



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DE LA
MICROCUCNCA TILQUIAPAM – OCOTLAN EN EL
DISTRITO DE OCOTLAN DE MORELOS OAXACA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEÓLOGO

P R E S E N T A :

EFRAIN TOXTLI VARGAZ

DIRECTOR :

ING. ALBERTO ARIAS PAZ

MÉXICO D.F.

2006





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
60-I-715

SR. EFRAÍN TOXTLI VARGAZ
Presente

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:

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA MICROCUENCA TILQUIAPAN-OCOTLÁN EN
EL DISTRITO DE OCOTLÁN DE MORELOS, OAXACA**

	RESUMEN
I	GENERALIDADES
II	MARCO GEOLÓGICO
III	HIDROGEOLOGÍA
IV	INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
	BIBLIOGRAFÍA

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 30 de junio de 2005
EL DIRECTOR


M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*JAGC*gtg


DEDICO ESTE TRABAJO CON CARIÑO Y RESPETO A QUIENES ME APOYARON INCONDICIONALMENTE DURANTE TODA MI ETAPA DE ESTUDIANTE.

A MI MADRE EPIFANÍA VARGAS CHALCATL

A MI TIA CLARA EMIDIA HERNANDEZ

A MI TIA CASILDA VARGAS

A MI ESPOSA E HIJA

LETICIA VERA HERNANDEZ Y TANIA ESTEFANI

CON MUCHO CARIÑO A MIS HERMANOS

CLAUDIA CONCEPCIÓN

FLORA

JOSÉ

A MIS PRIMOS CON QUIENES COMPARTI MI ETAPA DE ESTUDIANTE.

GABRIELA CLAUDIA SOTO HERNANDEZ

JUAN ANTONIO SOTO HERNANDEZ

AGUSTIN SOTO HERNANDEZ

ASI COMO MIS DEMAS PRIMOS Y FAMILIARES QUE ME BRINDARON SU APOYO.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS

JOSE LUIS ARCOS HERNANDEZ

JOSE ANTONIO GONZALES RANGEL

ANGEL VALERO REYES

JOSE ALFREDO RAMOS LEAL

LAURA GIRON Y ADAN CASTRO

LULU GARCIA PEÑA

ALEJANDRO CARRILLO BAÑUELOS

JUAN CARLOS CRUZ OCAMPO

.AGRADECIMIENTOS.

AGRADEZCO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO POR HABERME BRINDADO LA OPORTUNIDAD DE ESTUDIAR UNA CARRERA PROFESIONAL

A LA FACULTAD DE INGENIERIA POR HABERME FORMADO COMO PROFESIONISTA

A LAS BIBLIOTECAS DE LOS INSTITUTOS DE GEOLOGIA Y GEOFISICA POR HABERME BRINDADO INFORMACIÓN

A LAS BIBLIOTECAS DEL EDIFICIO PRINCIPAL Y ANEXO DE INGENIERIA, A LA BIBLIOTECA CENTRAL POR HABERME DADO EL MATERIAL NECESARIO COMO ESTUDIANTE.

A LOS INGENIEROS JESUS MUÑOZ BARBOSA Y JOSE ANTONIO VILLAVICENCIO, QUIENES PARTICIPARON EN LOS TRABAJOS DE CAMPO EN ESTE ESTUDIO.

A LA ORGANIZACIÓN NO GUBERNAMENTAL (ONG) AHORA OCOTLAN POR LLEVAR A LA PRACTICA ESTE ESTUDIO.

AL PERSONAL DE LOS LABORATORIOS PETROGRAFICOS, MINERALOGIA Y MINERAGRAFIA QUE ME YUDARON A REALIZAR MIS PRACTICAS DE LABORATORIO.

A LOS OPERADORES DE LOS AUTOBUSES QUE ME LLEVARÓN A DIFERENTES PRACTICAS DE CAMPO.

AL DOCTOR RAFAEL HUIZAR ALVARES EN ESPECIAL POR LOS COMENTARIOS Y OBSERVACIONES SOBRE LOS TRABAJOS DE CAMPO DURANTE EL SERVICIO SOCIAL.

AL INGENIERO ALBERTO ARIAS PAZ POR DIRIGIR ESTE TRABAJO DE TESIS.

AL INGENIERO HECTOR L. MACIAS GONSALEZ, POR LAS OBSERVACIONES Y CORRECCIONES, MI MÁS SINCERO AGRADECIMIENTO.

A LOS INGENIEROS: EMILIANO CAMPOS MADRIGAL, MARTIN C. VIDAL GARCIA Y JOSE LUIS ARCOS HERNANDEZ, MIS MÁS SINCEROS AGRADECIMIENTOS POR EL APOYO, COMENTARIOS Y CORRECCIONES DE ESTA TESIS.

INDICE

PAGINA

Resumen	1, 2
---------------	------

CAPITULO I GENERALIDADES

I. 1 Introducción	3
I. 2 Antecedentes	4
I. 3 Objetivos.....	8
I. 4 Justificación	9
I.5 Metas	10
I.6 Método de trabajo.....	10
I. 7 Trabajo de campo	11
I. 8 Trabajo en gabinete	11
I. 9 Localización	12
I.10 Toponimia	12
I.11 Ficha demográfica	14
I.12 Población económicamente activa por sector	14
I.13 Vegetación	15
I.14 Vías de comunicación	16

CAPITULO II MARCO GEOLÓGICO

II.1 Provincias geológicas	17
II.2 Geomorfología	19
II.3 Marco geológico regional de la Sierra Madre del Sur	19
II.4 Estratigrafía.....	21
II.5 Precámbrico Pc (Gn)	21
II.6 Cretácico inferior Ki (Cz).....	22
II.7 Cretácico inferior Ki (lu - ar).....	22
II.8 Terciario inferior Ti Pa - Eo (Cg)	23
II.9 Terciario superior Ts Ol - Mi (An).....	24
II.10 Cuaternario Q (Al)	24
II.11 Marco tectónico regional.....	27
II.12 Evolución geológica	30

CAPÍTULO III HIDROGEOLOGÍA

PAGINA

III.1 Regiones hidrológicas	34
III.2 Clima	35
III.3 Precipitación media anual	37
III.4 Hidrografía	38
III. 5 Volumen medio anual de escurrimiento	40
III. 6 Cálculo de volúmenes de escurrimientos	41
III. 7 Censo de fuentes de abastecimientos hídricos pozos noria	42
III. 8 Censo de pequeños manantiales (ojos de agua).....	45
III.9 Exploración directa a través de catas ó pozos a cielo abierto sobre el cauce y márgenes del Río Ocotlán	47
III.10 Exploración directa a través de obras de observación (piloto) previamente construidas en diferentes parajes dentro de la microcuenca.....	48

CAPITULO IV INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN

IV.1 Interpretación de los resultados de los datos obtenidos en las exploraciones directas a través de catas ó pozos a cielo abierto	51
IV. 2 Interpretación de los resultados de los datos obtenidos en los censos de pozos tipo noria	51
IV.3 Interpretación de los datos obtenidos de los censos de pequeños manantiales	53
IV.4 Interpretación de los datos obtenidos de obras de observación (piloto) previamente construidas en diferentes parajes dentro de la microcuenca	54
IV.5 Propuesta	55
IV. 6 Planteamiento de la propuesta	56
IV. 7 Datos técnicos de proyecto represa de roca	57
IV. 8 Cálculo del volumen total de embalse de agua en el sistema de tres represas de roca	58
IV.9 Volumen mínimo anual de consumo de agua para el municipio de Ocotlán de Morelos Oaxaca	59
IV.10 Descarga del volumen disponible.	59
IV.11 Panorama que servirá para distinguir los efectos antes y después de la recarga	61

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	PAGINA
V. 1 Conclusión de la primera obra en la primera etapa	62
V. 2 Conclusiones	64
V. 3 Recomendaciones	65

APENDICE

Ciclo hidrológico	66
Agua freática	66
Infiltración	67
Acuíferos	67
Acuíardos	67
Acuícludos	67
Acuífugos	67
Porosidad	67
Porosidad total	68
Porosidad eficaz	68
Permeabilidad	68
Tipos de acuíferos	69
Acuífero libre	70
Acuífero confinado o cautivo	70
Acuífero colgado	70
Definición de cuenca	71
Cuencas arreicas	71
Cuencas criptorreicas	71
Cuencas endorreicas o lacustres	71
Cuenca exorreica	71
El concepto de cuenca hidrográfica	71
Clasificación de cuencas por su extensión	73
Zonas que integran la cuenca	74
Parteaguas	74
Área de la cuenca	74

BIBLIOGRAFIA

75, 76, 77, 78

RESUMEN.

