, lo que sugiere sea un Valle cuya potencialidad acuífera es muy similar a la de los valles Etla y Tlacolula.

#### **Elevación al N.E.**

**Valle Etla:** En la Figura IV.4 de la configuración de isolíneas, se logra observar que la elevación al N.E. para este Valle corresponden a 1730 msnm en las inmediaciones de Telixtlahuaca, 1590 en San Pablo Etla, y 1560 msnm hacia el sur del mismo en la localidad de Atzompa, lo que sugiere la dirección preferencial del flujo subterráneo en el Valle, sea de norte a sur, para posteriormente adquirir confluencia con el flujo procedente del Valle Tlacolula.

**Valle Tlacolula:** En las inmediaciones del Poblado Villa Mitla el valor de elevación al N.E. es de 1700, 1620 en Tlacolula de Matamoros, y conforme existe proximidad hacia la ciudad de Oaxaca, los valores disminuyen a 1560 msnm respectivamente. Dicha información piezométrica señala que el flujo subterráneo en este Valle adquiere una movilidad de este a oeste, para finalmente unirse con el flujo procedente del Valle Etla y descargar en dirección sur, en donde se ubica el Valle Grande.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Valle Grande (Zimatlán y Zaachila):** A este Valle confluye el flujo de agua subterránea proveniente de los Valles Etla y Tlacolula, en el área los valores de Elev. al N.E. son de 1525 msnm en las inmediaciones de Esquipulas (al norte del Valle), 1480 msnm en Zimatlán de Alvarez, 1160 msnm en Santa Gertrudis, esta información es determinante en cuanto a definir que el Valle corresponde a un área potencial de descarga de agua subterránea de gran importancia.

De acuerdo con, COPEI Ingeniería, (2001):

**Profundidad al N.E.**

**Valle Etla;** De 1984 a 2001, los valores de profundidad al N.E. registrados son de 2 a 10 m, siendo 5m el nivel promedio, lo que sugiere que los niveles mantienen un equilibrio en relación a 1984, que solo han tenido variaciones a un nivel muy local; un ejemplo claro ocurre en las inmediaciones de la ciudad de Oaxaca donde anteriormente las profundidades eran de 3 y 4 m en 1984, para el 2001 se han incrementado de 7 a 11 m, lo cual se debe a la intensificación en la extracción de agua subterránea que se lleva a través de una batería de pozos con fines de aprovechamiento principalmente de tipo agrícola.

**Valle Tlacolula:** Para este Valle se observa que los niveles estáticos son muy someros, desde los 2 m e inclusive con afloramiento, mientras que hacia los bordes de las sierras son de 9 a 15 m. Lo anterior señala que el relleno aluvial constituye el principal acuífero dado que se conforma de unidades permeables que permiten gran movilidad de agua subterránea hacia el interior del Valle.

**Valle Grande (Zimatlán y Zaachila):** De manera muy similar en este Valle, los valores de la profundidad al N.E. registrados son muy someros, del orden de 2m entre la ciudad de Oaxaca y Zimatlán, 4m en la periferia, e incluso aflorantes hacia el sur de Zimatlán. Localmente la profundidad a la que se encuentran los niveles estáticos han llegado a profundizar, a 10m en las inmediaciones de Santo Tomás Jalieza, y 7m en Santa Gertrudis, como consecuencia del incremento en la extracción del agua subterránea en tales localidades.

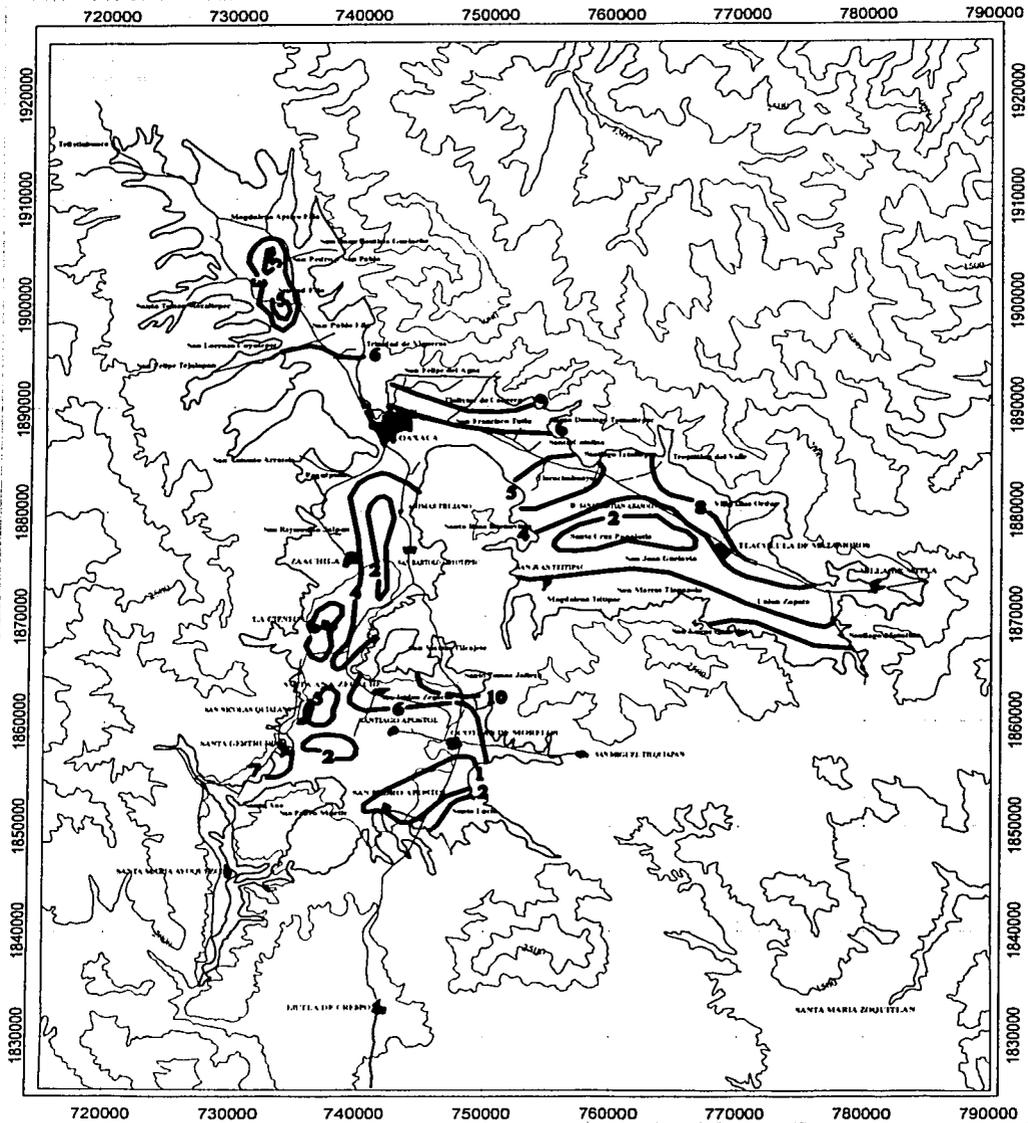
**Elevación al N.E.**

**Valle Etla:** Para fecha 2001, en este valle se registraron dos conos de abatimiento, localizados en los centros de Guadalupe, Soledad y Santiago Etla de 1615 y 1580 msnm respectivamente, a efecto de la fuerte extracción de agua subterránea en el Valle, y el incremento del número de aprovechamientos hídricos hacia las proximidades de la ciudad de Oaxaca, la tendencia principal del flujo adquiere movilidad de dirección noroeste a sureste, con un gradiente de 0.005.

**Valle Tlacolula:** Con base en las mediciones realizadas por COPEI - INGENIERÍA, en el Valle las elevaciones al N.E. van de 1690 msnm en las inmediaciones de Villa Mitla, 1640 msnm en Tlacolula y 1540 msnm en las proximidades de la ciudad de Oaxaca, con un gradiente de 0.004, con un movimiento de flujo que va de este a oeste para este Valle.

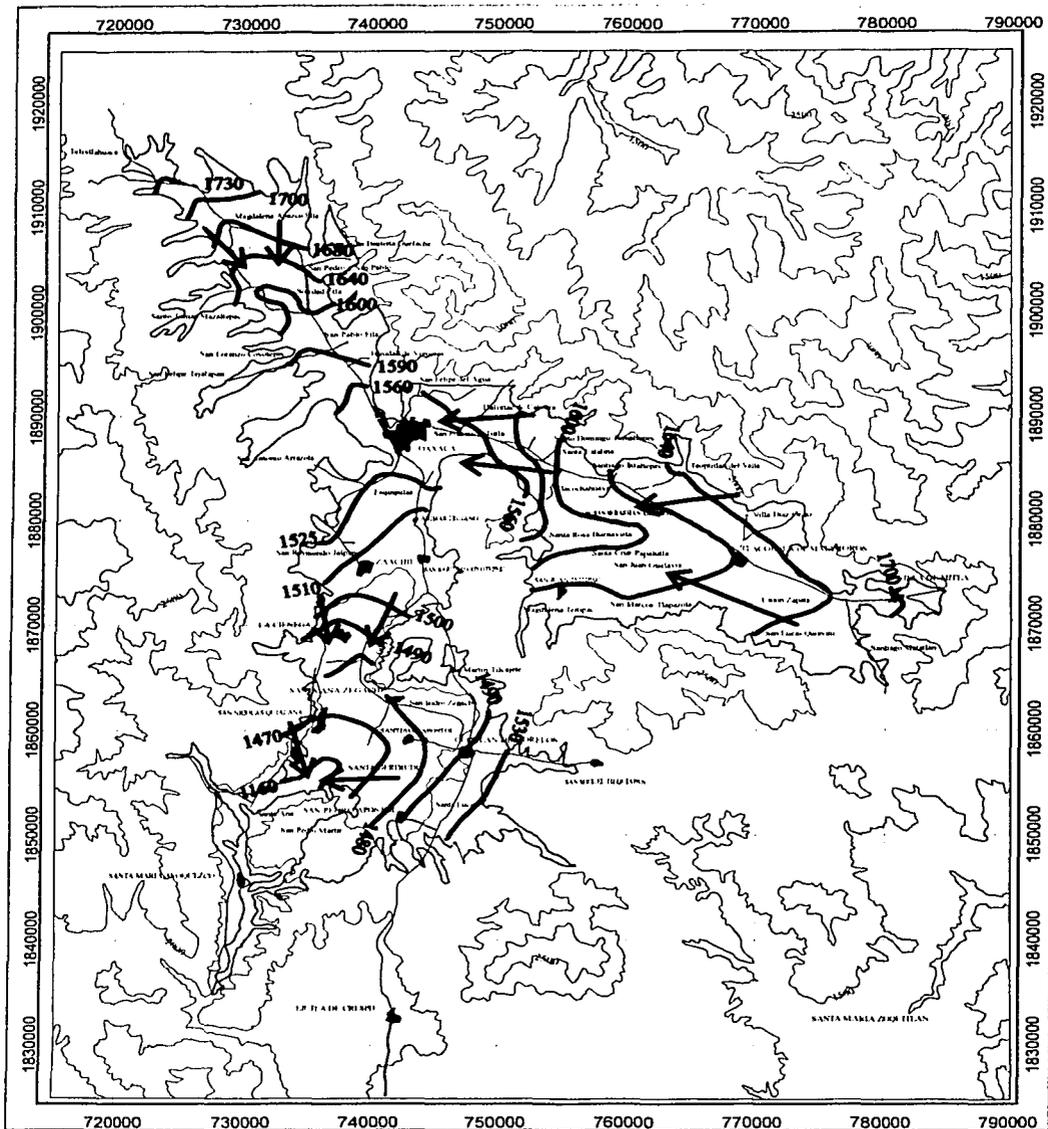
**Valle Grande (Zimatlán y Zaachila):** Al norte del Valle, se observan elevaciones al N.E. de 1520 msnm, 1480 msnm en Zimatlán de Alvarez, lo que sugiere un flujo regido por acción de gravedad que se mueve de norte a sur con un gradiente de 0.003, constituyendo una región potencial de descarga de las aguas que confluyen de los Valles Etla y Tlacolula.



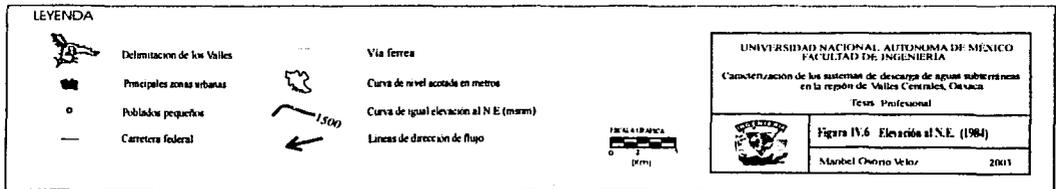


**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

<b>LEYENDA</b>		<p>0 2 4 Kilómetros (1:50,000)</p>	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA</p> <p>Caracterización de los sistemas de descarga de aguas subterráneas en la región de Valles Centrales, Oaxaca</p> <p>Tesis Profesional</p>
5 Curva de igual profundidad al N.E. Delimitación de los Valles Principales zonas urbanas	Población pequeña Carretera federal Vía férrea		
			<p><b>Figura IV.5. Profundidad al N.E. (2001)</b></p> <p>Manuel Osorio Veloz 2003</p>



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**





#### 4.3.1 Evolución del N.E. (1984-2001)

Del trabajo más reciente realizado en el área de estudio (2001), se obtuvo una correlación de valores piezométricos de la profundidad al N.E. para los periodos 1984 y 2001, que fueron de gran utilidad en la configuración de plano de evolución.

No obstante, se observó cierta incongruencia en la configuración de valores de evolución que contiene tal estudio, por lo que en este trabajo se muestra la relación del valor de evolución por aprovechamiento (Anexo IV.2) y se muestra una propuesta adicional de configuración de los valores (Figura IV.8), cuyo procedimiento fue basado en el análisis de las profundidades al N.E., correlación de datos e integración de valores de evolución de forma integral a un solo plano.

De la configuración de los valores de evolución de las profundidades al N.E. que comprende los periodos (1984-2001), se logró interpretar lo siguiente:

##### Valle Etla

En este Valle se observa que en la porción norte, los valores de los niveles son positivos en el orden de 1m, lo que sugiere una condición de recuperación, y por tanto un nivel favorable de recarga del acuífero.

En cuanto a las localidades de San Sebastián Etla, Trinidad de Vigueras e inmediaciones a la Ciudad de Oaxaca, existen valores negativos que señalan conos de abatimiento a nivel local del orden de 3 a 6 m, resultado del incremento en la extracción en áreas que presentan gran concentración de aprovechamientos hídricos.

##### Valle Tlacolula

En las localidades de Tlacolula de Matamoros, San Juan Guelavia, Santo Domingo Tomaltepec y límites de la Ciudad de Oaxaca, existen una serie de valores de abatimiento de los niveles estáticos de; 3, 1, 4, y 5 m respectivamente.

Una de las causas primordiales de abatimiento en este Valle, se debe al incremento en el número de aprovechamientos hídricos, a través de una batería de pozos para uso agrícola que genera un grandes niveles de extracción provocando un importante decremento en los niveles del agua en el Valle.

Para el resto del Valle se presentan condiciones de recuperación del orden de 0.5 a 3 m.

##### Valle Grande (Zimatlán Y Zaachila):

En el Valle es de observarse que el valor promedio de recuperación es de 1 m, mientras que los niveles de abatimiento corresponden a 5 m en la porción norte con proximidad a la Ciudad de Oaxaca, 1m en las localidades de Zaachila y La Ciénega, y al sur en las inmediaciones de las localidades de San Nicolás Quialana y San Pedro Mártir. Localmente existe un abatimiento que supera el orden anterior en metros, correspondiente a los 12 m en las inmediaciones del Poblado Santiago Apostol.



Regionalmente es notable observar que el nivel de abatimiento más preocupante se localiza hacia los límites de la Ciudad de Oaxaca, debido a la alta concentración de aprovechamientos que propician incremento e intensificación en el volumen de extracción de agua subterránea.

#### **IV.4 Unidades Hidrogeológicas**

En la definición de unidades hidrogeológicas, es indispensable reunir y correlacionar conjuntamente las características físicas y mecánicas de las rocas, tales como; grado de permeabilidad, nivel de fracturamiento, estructuras (plegamientos, bandeamientos, etc.), posición estratigráfica y topográfica, porosidad, entre las principales.

En el área de estudio, afloran rocas consolidadas y no consolidadas de permeabilidad alta, media y baja que conforman respectivamente el medio geológico a través del cual se mueve el agua subterránea. A partir del reconocimiento de las características físicas y estructurales de las rocas que afloran en la región, se procedió a elaborar el plano Hidrogeológico (Figura IV.9), que contempla la delimitación de unidades de roca de acuerdo a sus niveles de potencialidad acuífera.

A continuación se describen las unidades hidrogeológicas que se logró identificar en el área de VC:

##### *Unidades hidrogeológicas permeables:*

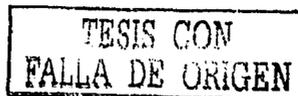
#### **UH 1 Granular:**

Hacia las porciones más bajas de la región, rellenando los Valles se localizan sedimentos no consolidados, de espesores muy irregulares que tienden a incrementarse hacia el interior del Valle y a disminuir hacia los flancos de las sierras que los delimitan, corresponde a material aluvial que constituye en gran medida una unidad acuífera de tipo libre importante en los VC, de alta permeabilidad y por lo tanto favorable para el almacenamiento del agua subterránea.

Adicionalmente existe una unidad poco representativa en cuanto a nivel de exposición en superficie, a manera de pequeños promontorios localizados de manera puntual en el interior de los valles, se trata del conglomerado polimictico con niveles de porosidad importante, pero de poca representatividad, debido a su mínima exposición en superficie.

#### **UH 1 Calcárea:**

Por otra parte la secuencia de rocas caliza en VC (Formación Tepozcolula), constituye una secuencia cuya permeabilidad es secundaria; dado que se encuentra en función del nivel de fracturamiento presente en la roca, así como de la disolución o carsticidad, lo que sugiere corresponda a una unidad con condiciones favorables de permeabilidad.



*Unidades hidrogeológicas semipermeables:*

**UH 2. Ígnea:**

La secuencia de rocas ígneas extrusivas del tipo andesita (TemTA-A), riolita e ignimbrítica (Tpl TR), corresponden a unidades de roca con una mínima capacidad de permeabilidad, dado a su estructura masiva y alta competencia, por lo que estas unidades son poco favorables para la infiltración. Cabe destacar que no se atribuye que la unidad presente una condición de permeabilidad nula, pues ante condiciones de intenso fracturamiento constituyen el medio alterno de aporte de agua superficial hacia el acuífero en menores proporciones.

*Unidades hidrogeológicas impermeables.*

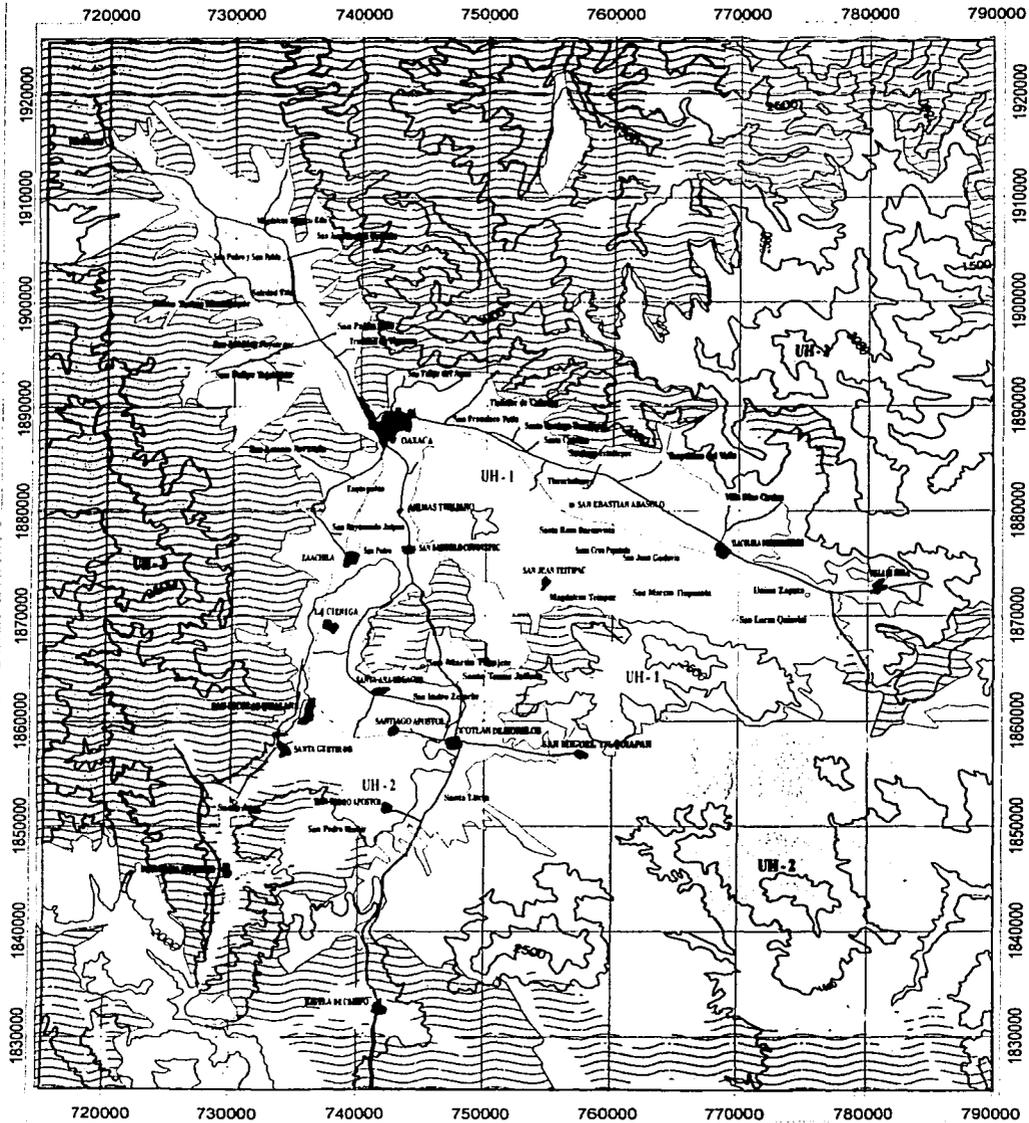
**UH 3. Metamórfica:**

Hacia la porción noroeste del área de estudio, se encuentran aflorando secuencias de rocas metamórficas de amplia exposición (Complejo Oaxaqueño y Complejo Sierra Juárez), que se caracterizan por ser unidades litológicas altamente competentes con un mínimo nivel de fracturamiento de tipo local, que con frecuencia se encuentra rellenado por calcita y material arcilloso, tal circunstancia impide que el agua superficial logre infiltrarse a través de estas unidades dada su baja condición de permeabilidad.

**UH 3 Sedimentaria:**

La secuencia de areniscas-lutitas correspondientes a la Fm. Jaltepetongo, presentan condiciones reducidas de permeabilidad, debido al nivel de desplazamiento de agua que ocurre a través de los horizontes arcillosos y los planos de estratificación que no permiten que el agua se infiltre a mayores profundidades, sino que solo adquiere un nivel de desplazamiento a través de la roca con un trayecto de flujo a nivel local, y con descarga casi inmediata a través de manantiales que comúnmente en la región se conocen como un "ojo de agua".

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

<p><b>LEYENDA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Principales zonas urbanas</li> <li> Poblados pequeños</li> <li> Carretera federal</li> <li> Via férrea</li> <li> Curvas de nivel acotadas en metros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> UH-1</li> <li> UH-2</li> <li> UH-3</li> </ul>	<p>Unidad hidrogeológica que se caracteriza por presentar las mejores condiciones de permeabilidad, tales unidades corresponden con los materiales no consolidados y la unidad calcárea de la Fm. Tepetocolula.</p> <p>Se designó como UH-2 a las unidades litológicas que presentan la condición de permeabilidad baja, característico de las rocas ígneas bajo un cierto nivel de fracturamiento.</p> <p>Esta unidad comprende a las unidades litológicas de muy reducida e incluso nula permeabilidad, condición imperante en las secuencias metamórficas que afloran en la región.</p>
<p>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA</p> <p>Caracterización de los sistemas de descarga de aguas subterráneas en la región de Valles Cerámicos, Cuavaca</p> <p>Tesis Profesional</p>		
<p> <b>Figura IV.9 Plano Hidrológico</b></p> <p>Maribel Osorio Velaz 2003</p>		

#### IV.5 Rasgos indicadores de flujo subterráneo

Para la caracterización de los sistemas de flujo subterráneo, existen ciertos rasgos indicadores directos e indirectos, que son de gran utilidad determinar dentro del análisis hidrogeológico, ya que a partir de ello se puede lograr identificar el medio de ocurrencia, movilidad y funcionamiento del flujo subterráneo para el área en específico que se pretenda evaluar, (Cardona-Benavides y Carrillo-Rivera, 1998).

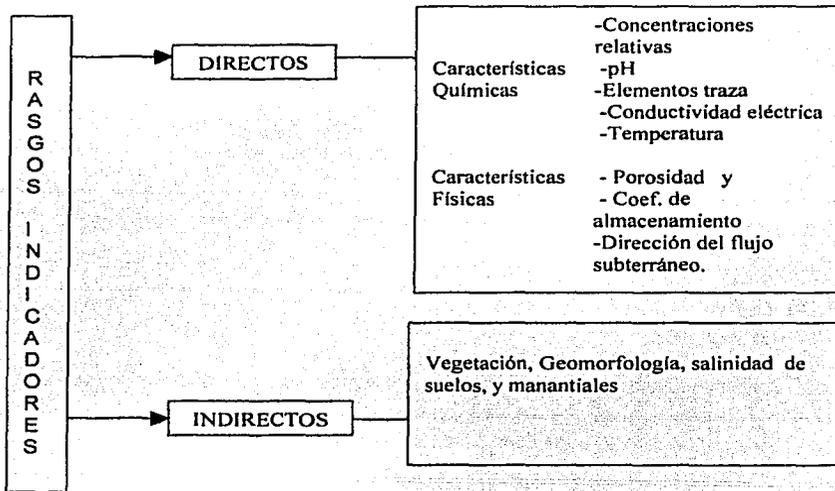


Figura IV.10 Rasgos indicadores del flujo subterráneo

**Indicadores directos:** Su determinación resulta ser de suma importancia en un análisis hidrogeológico e hidrogeoquímico, ya que constituyen mediciones directas, que son de gran utilidad para llevar a cabo la interpretación del funcionamiento del flujo subterráneo.

#### Características Químicas y Físicas:

Establecer la Familia química del agua implica llevar a cabo una serie de análisis químicos a muestras de agua, cuya distribución espacial sea representativa del área de estudio, para posteriormente por medio de un análisis de laboratorios especializados sea posible cuantificar el nivel de concentración de elementos del agua.

Algunos de los parámetros químicos cuantificables son:

Cationes ;  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+1}$ ,  $\text{K}^{+1}$ , Aniones;  $\text{HCO}_3^{-1}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^{-1}$ ,  $\text{CO}_3$  STD, Alcalinidad, Elementos menores; F, As, Fe, Mn, Si y Elementos traza; Li, Sr, principalmente.

**Porosidad y Coeficiente de almacenamiento:**

Es necesario enfatizar que un acuífero depende de ciertas características propias del medio geológico, tal es el caso de la porosidad de las unidades de roca, importantes en la fase de la infiltración y captación del agua superficial principalmente en zonas de recarga, condición necesaria sobre los niveles de almacenamiento.

El coeficiente de almacenamiento corresponde con el volumen de agua descargado por un prisma vertical de base unitaria y altura la del acuífero, cuando desciende una unidad de longitud de altura piezométrica media.

**Dirección del flujo subterráneo:**

Cuando un flujo de agua subterránea adquiere velocidad de movimiento a través del subsuelo, se comporta de acuerdo al nivel de flujo presente, es decir, desde que el agua superficial se infiltra en la zona de recarga, el flujo desciende por gravedad, y en la medida en que logra desplazarse adquiere equilibrio de flujo para finalmente buscar ascender hacia las zonas topográficas más bajas (zona de descarga).

**B) Indicadores Indirectos:**

**Geomorfología, Vegetación, Salinidad de Suelos y Manantiales.**

Constituyen rasgos distintivos de carácter indirecto, cuya determinación no requiere de algún equipo en específico, su obtención se logra a partir de la observación directa hecha en campo.

La Geomorfología condiciona el patrón de movilidad y distribución del flujo subterráneo, de tal manera que previamente al análisis hidrogeológico se puede lograr inferir la relación que guarda con los sistemas de flujo subterráneo, los sitios probables de recarga y descarga.

El tipo de Vegetación es otro rasgo indicador de flujo subterráneo, que varía en relación al nivel profundo o somero del nivel freático, de tal forma que en zonas de recarga el rasgo lo indica la vegetación de tipo xerófila ante condiciones de suelos ácidos con mínima capacidad de humedad en el suelo, mientras que en zonas de descarga es frecuente exista vegetación que depende directamente de los niveles freáticos en condiciones someras, tal es el caso de la vegetación hidrófila del tipo de los sauces, sabinos, cipreses, ahuehuetes entre los más comunes ante condiciones de un suelo alcalino y/o salino.

Finalmente muy representativos son los manantiales que llegan a constituir el medio inmediato de un flujo, siendo que algunos tienen un trayecto corto a nivel local, tal como en el área de estudio, lo que sugiere que el agua subterránea para estos casos tenga poca permanencia en el subsuelo con una salida prácticamente inmediata a través de zonas de discontinuidades geológicas, tales como; contactos litológicos, zona de falla, a través de fracturas, o por disolución en rocas carbonatadas entre las principales.

#### IV.6. Balance Hídrico

De acuerdo con el estudio elaborado por (COPEI, 2001), el balance realizado para VC, consistió en zonificar los tres Valles que abarcaron un total en superficie de 1,100 km<sup>2</sup>, en donde cada uno fue analizado con base en sus características propias de recarga y descarga.

Ec. generalizada de Balance:  $E_i - S_i = \Delta V$

De donde:

$E_i$  = Entradas totales al Sistema.

$S_i$  = Salidas totales del Sistema.

$\Delta V$  = Cambio en el volumen almacenado.

Ecuación planteada en específico para VC:

$$(E_h + R_v) - (B + S_h + E_v + D) = \pm \Delta V$$

Siendo el primer término de la ecuación anterior, correspondiente a las entradas totales al sistema;

$E_h$  = Entradas por flujo horizontal subterráneo.

$R_v$  = Recarga vertical ( $R_v = P_i + I_r + R_r$ )

Por lo que  $P_i$  = lluvia infiltrada;  $I_r$  = Infiltración en cauces de los arroyos durante el escurrimiento y  $R_r$  = Retornos de riego. En términos generales, corresponde a aquella parte de la infiltración que realmente alcanza la zona de saturación.

De tal forma que las salidas totales están dadas por;

$B$  = Extracción por bombeo.

$S_h$  = Salidas por flujo horizontal subterráneo a través de los límites del área de balance.

$E_v$  = Evapotranspiración en partes someras del nivel freático.

$D$  = Descarga a través de manantiales o corrientes superficiales

Finalmente, el cambio en el volumen de almacenamiento para condiciones de acuíferos libres, queda expresada de la siguiente manera:

$$\pm \Delta V = \Delta V_a S_y$$

Donde:

$\Delta V_a$  = Volumen drenado o agregado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

$S_y$  = Coeficiente de almacenamiento o rendimiento específico

Por lo que el parámetro a obtener es la recarga vertical, de la siguiente ecuación planteada:

$$R_v = \pm \Delta V_a S_y - E_h + (B + S_h + E_v + D)$$

Siendo que la recarga vertical adicionalmente a la lluvia infiltrada, involucra al agua que proviene del escurrimiento en el cauce de las corrientes y retornos por riego.

La siguiente tabla, muestra el resumen de los valores que se obtuvieron del balance:

Parámetro calculado	Valle Etla	Valle Tlacolula	Valle Grande
Volumen anual de entradas por flujo horizontal subterráneo	VEE= $27 \times 10^6 \text{ m}^3$	VET= $22 \times 10^6 \text{ m}^3$	VEZ= $7 \times 10^6 \text{ m}^3$
Volumen anual de salidas por flujo horizontal subterráneo	VSE= $3.2 \times 10^6 \text{ m}^3$	VST= $5.8 \times 10^6 \text{ m}^3$	VSZ= $11.8 \times 10^6 \text{ m}^3$
Volumen de extracción por bombeo	B= 15.584 Mm <sup>3</sup>	B= 3.220 Mm <sup>3</sup>	B= 52.523 Mm <sup>3</sup>
Cambio en el Volumen de Almacenamiento ( $\pm \Delta V$ )	$\Delta VE = -1.3 \text{ Mm}^3$	$\Delta VT = +2.4 \text{ Mm}^3$	$\Delta VZ = +4.1 \text{ Mm}^3$
Coeficiente de almacenamiento (S)	S= 0.0352	S= 0.003	S= 0.03
Recarga vertical media anual	Rv E= 13 Mm <sup>3</sup>	Rv T= 10 Mm <sup>3</sup>	Rv Z= 61 Mm <sup>3</sup>
Recarga total media anual Rv + Eh	RTE= 40 Mm <sup>3</sup>	RTT= 32 Mm <sup>3</sup>	RTZ= 68 Mm <sup>3</sup>
Valor promedio de la Profundidad al N.E.	5 m	7 m	5 m
Niveles promedio de recuperación y abatimientos	1 m de recuperación, y de 3 a 6 m de abat.	+0.5 a 3 m recuperación y 3 m de abat.	1 m de recuperación y de 1 a 5 m de abat.

Mm<sup>3</sup>= millones de m<sup>3</sup>.

**Tabla IV.4. Resultados del Balance**

Conjuntamente a la realización del balance se efectuaron 15 pruebas de bombeo distribuidas en toda el área de análisis, que contemplaron etapa de abatimiento y recuperación, para posteriormente ser interpretadas a través de gráficas de profundidad (aritmético) versus tiempo (logarítmico), de donde se logró identificar que el medio de distribución y movilidad del flujo corresponde a un medio granular en condiciones libres, aun cuando en ocasiones hay manifiesto de un comportamiento de tipo semiconfinado asociado a un medio fracturado.

Los valores de Transmisividad varían en el orden de  $3.0 \times 10^{-3}$  a  $39.49 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{día}$ , a estos valores no fue posible establecer una correlación entre valor y número de aprovechamiento.

A partir de la realización de un balance hídrico se puede establecer un modelo cuantificable sobre las condiciones que prevalecen en relación a los niveles de entradas, salidas y cambios en el volumen de almacenamiento de agua subterránea para la región en específico que se pretenda evaluar, de ahí la importancia que tiene el que se defina durante el análisis hidrogeológico.

Conjuntamente a la realización del balance se efectuaron 15 pruebas de bombeo distribuidas en toda el área de análisis, que contemplaron etapa de abatimiento y recuperación, para posteriormente ser interpretadas a través de gráficas de profundidad (aritmético) versus tiempo (logaritmico), de donde se logró identificar que el medio de distribución y movilidad del flujo corresponde a un medio granular en condiciones libres, aun cuando en ocasiones hay manifiesto de un comportamiento de tipo semiconfinado asociado a un medio fracturado.

Los valores de Transmisividad varían en el orden de  $3.0 \times 10^{-3}$  a  $39.49 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/día, a estos valores no fue posible establecer una correlación entre valor y número de aprovechamiento.

A partir de la realización de un balance hídrico se puede establecer un modelo cuantificable sobre las condiciones que prevalecen en relación a los niveles de entradas, salidas y cambios en el volumen de almacenamiento de agua subterránea para la región en específico que se pretenda evaluar, de ahí la importancia que tiene el que se defina durante el análisis hidrogeológico.

## CAPITULO V HIDROGEOQUÍMICA

Como se mencionó con anterioridad una parte importante para el estudio del acuífero es determinar la Familia química del agua y su interpretación en el entorno del acuífero.

### V.1 Hidrogeoquímica del Agua

El agua en su trayecto a través del subsuelo, adquiere un cierto contenido mineralógico e incluso de tipo bacteriológico propiciado por acción de la contaminación, el cual puede ser determinable a partir de la realización de análisis químicos especializados, que cuantifican las concentraciones de los diferentes iones presentes en el agua, para posteriormente ser analizados e interpretados de manera cuidadosa, y así lograr establecer un diagnóstico veraz sobre la calidad del agua imperante en el área de estudio.

Las concentración mineralógicas presentes en el agua subterránea, estarán en función del grado de movilidad que adquiere el flujo subterráneo en su trayecto a través del subsuelo y del grado de solubilidad que tienen las rocas al interaccionar con el agua, lo cual sugiere que en la medida en que el agua adquiera mayor profundidad se incrementará la concentración de iones.

Un factor importante que repercute de manera negativa sobre la calidad del agua, lo constituye la actividad antrópica, que genera un desequilibrio ecológico en el medio físico y por lo tanto un decremento en el grado de disponibilidad de agua de buena calidad.