El municipio de Ocotlán Morelos Oaxaca se encuentra ubicado en la Provincia Geológica Terreno Oaxaca al sureste del valle grande Zimatlán Zaachila y a 40 minutos de la capital del estado.

Cuenta con 18,183 habitantes. Tiene un desabasto de agua potable de 300 m³ al día durante el estiaje, y sus datos de explotación media anual son;

Volumen mínimo anual = 972 000 m³, Extracción anual en norias 918 000 m³, Déficit durante el estiaje 54 000 m³

Además existe un decreto de veda en los Valles Centrales Zimatlán Zaachila, Ocotlán, Etlá, Tlacolula, cuyo decreto fue publicado en el **(Diario Oficial de la federación con fecha 25 de Septiembre 1967)**. Por lo que no existen concesiones para la explotación y abastecimiento de agua para uso domestico.

Estudios realizados de Comisión Nacional del Agua **(CNA 2002)** indican que la disponibilidad media anual de aguas subterránea en el acuífero denominado Valles Centrales, Etlá, Tlacolula y Zimatlán, Zaachila Ocotlán, es igual a un déficit de **18,167, 775 m³/ año.**

Como se podrá observar, la cifra indica que no existe volumen disponible para futuras concesiones en la unidad hidrogeológica denominado Acuífero Valles Centrales.

La provincia geológica del terreno Oaxaca en el cual se encuentra emplazada el área de estudio, juega un papel importante en cuanto a la hidrogeología se refiere.

El basamento precámbrico de la columna estratigráfica son rocas metamórficas impermeables. Le sobreyacen en discordancia erosional, rocas magmáticas terciarias de muy baja permeabilidad que forman acuitardos.

Encima de los depósitos magmáticos se encuentra descansando un horizonte de material aluvial cuaternario, que varía su espesor de 60 – 100 m en el centro del valle para el área de Zimatlán Zaachila, y en los bordes 0.20 m. Por otro lado, en las márgenes del Río Ocotlán se encontraron espesores de 12 a 15 m de material aluvial que forma el acuífero libre.

Estos depósitos aluviales son los más importantes dentro de los Valles Centrales, puesto que constituyen el acuífero libre del cual se abastecen aproximadamente 500,000 habitantes de los Valles Centrales. Por lo que este acuífero libre se encuentra sobre explotado de tal forma que en algunas poblaciones está totalmente abatido.

Con base a las necesidades presentes de escasez de agua se planteó un Estudio Integral Sustentable de Regeneración y Conservación de Microcuenca, que consiste en la recarga del acuífero libre que deberá resolver el problema de déficit de agua dentro de esta área.

La participación social de las poblaciones o Municipios que interactúan dentro de la zona, serán las que protagonicen su propio desarrollo sustentable a través de la regeneración y conservación de microcuenca para la obtención de sus propios recursos naturales.

Debido al grave problema existente del acuífero libre casi seco dentro de la microcuenca Tilquiapam Ocotlán, se planteó su recarga a mediano plazo, a través de la construcción de un sistema de 3 represas de roca emplazados en una longitud de 1km, separadas a cada 350 m. Sobre el cauce del Río Ocotlán.

El sistema deberá embalsar 67,500 m³ de agua durante las lluvias (estación de verano) para uso domestico y aportar un gasto de 300 m³ diario durante los 6 meses que dura el estiaje, además el sistema mantendrá saturado el material aluvial en las márgenes y la base del cauce del río y como consecuencia elevará el nivel freático. Este sistema se implantará en 6 arroyos principales que drenan al valle dentro de la microcuenca para ayudar a la recarga del acuífero libre en general, como primera etapa del proyecto.

Acompañado de las siguientes acciones como la construcción de: represas con gaviones, jagüeyes, estanques rústicos, terrazas con mampostería, bordos a nivel en parcelas y reforestación con plantas nativas de la región para el control de la erosión y regeneración de suelos.

Estas actividades llevadas a cabo simultáneamente o por etapas en un plazo de 3 - 5 años, ayudarán a recargar el acuífero libre, paulatinamente hasta llegar al equilibrio hidroambiental, solucionando el problema de la escasez de agua dentro de la microcuenca Tilquiapam - Ocotlán.

Hasta la fecha (**Octubre del 2005**) se ha concluido con la primera obra de un sistema de 3 represas de roca, dentro de la primera etapa, lo cual empieza arrojar los primeros resultados positivos de recarga del acuífero libre dentro de la microcuenca.

CAPITULO I GENERALIDADES

I.1 INTRODUCCIÓN.

En el distrito de Ocotlán de Morelos Oaxaca el abastecimiento del vital líquido cada vez se hace más deficiente, dado que en todo el Valle Grande Zimatlán Zaachila, Ocotlán, Etlá, Tlacolula cuyo decreto de veda fue publicado en el **(Diario Oficial de la federación con fecha 25 de Septiembre 1967)**, sin embargo los esfuerzos que se han realizado por las dependencias federales como CNA, SEMARNAT, así como los gobiernos Estatales y Municipales para solucionar la escasez de agua, se han visto rebasados, **(ver foto I.1)**.

Los factores que han contribuido a este desequilibrio hidroambiental en gran parte ha sido la mano del hombre a través de sus acciones como son: tala desmesurada de árboles, desmonte para ganar terrenos de cultivo, sobrepastoreo de ganado, sobreexplotación de grava, arena, arcillas en el cauce del Río Ocotlán, así como el crecimiento de las poblaciones adyacentes.

Por estas razones hace falta realizar verdaderos esfuerzos a través de la conscientización **(educación ambiental)** y participación social de las personas que interactúan dentro de la microcuenca.



Foto I.1 Abastecimiento de agua a través de la compra, de pipas en condiciones desfavorables e insalubres (abril 2005).

I-2 ANTECEDENTES.

Antes de iniciar el estudio de la microcuenca se revisaron varios trabajos de los Valles Centrales: Etlá, Tlacolula y Zimatlán Zaachila, realizados por instituciones federales, organizaciones no gubernamentales (O. N. G) y diversas empresas particulares que han realizado estudios a C. N. A.

A continuación se presenta un resumen de los siguientes estudios realizados por diversas empresas e instituciones, para mayor información se citan las fuentes de estos trabajos en la bibliografía.

- **DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO VALLES CENTRALES 2002. TRABAJO REALIZADO PARA C. N. A. POR COPEI INGENIERÍA, MÉXICO.**

El cálculo establecido para la disponibilidad de las aguas subterráneas en los valles centrales del estado de Oaxaca se estableció de acuerdo a la norma oficial Mexicana NOM – 011 – CNA - 2000 que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, de acuerdo a la siguiente expresión.

Disponibilidad media de Aguas Subterránea en una unidad hidrogeológica (**A**) = Recarga total Media anual (**B**) – Descarga natural comprometida (**C**) – Volumen concesionado de agua subterránea (**D**).

Recarga total media anual = B (110. 3 Mm³/año)

La recarga total media anual corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural más la recarga inducida. En este caso es la suma de la recarga vertical y las entradas horizontales.

Descarga natural comprometida.

La descarga natural comprometida, se cuantifica mediante mediciones de los volúmenes de agua procedentes de los manantiales o de caudal basé de los ríos alimentado por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial así como las salidas subterráneas que de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes. Para el caso de la zona estudiada la descarga natural comprometida se considera prácticamente nula. Para este caso es el volumen que actualmente sale como flujo subterráneo y asciende a = **C (7.9 Mm³/año)**

Volumen concesionado de aguas subterráneas

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la subdirección general de administración del agua, al 30 de abril del 2002, es = **D (120,567,775 m³/ año)**

Disponibilidad de aguas subterráneas.

La disponibilidad de aguas subterráneas conforme a la metodología indicada en la norma referida se obtiene de restar el volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA.

Resolviendo la ecuación queda.

$$A = B - C - D$$

$$A = - 18,167,775 \text{ m}^3/\text{año}$$

De acuerdo con los resultados de la ecuación, la cifra indica que no existe volumen disponible para futuras concesiones en la unidad hidrogeológica denominado Acuífero Valles Centrales.

- **CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL (CIIDIR), UNIDAD OAXACA 2003 PRESENTA EL SIGUIENTE ESTUDIO.**

Trabajos de Geología regional y de geofísica de 15 sondeos eléctricos verticales (S. E. V.), usando el método de Schlumberger, con el que se realizó la interpretación de las curvas de resistividad a través del modelado directo en ID. Correlacionado con los cortes litológicos de pozos profundos se obtuvo un modelo conceptual

Este acuífero intermontano es de tipo granular constituido por arenas gravas y en algunos sitios con intercalaciones de lentes arcillosos que reducen la transmisibilidad, el espesor de la zona no saturada es en promedio de 10.00 m. Mientras que la geometría de la zona saturada es de forma irregular interpretándose “**valles y elevaciones**” cuya profundidad en los valles es de 130 m y en las partes altas 20.00 m. Siendo el basamento geohidrológico rocas Precámbricas, con cierto grado de fracturamiento.