#### Potencial de Hidrógeno (pH):

Una molécula de agua se compone a partir de la unión de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno mediante enlaces covalentes de gran fuerza, su fórmula química representativa es  $H_2O$  que en fase líquida es débilmente iónica, a partir de una disociación molecular;



Para que exista un equilibrio iónico se requiere, que se establezca la siguiente relación  $[H^+] = [OH^-]$ . Pero cuando el agua tiene la gran capacidad de disolver sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, se altera dicho equilibrio de disociación y por lo tanto el pH del agua;

$$pH = -\log [H^+]$$

Para valores de  $\text{pH} < 7$ ; el agua adquiere carácter ácido con mayor cantidad de iones hidrógeno, que le confieren un origen más reciente, para el caso de un  $\text{pH} > 7$ ; el agua es de carácter básico con menor cantidad de iones hidrógeno, que indica un mayor tiempo de residencia en su paso a través del subsuelo.

#### Conductividad Eléctrica (C.E.):

La conductividad eléctrica se define como la capacidad que tiene el agua para conducir una corriente eléctrica, que tiende a incrementarse con respecto de la temperatura. aumenta la cantidad en iones disueltos y se comporta casi de manera proporcional al Total de Sólidos Disueltos.

En su determinación se ha considerado, establecer como nivel de referencia a los  $18^\circ$  y  $25^\circ\text{C}$  con rango de  $2\%/^\circ\text{C}$  con respecto al aumento en temperatura, sus unidades de medición son; 1 microsiemens/cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) o  $\mu\text{mhos}/\text{cm}$ ;  $1 \mu\text{S}/\text{cm} = 10^{-6} \text{ S}/\text{cm}$

#### Temperatura:

Parámetro importante en la caracterización del flujo subterráneo, conocer a que temperatura se encuentra el agua subterránea resulta ser de gran utilidad, en el sentido de que a partir de ello se puede inferir el nivel de interacción que ha tenido el agua con las rocas en su trayecto a través del subsuelo y su relación con los sistemas de flujo.

Los parámetros principales en la determinación de la calidad del agua corresponden con; aniones, cationes, cantidad de Sólidos Totales Disueltos (STD), alcalinidad, Temperatura, Eh, dureza total, entre los principales.

A continuación se hace mención de algunos medios que funcionan como la fuente de aporte de iones en el agua, no representa una regla general, ni constituye la fuente propia de aporte del área de estudio, solo se menciona para mostrar las condiciones que pueden presentarse o que pueden llegar a relacionarse en la definición de la calidad química del agua.

#### **ANIONES:**

**Ion Sulfato  $\text{SO}_4$ :** Los sulfatos provienen principalmente de rocas tales como yesos y anhidritas, pero también se pueden originar a partir de sulfuros o azufre, o procesos orgánicos.

**Ion Cloruro  $\text{Cl}$ :** Son los más comunes en las aguas naturales y provienen principalmente de la disolución de horizontes de sales evaporíticas con mayor frecuencia.

**Ion Bicarbonato  $\text{HCO}_3$ :** Los iones carbonato y bicarbonato de las aguas subterráneas se deben principalmente al dióxido de carbono procedente de la atmósfera, del suelo y debido a la disolución de rocas calizas, con concentraciones frecuentes que varían en los rangos de 50 a 400 ppm.

### **CATIONES:**

**Sodio Na<sup>+</sup>:** Este elemento es uno de los más comunes de encontrarse en la naturaleza, en el área de interés al existir rocas ígneas constituidas por feldespato sódico que son atacados por el agua, es como este ion logra mezclarse en solución con el agua, otro criterio de su concentración se relaciona con la concentración de agua de lluvia, ya que es un cation muy soluble.

**Ion Magnesio Mg:** Ion que procede de la disolución de dolomías, calizas dolomíticas, por el ataque de silicatos magnésicos y ferromagnésicos, por contaminación industrial y minera.

**Potasio K<sup>+</sup>:** Las fuentes principales de donde proviene son la ortoclasa, microclina, biotita, leucita y nefelina característicos de las rocas ígneas y metamórficas. Adicionalmente cuando las aguas subterráneas se percolan en el interior de depósitos evaporíticos pueden incrementarse las concentraciones en potasio de manera excesiva por disolución de la silvita y nitrato de potasio.

**Calcio Ca<sup>+</sup>:** Corresponde con un ion que generalmente procede de la disolución de rocas calizas, dolomías, yeso, anhidrita, ataque a feldespatos, y otros silicatos cálcicos

**Hierro Fe:** Elemento que proviene del ataque de silicatos ferríferos, sulfuros y óxidos de hierro, que en su mayoría son comunes de las rocas sedimentarias, su grado de estabilidad va a depender fundamentalmente de potencial redox cuando logra este elemento solubilizarse y posteriormente a precipitar, ya que en medios oxidantes sólo se tienen en cantidades mínimas

**Cantidad de Sólidos Totales Disueltos (STD):** Se designa con este nombre a la suma de elementos en solución que se van incorporando durante el trayecto del agua a través del subsuelo. Es decir, cuando el agua de lluvia precipita lleva una cierta de partículas suspendidas en la atmósfera además de incorporar adicionalmente gases como el CO<sub>2</sub>, que al tener contacto con la superficie terrestre, el agua logra disolver cierta cantidad de sales minerales al contacto con las rocas, contenido salino que tiende a incrementarse conforme el agua circula a través del subsuelo o debido a periodos de mayor permanencia en contacto con la roca, la cuantía y tipos de elementos disueltos va a estar en función de la composición y grado de solubilidad de las rocas con las cuales tiene contacto

**Alcalinidad Total:** Se produce por los iones de carbonato y bicarbonato, su definición es la capacidad de un agua para neutralizar un ácido, a partir de la suma de los equivalentes de carbonato expresado en mg/l de la suma equivalente del carbonato y calcio.

**Temperatura:** Parámetro que se define como el potencial calorífico referido a un cierto origen, su determinación es muy importante en el sentido de que a partir de ello, se puede establecer un criterio sobre la profundidad de la que proviene el agua subterránea referida a un gradiente hidráulico, y plantear su posible trayectoria en el medio geológico.

**Potencial Redox (Eh):** Mide la estabilidad de un ion en un nivel de oxidación determinado, es decir la tendencia a la oxidación - reducción.

## V.2 Calidad del Agua

Una vez caracterizado el medio geológico de distribución del agua subterránea en la región, es importante conocer la condición de calidad y vulnerabilidad a la contaminación de este recurso, con el fin de establecer un mejor nivel de utilidad y aprovechamiento del mismo.

La calidad del agua esta en función directa de la interacción que existe con el medio superficial y subterráneo a lo largo de su trayecto, adicionalmente se puede ver afectada por factores de contaminación natural y de tipo antrópico que pueden generar decremento en los niveles de permisibilidad para uso potable.

A continuación se analizará la condición actual en VC, de la calidad del agua.

En el área de estudio, se recolectaron un total de 20 muestras de agua subterránea, que fueron sometidas a un análisis químico .

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos de dicho análisis, contemplando los niveles permisibles del agua para uso potable establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, y destacando aquellos valores que la sobrepasan.

ANÁLISIS QUÍMICO

Sample ID	Valle	T (Wa)	C.E.	pH	Dur	Ca	Mn	Mg	Na	K	As	Fe	HCO3	SO4	Cl	NO3
<b>NOM-127-SSA1-1994</b>					500		0.15				0.025	0.3		400	250	10
COP-C-11	Etla	23.9	998	7.61	295	82.1	0.01	22	24.8	7.4	0.0009	0.1	359.7	56	177	
COP-C-14	Etla	21.8	773	7.71	316	76.1	1.13	31	28.6	1.4	0.0005	0.292	385.3	68	42	0.055
COP-E-28	Etla	22.7	96	7.95	20	4	0.01	2.4	8.3	0.3	0.0009	0.331	24.4	8	0.9	0.055
COP-E-33	Etla	19	400	7.6	205	60.1	0.01	13	16.6	1.2	0.001	0.596	82.1	9	6	
COP-E-52	Etla		626	7.7	316	84.1	0.38	26	24.9	1	0.001	0.1	385.3	36	10	
COP-T-10	Tlacolula	21.6	11	8.69	222	58.5	0.08	19	134	12		0.022	270.7	30	176	0.275
COP-T-2	Tlacolula	17.5	416	8.77	179	53.7	0.08	11	35.8	5.1	0.005	0.265	218.2	26	9	0.275
COP-T-34	Tlacolula	21.8	600	7.53	290	90.1	0.08	16	25.9	14	0.005	3.832	353.6	42	35	0.1
COP-T-43	Tlacolula	20.1	645	7.52	306	62.1	0.01	37	22.5	11	0.0009	0.102	373.1	29	28	0.4
COP-T-52	Tlacolula	23.3	1384	8.85	414	90.9	0.01	45	70.4	9.7	0.005	0.1	504.7	381	26	0.6
COP-T-53	Tlacolula	20.3	2090	8.71	919	235	0.01	81	125	15	0.028	0.1	1120.4	249	297	12.3
COP-T-8	Tlacolula	22.2	1219	8.6	203	64.9	0.92	9.9	148	11	0.036	0.022	247.5	153	72	0.275
COP-Z-101	Grande					67.3	0.01	27	17.2	1.1	0.0009	0.1	340.2	84	9	0.4
COP-Z-24	Grande					84.1	1.64	47	68.9	7.8	0.008	1.7	493.8	77	128	0.2
COP-Z-14	Grande	24.4	442	7.6	205	46.1	0.01	22	10	8.2	0.0009	0.1	249.9	28	14	0.3
COP-Z-140	Grande	25.5	778	8.24	155	32	0.2	18	15.9	7.9	0.005	0.275	188.9	5	16	0.055
COP-Z-39	Grande	26.1	751	7.98	320	68.1	0.01	37	32.9	9.1	0.0009	0.022	390.1	31	46	1
COP-Z-59	Grande	25	319	8.22	140	34	0.01	13	11	6.4	0.0009	0.1	170.7	38	9	0.1
COP-Z-6	Grande	26	835	8.21	400	92.1	0.01	41	21.5	11	0.0009	0.1	280.4	34	39	1.4
COP-Z-70	Grande				297	50	0.01	42	37	3.4	0.0009	0.151	362.1	72	7	0.275

Unidades en mg/l

Tabla V.1. Resultados del análisis químico.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

De la tabla anterior, se puede observar que el nivel de potabilidad del agua, para la mayor parte de las muestras se encuentra en condiciones permisibles.

Para el caso de la concentración del arsénico, la mayoría de las muestras se encuentran por debajo del límite establecido de la NOM ( $As = 0.025 \text{ mg/l}$ ), a excepción de dos muestras localizadas en el Valle de Tlacolula que corresponden con las muestras COP-T- 53 Y COP-T-8 con valores ligeramente por encima de la norma.

En relación a los Cloruros el límite permisible es de  $250 \text{ mg/l}$ , y la única muestra que rebasa este límite corresponde con la muestra COP-T-53.

Para el Hierro, se observa que solo cuatro de las muestras reportan valores por encima de la norma que corresponden a las muestras COP-E-28, COP-E-33, COP-T-34, COP-Z-24, y tres se encuentran cercanas al límite permisible COP-C-14, COP-T-2, COP-Z-140.

En el caso del manganeso, existen seis de las muestras que se presentan valores que rebasan el límite permisible en la concentración de este elemento, tales muestras corresponden con las claves COP-C-14, COP-E-52, COP-T-34, COP-T-8, COP-Z-24, COP-Z-140, la explicación más lógica que se tiene en relación al aumento de la concentración de este elemento y la del hierro, es que provienen de la interacción que existe del agua subterránea con rocas ígneas de composición andesítica presentes en el área.

### **V.3 Caracterización Hidrogeoquímica**

Los resultados del análisis químico practicado a las muestras de agua subterránea, fueron ingresados en el programa denominado AquaChem versión 3.70, con el fin de obtener una representación gráfica a partir de diagramas y así poder establecer la tendencia actual sobre la calidad de este recurso para esta porción del estado de Oaxaca.

Con fines de representación gráfica se analizaron únicamente los diagramas de Piper y Stiff en la determinación de la calidad del agua.

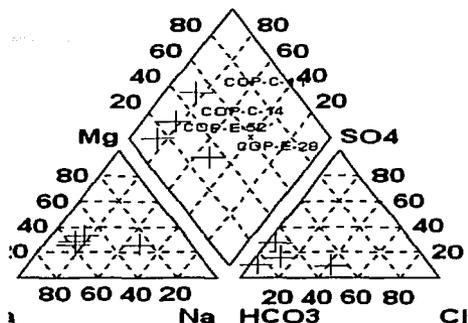
#### **Diagramas Triangulares de Piper**

La representación de las concentraciones de cationes y aniones obtenidas a partir del análisis químico al que fueron sometidas las muestras de agua, fueron analizadas a partir de diagramas de Piper, dichos diagramas consisten de dos triángulos equiláteros hacia la parte inferior cuyos vértices representan el 100% de aniones ( $Cl$ ,  $SO_4$ ,  $HCO_3 + CO_3$ ) del triángulo derecho, y del lado izquierdo ( $Mg$ ,  $Ca$ ,  $Na + K$ ), de tal manera que a través del empleo del programa AquaChem estos valores son graficados y proyectados hacia el rombo central, para obtener una concentración de puntos en zonas preestablecidas de la caracterización hidrogeoquímica de la muestra que se trate, y así establecer su correspondencia en cuanto al tipo de familia del agua a la que pertenezca cada muestra.

Con base en las determinaciones físico - químicas realizadas a las muestras de agua, y a la utilización de estos diagramas se puede inferir lo siguiente;

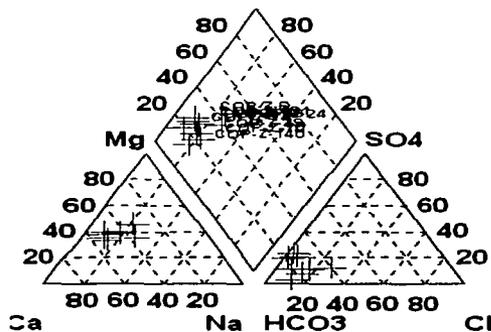
Existe una tendencia muy generalizada sobre los niveles de concentración de los diferentes elementos presentes en el agua de la región, pues es de observarse que en las Figuras V. 1

**Facies químicas del Valle Etla**



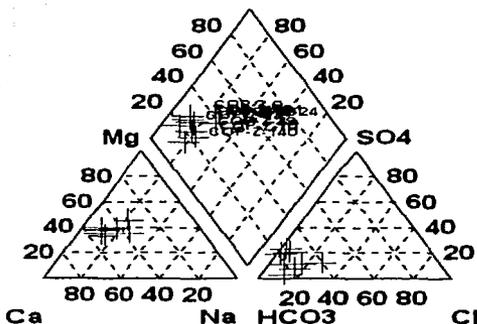
( a )

**Facies Químicas del Valle Tlacolula**



( b )

**Facies Químicas del Valle Grande**



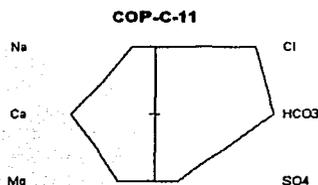
( c )

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura V.1.** Diagramas triangulares de Piper a), b) y c), la tendencia de las muestras analizadas corresponden a la familia de aguas del tipo Bicarbonatada – Cálcaica.  
Diagramas de Stiff

## Diagramas de Stiff

Estos diagramas son utilizados en la representación gráfica de los principales elementos mayores presentes de una muestra de agua; aniones:  $\text{Cl}$ ,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , cationes:  $\text{Na}$ ,  $\text{Ca}$  y  $\text{Mg}$ , un diagrama consta de 3 líneas horizontales divididas por una línea vertical, los extremos del lado derecho corresponden con los aniones, y por consiguiente el lado izquierdo por cationes, cada línea constituye un elemento que será graficado en la medida de su concentración, de tal manera que se obtiene de la unión de cada concentración un polígono que para fines prácticos muestra la tendencia de la calidad del agua en estos elementos.



Anteriormente se señaló a partir de la interpretación de los diagramas de Piper, que la principal familia de agua subterránea en VC es del tipo Bicarbonatada – Cálctica, de acuerdo a los diagramas de Stiff se muestra una mejor definición sobre la caracterización del tipo de agua que predomina en esta porción de Oaxaca (Figura V.2);:

Valle Etla: las muestras COP-E-52, COP-C-14, COP-C-11, COP-C-33 corresponden con agua del tipo Bicarbonatada – Cálctica y la muestra COP-E-28 que es del tipo Bicarbonatada – Sódica ( $\text{HCO}_3 - \text{Na}$ ).

Valle Tlacolula: las muestras COP-T-2, COP-T-34, COP-T-43, COP-T-52, COP-T-53 corresponden a un agua del tipo Bicarbonatada – Cálctica, COP-T-10 Sódico – Clorurada ( $\text{Cl} - \text{Na}$ ), y COP-T-8 del tipo Bicarbonatada – sódica.

Valle Grande (Zaachila y Zimatlán): las muestras COP-Z-6, COP-Z-14, COP-Z-39, COP-Z-59, COP-Z-85, COP-Z-101, COP-Z-140 son del tipo Bicarbonatada – Cálctica, y la muestra COP-Z-70 es la única del tipo Bicarbonatada – Magnesica ( $\text{HCO}_3 - \text{Mg}$ ).



De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis químico y la distribución espacial de las familias de agua el Valles Centrales, que conforman la zona acuífera más importante, se puede interpretar lo siguiente:

Desde el punto de vista hidrogeoquímico, en la porción norte del Valle Etla, existe un mayor grado de disolución de iones que provienen de rocas calcáreas, lo cual sugiere la interacción del agua con calizas.

Por otra parte en el Valle Tlacolula a través de los diagramas de Stiff se observa que la tendencia principal tiende a ser Na-Cl, esto es debido a que en este Valle el agua logra distribuirse en rocas ígneas que afloran en la zona.

Y finalmente para el Valle Grande la tendencia es bicarbonatada cálcica debido a la presencia de rocas calcáreas hacia su porción sureste, y ocasionalmente hacia el suroeste existe un minoritario incremento de iones magnesio que provienen de las rocas metamórficas.

## **CAPITULO VI MODELO HIDRODINÁMICO CONCEPTUAL**

Con fines prácticos de mostrar un análisis integral sobre la tendencia de la movilidad y distribución del agua subterránea en los VC, se establece el siguiente modelo conceptual que constituye un diagnóstico simplificado del área de estudio.

El principal sistema hidrogeológico del área de estudio lo constituyen los Valles aluviales, que se caracterizan por un sistema de flujo de descarga local en un medio libre anisotrópico heterogéneo, que ofrece las mejores condiciones para el almacenamiento del agua subterránea, correspondientes a zonas acuíferas.

### **VI.1 Sistemas de flujo subterráneo**

La teoría de los sistemas de flujo subterráneo, constituye un método teórico-analítico, que surge inicialmente en la década de los sesentas, como una necesidad por tratar de concebir el funcionamiento y la distribución del agua subterránea.

Inicialmente (Tóth, 1963), señala a partir de un modelo diagramático muy simplificado de una cuenca de superficie sinuosa de poca inclinación, una primera concepción sobre el funcionamiento del agua subterránea, a través de la definición de líneas de flujo regidas por la acción de gravedad que se dirigen de las zonas topográficamente altas (zona de recarga) hacia la zona más baja de la cuenca (zona de descarga), pasando por una zona intermedia.

De tal manera que se logra enfatizar la existencia de tres tipos de flujos:

- a) Local            b) intermedio y            c) regional

Posteriormente en Tóth (1970), señala importante considerar la manera en que el ambiente hidrogeológico se relaciona con el régimen de flujo, por lo que para lograr conceptualizar a nivel regional el flujo subterráneo, se sugiere considerar los siguientes aspectos de tipo físicos y químicos;

- Nivel de capacidad de acumulación de agua en la roca
- Distribución espacial (geometría en el movimiento del agua subterránea)
- Proporción del volumen de descarga en la velocidad del flujo
- Composición química del agua
- Temperatura y propiedades físicas del agua
- Y cambios sobre las condiciones hídricas, en función del tiempo

Bajo esta perspectiva de análisis, se estableció el lograr contar con mejores herramientas en la caracterización de distribución del flujo subterráneo, en la medida de poder inferir las tendencias de dirección e intensidad del movimiento del agua a través del subsuelo.

La interacción entre agua subterránea–ambiente es un proceso imperante que repercute de manera inmediata ante cualquier afectación al equilibrio ambiental, ya sea sobre el nivel de retención y recarga hacia el acuífero, contaminación o afectaciones directas sobre el recurso natural, tales como;

Abatimiento de los niveles estáticos

- ii) Compactación del esqueleto acuífero
- iii) Alteraciones en el ambiente debido a cambios en el régimen del agua subterránea
- iv) Procesos de contaminación en zonas de recarga y descarga
- v) Inducción por bombeo de agua de calidad no deseable
- vi) Cambios en la cantidad o volúmenes de recarga
- vii) Desaparición de freatofitas
- viii) Contaminación proveniente de sitios de disposición final de residuos
- ix) Incremento en la erosión al suelo, entre otros.

Por consiguiente se requiere de estrategias que permitan un mejor nivel de sustentabilidad en relación al aprovechamiento del recurso agua, con fines de establecer mecanismos sobre el control de tratamiento y reciclaje del agua residual proveniente de sitios industriales y domésticos, fomentar en la sociedad una cultura que permita llevar a cabo un mejor aprovechamiento del recurso, sugerir el empleo de prácticas agrícolas tecnificadas, corregir fallas en tuberías de abastecimiento y realizar un continuo mantenimiento para reducir pérdidas de agua por fugas, con el propósito de lograr en un futuro inmediato un desarrollo sostenible a largo plazo. (Cardona-Benavides y Carrillo –Rivera, 1998).

(Tóth, 1995), un sistema de flujo es "la unidad natural y coherente en espacio y tiempo, de agua subterránea en materiales geológicos", cuyo régimen de distribución puede llegar a presentar una interdependencia hídrica en una escala de tiempo definida con un flujo que tenga proximidad al mismo.

Ante esa posible interdependencia entre cuencas, existen ciertas limitantes en su determinación, tales como;

- La ubicación de puntos de observación a grandes distancias
- Períodos de observación relativamente cortos (en términos de agua subterránea)
- Contrastes bruscos en las propiedades de los fluidos sensibles del propio flujo, como temperatura y composición química.

Tóth(1999), Establece la caracterización de los principales factores y manifestaciones sobre el origen y medio de distribución del agua subterránea, a partir de un modelo más amplio y mejorado (Figura IV.11), en donde ejemplifica el funcionamiento del flujo subterráneo regido ante dos tipos de circunstancias, la primera corresponde con una tendencia uniforme para condiciones de una cuenca ideal, y la segunda corresponde con una marcada jerarquización de los tipos de flujos existentes para una cuenca de topografía abrupta con sus correspondientes zonas de recarga, circulación y descarga que son diferenciables de acuerdo a los siguientes parámetros:

Zona de recarga:

- Los niveles piezométricos decrecen a profundidad (flujo vertical descendente y divergente)
- Contenidos bajos de humedad
- Cambios en la concentración aniónica a lo largo del modelo, pasando de agua bicarbonatada a sulfatada y finalmente clorurada
- Lixiviación química de los materiales superficiales
- Anomalías geotérmicas
- Condiciones oxidantes

Zona de descarga:

- El flujo es vertical ascendente.
- Las carga hidráulica medida en pozo, aumenta conforme se incrementa la profundidad
- Contenidos de humedad altos
- Condiciones reductoras
- Identificabilidad del tipo de cubierta vegetal que depende del aporte de agua a profundidades someras.
- Mayor vulnerabilidad de la superficie de presentar problemas de inestabilidad
- Acumulación de los solutos transportados por el agua, iones metálicos, hidrocarburos y contaminantes antrópicos

Zona de tránsito:

- Los niveles piezométricos se comportan prácticamente estables (flujo horizontal)
- Existe un mayor aumento en contenido de sales a través del proceso de lixiviación de material superficial
- Salinización de marismas en zonas pantanosas, entre los principales.

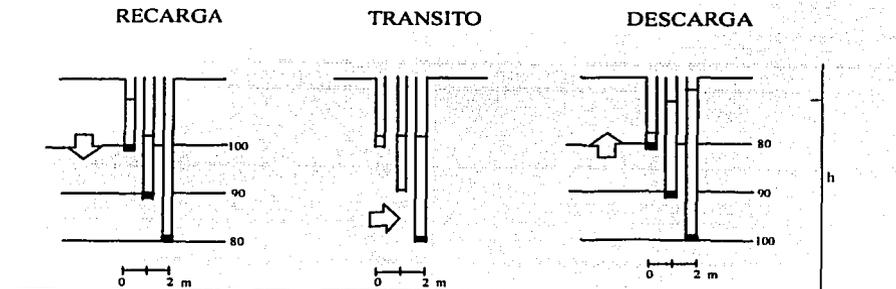


Figura VI.1 Cargas hidráulicas en zonas de recarga, tránsito y descarga (Tomado de Molina-Maldonado, 1996).

Existen algunos procesos importantes que pueden crear condiciones de desequilibrio, tales como;

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



- Establecer posibles fuentes adicionales de agua subterránea a las identificadas al presente y que pudieran aprovecharse en un futuro.
- Control de humedales y aporte a cuerpos de agua superficial.
- Lograr el control de agua extraída en pozos.

## **VI.2 Caracterización del sistema acuifero**

- Los VC conforman la conjunción de tres Valles aluviales, que se localizan en la porción central del Estado de Oaxaca, cada valle se caracteriza por un singular tipo de rasgos que influyen de manera directa sobre el funcionamiento del flujo subterráneo en la región.

- En la porción norte del área de estudio se ubica el Valle Etla, que se encuentra delimitado al este por la Sierra Metamórfica Juárez y al oeste por la Sierra Mixteca, ambas sierras logran superar en elevación los 3000 msnm, de acuerdo a los datos que se tienen registrados en las estaciones meteorológicas los niveles de precipitación promedio anual para esta zona es de 700 mm, conforme al modelo conceptual que se tiene sobre el funcionamiento del flujo subterráneo habrá de considerarse que estas sierras representan las zonas de recarga, sin embargo debido a la alta competencia que ofrecen las rocas metamórficas que las conforman, el agua que precipita en la región no logra infiltrarse en su totalidad, debido a las condiciones reducidas de permeabilidad del medio, el agua precipita y adquiere movilidad a través de escurrimientos verticales descendentes con dirección a las porciones más bajas de la cuenca, hasta que dicho escurrimiento alcanza los niveles de saturación del medio permeable granular.

- Al este se ubica el Valle Tlacolula, que lo delimita la Sierra Juárez al norte y la Sierra Mazateca hacia el Sur, los niveles de precipitación para este Valle son del orden de 1500 mm, su entorno geológico se caracteriza principalmente por rocas ígneas extrusivas que afloran en toda su porción noreste y rocas calcáreas en su porción sur, siendo las unidades con mejores condiciones de permeabilidad las que corresponden a la secuencia de calizas de la Fm. Tepozcolula con niveles importantes de fracturamiento y disolución, así como también por su nivel de carsticidad, en segundo término se establece que la unidad de rocas andesitas constituyen un medio propicio de recarga al acuifero solo si cumple condiciones de intenso fracturamiento y fallamiento.

- En dirección Sur se ubica el Valle Grande (Zaachila y Zimatlán), al que lo delimitan la secuencia metamórfica denominada "Complejo Oaxaqueño" en su porción suroeste y al este la unidad de andesitas notablemente fracturadas que como anteriormente se señaló constituyen un medio propicio para la recarga del acuifero, los niveles de precipitación para este Valle son del orden de los 1500 mm valor promedio, lo que sugieren condiciones acuíferas favorables, de los tres Valles este es sin duda el que logra captar la mayor cantidad de agua, dado que a el confluyen los flujos superficiales y subterráneos de agua de los Valles Etla y Tlacolula.

- Regionalmente los VC constituyen las áreas topográficamente menos elevadas, que morfoestructuralmente corresponden a fosas tectónicas que se encuentran delimitados hacia su porción central por fallas regionales (Oaxaca y Donaji) que definen un control estructural

sobre las unidades de rocas y sobre el nivel de emplazamiento del agua superficial en la región.

Los principales medios de aporte de agua subterránea a la región, corresponden al medio granular y fracturado, que son los sitios donde se localizan la mayor concentración de aprovechamientos hídricos.

- Del análisis piezométrico realizado en el área de estudio, se sabe que VC es un área que presenta niveles piezométricos muy someros, con una capacidad acuifera favorable que se encuentra en función de la geometría del acuífero, cada Valle logra almacenar un determinado volumen de agua, de tal forma que sus excedentes propician escurrimientos y condiciones de artesianismo, lo que sugiere que el nivel de aporte de agua subterránea a la región estará en función de lo que logre renovarse periódicamente aunado al nivel de intensificación de extracción.

- Desde una perspectiva regional, el flujo subterráneo logra ingresar al Valle Etlá en su porción norte, posteriormente adquiere movilidad en la dirección noroeste-sureste, para el caso del Valle Tlacolula el mayor flujo ingresa en la porción sureste a través de las rocas ígneas altamente fracturadas, y al sur a través de las rocas caliza, para posteriormente moverse en dirección oeste y así lograr adquirir confluencia con el flujo proveniente del Valle Etlá que por acción gravífica descargan hacia el Valle Grande que se localiza al sur del área de análisis.

### **VI.3 Zona de descarga**

En el área de estudio se lograron identificar una serie de rasgos indicadores de flujo subterráneo que sugieren su correspondencia con una zona de descarga con presencia de flujos locales, tales rasgos son:

- Los VC geográficamente corresponden a las porciones más bajas de la región (1600 msnm), son valles intermontanos constituidos por material aluvial (no consolidado) con espesores máximos de acumulación de hasta 200 m y de 10 a 30 m conforme existe proximidad hacia los flancos y laderas de las sierras que corresponden a áreas con mayor elevación topográfica.

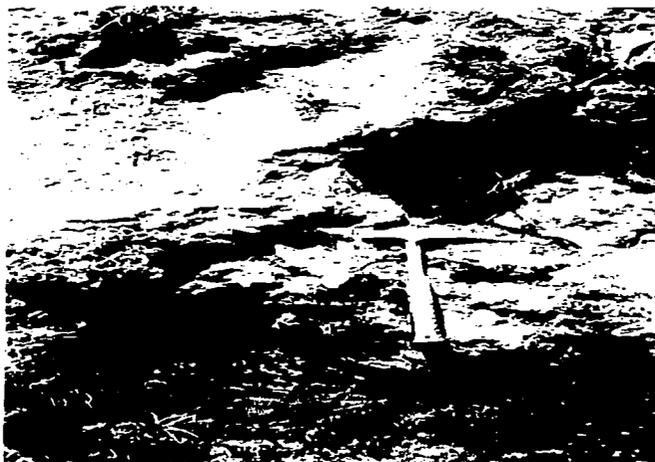
- Un rasgo indicador de una zona de descarga corresponde a la vegetación de tipo freatofita que depende de los niveles someros del agua subterránea, este tipo de vegetación es común encontrarla en la Ciudad de Oaxaca e inmediaciones (un ejemplo claro, el árbol del Tule).

- De manera indirecta, los contenidos altos de humedad constituyen un rasgo común que prevalece en la región (aún en épocas de estiaje), en específico hacia la inmediación del Poblado Villa de Mitla se logró observar un nivel considerable de humedad proveniente del alto nivel de escurrimiento propio de las rocas riolíticas cuyas condiciones de permeabilidad son reducidas.



**Figura VI.3** Altos contenidos de humedad

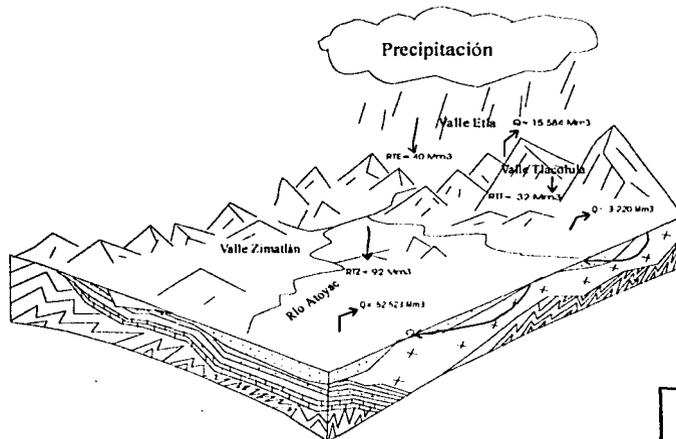
- De acuerdo con la información piezométrica recabada, se observa que para toda el área de interés la profundidad del nivel freático corresponde a valores muy someros del orden de 5 a 10 m, e inclusive existen condiciones de artesianismo a partir de manantiales que constituyen una fuente local de descarga de trayecto corto a través del subsuelo con salida prácticamente inmediata.



**Figura VI.4** Rasgo indicador de flujo local

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- En cuanto al nivel de evolución de profundidad del agua subterránea que comprendió el periodo de análisis (1984-2001), es de observarse que los VC registran localmente condiciones minoritarias de abatimiento e inclusive se registran datos positivos de recuperación.
- El valor promedio de temperatura del agua subterránea que se registró durante el censo de aprovechamientos en el 2001, corresponde a 22.6°C, lo que sugiere un agua relativamente fría de reciente ingreso.
- A nivel regional el valor promedio de pH es de 8.3, lo que sugiere se trate de un agua de carácter agresivo, con mayor capacidad de disolución a través del subsuelo.
- La calidad química del agua que prevalece en el área de estudio, es del tipo Bicarbonatada-Cálcica, se puede observar que su predominio en concentración infiere un trayecto del flujo subterráneo que se relaciona con la disolución de silicatos, horizontes de caliche (material aluvial) y de rocas calcáreas, cuya movilidad ocurre a nivel local, dado que no existe evidencia alguna de condiciones que establezcan la presencia de otro tipo de sistemas presentes en la región.
- En general la capacidad acuífera de los VC se considera favorable, debido a que en el área prevalecen condiciones propicias de recarga al acuífero, a través de un medio principalmente granular y fracturado con niveles de descarga importantes de abastecimiento de agua potable para esta porción del Estado de Oaxaca.



De donde:  
RT E= Recarga media anual  
B= Volumen de extracción por bombeo

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura VI.5 Bloque diagramático conceptual del funcionamiento hidrodinámico en VC.

## CONCLUSIONES

- 1.- Los Valles Centrales se ubican en la porción central del Estado de Oaxaca, que corresponden al área de análisis. Estructuralmente constituyen una serie de fosas tectónicas (grabens) que se encuentran delimitados hacia su porción central por un sistema de fallas regionales; estas fallas funcionan como el control estructural principal de las unidades de roca que afloran en la región y de manera importante en el nivel de emplazamiento de agua hacia el acuífero.
- 2.- Con base en la actualización geohidrológica realizada en los VC en el 2001, se logró censar un total de 394 aprovechamientos, de los cuales 267 son pozos que se encuentran activos, 71 corresponden a norias, 2 manantiales y 2 galerías filtrantes.
- 3.- Del número total de aprovechamientos hídricos (252), el 64% se utiliza para uso público-urbano, 24% para uso agrícola, 2% industrial, 0.8% otros servicios, 0.2% uso doméstico y aproximadamente el 9% sin uso definido.
- 4.- La principal descarga de agua subterránea se lleva a cabo por pozos profundos, con volúmenes 40 Mm<sup>3</sup>, 10 Mm<sup>3</sup> y 61 Mm<sup>3</sup>, para los Valles de Etla, Tlacolula y Grande, respectivamente. Por lo que el balance general en dichos Valles, es capaz de no sólo sustentar el bombeo sino lograr evoluciones piezométrica anuales positivas.
- 5.- La unidad acuífera principal corresponde a un medio granular y fracturado, donde se han llegado a registrar valores de profundidad al Nivel Estático muy someros, del orden de 5 m promedio en la región, e inclusive existen condiciones de artesianismo, que atestiguan la potencialidad en el almacenamiento del agua subterránea en la región.
- 6.- En el análisis piezométrico se analizaron datos para el período de 18 años (1984-2001), período que no ofrece dificultades notables en cuanto al nivel de evolución de las profundidades al NE. El área de VC presenta condiciones poco significativas de abatimiento de los niveles estáticos, con ciertos niveles de recuperación.
- 7.- De acuerdo a la conceptualización que se tiene sobre el funcionamiento del flujo subterráneo, el agua superficial en el Valle Etla ingresa a través de fallas y fracturas que se encuentran afectando a las unidades metamórficas, logrando así adquirir una tendencia de movilidad en dirección noroeste-sureste. Para el caso del Valle Tlacolula el flujo ingresa primordialmente a través de un medio ígneo fracturado y se distribuye en dirección este-oeste que posteriormente adquiere confluencia con el flujo procedente del Valle Etla que ante condiciones naturales siguen su curso hasta lograr descargar al Valle Grande que es el Valle que presenta las mejores condiciones de almacenamiento de agua subterránea.
- 8.- En términos generales el nivel de potabilidad del agua en VC, se encuentra en condiciones aceptables, los casos en los que el nivel de concentración logra rebasar los parámetros permisibles son puntualmente muy reducidos.

9.- Del análisis físico-químico realizado a 20 muestras de agua subterránea procedentes de los VC, se establece que la tendencia principal de concentraciones corresponde a la familia de agua básicamente Bicarbonatada-Cálcica, que sugiere un flujo con mayor nivel de solubilidad en tobas, horizontes evaporíticos y calizas, que atestiguan un trayecto de poca permanencia en el subsuelo.