Las cargas hidráulicas indican que el flujo subterráneo tiene una dirección preferencial de Norte a Sur cuyas velocidades mayores se ubican en la zona de recarga y en áreas ubicadas al Sur de este valle.

La calidad del agua subterránea en algunos sitios está fuera de los límites máximos permisibles para el consumo Humano (**Belmonte-Jiménez y colaboradores 2002**).

EN LA TABLA I.1 SE RESUME UN ESTUDIO REALIZADO POR PROYESCO EN LOS VALLES CENTRALES, OAXACA.

Estudio realizado por PROYESCO, S. A. Para CNA. MÉXICO 1979	Valle Etla	Valle Tlacolula	Valle grande Zimatlán Zaachila
Unidades acuíferas	40 y 50 m espesor	60 y 100 m espesor	50 y 60 m espesor
Volumen de extracción	5.5 Mm ³ /año	8.5 Mm ³ /año	17.5 Mm ³ /año
Nota. Recarga total en los 3 valles 53.5 Mm³/año.	Nota. Recarga total en los 3 valles 53.5 Mm³/año.	Nota. Recarga total en los 3 valles 53.5 Mm³/año.	Nota. Recarga total en los 3 valles 53.5 Mm³/año.
Volumen disponible	5.36 Mm ³ /año, 170lps	No hay datos	470 lps
Análisis químico de 92 muestras en los 3 valles.	Cálcico-bicarbonatado Magnesio-bicarbonatado	Cálcico-bicarbonatado Sódico-bicarbonatado	Sódico - bicarbonatado
Censo de 718 alumbramientos en total en los tres valles.	105 Pozos, 600 norias, 12 galerías filtrantes y 1 manantial, en los 3 valles	105 Pozos, 600 norias, 12 galerías filtrantes y 1 manantial, en los 3 valles	105 Pozos, 600 norias, 12 galerías filtrantes y 1 manantial, en los 3 valles

Tabla I. 1 Estudio para determinar las fuentes recomendables para el abastecimiento de agua potable en la Ciudad de Oaxaca CNA 1979

RESUMEN DE UN ESTUDIO REALIZADO POR GEOCA EN LOS VALLES CENTRALES OAXACA, TABLA I.2.

Estudios realizados por GEOCA, S. A. para CNA. México 1980	Valle Etla	Valle Tlacolula	Valle grande Zimatlán Zaachila
Análisis químico. Numero de muestras, no determinados	Cálcico bicarbonatado Magnesio bicarbonatado	Cálcico bicarbonatado Sódico bicarbonatado	Sódico bicarbonatado
Sólidos totales disueltos en los 3 valles	Promedio aritmético 851ppm	Promedio aritmético 500 y 700 ppm	Promedio aritmético 851ppm

Unidades acuíferas	Calizas, dolomías	Basaltos andesíticos, tobas	Basaltos andesíticos conglomerados arenas arcillas, tobas
---------------------------	-------------------	-----------------------------	---

Tabla I. 2 Estudios de las condiciones hidrológicas del Valle de Tlacolula y alrededores CNA 1980

RESUMEN DE UN ESTUDIO REALIZADO POR TACSA EN LOS VALLES CENTRALES OAXACA, TABLA I.3

Estudios realizados por TACSA para CNA México 1984	Valle Etna	Valle Tlacolula	Valle grande Zimatlán Zaachila
Recarga efectiva del acuífero en valles centrales.	20.22X10 ⁶ m ³ / año	Sin datos	40 X 10 ⁶ m ³ / año
Descarga Total	12.6 X10 ⁶ m ³ /año	Sin datos	5.0 X 10 ⁶ m ³ / año
Volumen de extracción de agua	10.8 X10 ⁶ m ³ /año	7.58 X 10 ⁶ m ³ / año	Sin datos
Volumen disponible	7.6 X 10 ⁶ m ³ / año	Sin datos	35.0 X 10 ⁶ m ³ / año

Tabla I.3 Estudio Geohidrológico preliminar del valle de Etna, CNA 1984

RESUMEN DE UN ESTUDIO REALIZADO POR COPEI EN LOS VALLES CENTRALES OAXACA, TABLA I.4

Estudio realizado por COPEI Ingeniería, México Para C. N. A. 2001	Valle Etna	Valle Tlacolula	Valle grande Zimatlán Zaachila
Recarga por flujo horizontal Subterráneo.	27 X 10 ⁶ m ³ / año	22X 10 ⁶ m ³ / año	11.8 X 10 ⁶ m ³ / año
Descarga por flujo horizontal Subterráneo.	3.2 X 10 ⁶ m ³ / año	5.8 X 10 ⁶ m ³ / año	7X 10 ⁶ m ³ / año
Volumen de extracción por bombeo	15.58 Mm ³ / año	3.22 Mm ³ / año	52.5 Mm ³ / año

Profundidades en los pozos	30 – 76 m pozos 10 – 15m norias	35 – 80 m pozos 10 – 18 m noria	15– 119 m pozos 10 – 15 m norias
Nota. Censo de aprovechamientos en los 3 valles	394 En total, 382 Activos Nota, en los 3 valles	394 En total, 382 Activos Nota, en los 3 valles	394 En total, 382 Activos Nota, en los 3 valles
Nota. Análisis químico de 90 muestras en general , en los 3 valles	Enriquecimiento de Sodio con respecto al Cloro	Deficiencia de carbonato de magnesio al bicarbonato de calcio	Enriquecimiento de Sodio por la presencia de Alita
Arsénico por encima de la norma, norma permitida = 0.025	No hay datos	As = t- 53 (0.028mg/l) As = t- 8 (0.036mg/l) Mn = mayor a la norma permitida	No hay datos

Tabla I.4 Estudio de actualización geohidrológico del acuífero de Valles Centrales CNA 2001

I.3 OBJETIVOS.

- Realizar un estudio integral para el desarrollo sustentable de la microcuenca y la obtención de 300 m³ de agua diario para uso domestico durante los 6 meses de estiaje, a través de la construcción de un sistema de tres represas de roca emplazadas sobre el Río Ocotlán en una longitud de 1km, que embalsara 67,500 m³ de agua. **Ver (fig. I.1)**
- El sistema de represas de roca se aplicará en otros 6 arroyos importantes en las partes altas dentro de la microcuenca, con la finalidad de obtener más agua para uso domestico, recargar el acuífero libre, recargar los manantiales (pequeños ojos de agua) y elevar el nivel freático en los pozos noria. Estas actividades se reforzaran con prácticas mecánica de suelos que consiste en la construcción de: bordos a nivel en parcelas, anillos de captación, construcción de represas con gaviones y reforestación con plantas nativas de la región.
- Involucrar de una forma participativa y conscientizar a los habitantes que interactúan dentro de la microcuenca, llámese comunidades, pueblos, municipios ó distritos, para que puedan plantear su propio desarrollo a través de proyectos integrales sustentables que ayuden a elevar y mejorar la calidad e índice de vida sobre todo en pueblos altamente marginados.

I.4 JUSTIFICACIÓN

Hace falta realizar estudios integrales sustentables en el que la participación social de las poblaciones sean las que protagonicen su propio desarrollo sostenible a través de la regeneración y conservación de microcuencas para la obtención de sus propios recursos naturales renovables como el agua.

El presente trabajo de tesis utiliza el concepto de micro cuenca, por su división natural de áreas muy locales que facilitan su manejo en el trabajo y estudio de regeneración y conservación del medio ambiente, facilita la organización de los pueblos, la conscientización y capacitación para solucionar sus propios problemas como la escasez de agua, que surge como una necesidad de sus habitantes.