10.- De acuerdo a una serie de rasgos indicadores de flujo subterráneo que prevalecen en los VC, tales como la vegetación (del tipo freatofita), altos niveles de humedad, niveles piezométricos someros, temperaturas relativamente bajas y presencia de manantiales, se interpreta que el principal sistema hidrogeológico del área de VC corresponde a un sistema de descarga local regido por condiciones libre anisotrópico heterógeno.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### RECOMENDACIONES

- Establecer un programa integral de actualización continua, con fines de ofrecer mejores alternativas en el aprovechamiento del agua subterránea.
- Optimizar el nivel de abastecimiento, a través de la reducción del número de captaciones en la medida de lograr disminuir el área de influencia que existe entre pozos cercanos.
- Utilizar técnicas sofisticadas de riego y la elección de cultivos que sean atractivos en producción ante condiciones minoritarias de abastecimiento de agua.
- Llevar a cabo la realización de por lo menos 2 perforaciones exploratorias en la unidad de Calizas de la Fm. Tepozcolula, con fines de determinar si esta unidad pudiera ofrecer niveles importantes de aporte de agua subterránea adicionales en los VC o inclusive poder superar la capacidad acuífera del medio granular.
- Construir obras de captación para el aprovechamiento de estos excedentes, como un medio óptimo adicional de abastecimiento de agua en la región.
- Realizar una inspección de los pozos que se encuentran cercanos a las áreas de descarga de aguas residuales, con la finalidad de conocer la vulnerabilidad que existe a que se contaminen y así poder plantear medidas correctivas oportunas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ESTRATEGIAS NO SUFF  
DE LA BIBLIOTECA

## BIBLIOGRAFÍA

- Alaniz-Alvarez, S.A., Nieto-Samaniego, A.F., y Ortega-Gutiérrez, F., 1994, Structural evolution of the Sierra de Juárez mylonitic complex, State of Oaxaca, México; UNAM, Instituto De Geología, Rev. Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 11, pp. 147-156.
- Alaniz-Alvarez, S.A., y Nieto-Samaniego, A.F., 1997, Representación gráfica de los dominios de Ruptura y deslizamiento, aplicación a la Falla de Oaxaca, Instituto de Geología, Rev. Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 14, Núm. 1, pp. 26-37.
- Campa, M.F., and Coney, P.J., 1983, Tectonostratigraphic terranes and mineral resource distributions in México, Canadian Journal Earth SC, Vol. 20, pp. 1040-1051.
- Cardona-Benavides, A., y Carrillo-Rivera, J.J., 1998, Situación hidrogeológica de las Cuenecas de San Luis Potosí, Aguascalientes e Hidalgo, como referencia conceptual del funcionamiento del agua subterránea en la región Centro del país, Memoria del Simposio Internacional de Aguas Subterráneas, Guanajuato, Méx., pp. 69-83.
- Carrillo-Rivera, J.J., Cardona-Benavides A., Hergt T., Huizar R., 1999, Recopilación, Integración y ordenamiento de información relativa a los sistemas de flujo de agua subterránea en la cuenca de SLP y su relación con la Sierra Madre Occidental, Informe final (Texto), No. Convenio SGT-GAS-001/PRO99.
- COPEI INGENIERÍA, 2001. Estudio de actualización geohidrológica del acuífero De Valles Centrales, Oaxaca. Proyecto realizado para Comisión Nacional del Agua.
- CRM (Consejo de Recursos M), 1996, Informe Final complementario a la cartografía geológico-minera y geoquímica, escala 1:50000 Hoja Tlacolula de Matamoros E14-D58 para el Estado de Oaxaca, Gerencia de exploración geológica, Oficina Regional de Oaxaca, Tomo I.
- CRM, 1996, Monografía geológico-minera del Estado de Oaxaca, Secretaría de Energía, SECOFI, México.
- CRM, 2000, Cartas geológico-mineras Oaxaca (E14-9) y Zaachila (E14- 12), escala 1:250,000, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1ª. Ed.
- Dante-Moran Zenteno, 1985, Geología de la República Mexicana, Facultad de Ingeniería, México.
- D.R.S. (Dirección Regional Sur), 1998, Hidrología del Estado de Oaxaca, Subdirección Regional de Geografía, Oaxaca, Méx.
- Fries Carl Jr., Schmitter, E., Damon, P.E., Livingston, D.E., 1962, Rocas Precámbricas de edad grenvilliana de la parte central de Oaxaca en el sur de México, Boletín del Instituto de Geología, UNAM, No. 64, pp.45-53.
- Fries Carl Jr., Schlaepfer, C.J., y Rincon-Orta, César, 1966, Nuevos datos geocronológicos del Complejo Oaxaqueño; Bol. Soc. Geol. Mexicana, Vol. 29, pp. 59-66.

- GEOCA S.A., 1980. Estudio de las condiciones hidrológicas del Valle de Tlacolula y alrededores, Oaxaca. Proyecto realizado para Comisión Nacional del Agua.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 1985, Geología de México, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- INEGI, 1995, Carta de uso de suelo y vegetación, escala 1:250,000, SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto), Méx.
- López-Ramos, E., 1983, Geología General de México, Tomos I y II, SEP, Tercera edición, Méx.
- Lugo-Hubp, J., 1990, El relieve de la República Mexicana, Revista del Instituto de Geología, UNAM, Vol. 9, Núm.1, pp. 82-111.
- Molina Maldonado, A., 1996, Diferenciación hidrogeoquímica de los sistemas de flujo de agua subterránea en la zona Sur-Centro del Estado de Aguascalientes, Méx., Tesis Licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- Ortega - Gutiérrez, F., 1976, Los complejos metamórficos del Sur de México y su significado tectónico, Resúmenes del Tercer congreso Latinoamericano de Geología, México.
- Ortega - Gutiérrez, F., 1984, Evidence of Precambrian Evaporites in the Oaxacan Granulite Complex of Southern in Mexico, Precambrian Research, Vol. 23, pp.377-393.
- Ortega-Gutiérrez, F., y González-Arreola, C., 1985, Una edad cretácica de las rocas sedimentarias deformadas de la Sierra de Juárez, Oaxaca, UNAM, Inst. de Geología, Revista, Vol. 5, pp. 100-101.
- PROYESCO, 1979. Estudio para determinar las fuentes recomendables para el abastecimiento de agua potable de la Ciudad de Oaxaca. Proyecto realizado para Comisión Nacional del Agua.
- Salas, G.P., 1949, Bosquejo geológico de la Cuenca sedimentaria de Oaxaca, Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros, Vol. 1, pp. 79-156.
- Sedlock, R.L., Ortega.Gutiérrez F., Speed R.C., 1993, Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of México, Geological Society of América, Special Paper 278, 153 pp.
- TACSA (Técnicos Asesores y Constructores S.A.), 1984. Estudio geohidrológico preliminar de la zona Valle de Etlá, Oaxaca. Proyecto realizado para Comisión Nacional del Agua.
- TACSA, 1984. Estudio geohidrológico preliminar en la zona Valle de Tlacolula, Oaxaca. Proyecto realizado para Comisión Nacional del Agua.
- TACSA, 1984. Estudio geohidrológico cuantitativo del Valle de Zimatlán, Oaxaca. Proyecto realizado para Comisión Nacional del Agua.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Tóth J., 1963, A Theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins, Journal of geophysical Research, Vol. 68, No. 16.
- Tóth J., 1970, A conceptual of the groundwater regime and the hydrogeologic enviroment. Journal of Hidrology, Vol. 10, pp. 164-176.
- Tóth J., 1995, Hydraulic continuity in large sedimentary basins, Hydrogeology Journal, Vol. 3-4, Núm. 4, pp. 4-116.
- Tóth J., 1999, Groundwater as a geologic agent; An overview of the causes, processes, and manifestations, Hidrogeology Journal, Vol. 7, Núm.1, pp. 1-14.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **ANEXOS**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### **Anexo III.1 Petrografía**

**Muestra No: FIM-1**

**Localidad: Inmediaciones del Poblado San Antonio Arrazola**

**I).- Descripción Megascópica**

**Color: gris oscura**

**Estructura: bandeada**

**Textura: Cristalina**

**II).- Estudio Microscópico**

**Textura: Tipomórfica Isotrópica cristaloblástica**

**Mineralogía: Cuarzo, biotita, plagioclasa (andesina-oligoclasa), hornblenda, sericita, circón, apatito, opacos.**

**Clase Química: básica**

**Tipo de metamorfismo: Regional**

**Intensidad de metamorfismo: medio-alto**

**III).- Relaciones entre minerales: roca con un bandeamiento claro de sus agregados, con una textura cristaloblástica conformada por minerales de formas anedrales a subanedrales y microcristales distribuidos de forma esporádica de circón y apatito diseminados en toda la roca.**

**IV).- Clasificación: Gneis de biotita**

**V).- Observaciones Generales: afloramientos dispersos y con un considerable nivel de intemperismo.**

**Muestra No: FIM-2**

**Localidad: Inmediaciones del Poblado Trinidad de Vigueras**

**I).- Descripción Megascópica**

**Color: verdosa**

**Estructura: compacta**

**Textura: Foliada**

**II).- Estudio Microscópico**

**Textura: Tipomórfica Anisotrópica Foliada**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Mineralogía: cuarzo, plagioclasas del tipo andesina, clorita, apatito.

Clase Química: feldespática

III).- Relaciones entre minerales: megascópicamente no se logró realizar la descripción mineralógica, dado que la presenta una textura muy fina.

IV).- Clasificación: Esquisto de clorita

V).- Observaciones Generales: roca altamente intemperizada

**Muestra No: FIM-3, FIM-4**

Localidad: Km 180+110 de la autopista Huajuapán de León-Oaxaca.

I).- Descripción Megascópica

Color: gris claro

Estructura: masiva

Textura: roca soportada por una matriz micrítica, característico de una textura del tipo wackestone.

II).- Estudio Microscópico

Textura: densa cristalina

Mineralogía: roca que presenta un porcentaje aproximado mayor a un 5% de aloquímicos y en menor cantidad restos de materia orgánica entre los que destaca la presencia de oolitas, rudistas y fragmentos de huesos.

III).- Clasificación: Caliza

**Muestra No: FIM-5**

Localidad: Villa de Mitla

I).- Descripción Megascópica

Color: café rojiza

Estructura: compacta

Textura: porfídica

II).- Estudio Microscópico

Textura: Vitrea vermiculosa

Mineralogía: cuarzo, plagioclasas de composición media (oligoclasa-andesina), sericita con alto contenido en Fe.

:

III).- Relaciones entre minerales: sus minerales se encuentran emplazados en una matriz vítrea, además presenta un proceso de desvitrificación.

IV).- Clasificación: Ignimbrita

V).- Observaciones Generales: una textura vermiculosa que es propia de una matriz vítrea.

**Muestra No: FIM-6**

Localidad: Villa de Mitla

I).- Descripción Megascópica

Color: café amarillenta a gris

Estructura: compacta granular

Textura: porfídica

II).- Estudio Microscópico

Textura: vitroclástica

Mineralogía: cuarzo, biotita, con fragmentos líticos procedentes principalmente de esquistos.

III).- Relaciones entre minerales: las tobas contienen cristales bien formados de biotita y de detritos de rocas en una matriz vítrea

IV).- Clasificación: Toba Rioltica

V).- Observaciones Generales: se observa una matriz perlítica propia de una matriz vítrea.

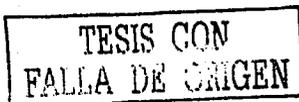
**Muestra No: FIM-7**

Localidad: Inmediación al poblado Villa Díaz Ordaz

I).- Descripción Megascópica

Color: gris claro a oscuro

Estructura: masiva



Textura: porfirítica

II).- Estudio Microscópico

Textura: microlítica porfídica

Mineralogía: gran contenido de plagioclasas de composición media (andesina-oligoclasa), poco contenido en cuarzo, ferromagnesianos alterados a magnetita, apatito, augita.

III).- Relaciones entre minerales: la roca presenta una matriz con gran cantidad de microlitos de plagioclasas.

IV).- Clasificación: andesita de augita

V).- Observaciones Generales: unidad de origen intermedio entre las riolitas y basaltos.

**Muestra No: FIM-8**

Localidad: Poblado Trinidad de Vigueras

I).- Descripción Megascópica

Color: café ocre

Estructura: compacta

Textura: granular

II).- Estudio Microscópico

Textura: clástica

Mineralogía: arenisca que presenta un porcentaje relativo de cuarzo correspondiente a un 75%, feldespatos potásico en un 7% y el porcentaje restante correspondiente a un 18% de fragmentos líticos principalmente de caliza.

III).- Clasificación: subarcosa

IV).- Observaciones Generales: presencia de cementante calcáreo en su matriz.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### Anexo IV.1 Censo general de Aprovechamientos (COPEI, 2001)

No. APROV.	LOCALIDAD	PARAJE	TIPO DE OBRA	ESTADO ACTUAL	COORDS. GEOGRÁFICAS		NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINÁMICO (m)	DIAM. DE DESCARGA (")	CAUDAL (L.P.S.)	PROF. TOT. (m)	USO
					LAT. N	LONG. W						
VALLE ETILA												
COP-E-1	Santa Cruz El Salto		NORIA	ACTIVO	17°19'35.68"	96°55'40.2"	1		2		6	PUBLICO URBANO
COP-E-2	San Fco. Telixtlahuaca	Río Seco	POZO	ACTIVO	17°17'53.6"	96°54'28.6"	2.75		6		43	PUBLICO URBANO
COP-E-3	San Fco. Telixtlahuaca	El Puente	POZO	ACTIVO	17°18'02.1"	96°54'25.8"	3.7		4	12	33.5	PUBLICO URBANO
COP-E-4	San Fco. Telixtlahuaca		NORIA	ACTIVO	17°18'20.8"	96°54'00"	1.29		2	1.5		PUBLICO URBANO
COP-E-4A	San Fco. Telixtlahuaca	Río Seco	POZO	ACTIVO	17°17'50.2"	96°54'32.9"	3.52		6	15		PUBLICO URBANO
COP-E-5	San Fco. Telixtlahuaca		POZO	INACTIVO	17°17'11.7"	96°54'10.4"	3					SIN USO
COP-E-6	San Pablo Huitzo		NORIA	ACTIVO	17°17'05.7"	96°54'08.6"	2		6			AGRÍCOLA
COP-E-7	San Pablo Huitzo	El Molino	NORIA	ACTIVO	17°16'58.5"	96°54'05.2"	3.5	4.7	4	12		PUBLICO URBANO
COP-E-8	San Pablo Huitzo	Paraje Ojo de Agua	NORIA	ACTIVO	17°16'47.3"	96°54'32.3"	2.86		4	3		PUBLICO URBANO
COP-E-9	San Pablo Huitzo	El Cuajilote	POZO	ACTIVO	17°16'46.3"	96°54'40.3"	4.5		3	7.5	32	PUBLICO URBANO
COP-E-10	San Pablo Huitzo	Galeana	POZO	ACTIVO	17°16'49.1"	96°53'04.3"	2.43		3	6.1	49	PUBLICO URBANO
COP-E-11	Santiago Xuchiquitongo		NORIA	ACTIVO	17°14'56"	96°52'01.4"	3.96		4	15.5		AGRÍCOLA
COP-E-12	Santiago Xuchiquitongo		POZO	ACTIVO	17°14'32"	96°52'47.1"	NPS		6			PUBLICO URBANO
COP-E-13	Santa Martha Etla	Paraje La Jaleira	NORIA	ACTIVO	17°15'18.1"	96°48'36.3"	7		3	8.3		PUBLICO URBANO
COP-E-14	Santa Martha Etla		NORIA	INACTIVO	17°15'05"	96°48'44.6"	3.4					SIN USO
COP-E-15	Santa Martha Etla	La Raya	POZO	ACTIVO	17°15'36.2"	96°48'22.2"	NPS		6		76	AGRÍCOLA
COP-E-16	Magdalena Apasco	Los Sampantles	NORIA	ACTIVO	17°14'19.4"	96°49'10.5"	3.33		4	14	26	PUBLICO URBANO
COP-E-17	Magdalena Apasco	El Homo de Ladrillos	POZO	ACTIVO	17°14'10.4"	96°49'18.1"	5		4	9	35	PUBLICO URBANO
COP-E-18	Magdalena Apasco	Tierras Negras	POZO	ACTIVO	17°13'44.9"	96°49'12.3"		3.07	4	8	40	PUBLICO URBANO
COP-E-19	Magdalena Apasco	Paraje Innominado	POZO	ACTIVO	17°14'02.9"	96°49'51.5"	10.1		4	7.2	60	INDUSTRIAL
COP-E-20	San Sebastián Xochimilco	Paraje Innominado	NORIA	ACTIVO	17°13'55.4"	96°50'28.7"	1.76		3			PUBLICO URBANO
COP-E-21	Santo Domingo Tlaxitlango		NORIA	ACTIVO	17°14'19.2"	96°50'55.8"		4.05	3	5	10	PUBLICO URBANO
COP-E-22	Santa Cruz Lachizolana	Paraje Innominado	NORIA	ACTIVO	17°13'14.1"	96°51'39.6"		8.3	4			PUBLICO URBANO
COP-E-23	De Iache	Paraje Innominado	POZO	ACTIVO	17°13'15.1"	96°49'41.4"	3		3	2.8	60	PUBLICO URBANO
COP-E-24	San Lázaro Etla		NORIA	ACTIVO	17°13'07.4"	96°49'36.2"	4.15		2			PUBLICO URBANO

**TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN**

### Anexo IV.1 Censo general de Aprovechamientos (COPEI, 2001)

No. APROV.	LOCALIDAD	PARAJE	TIPO DE OBRA	ESTADO ACTUAL	COORDS. GEOGRÁFICAS		NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINÁMICO (m)	DIAM. DE DESCARGA (")	CAUDAL (L.P.S.)	PROF. TOT. (m)	USO
					LAT. N	LONG. W						
COP-E-25	Sto Tomás Mazaltepec	Llano de Anonal	POZO	ACTIVO	17°10'32.7"	96°52'12.9"	10		6		50	AGRÍCOLA
COP-E-26	Sto Tomás Mazaltepec	Llano de Anonal	POZO	ACTIVO	17°10'31.3"	96°52'24.3"	NPS		4		30	PUBLICO URBANO
COP-E-27	San Andrés Zautla		POZO	ACTIVO	17°10'53.9"	96°51'53.9"	NPS		6			AGRÍCOLA
COP-E-28	San Andrés Zautla	Ciénega del Amiero	MANANT.	ACTIVO	17°11'24.8"	96°53'17.2"	0		4	6		PUBLICO URBANO
COP-E-29	San Andrés Zautla	Barranca de Juana	MANANT.	ACTIVO	17°10'42.7"	96°53'32.5"	0		4	6		PUBLICO URBANO
COP-E-32A	Nazareno	La Fresnera	POZO	ACTIVO	17°11'29"	96°49'49"	8.98	11.68	6	9	48	AGRÍCOLA
COP-E-33	Reyes Etla	Camino a San Lázaro	POZO	ACTIVO	17°12'26.3"	96°48'50.4"		6.75	3	11.7	60	PUBLICO URBANO
COP-E-34	Nativitas	Arroyo de Nativitas	POZO	ACTIVO	17°12'43.9"	96°48'27.8"	8.15		3	6		PUBLICO URBANO
COP-E-35	Reyes Etla	Río Atoyac	POZO	ACTIVO	17°12'28"	96°49'38.6"	4.5		6	25	42	AGRÍCOLA
COP-E-35A	Reyes Etla	Parcela de la Escuela	POZO	ACTIVO	17°12'29"	96°49'28"	4.1		8	8	40	AGRÍCOLA
COP-E-36	Sto. Domingo Barrio Bajo	Paraje La Virgen	NORIA	ACTIVO	17°12'35.9"	96°48'01.2"	2.8		3	SIN USO		PUBLICO URBANO
COP-E-37	Sto Domingo Barrio Bajo		POZO	ACTIVO	17°11'28.7"	96°48'02.3"	3	4.7	3	8		PUBLICO URBANO
COP-E-38	Assunción Guelache	Paraje Innominado	POZO	ACTIVO	17°12'55.3"	96°47'43.7"	3.2		3	7	32	PUBLICO URBANO
COP-E-39	El Mogote	El Mogote	POZO	ACTIVO	17°09'05.8"	96°48'02.7"	4.7		3	3	54	PUBLICO URBANO
COP-E-40	Guadalupe Etla		POZO	ACTIVO	17°10'34.2"	96°48'35.8"	4		4	9	32	PUBLICO URBANO
COP-E-41	Soledad Etla		POZO	ACTIVO	17°10'04.6"	96°49'20"		17.57	3	10	60	PUBLICO URBANO
COP-E-42	Soledad Etla	El Pantlón	POZO	ACTIVO	17°09'59.8"	96°49'17.7"	NPS		4	3.8	54	PUBLICO URBANO
COP-E-43	Soledad Etla		POZO	ACTIVO	17°09'28.7"	96°48'44.1"	6.55		6	9	60	AGRÍCOLA
COP-E-43A	Soledad Etla	La Zucera	POZO	ACTIVO	17°09'34.7"	96°48'16.4"	4.1	4.83	6	9	36	AGRÍCOLA
COP-E-44	Maladamas	Jardín de niños	POZO	ACTIVO	17°09'40.5"	96°48'54.8"	5.08		3	9	54	PUBLICO URBANO
COP-E-45	Estanzuela	campo de futbol	POZO	ACTIVO	17°10'11"	96°49'34"		11.1	2	7		PUBLICO URBANO
COP-E-46	Nazareno Etla	El pozo	POZO	ACTIVO	17°10'36"	96°49'53"	4	30	4	7	60	PUBLICO URBANO
COP-E-47	Nazareno Etla	Palacio	POZO	ACTIVO	17°10'56"	96°49'52"		10	4	8	30	PUBLICO URBANO
COP-E-48	Nazareno Etla	El Llano	POZO	ACTIVO	17°11'09"	96°50'04"		22.05	8	12	60	AGRÍCOLA
COP-E-49	San Juan de Dios		POZO	ACTIVO	17°11'30"	96°48'49"	0.5		2.5		30	PUBLICO URBANO
COP-E-50	Sto Domingo Barrio Bajo	La Barranca	NORIA	ACTIVO	17°11'37"	96°46'33"	2		3	6	12	PUBLICO URBANO

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

### Anexo IV.1 Censo general de Aprovechamientos (COPEI, 2001)

No. APROV.	LOCALIDAD	PARAJE	TIPO DE OBRA	ESTADO ACTUAL	COORDS. GEOGRÁFICAS		NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINÁMICO (m)	DIAM. DE DESCARGA (m)	CAUDAL (l.p.s.)	PROF. TOT. (m)	USO
					LAT. N	LONG. W						
COP-E-51	Sto Domingo Barrio Bajo	Paraje La Barranca	NORIA	ACTIVO	17°11'14"	96°46'27"	20		2		10	PUBLICO URBANO
COP-E-52	Guadalupe Etla		POZO	ACTIVO	17°10'49"	96°48'42"	0.6		3	2.8	30	INDUSTRIAL
COP-E-52A	Guadalupe Etla	El Charizal	POZO	ACTIVO	17°10'57"	96°48'32"	0.8		8		50	AGRÍCOLA
COP-E-53	San Lorenzo Cacaotepec	La Fresneta	NORIA	ACTIVO	17°09'30"	96°47'26"	2		4	4.4	12	PUBLICO URBANO
COP-E-54	San Lorenzo Cacaotepec	Río Seco	POZO	ACTIVO	17°09'26"	96°47'55"	2.9		3	5.3		PUBLICO URBANO
COP-E-55	San Pablo Etla	Eucaliptos	NORIA	ACTIVO	17°10'34"	96°46'14"		4.4	2	6.25	14	PUBLICO URBANO
COP-E-56	San Pablo Etla	del pobre	POZO	ACTIVO	17°10'27"	96°46'20"			2.5	5.6		PUBLICO URBANO
COP-E-57	Morelos		NORIA	ACTIVO	17°09'09"	96°46'36"	1.8		2	3	10	PUBLICO URBANO
COP-E-58	Guadalupe Hidalgo		NORIA	ACTIVO	17°08'56"	96°48'23"		6	3	4.4	12	PUBLICO URBANO
COP-E-59	San Lorenzo Cacaotepec	Río San Felipe	POZO	ACTIVO	17°08'02"	96°48'28"		11.4	2	4	22	PUBLICO URBANO
COP-E-60	San Felipe Tejalapan	Parcela escolar	POZO	ACTIVO	17°06'30"	96°51'14"	3.9	19	4	11	32	PUBLICO URBANO
COP-E-61	San Felipe Tejalapan	El Potrero	NORIA	ACTIVO	17°06'24"	96°51'20"		5.1	6	15	15	PUBLICO URBANO
COP-E-62	San Lorenzo Cacaotepec	La Virgen	POZO	ACTIVO	17°07'46"	96°49'04"	6.2		6	15	32	PUBLICO URBANO
COP-E-63	San Lorenzo Cacaotepec	El Homo	POZO	ACTIVO	17°08'03"	96°47'49"	NPS		4	10	52	PUBLICO URBANO
COP-E-64	San Lorenzo Cacaotepec	El Trapiche	NORIA	ACTIVO	17°07'47"	96°46'50"	5		6	SE AGOT.	15	AGRÍCOLA
COP-E-65	San Lorenzo Cacaotepec	atrás seminario	NORIA	ACTIVO	17°08'32"	96°46'54"	6	7.2	4	6	15	SERVICIOS
COP-E-66	Nazareno Etla	El Somplante	POZO	ACTIVO	17°11'12"	96°49'19"	4.2		8	59.7	70	AGRÍCOLA
COP-E-66A	San Isidro Zautla	Ejido de San Isidro	POZO	ACTIVO	17°11'36"	96°49'22"	NPS		8		55	AGRÍCOLA
COP-E-67	Nazareno Etla	surcos largos	POZO	ACTIVO	17°10'55"	96°49'13"	4	7.08	8	22.27	74	AGRÍCOLA
COP-E-68	Soledad Etla	El Homo	POZO	ACTIVO	17°09'23"	96°48'26"	5.1		6	25	60	AGRÍCOLA
COP-E-69	Sta. Ma. Atzompa	Paraje Innominado	POZO	ACTIVO	17°05'51"	96°47'12"	NPS		6	30		PUBLICO URBANO
COP-E-70	San José Hidalgo	Lote 7 ex - Hac. San Jose	NORIA	ACTIVO	17°04'37"	96°48'48"	0		2	3		PUBLICO URBANO
COP-E-71	San Andrés Ixtlahuaca	Palacio Municipal	POZO	INACTIVO	17°04'14"	96°49'29"	5.1					SIN USO
COP-E-72	San Andrés Ixtlahuaca	Las Palmas	NORIA	ACTIVO	17°04'41"	96°49'49"	4.4		3	3	32	PUBLICO URBANO
COP-E-73	San Pedro Ixtlahuaca	Paraje El Calvario	POZO	ACTIVO	17°03'45"	96°49'29"	4		3	3	35	PUBLICO URBANO
COP-E-74	Jalapa del Valle		NORIA	ACTIVO	17°03'51"	96°52'39"	0.9		2	1.5		PUBLICO URBANO

### Anexo IV.1 Censo general de Aprovechamientos (COPEI, 2001)

No. APROV.	LOCALIDAD	PARAJE	TIPO DE OBRA	ESTADO ACTUAL	COORDS. GEOGRÁFICAS		NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINÁMICO (m)	DIAM. DE DESCARGA (m)	CAUDAL (L.P.S.)	PROF. TOT. (m)	USO
					LAT. N	LONG. W						
COP-E-75	Buenavista	El Carril, Buenavista	POZO	ACTIVO	17°02'38"	96°48'20"	2.4		2.5	4	32	PUBLICO URBANO
COP-E-76	Sta. Ma. Atzompa	La Joya	POZO	ACTIVO	17°06'39"	96°46'46"	NPS		4			PUBLICO URBANO
COP-E-77	Sta. Ma. Atzompa	Fracc. Yahuiuche	POZO	ACTIVO	17°06'25"	96°46'28"	7			24	40	PUBLICO URBANO
COP-E-78	Sta. Ma. Atzompa		POZO	ACTIVO	17°06'40"	96°46'09"	8.4		2		40	PUBLICO URBANO
COP-E-79	San Jacinto Amilpas	Cpe. Victoria, San Jacinto	POZO	ACTIVO	17°06'21"	96°45'46"		9.5	4	10	32	PUBLICO URBANO
COP-E-80	San Jacinto Amilpas	Pozo Granada (Pozo 6)	POZO	ACTIVO	17°04'51"	96°44'58"	9.3		6	20	40.5	PUBLICO URBANO
COP-E-81	San Jacinto Amilpas	Independencia	POZO	ACTIVO	17°06'32"	96°45'45"	9.45		6	22	50	PUBLICO URBANO
COP-E-82	Trinidad de Viguera	Rio Seco	NORIA	ACTIVO	17°07'37"	96°45'17"	5.65		2	3		PUBLICO URBANO
COP-E-83A	San Lorenzo Cacaotepec	Fracc. La Esmeralda	NORIA	ACTIVO	17°07'26"	96°46'36"		8	4	20		PUBLICO URBANO

No. APROV.	LOCALIDAD	PARAJE	TIPO DE OBRA	ESTADO ACTUAL	COORDS. GEOGRÁFICAS		NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINÁMICO (m)	DIAM. DE DESCARGA (m)	CAUDAL (L.P.S.)	PROF. TOT. (m)	USO
					LAT. N	LONG. W						
VALLE TLACOLULA												
COP-T-1	San Pablo Villa de Mitla		GALERÍA	ACTIVO	16°55'25"	96°21'29"	4		3		7	PUBLICO URBANO
COP-T-2	San Pablo Villa de Mitla		GALERÍA	ACTIVO	16°55'27"	96°21'26"	4		3	8	7	PUBLICO URBANO
COP-T-3	San Pablo Villa de Mitla		POZO	ACTIVO	16°54'52"	96°23'37"		8.7	6	10	57	PUBLICO URBANO
COP-T-4	San Pablo Villa de Mitla		POZO	ACTIVO	16°55'02"	96°22'10"		14.2	4	9	72	PUBLICO URBANO
COP-T-5	San Pablo Villa de Mitla		POZO	ACTIVO	16°55'15"	96°22'13"	5.7		3	8	68	PUBLICO URBANO
COP-T-6	Santiago Matatlán		POZO	ACTIVO	16°52'32"	96°23'34"		9.3	4	12		PUBLICO URBANO
COP-T-7	Santiago Matatlán		POZO	ACTIVO	16°54'33"	96°25'05"	NPS		4	2.5		PUBLICO URBANO
COP-T-8	Unión Zapeta		NORIA	ACTIVO	16°54'59"	96°24'36"	3.5		1.5			PUBLICO URBANO
COP-T-9	S. Fco. Tarivel	San Antonio	POZO	INACTIVO	16°55'38"	96°26'29"	NPS		4	2.85	30	SIN USO
COP-T-10	Tlacolula de Matamoros	Paraje Innominado	NORIA	ACTIVO	16°56'27"	96°27'09"	8.5		3	11	14	PUBLICO URBANO
COP-T-11	Tlacolula de Matamoros	Rio Seco	POZO	ACTIVO	16°57'00"	96°28'00"	NPS		6	25		PUBLICO URBANO
COP-T-12	San Mateo Macuilochitl	Langue	POZO	ACTIVO	17°01'12"	96°32'24"	8		4	4	72	PUBLICO URBANO
COP-T-13	San Jerónimo T.	Camino Real	POZO	ACTIVO	17°00'11"	96°34'28"	NPS		4	10	60	PUBLICO URBANO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### Anexo IV.1 Censo general de Aprovechamientos (COPEI, 2001)

No. APROV.	LOCALIDAD	PARAJE	TIPO DE OBRA	ESTADO ACTUAL	COORDS. GEOGRÁFICAS		NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINÁMICO (m)	DIAM. DE DESCARGA (m)	CAUDAL (L.P.S.)	PROF. TOT. (m)	USO
					LAT. N	LONG. W						
COP-T-14	San Jerónimo T.	Camino Real	POZO	ACTIVO	17°00'07"	96°34'25"	NPS		6	16	80	AGRÍCOLA
COP-T-15	San Jerónimo T.	Mogote Colorado	POZO	ACTIVO	16°59'50"	96°34'45"		12	6		70	AGRÍCOLA
COP-T-16	San Jerónimo T.	Languche	POZO	ACTIVO	17°00'18"	96°33'50"	15		6	12	60	AGRÍCOLA
COP-T-17	San Jerónimo T.	Logusvini	POZO	ACTIVO	17°00'09"	96°35'15"	6.15		6	18	68	AGRÍCOLA
COP-T-18	San Jerónimo T.	Lozaa	POZO	ACTIVO	17°00'00"	96°35'03"	NPS		8	28	75	AGRÍCOLA
COP-T-19	San Sebastián Abasco	Atrás de la Iglesia (P1)	POZO	ACTIVO	16°59'39"	96°35'10"	NPS		3	5	40	PUBLICO URBANO
COP-T-20	San Sebastián Abasco	Centro	POZO	ACTIVO	16°59'35"	96°35'23"	NPS		3	2	36.5	PUBLICO URBANO
COP-T-21	Sta. Cruz Papalutla		NORIA	ACTIVO	16°57'38"	96°25'23"		2.1	4	8	10	PUBLICO URBANO
COP-T-22	Sta. Mans Guetlacá	Paraje Innominado	POZO	ACTIVO	17°00'04"	96°36'09"	NPS		3	7.06	65	PUBLICO URBANO
COP-T-23	San Fco. Lachigolá	Paraje Calle Hidalgo	POZO	ACTIVO	17°00'38"	96°35'57"	NPS		3	3.5	50	PUBLICO URBANO
COP-T-24	San Fco. Lachigolá	Camino Nacional	POZO	ACTIVO	17°00'50"	96°35'41"		25.1	2	2.63	45	PUBLICO URBANO
COP-T-25	Sta. Cruz Guendufan		NORIA	ACTIVO	17°01'09"	96°38'31"	6		3		12	PUBLICO URBANO
COP-T-26	San Juan Teitipac		POZO	ACTIVO	16°55'27"	96°36'41"		9.4	4	6	60	PUBLICO URBANO
COP-T-27	San Sebastián Teitipac	Río Grande (Pozo 1)	POZO	ACTIVO	16°56'48"	96°36'55"	1.7		4	8.3	50	PUBLICO URBANO
COP-T-28	Rojas de Cuauhtemoc	La Otova	POZO	ACTIVO	17°00'24"	96°36'51"		11.2	4	4.6	52	PUBLICO URBANO
COP-T-29	Rojas de Cuauhtemoc		POZO	INACTIVO	16°59'58"	96°36'38"	6		4		29	SIN USO
COP-T-30	Rojas de Cuauhtemoc		POZO	ACTIVO	17°00'05"	96°36'38"	NPS		8		80	AGRÍCOLA
COP-T-31	Rojas de Cuauhtemoc	La Ginga	POZO	ACTIVO	17°00'53"	96°37'07"	2.3		3	14	35	PUBLICO URBANO
COP-T-32	Santa Catalina de Sena		NORIA	INACTIVO	17°02'38"	96°37'02"	4.95					SIN USO
COP-T-33	Fracc. El Retiro		NORIA	ACTIVO	17°02'58"	96°37'35"	4.35	7	3	2	25	PUBLICO URBANO
COP-T-34	Fracc. El Retiro		NORIA	ACTIVO	17°03'04"	96°37'37"	7		4	3	25	PUBLICO URBANO
COP-T-35	Fracc. El Retiro		POZO	ACTIVO	17°02'44"	96°37'33"		10	4	11.1	30	PUBLICO URBANO
COP-T-36	Santa María del Tule		POZO	ACTIVO	17°03'06"	96°37'58"	NPS		3	5.5		PUBLICO URBANO
COP-T-37	Santa María del Tule	Yaq-Balaa	POZO	ACTIVO	17°03'03"	96°38'17"	4.43		4	13.95	34	PUBLICO URBANO
COP-T-38	Santo Domingo Tomaltepec	Paraje Loozin	NORIA	ACTIVO	17°03'05"	96°37'50"		7.25	3	6		PUBLICO URBANO
COP-T-39	Tlalxcatlac de Cabrera	Ojo de Agua	POZO	ACTIVO	17°03'01"	96°38'36"	0	14.5	6	28	50	PUBLICO URBANO