RECARGA DE UN AGUIFERO LIBRE

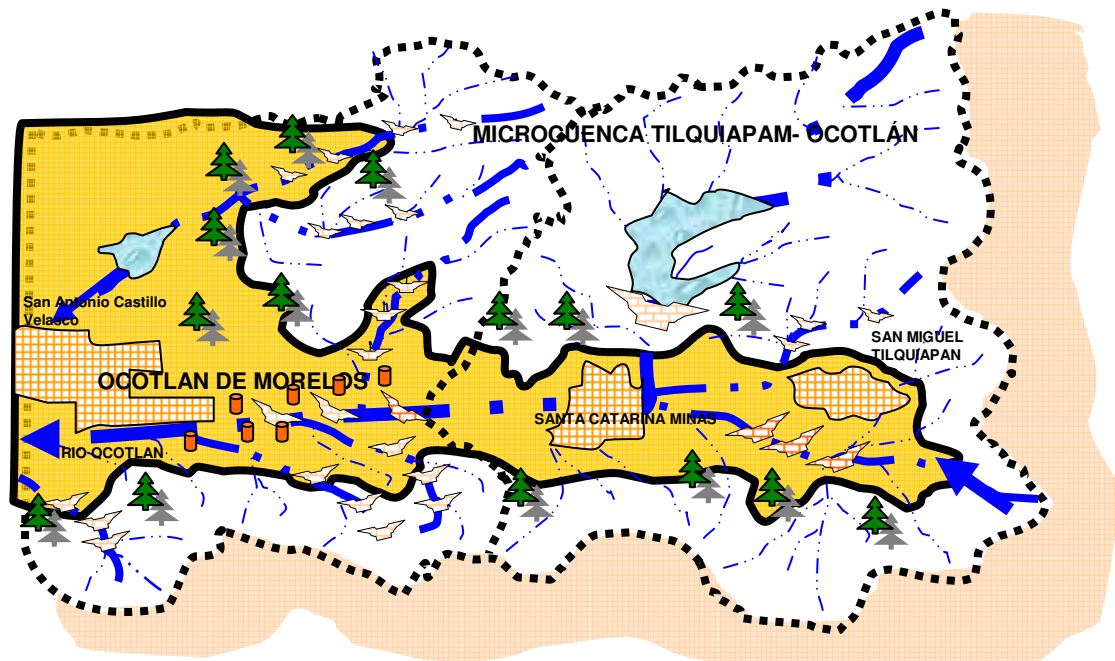
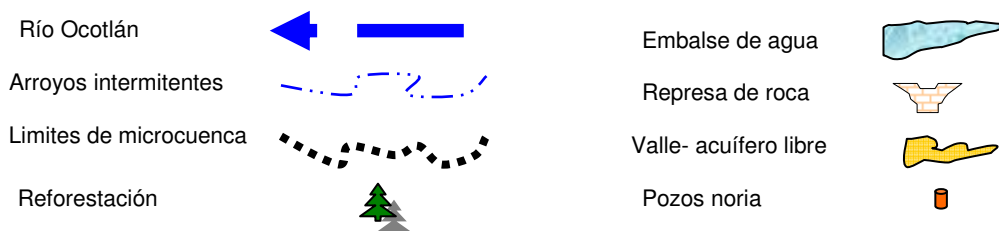


Figura No I.1 Diagrama de un modelo de recarga en un acuífero libre, a través de sistemas de represas, estanques rústicos y jagüeyes para la conservación y regeneración de la microcuenca. Que permite generar recursos naturales como el agua y el desarrollo sustentable de las poblaciones que interactúan en ella.



I.5 METAS

- Construir un sistema de 3 represas de roca sobre el Río Ocotlán dentro de una longitud de 1 km, separadas a 350 m, para embalsar 67,500 m³ de agua, al que deberá recargar el acuífero libre y elevar el nivel freático en los pozos; el sistema producirá 300 m³ de agua diario en épocas de estiaje. Este sistema beneficiará directamente a los pozos noria del municipio y particulares que se encuentran emplazadas en material granular en las márgenes del Río Ocotlán.
- El sistema de represas, se implantará al menos en otros 6 arroyos importantes dentro de la microcuenca, se reforzara con la construcción de estanques rústicos ó jagüeyes, anillos de captación, bordos a nivel en parcelas y reforestación con plantas nativas de la región. Con la finalidad de obtener más agua, garantizar la recarga del acuífero libre y recarga de los pequeños manantiales ojos de agua, estos trabajos están contemplados para realizarse a corto plazo de 1 - 3 años en su primera etapa.

I.6 MÉTODO DE TRABAJO.

Este trabajo se inició con el encuentro de una asociación civil de nombre **AHORA OCOTLAN** interesado por el medio ambiente, con base en Ocotlán de Morelos Oaxaca. A este grupo de personas se le propuso el estudio de microcuenca en el cual se encuentra emplazado su municipio, se planteo un proyecto integral para el desarrollo sustentable dentro de la microcuenca en donde los principales factores son: La escasez de agua, contaminación del medio ambiente por descargas de aguas negras al intemperie y la basura, deforestación y erosión en la zona de recarga. Se realizaron varias reuniones con habitantes de la población y autoridades, simultáneamente con los recorridos de campo, el propósito de las reuniones fue para convocar a más personas, otras asociaciones civiles, consientizarlos y hacerlos participativos.

Se consultaron diversos trabajos de hidrogeología realizados por contratistas y dependencias federales así como la recopilación bibliográfica de la zona en estudio, artículos de investigación científica publicado por la UNAM. Consulta de diversas publicaciones en las bibliotecas de los Institutos de Geología, Geofísica y Geografía de la UNAM (**Ver tabla I.5**)

Se consultaron las siguientes cartas temáticas editadas por INEGI: Carta geológica Zaachila, carta hidrológica de aguas superficiales, carta geohidrológica de aguas subterráneas con clave, E14-12, escala 1:25000, cartas topográficas Tlacolula de Matamoros E14D58, Villa de Zaachila E14D57, Santa Maria Zoquitlán E14D68 (www.inegi.gob.mx)

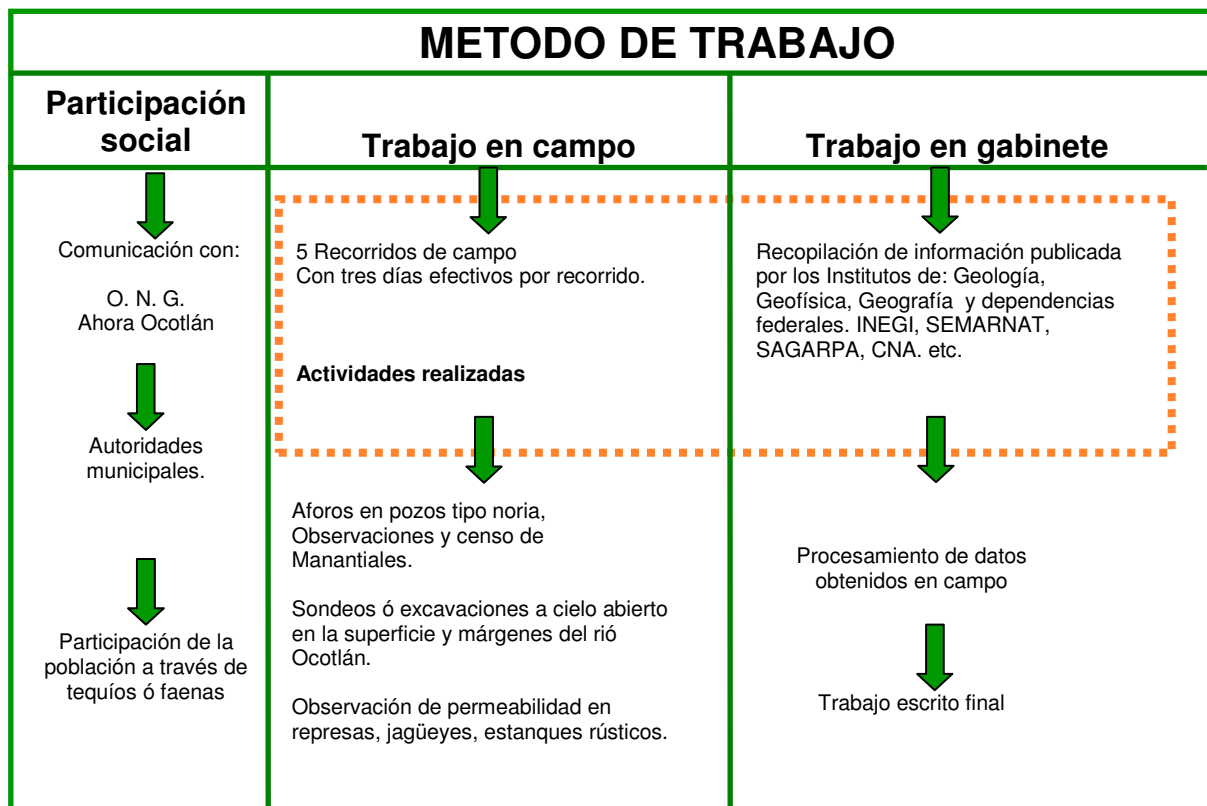


Tabla I.5. Método de trabajo

I.7 TRABAJO DE CAMPO.

Se realizaron 5 recorridos de campo con 3 días efectivos en cada salida, en el que participaron las siguientes personas: un ingeniero civil, un ingeniero agrónomo, un ingeniero geólogo y un biólogo, acompañados por varias personas y autoridades de la población.

Durante los recorridos de campo se realizó un censo de los aprovechamientos hídricos, de pozos, norias y manantiales, no fue posible realizar pruebas de bombeo por tratarse de un acuífero libre agotado.