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

### Anexo IV.1 Censo general de Aprovechamientos (COPEI, 2001)

No. APROV.	LOCALIDAD	PARAJE	TIPO DE OBRA	ESTADO ACTUAL	COORDS. GEOGRÁFICAS		NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINÁMICO (m)	DIAM. DE DESCARGA (")	CAUDAL (L.P.S.)	PROF. TOT. (m)	USO
					LAT. N	LONG. W						
COP-T-40	Tlalxac de Cabrera	Rio Del Estudiante	POZO	ACTIVO	17°04'22"	96°39'07"	10.5		4	28	40	PUBLICO URBANO
COP-T-41	Tlalxac de Cabrera		NORIA	INACTIVO	17°03'40"	96°39'21"	5.75					SIN USO
COP-T-42	San Agustín Yatareni		POZO	ACTIVO	17°04'07"	96°41'19"	10		3	2.8	50	PUBLICO URBANO
COP-T-43	San Sebastian Tutia	Centro	POZO	ACTIVO	17°03'30"	96°40'19"	NPS		3	5		PUBLICO URBANO
COP-T-44	San Sebastian Tutia	Centro de Salud	POZO	ACTIVO	17°03'33"	96°40'33"	4.95		4	6		PUBLICO URBANO
COP-T-45	Santa Cruz Amilpas	El Carmen	POZO	ACTIVO	17°03'30"	96°41'09"	3.9		3	5	50	PUBLICO URBANO
COP-T-46	Santa Cruz Amilpas	Fracc. Intonavit	POZO	ACTIVO	17°03'22"	96°40'49"	1.25		4	15.3	60	PUBLICO URBANO
COP-T-45BIS	Santa Ana del Valle	Escuela	NORIA	INACTIVO	17°59'29"	96°28'16"	5.58		3	4	35	SIN USO
COP-T-46BIS	Tlacolula de Matamoros	'Caballito Blanco'	NORIA	ACTIVO	16°56'42"	96°27'17"	10.35		0.75	1	14	DOMESTICO
COP-T-47	Tlacolula de Matamoros		NORIA	ACTIVO	16°56'23"	96°29'04"	3.2					DOMESTICO
COP-T-48	San Bartolome Quielana	Francia Telesecundaria	NORIA	ACTIVO	16°54'42"	96°29'40"	18					DOMESTICO
COP-T-49	Tlacolula de Matamoros	Yahuiche	NORIA	ACTIVO	16°58'17"	96°29'30"	8.1		2	3	25	DOMESTICO
COP-T-50	Tlacolula de Matamoros	Grangas avícolas	NORIA	ACTIVO	16°58'32"	96°30'01"	3.3					DOMESTICO
COP-T-51	Tlacolula de Matamoros	Grangas avícolas	NORIA	ACTIVO	16°58'25"	96°30'04"	2.53					DOMESTICO
COP-T-52	Tlacolula de Matamoros	Rancho Chagoya	NORIA	ACTIVO	16°59'00"	96°30'32"	8.05					DOMESTICO
COP-T-53	San Juan Guelavia		NORIA	ACTIVO	16°57'34"	96°32'39"	3.75					DOMESTICO
COP-T-54	Magdalena Teitipac	Templo Magdalena Teitipac	NORIA	ACTIVO	16°54'20"	96°33'29"	15.35				20	DOMESTICO
COP-T-55	San Juan Guelavia		NORIA	ACTIVO	16°58'14"	96°32'25"	0					DOMESTICO
COP-T-56	Tlacolula de Matamoros		NORIA	ACTIVO	16°59'24"	96°31'04"	3.8		2			AGRÍCOLA
COP-T-57	San Jerónimo T.		NORIA	ACTIVO	17°01'08"	96°34'09"	7.52					DOMESTICO

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

### Anexo IV.1 Censo general de Aprovechamientos (COPEI, 2001)

No. APROV.	LOCALIDAD	PARAJE	TIPO DE OBRA	ESTADO ACTUAL	COORDS. GEOGRÁFICAS		NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINAMICO (m)	DIAM. DE DESCAR	CAUDAL (L.P.S.)	PROF. TOT. (m)	USO
					LAT. N	LONG. W						
VALLE DE ZIMATLÁN												
COP-Z-1	San Andres Zabache		NORIA	ACTIVO	16°35'53"	96°51'35.1"		3.9	6	32		PUBLICO URBANO
COP-Z-2	San Martin Achila	Arroyo Grande (Pozo2)	NORIA	ACTIVO	16°36'48"	96°51'00"		3	4	12	15	PUBLICO URBANO
COP-Z-3	San Martin Achila		POZO	ACTIVO	16°36'43"	96°51'03"	NPS		2	3	40	PUBLICO URBANO
COP-Z-4	Santa Cruz Nexila		NORIA	ACTIVO	16°37'59.5"	96°50'52.7"		3.1	2	4		PUBLICO URBANO
COP-Z-5	Sta. Ma. Ayoquesco	"Barrio del Calvario"	POZO	ACTIVO	16°41'09.9"	96°50'21.4"	2.5		6	15	49	PUBLICO URBANO
COP-Z-6	Sta. Ma. Ayoquesco	"Rio de la Cruz" (Pozo 2)	POZO	ACTIVO	16°40'41"	96°50'42"	NPS		4	16	27	PUBLICO URBANO
COP-Z-7	Agua Blanca		POZO	ACTIVO	16°44'09"	96°50'43"	1.1		3	7	22	PUBLICO URBANO
COP-Z-8	Sta. Cruz Mixtepec	"Al pie del Arroyo de la Peñas"	NORIA	ACTIVO	16°47'36"	96°52'38"		2.2	3	8	8	PUBLICO URBANO
COP-Z-9	El Trapiche	Rio Santa Cruz	POZO	ACTIVO	16°45'35"	96°51'33"	3		4	10	30	PUBLICO URBANO
COP-Z-10	Sta. Ana Tlapacoyan		NORIA	ACTIVO	16°44'28"	96°50'32"	0.9		3	8		PUBLICO URBANO
COP-Z-11	El Trapiche	El Tule	POZO	ACTIVO	16°44'43"	96°50'01"	7.75		6	25	45	AGRICOLA
COP-Z-12	Colonia Emiliano Zapata	El Limon	POZO	ACTIVO	16°45'06"	96°49'50"	NPS		6	30	60	AGRICOLA
COP-Z-13	Colonia Emiliano Zapata	Santa Cruz Mixtepec	POZO	ACTIVO	16°45'32"	96°49'58"		30.6	2	2.5	40	PUBLICO URBANO
COP-Z-15	Valde Flores	El Homo	POZO	ACTIVO	16°45'35"	96°49'27"		4.55	4	5	42	PUBLICO URBANO
COP-Z-16	Santa Gertrudis		POZO	INACTIVO	16°46'51"	96°47'41"	5.9					SIN USO
COP-Z-17	Santa Gertrudis		POZO	ACTIVO	16°46'39"	96°47'38"	NPS		12	20	65	AGRICOLA
COP-Z-18	Santa Gertrudis		POZO	ACTIVO	16°46'52"	96°47'16"	5.55		6	60	84	AGRICOLA
COP-Z-19	Santa Gertrudis		POZO	ACTIVO	16°46'43"	96°47'51"		16.3	3	2	46	PUBLICO URBANO
COP-Z-20	Santa Gertrudis		POZO	ACTIVO	16°46'33"	96°48'05"	2.2		3	9	73	PUBLICO URBANO
COP-Z-21	Santa Gertrudis	"Parcela Escobar"	POZO	ACTIVO	16°46'15"	96°48'09"	NPS		8	50	48	AGRICOLA
COP-Z-22	Santa Gertrudis		POZO	ACTIVO	16°46'09"	96°47'45"	NPS		8	50	44	AGRICOLA
COP-Z-23	Santa Gertrudis		POZO	ACTIVO	16°46'26"	96°47'51"	1.35		8	30	50	AGRICOLA
COP-Z-24	San Jose Guelatova	La Laguna	POZO	ACTIVO	16°46'22"	96°46'22"	NPS		6	16	58	AGRICOLA
COP-Z-25	San Jose Guelatova	El Tule	POZO	ACTIVO	16°47'12"	96°46'51"	6.35		3	9	30	PUBLICO URBANO
COP-Z-26	San Jose Guelatova	"La Raya"	POZO	ACTIVO	16°46'44"	96°46'26"	NPS		6	25	38	AGRICOLA

TESIS CON  
 FALTA DE ORIGEN

Anexo IV.1 Censo general de Aprovechamientos (COPEI, 2001)

No. APROV.	LOCALIDAD	PARAJE	TIPO DE OBRA	ESTADO ACTUAL	COORDS. GEOGRÁFICAS		NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINAMICO (m)	DIAM. DE DESCAR (m)	CAUDAL (L.P.S.)	PROF. TOT. (m)	USO
					LAT. N	LONG. W						
COP-Z-27	San Pablo Huixtepec		POZO	ACTIVO	16°49'35"	96°46'28"	NPS		6	10	40	PUBLICO URBANO
COP-Z-28	San Pablo Huixtepec	El Horno	POZO	ACTIVO	16°49'43"	96°46'26"	NPS		8	50	52.9	AGRÍCOLA
COP-Z-29	San Pablo Huixtepec		POZO	ACTIVO	16°50'06"	96°46'15"	NPS		8	12	100	AGRÍCOLA
COP-Z-30	San Pablo Huixtepec	Tabla La Soledad	POZO	ACTIVO	16°50'19"	96°46'05"	NPS		8	30	45	AGRÍCOLA
COP-Z-31	San Pablo Huixtepec	Santa Monica Norte	POZO	ACTIVO	16°50'09"	96°46'18"	4.8		6	20	40	AGRÍCOLA
COP-Z-32	San Pablo Huixtepec	"La Arena"	POZO	ACTIVO	16°49'52"	96°45'35"	NPS		8	55	60	AGRÍCOLA
COP-Z-33	San Pablo Huixtepec	Santa Monica	POZO	ACTIVO	16°49'53"	96°45'22"	9.7		6	30	42	AGRÍCOLA
COP-Z-34	San Pablo Huixtepec		POZO	ACTIVO	16°49'44"	96°45'53"	10.8		8	48	56	AGRÍCOLA
COP-Z-35	San Pablo Huixtepec	Surcos Largos	POZO	ACTIVO	16°49'27"	96°45'35"	NPS		6	18	56	AGRÍCOLA
COP-Z-36	San Pablo Huixtepec		POZO	ACTIVO	16°49'26"	96°45'59"	NPS		8	60	50	AGRÍCOLA
COP-Z-37	San Pablo Huixtepec		POZO	ACTIVO	16°49'20"	96°46'21"	NPS		6	25	55	PUBLICO URBANO
COP-Z-38	San Pablo Huixtepec		POZO	ACTIVO	16°48'59"	96°46'28"	NPS		6		52	AGRÍCOLA
COP-Z-39	San Pablo Huixtepec		POZO	ACTIVO	16°48'45"	96°46'28"		14.55	6	25	40	PUBLICO URBANO
COP-Z-40	San Pablo Huixtepec		POZO	ACTIVO	16°48'06"	96°46'33"	8.4		8	50	89.55	AGRÍCOLA
COP-Z-41	San Pablo Huixtepec	YAGUI	POZO	ACTIVO	16°47'28"	96°46'35"	NPS		6	30	72	AGRÍCOLA
COP-Z-42	San Pablo Huixtepec	El Horno	POZO	ACTIVO	16°47'49"	96°46'41"	NPS		6	21.45	52	AGRÍCOLA
COP-Z-43	San Pablo Huixtepec	El Comun (Pozo 60)	POZO	ACTIVO	16°47'43"	96°46'20"	6.3		8	50		AGRÍCOLA
COP-Z-44	San Pablo Huixtepec	YAGUI	POZO	ACTIVO	16°47'52"	96°46'09"	NPS		6	25	36	AGRÍCOLA
COP-Z-45	San Pablo Huixtepec	Camino de Yaguy	POZO	ACTIVO	16°47'34"	96°46'08"	NPS		6	36	60	AGRÍCOLA
COP-Z-46	San Pablo Huixtepec	El Redondo	POZO	ACTIVO	16°47'17"	96°45'60"	NPS		6	20	65	AGRÍCOLA
COP-Z-47	San Pablo Huixtepec		POZO	ACTIVO	16°47'04"	96°46'14"	4.4		6	25	40	AGRÍCOLA
COP-Z-48	San Pablo Huixtepec		POZO	ACTIVO	16°47'12"	96°46'32"	NPS		6	12	35	AGRÍCOLA
COP-Z-49	San Pablo Huixtepec	La Raya	POZO	ACTIVO	16°46'51"	96°46'45"	NPS		6	20	35	AGRÍCOLA
COP-Z-50	San Pablo Huixtepec	"San Antonio"	POZO	ACTIVO	16°46'17"	96°47'02"	2.7		6	20	36	AGRÍCOLA
COP-Z-51	San Pablo Huixtepec	"El Mezquite"	POZO	ACTIVO	16°46'48"	96°47'00"	NPS		8	40	50	AGRÍCOLA
COP-Z-52	Santa Ines Yatzeche	Paraje Innominado (Pozo 2)	POZO	ACTIVO	16°48'13"	96°45'35"	NPS		8	50	55	PUBLICO URBANO

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Anexo IV.1 Censo general de Aprovechamientos (COPEI, 2001)

No. APROV.	LOCALIDAD	PARAJE	TIPO DE OBRA	ESTADO ACTUAL	COORDS. GEOGRÁFICAS		NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINAMICO (m)	DE DESCARGA (")	CAUDAL (L.P.S.)	PROF. TOT. (m)	USO
					LAT. N	LONG. W						
COP-Z-53	Santa Ines Yatzeche	Logozana	POZO	ACTIVO	16°48'39"	96°44'42"	NPS		6	28	50	AGRÍCOLA
COP-Z-54	Santa Ines Yatzeche	La Raya de Santa Ana	POZO	ACTIVO	16°48'52"	96°44'57"	5.4		6	30	50	AGRÍCOLA
COP-Z-55	San Nicolas Quialana	Corral de Moreno	POZO	ACTIVO	16°50'12"	96°46'34"		14.5	3	8	45	PUBLICO URBANO
COP-Z-56	San Nicolas Quialana	El Zapote	POZO	ACTIVO	16°51'14"	96°46'37"	4		3	8	45	PUBLICO URBANO
COP-Z-57	San Nicolas Quialana	La Noria	POZO	ACTIVO	16°50'43"	96°46'34"	NPS		8	60	89.8	AGRÍCOLA
COP-Z-58	San Nicolas Quialana		POZO	ACTIVO	16°50'26"	96°46'16"	NPS		10	55	60	AGRÍCOLA
COP-Z-59	Zimatlán de Alvarez	Rio Seco (Pozo 5)	POZO	ACTIVO	16°53'04"	96°46'51"	NPS		6	14	45	PUBLICO URBANO
COP-Z-60	Zimatlán de Alvarez	La Tabla del Anonal (Pozo 4)	POZO	ACTIVO	16°52'42"	96°46'42"		9.55	4	12	65	PUBLICO URBANO
COP-Z-61	Zimatlán de Alvarez	El Anonal (Pozo 2)	POZO	ACTIVO	16°52'23"	96°46'41"	NPS		4	3.33	50	PUBLICO URBANO
COP-Z-62	Zimatlán de Alvarez	Rancho Robino (Pozo 1)	POZO	ACTIVO	16°52'09"	96°46'43"	NPS		4	10	45	PUBLICO URBANO
COP-Z-63	Zimatlán de Alvarez	El Barrio (Pozo 3)	POZO	ACTIVO	16°51'29"	96°46'56"		22	4	8	45	PUBLICO URBANO
COP-Z-64	Zimatlán de Alvarez		POZO	ACTIVO	16°50'39"	96°46'11"	NPS		6	36	60	PUBLICO URBANO
COP-Z-65	Zimatlán de Alvarez		POZO	ACTIVO	16°51'04"	96°46'11"	NPS		6	30	55	AGRÍCOLA
COP-Z-66	San Martin de los Canseco		POZO	ACTIVO	16°38'57"	96°44'15"	3.45		3	8		PUBLICO URBANO
COP-Z-67	Ejulia de Crespo		POZO	ACTIVO	16°40'16"	96°44'00"		7	4	12	9	PUBLICO URBANO
COP-Z-68	La Noria de Ortiz		NORIA	INACTIVO	16°41'39"	96°43'40"	NPS				10	SIN USO
COP-Z-69	San Jose Progreso		NORIA	ACTIVO	16°41'28"	96°40'41"	NPS		4	12		PUBLICO URBANO
COP-Z-70	Magdalena Occitán		NORIA	ACTIVO	16°42'35"	96°42'42"	2.1		3	3.2	16	PUBLICO URBANO
COP-Z-71	San Matias Chilazoa		NORIA	ACTIVO	16°43'16"	96°45'07"		2	2	4	12	PUBLICO URBANO
COP-Z-72	Zimatlán de Alvarez		POZO	ACTIVO	16°52'26"	96°46'18"	NPS		8	45	50	AGRÍCOLA
COP-Z-73	Zimatlán de Alvarez	"La Salada"	POZO	ACTIVO	16°52'04"	96°45'54"	NPS		4	10	47	AGRÍCOLA
COP-Z-74	Zimatlán de Alvarez	"El Trapichito"	POZO	ACTIVO	16°52'01"	96°46'13"	4.4		2	2.5	54.15	AGRÍCOLA
COP-Z-75	La Ciénega de Zimatlán	"Plaza principal Pozo 1"	POZO	ACTIVO	16°53'48"	96°45'58"		14.3	4	10	60	PUBLICO URBANO
COP-Z-76	La Ciénega de Zimatlán		POZO	INACTIVO	16°52'58"	96°45'33"	0				60	SIN USO
COP-Z-77	La Ciénega de Zimatlán		POZO	ACTIVO	16°53'11"	96°45'18"	NPS		8	45	60	AGRÍCOLA
COP-Z-78	La Ciénega de Zimatlán		POZO	ACTIVO	16°53'48"	96°45'11"	NPS		10	50		AGRÍCOLA

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Anexo IV.1 Censo general de Aprovechamientos (COPEI, 2001)