Se realizaron exploraciones directas a través de sondeos con retroexcavadora a cielo abierto en el cauce del río Ocotlán, en las márgenes y bordes del valle a pico y pala.

Se construyeron pequeños estanques rústicos, jagüeyes y represas, para observación directa de la capacidad de retención de agua y permeabilidad de los materiales en la que se encuentran emplazadas estas estructuras.

Todos los puntos de interés fueron Georeferenciados con Geoposicionador Satelital, conocido como **(GPS)** y cartografiados.

El ingeniero Agrónomo y el Biólogo se encargaron de tomar muestras de suelos, datos de cultivos, clasificación de plantas.

Al final de cada jornada de campo, se hacía una reunión con los representantes de las cuatro disciplinas que participaron en este estudio de microcuenca, para hacer observaciones de los trabajos realizados en campo.

I.8 TRABAJO EN GABINETE.

Toda la información que aportaron las cuatro disciplinas se procesó en gabinete para conjuntarlo en un trabajo integral de microcuenca.

La información obtenida en campo se vació en cartas topográficas, se hicieron algunos diagramas, se anexaron fotografías representativas del trabajo de campo y se capturaron los reportes de las cuatro disciplinas para integrar un trabajo escrito final (**ver tabla I. 5**).

Nota. Para este trabajo de tesis, se restringe a datos de hidrogeología.

I.9 LOCALIZACIÓN

El distrito de Ocotlán de Morelos Oaxaca se localiza en la parte central del estado, en la región de los valles centrales, en las coordenadas (1859000 N, 749000 E) de longitud este y de latitud norte, a una altura de 1,500 metros sobre el nivel medio del mar, como se muestra en la figura **fig. I.2**

Limita al norte con los municipios de Santa Ana Zegache, San Martín Tilcajete, San Juan Chilateca, San Antonio Castillo Velasco, Santiago Apóstol; al sur con Ejutla de Crespo; al oriente con Santa Catarina Minas, San Dionisio Ocotlán, San Pedro Mártir, Asunción Ocotlán, San Pedro Apóstol y Magdalena Ocotlán; al poniente con Santa Inés Yatzeche y Santa Gertrudis. Su distancia aproximada a la capital del estado es de 32 kilómetros.

La extensión territorial del municipio es una superficie de 123.76 kilómetros cuadrados y la superficie del municipio en relación al estado es del 0.13 %.

Datos tomados de (www.e-local.gob.mx Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Oaxaca 2002)

I.10 TOPONIMIA.

Ocotlán significa: Junto a, o entre los Ocotes; se forma con las voces Ocotl, ocote o pino y Tlan, lugar. Lleva el nombre de Morelos en honor a don José María Morelos y Pavón.

Para los antiguos pobladores Ocotlán tenía un solo significado que daban las siguientes voces el lugar de ocotes y junto o entre los ocotes. El significado proviene de las voces ocotl: ocote (pino), árbol de la tea y tlan: lugar de, junto de o entre de.

En un inicio tuvo el nombre de Santo Domingo Ocotlán debido a la llegada de los frailes dominicos a la región (esto fue en la víspera de la celebración del santo en el

año de 1555), motivo por el cual se le nombró santo patrón a Santo Domingo de Guzmán.

Posteriormente durante la época de Independencia, las fuerzas armadas del caudillo, Generalísimo don José María Morelos y Pavón en su viaje hacia Acapulco, acamparon en el jardín de la población de Ocotlán durante 3 días. En memoria de este caudillo, los habitantes nombraron a la población Ocotlán de Morelos.

Existen otras versiones sobre su significado en lengua zapoteca en la cual se conocía al poblado como Lachiroo, que significa: Valle Grande; los zapotecas de Tlacolula le llamaban Guelache, que quiere decir: Plaza del Valle, tomado de, (www.e-local.gob.mx Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Oaxaca 2002)

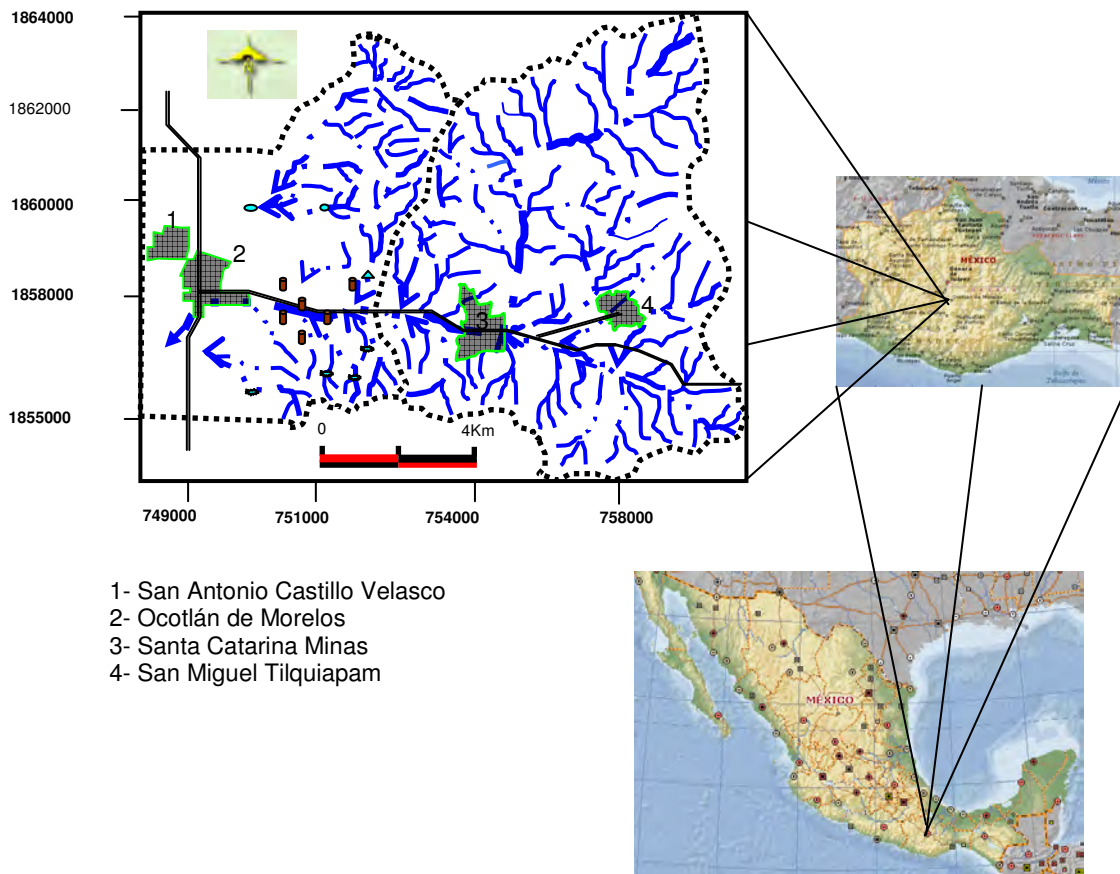


Figura I.2 Localización del área de estudio de la microcuenca Tilquiapam-Ocotlán en el distrito de Ocotlán de Morelos Oaxaca

I.11 FICHA DEMOGRÁFICA

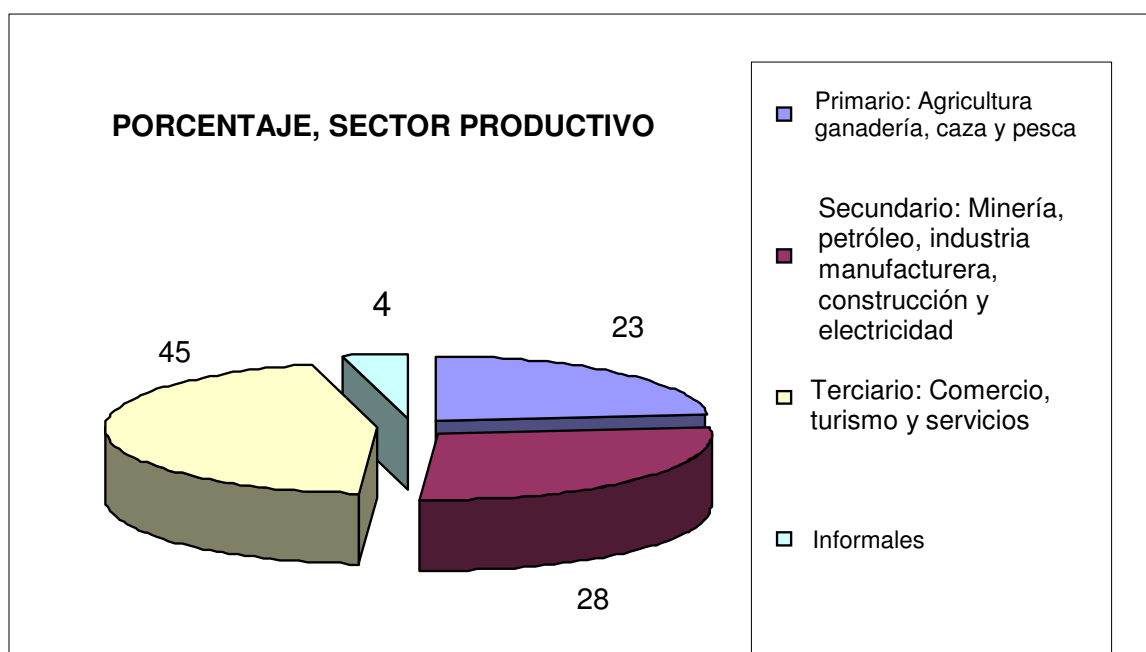
De acuerdo al XII Censo General de Población y Vivienda 2000 efectuado por el INEGI, la población total del municipio es de 18,183 habitantes, de los cuales 8,590 son hombres y 9,593 son mujeres. La población total del municipio representa el 0.53 por ciento, con relación a la población total del estado.

No se tiene un registro exacto de los migrantes que salen año con año a trabajar en otras ciudades del país y de Estados Unidos de Norteamérica. Tomado de, (www.e-local.gob.mx Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Oaxaca 2002)

I.12 POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA POR SECTOR

De acuerdo con cifras al año 2000 presentadas por el INEGI, la población económicamente activa del municipio asciende a 6,073 personas, de las cuales 6,009 se encuentran ocupadas y se presenta de la siguiente manera:

Sector	Actividades productivas	Porcentajes
Primario	Agricultura, ganadería, caza y pesca	23%
Secundario	Minería, Petróleo, Industria manufacturera, Construcción y Electricidad	28%
Terciario	Comercio, turismo y servicios	45%
Otros	Informales (Comercio ambulante)	4%



Tomado de, (www.e-local.gob.mx Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Oaxaca 2002)

I.13 VEGETACIÓN

Aunque en el territorio del municipio se ha afectado notoriamente la flora y la fauna debido al paso del hombre sobre la naturaleza, todavía se conservan algunas especies (sobre todo en los cerros que rodean al valle de Ocotlán) como las siguientes.

Flora

- Flores: penumbra, margarita, nube, cempazuchitl, azucenas, flor de gallo, girasol silvestre, flor de muerto, acahualt.
- Plantas comestibles: chepil, quintonil, hierba de conejo, tepiches, epazote
- Árboles: pino, eucalipto, jacarandas, mezquites, huisaches.
- Frutos: mango, guayaba, granada, limón, mandarina, lima, toronja
- Plantas exóticas y para decoración: no se conocen
- Plantas medicinales: poleo, manzanilla, romero, estafiate, árnica, toronjil, albahaca, Hierba maestra, ruda
- Otras especies vegetales: nanacates (hongos comestibles, pequeños y de color café).

I.14 VÍAS DE COMUNICACIÓN

Las principales rutas de acceso al área de estudio son: carretera federal No 190 (Carretera panamericana) que comunica a las ciudades de Chiapas, Oaxaca y Puebla con el Distrito Federal capital de la República Mexicana, la autopista Cuacnopala – Oaxaca, que comunica a la ciudad de Oaxaca, Puebla y el Distrito. Existía anteriormente un ferrocarril conocido como la línea del Sur que comunicaba los Valles Centrales con Tehuacan Puebla y el Distrito Federal.

Ocotlán se encuentra comunicado con la capital del estado de Oaxaca por medio de la carretera federal número 175, esta misma carretera comunica a Ejutla de Crespo, Miahuatlán; mediante una brecha se comunica con Zimatlán de Alvarez; mediante una carretera pavimentada y de terracería se comunica con San Baltazar Chichicapam y Yaxe.

El municipio cuenta con una brecha, caminos revestidos y una carretera que comunica al norte con San Juan Chilateca y al sur con San Dionisio Ocotlán. **(Ver figura I. 2)**

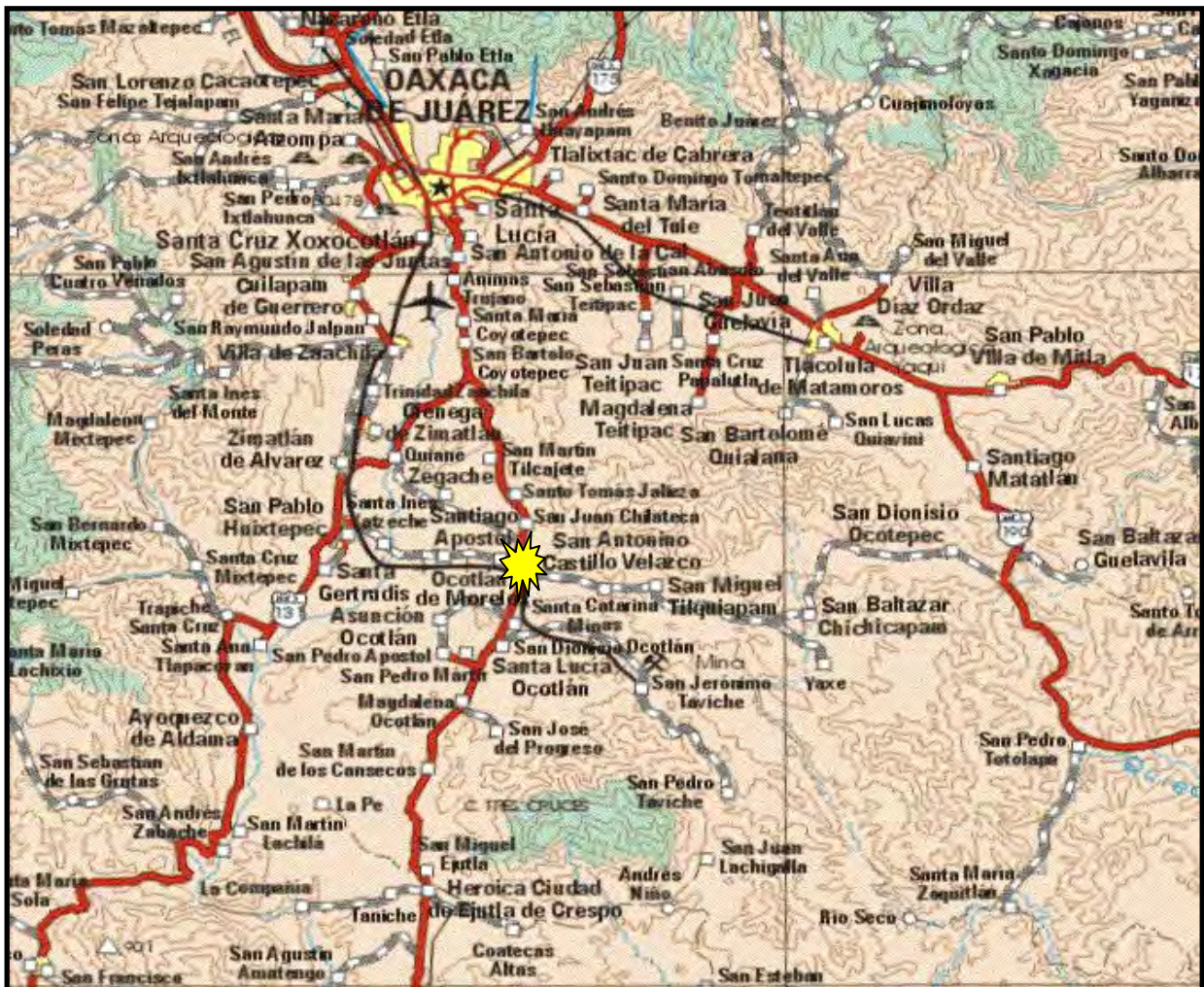


Figura I. 2 Vías de comunicación al Distrito de Ocotlán de Morelos Oaxaca.

Ocotlán de Morelos Oaxaca



CAPITULO II

MARCO GEOLÓGICO

II.1 PROVINCIAS GEOLÓGICAS

El estudio hidrogeológico de la microcuenca Tilquiapam Ocotlán se encuentra ubicado en **La Provincia Geológica, Terreno Oaxaca**. De acuerdo con la carta geológica de la Republica Mexicana, escala 1:2,000,000 editado por el Instituto de Geología UNAM elaborado por los siguientes investigadores.

(Ortega Gutiérrez, Mitre-Salazar, Roldan-Quintana, Aranda-Gómez, Morán-Zenteno, Alaniz-Alvarez, Nieto-Samaniego 1992).

(Ver figura II.1). Distribución de terrenos tectonoestratigráficos.