No. APROV.	LOCALIDAD	PARAJE	TIPO DE OBRA	ESTADO ACTUAL	COORDS. GEOGRÁFICAS		NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINAMICO (m)	DIAM. DE DESCAR.	CAUDAL (L.P.S.)	PROF. TOT. (m)	USO
					LAT. N	LONG. W						
COP-Z-105	Santa Catarina de Minas		NORIA	ACTIVO	16°46'38"	96°36'35"	2.6		3	3		PUBLICO URBANO
COP-Z-106	San Jacinto Ocotlán		POZO	INACTIVO	16°46'37"	96°40'56"	1.4					SIN USO
COP-Z-107	Santiago Apostol	La Raya de Santa Ana Z.	POZO	ACTIVO	16°47'51"	96°44'08"	6.45		4	6	80.3	PUBLICO URBANO
COP-Z-108	Santiago Apostol	El Mazquital	POZO	ACTIVO	16°48'39"	96°43'13"	NPS		4	10	105	PUBLICO URBANO
COP-Z-109	San Sebastian		POZO	ACTIVO	16°48'14"	96°41'47"	19.4		3	3	70	PUBLICO URBANO
COP-Z-110	San Cristobal Ixcatlan		NORIA	INACTIVO	16°49'16"	96°40'46"	10.45					SIN USO
COP-Z-111	San Martín Tilcajele		NORIA	ACTIVO	16°51'28"	96°41'12"		9.9	4	10	17	PUBLICO URBANO
COP-Z-112	San Jacinto Chilteca	Paraje Innominado	POZO	ACTIVO	16°50'25"	96°41'07"	NPS		3	7	65	PUBLICO URBANO
COP-Z-113	Santo Tomas Jalieza	La Guamuchera	POZO	ACTIVO	16°50'24"	96°39'56"	NPS		2	2	40	PUBLICO URBANO
COP-Z-114	San Juan Chilteca		POZO	ACTIVO	16°49'51"	96°40'18"	NPS		3	7.037	60	PUBLICO URBANO
COP-Z-115	San Juan Chilteca		POZO	ACTIVO	16°50'02"	96°40'08"	NPS		3	6.66	65	PUBLICO URBANO
COP-Z-116	San Antonio Castillo V.		NORIA	ACTIVO	16°48'05"	96°40'57"	NPS		3	5	25	PUBLICO URBANO
COP-Z-117	San Antonio Castillo V.		NORIA	ACTIVO	16°48'00"	96°40'55"	NPS		1.25	1	25	PUBLICO URBANO
COP-Z-118	San Antonio Castillo V.		NORIA	ACTIVO	16°47'59"	96°40'54"	NPS		1.5	1		PUBLICO URBANO
COP-Z-119	San Antonio Castillo V.		NORIA	ACTIVO	16°47'57"	96°40'47"	NPS		1.5	1		PUBLICO URBANO
COP-Z-120	San Antonio Castillo V.		POZO	ACTIVO	116°48'03"	96°40'36"	NPS		3	4		PUBLICO URBANO
COP-Z-121	San Antonio Castillo V.		POZO	ACTIVO	16°48'08"	96°41'00"	NPS		3	4		PUBLICO URBANO
COP-Z-122	Santa Ana Zegache		POZO	ACTIVO	16°49'25"	96°43'25"	NPS		3	5	60	PUBLICO URBANO
COP-Z-123	Santa Ana Zegache		POZO	ACTIVO	16°50'03"	96°43'19"	NPS		3	3	60	PUBLICO URBANO
COP-Z-124	Santa Catarina Quiane	'Pozo Núm.1'	POZO	ACTIVO	16°52'57"	96°44'49"	NPS		4	7	40	PUBLICO URBANO
COP-Z-125	Santa Catarina Quiane		POZO	ACTIVO	16°54'13"	96°44'37"	2.1		6	5	60	AGRÍCOLA
COP-Z-126	Santa Catarina Quiane		POZO	ACTIVO	16°53'23"	96°45'02"	0.85		8	45	63	AGRÍCOLA
COP-Z-127	Santa Catarina Quiane	Tierra Negra	NORIA	INACTIVO	16°53'44"	96°44'31"	2.5		2	0	9	SIN USO
COP-Z-128	Santa Catarina Quiane	La Yocuela	POZO	INACTIVO	16°53'40"	96°44'39"	1.75		2	3	40	SIN USO
COP-Z-129	Reyes Mantecon	El Nazareno	POZO	ACTIVO	16°54'48"	96°43'55"	2.2		4	10	60	PUBLICO URBANO
COP-Z-130	Reyes Mantecon		POZO	ACTIVO	16°54'47"	96°43'54"	NPS		3	7		PUBLICO URBANO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Anexo IV.1 Censo general de Aprovechamientos (COPEI, 2001)

No. APROV.	LOCALIDAD	PARAJE	TIPO DE OBRA	ESTADO ACTUAL	COORDS. GEOGRÁFICAS		NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINÁMICO (m)	DIAM. DE DESCAR	CAUDAL (L.P.S.)	PROP. TOT. (m)	USO
					LAT. N	LONG. W						
COP-Z-131	Reyes Mantecon	La Noria (Pozo 1)	POZO	ACTIVO	16°55'20"	96°43'55"	NPS		4	3	74	AGRÍCOLA
COP-Z-132	Reyes Mantecon	El Nogal (Pozo 2)	POZO	ACTIVO	16°54'25"	96°43'49"	NPS		4	10	44	SERVICIOS
COP-Z-133	Villa de Zaachila		POZO	ACTIVO	16°56'36"	96°43'26"	2		3	4		AGRÍCOLA
COP-Z-134	Villa de Zaachila		POZO	INACTIVO	16°56'33"	96°43'22"	NPS					SIN USO
COP-Z-135	Villa de Zaachila		POZO	ACTIVO	16°56'16"	96°43'28"	NPS		6	16		AGRÍCOLA
COP-Z-136	Reyes Mantecon		POZO	INACTIVO	16°55'01"	96°44'06"	NPS		8	75	70	SIN USO
COP-Z-137	Trinidad Zaachila		POZO	ACTIVO	16°54'55"	96°45'38"	NPS		6	18	100	AGRÍCOLA
COP-Z-138	Villa de Zaachila	"Barrio San Jose"	POZO	ACTIVO	16°57'24"	96°44'38"	NPS		6	4	52	PUBLICO URBANO
COP-Z-139	Villa de Zaachila	"Barrio San Jose"	POZO	ACTIVO	16°57'19"	96°44'46"	NPS		6	4		PUBLICO URBANO
COP-Z-140	Villa de Zaachila	Unidad deportiva Zaachila	POZO	ACTIVO	16°56'53"	96°44'23"	NPS		6	3 03		PUBLICO URBANO
COP-Z-141	Villa de Zaachila	Barrio de la Soledad	POZO	ACTIVO	16°56'20"	96°45'17"		6	6	6	60	PUBLICO URBANO
COP-Z-142	Villa de Zaachila	Barrio del rufo	POZO	ACTIVO	16°57'31"	96°45'02"	5.6		6	4	60	PUBLICO URBANO
COP-Z-143	Villa de Zaachila	Los Nogales	POZO	ACTIVO	16°56'14"	96°45'01"	NPS		6	20	60	AGRÍCOLA
COP-Z-144	Villa de Zaachila	Zaachila 14	POZO	ACTIVO	16°55'01"	96°44'46"	NPS		10	30	60	AGRÍCOLA
COP-Z-145	Villa de Zaachila	Tierra Negra	POZO	ACTIVO	16°56'38"	96°44'26"	3.8		6	15	119	AGRÍCOLA
COP-Z-146	Villa de Zaachila		POZO	ACTIVO	16°56'03"	96°44'30"	NPS		6	4	56.5	AGRÍCOLA
COP-Z-147	Villa de Zaachila	Tabla de Santa Rita	POZO	ACTIVO	16°56'30"	96°44'00"	NPS		6	4	70	AGRÍCOLA
COP-Z-148	Villa de Zaachila	Camino Real	POZO	ACTIVO	16°55'50"	96°45'25"	NPS		8	15	77	AGRÍCOLA
COP-Z-149	Villa de Zaachila		POZO	ACTIVO	16°57'04"	96°46'01"	NPS		8	12	60	AGRÍCOLA
COP-Z-150	Villa de Zaachila	"El Quajote"	POZO	ACTIVO	16°57'26"	96°44'14"	NPS		8	50		AGRÍCOLA
COP-Z-151	San Lucas Tlalrichico		NORIA	ACTIVO	16°58'28"	96°48'14"	NPS		3	7		PUBLICO URBANO
COP-Z-152	Villa de Zaachila		POZO	INACTIVO	16°57'53"	96°45'40"	5.2					SIN USO
COP-Z-153	San Bartolo Coyotepec	"El Guayabal"	POZO	ACTIVO	16°57'33"	96°43'08"	NPS		4	4	45	PUBLICO URBANO
COP-Z-154	San Bartolo Coyotepec	"El Horno" (Pozo 2)	POZO	ACTIVO	16°57'20"	96°43'07"	2.6		4	8	45	PUBLICO URBANO
COP-Z-155	San Bartolo Coyotepec		POZO	INACTIVO	16°57'20"	96°43'05"	2.5				60	SIN USO
COP-Z-156	San Bartolo Coyotepec	Tierra Negra	POZO	ACTIVO	16°57'10"	96°43'54"	NPS		6	16	55	AGRÍCOLA

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Anexo IV.1 Censo general de Aprovechamientos (COPEI, 2001)

No. APROV.	LOCALIDAD	PARAJE	TIPO DE OBRA	ESTADO ACTUAL	COORDS. GEOGRÁFICAS		NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINÁMICO (m)	DIAM. DE DESCAR.	CAUDAL (L.P.S.)	PROF. TOT. (m)	USO
					LAT. N	LONG. W						
COP-Z-157	San Bartolo Coyotepec	Tierra Negra	POZO	ACTIVO	16°57'32"	96°43'48"	NPS		4	7.65	55	AGRÍCOLA
COP-Z-158	San Bartolo Coyotepec	Tierra Negra	POZO	ACTIVO	16°57'36"	96°44'03"	2.5		6	25	64	AGRÍCOLA
COP-Z-159	Santa María Coyotepec		POZO	INACTIVO	16°58'48"	96°42'30"	3.05		3	4		SIN USO
COP-Z-160	Animas Trujano		POZO	ACTIVO	16°59'08"	96°42'52"	NPS		4	8		PUBLICO URBANO
COP-Z-161	Santa María Coyotepec	'La Zanja'	POZO	ACTIVO	16°57'55"	96°42'53"	NPS		4	9	45	PUBLICO URBANO
COP-Z-162	Santa María Coyotepec		POZO	INACTIVO	16°57'54"	96°42'42"	NPS		6	0	54	SIN USO
COP-Z-163	San Raymundo Jalpan	Innominado	POZO	ACTIVO	16°58'21"	96°45'37"	NPS		4	10	50	PUBLICO URBANO
COP-Z-164	San Raymundo Jalpan		POZO	INACTIVO	16°59'37"	96°45'05"	NPS					SIN USO
COP-Z-165	San Juan Bautista	El Prio San Juan Bautista	POZO	ACTIVO	16°59'36"	96°43'58"	NPS		6	33.33	50	AGRÍCOLA
COP-Z-166	Animas Trujano	El Monte	POZO	ACTIVO	16°59'39"	96°43'04"	NPS		8	50	70	AGRÍCOLA
COP-Z-167	Cuilapan de Guerrero		NORIA	ACTIVO	16°59'55"	96°47'30"	NPS		4	20		PUBLICO URBANO
COP-Z-168	Cuilapan de Guerrero		POZO	ACTIVO	16°59'19"	96°46'50"		7.3	4	10		PUBLICO URBANO
COP-Z-169	Cuilapan de Guerrero		NORIA	ACTIVO	16°59'08"	96°46'48"		2.7	4	6		PUBLICO URBANO
COP-Z-170	Cuilapan de Guerrero		NORIA	ACTIVO	16°59'03"	96°46'49"		2.15	4	5		PUBLICO URBANO
COP-Z-171	Cuilapan de Guerrero	Cruz Blanca	POZO	ACTIVO	17°00'42"	96°45'29"	0.5		3	6		PUBLICO URBANO
COP-Z-172	Nezareno Xoxocotlan		NORIA	ACTIVO	17°01'08"	96°45'32"	NPS		3	7		PUBLICO URBANO
COP-Z-173	Loma San Javier	'El Encanto'	POZO	ACTIVO	17°01'45"	96°46'41"	NPS		3	8	24	PUBLICO URBANO
COP-Z-174	San Antonio Arrazola		POZO	ACTIVO	17°02'20"	96°47'13"		1.2	3	7	21	PUBLICO URBANO
COP-Z-175	Santa Cruz Xoxocotlan		POZO	ACTIVO	17°00'38"	96°45'16"	3.6		3	7	55	PUBLICO URBANO
COP-Z-176	Santa Cruz Xoxocotlan		POZO	INACTIVO	17°00'20"	96°45'05"	NPS					SIN USO
COP-Z-177	San Bartolo Coyotepec		POZO	ACTIVO	16°56'41"	96°42'42"	2		2	3	18	SERVICIOS
COP-Z-178	San Agustín de las Juntas		POZO	ACTIVO	17°00'11"	96°43'42"	NPS		6	15	50	AGRÍCOLA
COP-Z-179	Esquipulas Xoxo	Esquipulas Xoxo	POZO	ACTIVO	17°00'47"	96°45'18"	NPS		4	12	30	PUBLICO URBANO
COP-Z-180	San Isidro Monjes		POZO	INACTIVO	17°00'10"	96°44'25"	2					SIN USO
COP-Z-181	San Isidro Monjes		POZO	ACTIVO	17°00'00"	96°44'33"	NPS		3	8	25	PUBLICO URBANO
COP-Z-182	San Raymundo Jalpan		POZO	ACTIVO	16°59'42"	96°44'32"		4.15	4	5		SERVICIOS

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Anexo IV.1 Censo general de Aprovechamientos (COPEI, 2001)

No. APROV.	LOCALIDAD	PARAJE	TIPO DE OBRA	ESTADO ACTUAL	COORDS. GEOGRÁFICAS		NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINÁMICO (m)	DIAM. DE DESCAR	CAUDAL (L.P.S.)	PROF. TOT. (m)	USO
					LAT. N	LONG. W						
COP-Z-183	Santa Cruz Xoxocotlan		POZO	ACTIVO	17°00'33"	96°44'34"	NPS		3	7		PUBLICO URBANO
COP-Z-184	Santa Cruz Xoxocotlan		POZO	INACTIVO	17°01'10"	96°44'21"	0.9					SIN USO
COP-Z-185	San Agustín de las Juntas		POZO	ACTIVO	17°00'36"	96°42'49"	NPS		4	10		PUBLICO URBANO
COP-Z-186	San Agustín de las Juntas		POZO	ACTIVO	17°00'51"	96°42'41"		13.32	4	8	50	PUBLICO URBANO
COP-Z-187	San Antonio de la Cal		POZO	ACTIVO	17°02'80"	96°42'17"	NPS		6	30		PUBLICO URBANO
COP-Z-188	San Antonio de la Cal		POZO	ACTIVO	17°01'52"	96°42'14"	NPS		4	7	50	PUBLICO URBANO
COP-Z-189	Santa Cruz Xoxocotlan	Ma. Merguta del Rayero	POZO	ACTIVO	17°00'30"	96°43'32"	NPS		10	12	61	PUBLICO URBANO
COP-Z-190	Santa Cruz Xoxocotlan	La Rabonera	POZO	ACTIVO	17°01'13"	96°43'34"	NPS		8	25	55	PUBLICO URBANO
COP-Z-191	Santa Cruz Xoxocotlan	Antiguo camino a Coyotepec	POZO	ACTIVO	17°01'31"	96°43'38"	NPS		6	10	60	PUBLICO URBANO
COP-Z-192	Santa Cruz Xoxocotlan	Av. Hidalgo s/n	POZO	ACTIVO	17°01'32"	96°43'19"	NPS		6	5	45	PUBLICO URBANO
COP-Z-193	Santa Cruz Xoxocotlan		POZO	ACTIVO	17°01'45"	96°43'52"	NPS		6	3		PUBLICO URBANO
COP-Z-194	Santa Cruz Xoxocotlan	La Rotonda	POZO	ACTIVO	17°01'51"	96°43'39"		9.8	3	7	38	PUBLICO URBANO
COP-Z-195	San Pedro El Rincon		NORIA	ACTIVO	16°46'26"	96°52'11"	NPS		3	9.7	25	PUBLICO URBANO
COP-Z-196	El Trapiche		POZO	ACTIVO	16°44'54"	96°49'56"	NPS		6	5		AGRICOLA
COP-Z-197	Santa Ines Yatseche	Riveras del Atoyac	POZO	INACTIVO	16°48'34"	96°44'59"	NPS		6		50	SIN USO
COP-Z-198	San Pablo Huixtpec		POZO	ACTIVO	16°48'03"	96°46'51"	NPS		8	29		AGRICOLA
COP-Z-199	Reyes Mantecon	Nazareno	POZO	ACTIVO	16°54'47"	96°44'13"	NPS		10	20	40	AGRICOLA
COP-Z-200	Santa Ines Yatseche		POZO	ACTIVO	16°48'07"	96°44'38"	7.23		3	12		AGRICOLA
COP-Z-201	El Trapiche		POZO	ACTIVO	16°44'55"	96°50'20"	8.16		6	29	40	AGRICOLA
COP-Z-202	Cuilaipan de Guerrero	Barrio San Lucas	POZO	ACTIVO	16°58'24"	96°46'01"	NPS		6	16	39	AGRICOLA

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

**ANEXO IV.2**  
**Datos de evolución del N.E. (1984-2001)**

**Valle Zimatlán**

Clave del aprovechamiento	TACSA (1984)	COPEI (2001)	EVOLUCIÓN
COP-Z-5	2.65	2.5	0.15
COP-Z-7	3.82	1.1	2.72
COP-Z-10	4	0.9	3.1
COP-Z-11	2.45	7.75	-5.3
COP-Z-16	4.25	5.9	-1.65
COP-Z-18	4.7	5.55	-0.85
COP-Z-20	3.75	2.2	1.56
COP-Z-23	3.18	1.35	1.83
COP-Z-25	5.61	6.35	-0.74
COP-Z-31	4.75	4.8	-5
COP-Z-33	5.42	9.7	-4.28
COP-Z-34	4.55	10.8	-6.25
COP-Z-40	7.34	8.4	-1.06
COP-Z-43	5.56	6.3	-0.74
COP-Z-47	4.82	4.4	0.42
COP-Z-50	4.25	2.7	1.55
COP-Z-54	4.48	5.4	-0.92
COP-Z-56	7.5	4	3.5
COP-Z-68	1.51	0	1.51
COP-Z-70	3.3	2.1	1.2
COP-Z-71	2.95	1.7	1.25
COP-Z-74	4.16	4.4	-0.24
COP-Z-80	2.37	2.45	-0.08
COP-Z-81	5	2	3
COP-Z-83	4.9	3.3	1.6
COP-Z-84	8.25	7.85	0.4
COP-Z-85	8.23	6.7	1.53
COP-Z-86	3.76	5.3	-1.54
COP-Z-89	2.9	1.8	1.1
COP-Z-91	2.45	0.2	2.25

Clave del aprovechamiento	TACSA (1984)	COPEI (2001)	EVOLUCIÓN
COP-Z-92	4.8	6.45	-1.65
COP-Z-93	4.1	5.6	-1.5
COP-Z-94	4.8	6.5	-1.75
COP-Z-100	7	6.8	0.2
COP-Z-101	10.5	14.8	-4.3
COP-Z-104	5	2.6	2.4
COP-Z-106	5.75	1.4	4.35
COP-Z-107	3.83	6.45	-2.62
COP-Z-109	7.54	19.4	-11.86
COP-Z-110	11.5	10.45	1.05
COP-Z-125	2.05	2.1	-0.05
COP-Z-126	2	0.85	1.15
COP-Z-127	2.74	2.5	0.24
COP-Z-128	2.4	1.75	0.65
COP-Z-129	2.77	2.2	0.57
COP-Z-133	2.45	2	0.45
COP-Z-136	2.5	2.6	-0.1
COP-Z-142	3.47	5.6	-2.13
COP-Z-145	3.04	3.8	-0.76
COP-Z-152	3.9	5.2	-1.3
COP-Z-153	2.48	2.5	-0.02
COP-Z-154	2.8	2.6	0.2
COP-Z-158	2.76	3.05	-0.29
COP-Z-159	3	3.6	-0.6
COP-Z-175	3.48	2	1.48
COP-Z-177	3.1	2	1.1
COP-Z-180	2.44	0.9	1.54
COP-Z-184	2.77	0.9	1.87
COP-C-21	3.5	8	-4.5
COP-C-23	2	8.74	-6.74