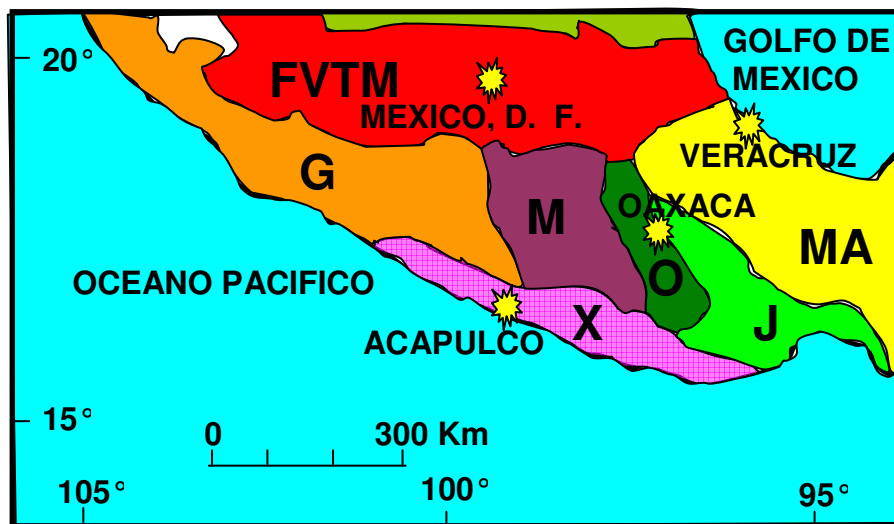


Figura II.1 Distribución de los terrenos tectonoestratigráficos tomado de (www.igefcu.unam.mx, Campa y Coney 1983).

El significado de de la nomenclatura en este mapa es: FVTM= Faja Volcánica Transmexicana, G= Terreno Guerrero, M= Terreno Mixteca, O= Terreno Oaxaca, J= Terreno Juárez, MA= Terreno Maya, X= Terreno Xolapa.

De acuerdo con la clasificación de provincias fisiográficas de **INEGI** el área de estudio se encuentra dentro de la Provincia Sierra Madre del Sur (**SMS**), subprovincia Sierras y Valles de Oaxaca **INEGI 1999 (Ver Figura II.2)**.

También conocido como Valle Grande Zimatlán Zaachila, Ocotlán de Morelos Oaxaca se encuentra a una altura de 1550 snmm emplazado en un valle compuesto por depósitos clásticos, cortado por el río del mismo nombre, rodeado de montañas de origen magmáticas terciarias de la Sierra Madre del Sur, con topografía abrupta y elevaciones de 2400 snmm.

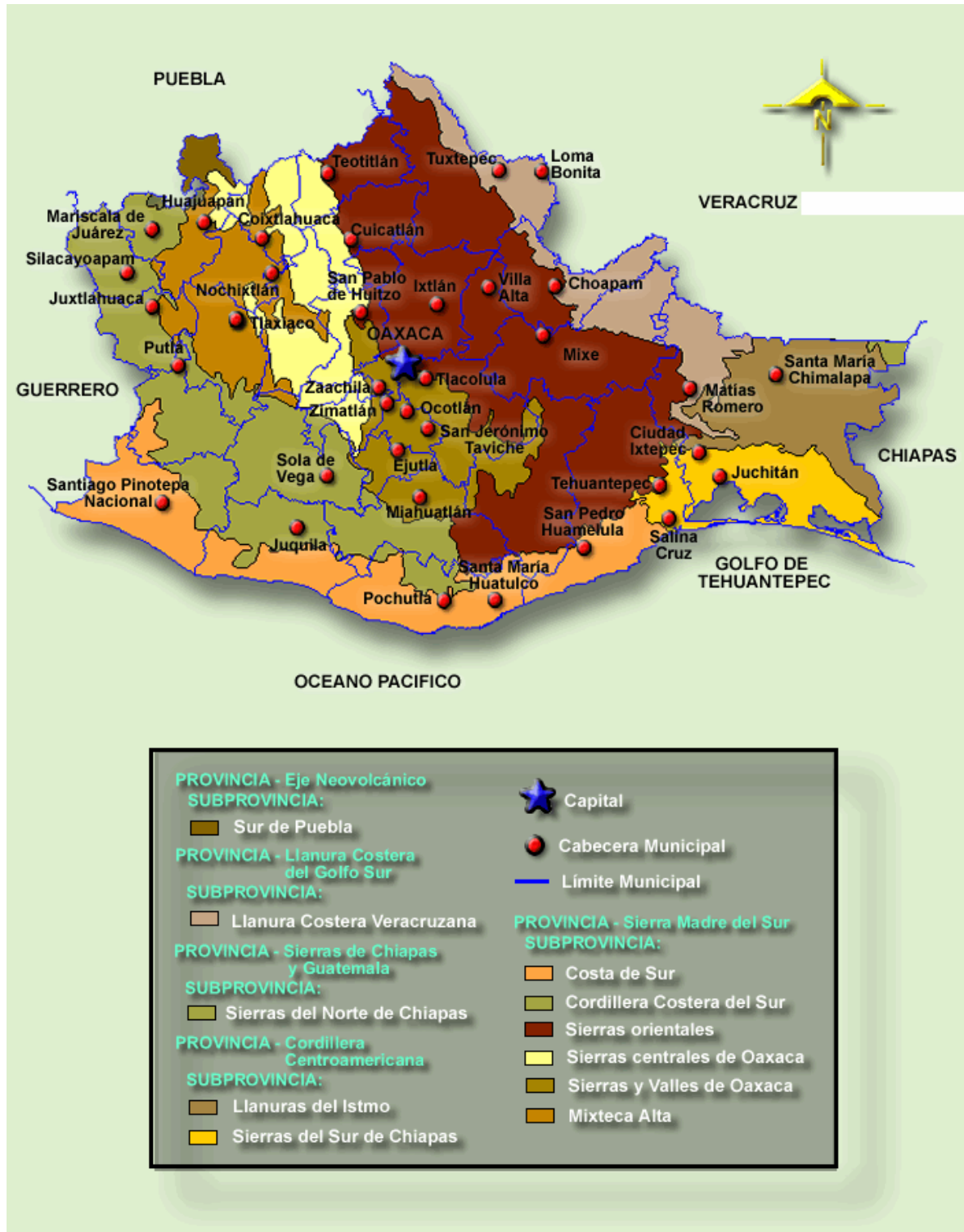


Figura II. 2 Provincias fisiográficas tomado de INEGI (www.inegi.gob.mx, 2005)

II.2 GEOMORFOLOGÍA.

En el área de estudio se distinguen cuatro elementos geomorfológicos principales que están representados por sus características litológicas y relieve topográfico. Las rocas precámbricas del complejo Oaxaqueño (Terreno Oaxaca) se encuentran subyaciendo a las rocas magmáticas de **La Sierra Madre del Sur**. Aflora en los bordes hacia el noroeste y suroeste de los Valles y Sierras de Oaxaca, adyacente al área de estudio, presentan una topografía suave de 1900 snmm, son rocas metamórficas compuestas principalmente de gneis, paragneis, ortogneis y gabroide anortositico (**Ortega- Gutierrez1981**).

El más representativo por cubrir la mayor parte del área de estudio está compuesto por rocas magmáticas de origen volcánico del Terciario Oligoceno Mioceno afloran en la parte alta de la microcuenca (**Ferrusquia, I, 1976**) (**Dante J. Morán- Zenteno et al C. 2000**).

Estas rocas sobresalen por su relieve topográfico de 2400 msnm se encuentran escarpadas y fuertemente alteradas por flujos hidrotermales, e intrucionadas por diques granodioríticos.

Hacia el Este fuera del área de estudio se presentan rocas sedimentarias con un relieve topográfico suave subredondeado con 2000 msnm (Valle Tlacolula), estas rocas se encuentran fuertemente plegadas, están compuestas por calizas, lutitas areniscas, conglomerados.

El Valle en el que se encuentra emplazado Ocotlán de Morelos es una amplia llanura de forma alargada de Norte a Sur, adelgazándose al Este en las márgenes del río Ocotlán.

Presenta una altura topográfica de 1550 msnm sus principales componentes son depósitos clásticos continentales de conglomerados, arenas, limos, arcillas.

Su espesor varía de 15.00 a 12.00 m en las márgenes del río, disminuye hasta un 1.00 m en los bordes, de acuerdo con las exploraciones a cielo abierto.

Datos geofísicos rebelan que en las inmediaciones de Zaachila y Zimatlán se encontraron espesores de 130.00 y 20.00 m, en las partes profundas y en las partes altas dentro del valle, en la superficie 10.00 m de material granular no saturado. (**Belmonte-Jiménez S. , et al 2002**)

II.3 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL DE LA SIERRA MADRE DEL SUR.

Las rocas magmáticas terciarias de La Sierra Madre del Sur (**SMS**) se encuentran cubriendo un mosaico de basamentos con características petrológicas y estratigráficas contrastantes y afinidades tectónicas distintas (**Ortega Gutiérrez, 1981 Campa y Coney 1983**). De acuerdo a la división tectonoestratigráficas del sur de México de (**Campa y Coney 1983**), La provincia magmática terciaria de la (**SMS**) ocupa los terrenos Guerrero, Mixteca, Oaxaca y Juárez. Esta división es semejante y solo difiere en algunos detalles a la realizada por (**Sedlok et al 1993**). Los basamentos de los terrenos presentan una petrología heterogénea que se expresa en variaciones en sus características geoquímicas, en especial por sus firmas isotópicas de Sr y Nd (**Ruiz et al, 1988. Yañes et al, 1991, Centeno – García et al**

1993). Para los terrenos Acatlán y Oaxaca se han identificado asociaciones de rocas paleozoicas (**Complejo Acatlán Ortega - Gutiérrez, 1981; Yañes et al 1991**) y rocas precámbricas en el (**Complejo Oaxaqueño Ortega Gutiérrez 1981; Solari et al, 1998**). El terreno guerrero está formado por secuencias de arco, de las cuales afloran principalmente rocas del Cretácico Temprano, aunque han sido reportadas algunas secuencias del Jurásico Tardío (**Centeno - García et al, 1993**). La naturaleza del basamento del Terreno Guerrero, así como su relación estratigráfica y tectónica con los terrenos vecinos han sido objetos de debate (**Campa, 1978; De Cserna et al; 1978, Campa y Ramírez - Espinosa 1979; Campa y Coney, 1983, Lang et al, 1996**).

Es comúnmente aceptado que las secuencias mesozoicas del Terreno Guerrero están subyacidas en su porción occidental por secuencias deformadas de afinidad oceánica (**Centeno- García et al, 1993**) mientras que su margen oriental tiene indicios de contar con un basamento más antiguo de afinidad continental (**Elías-Herrera y Sánchez Zavala, 1990; Elías- Herrera y Ortega- Gutiérrez 1998**). Para los terrenos Xolapa y Juárez existe incertidumbre respecto a la edad de las rocas que los caracterizan. En el caso del complejo metamórfico, basamento del Terreno Xolapa, se han reportado edades de Rb - Sr y U - Pb que varían desde el Jurásico Medio al Eoceno (**Guerrero et al., 1978; Morán -Centeno1992; Herrman et al 1994**).

Las características petrográficas y geoquímicas de los terrenos preterciarios que forman el sur de México presentan variaciones que pueden permitir, eventualmente, la evaluación del papel que jugó la composición de la corteza continental y su situación tectónica en la diferenciación de los magmas terciarios del sur de México.

Las secuencias que forman el Terreno Guerrero, por ejemplo, presentan firmas isotópicas de Sr relativamente bajas y de ϵNd positivas indicando que los magmas fueron derivados de un manto primitivo, si se compara con aquellas de los Terrenos Acatlán, Xolapa y Oaxaca (**Moran - Zenteno), 1992; Centeno - García et al.1993**). Los valores iniciales típicos $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y ϵNd que representan las rocas ígneas Cretácicas del Terreno Guerrero Varían de 0.7034 a 0.7050 y de + 7.9 a +1.6 respectivamente (**Centeno - García et al., 1993; Talavera Mendoza et al 1995**). Los Complejos Acatlán, Oaxaqueño y Xolapa presentan en sus porciones ígneas o metaígneas relaciones isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y valores de ϵNd que típicamente varían de 0.7040 a 0.7500 y de + 3 a - 12, indicando un mayor componente de corteza continental antigua.

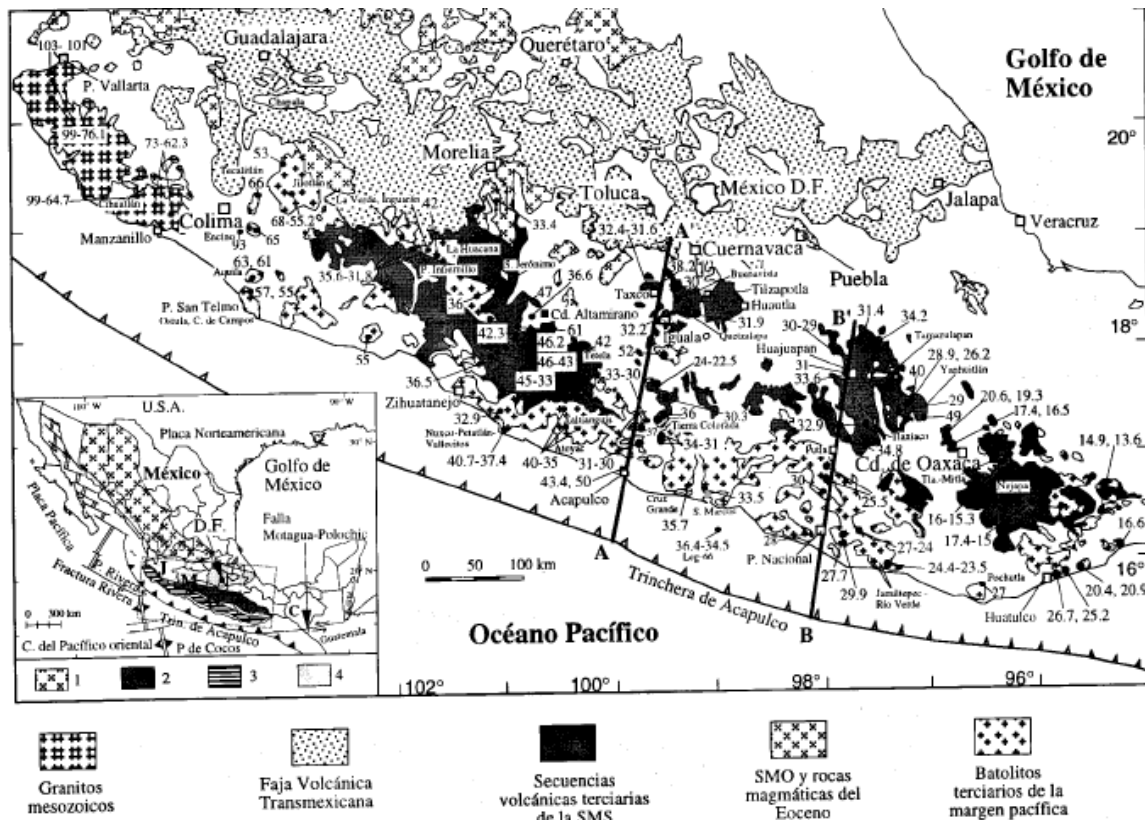


Figura II. 3 Tomado de www.igefcu.unam.mx, Mapa geológico esquemático del sur de México que muestra la distribución de las rocas magmáticas Terciarias. 1= Sierra Madre Occidental, 2=Secuencia Volcánica Terciaria de la SMS, 3= Batolitos de la margen Pacífica, 4= Faja Volcánica Transmexicana. J= Jalisco, M= Michoacán, G= Guerrero, O= Oaxaca, C= Chiapas, D. F.= Cd. De México.

II.4 ESTRATIGRAFÍA.

En el área de estudio se cartografiaron las rocas magmáticas terciarias que se encuentran dentro los límites de la microcuenca, otras formaciones no se lograron observar por encontrarse fuera del estudio pero se menciona ya que se encuentran reportadas en varios artículos de investigación científica y en diversos trabajos realizados por Instituciones Federales, ver (Tabla geológica II.1).

II.5 PRECÁMBRICO. Pc (Gn)

Gneis (Gn) con esta clave designan a las rocas del complejo Oaxaqueño que están constituidas de gneis bandeados, ortogneis, gabroide anortositico, en facies de anfibolita almandino y granulita, clase química cuarzo feldespática. Incluyendo charnoquitas, anortositas y pegmatitas.

(Fries y colaboradores 1962) llevaron a cabo estudios radiométricos del Complejo Oaxaqueño que dieron como resultado edades de (1100 – 900) millones de años, correspondientes al precámbrico, estos autores señalan que las pegmatitas y la última etapa de metamorfismo que afectó las rocas encajonantes son equivalentes a la provincia metamórfica Grenvilliana del oriente de Estados Unidos de Norte América y Canadá.

Las rocas del Complejo Oaxaqueño subyacen discordantemente a las calizas de la formación Teposcolula así como a la secuencia magmática de composición andesítica del Terciario (Oligoceno Mioceno). **Ortega y Gutiérrez (1981)** mencionan la relación de contacto tectónico del Complejo Oaxaqueño con las rocas del Complejo Xolapa.

II.6 CRETÁCICO INFERIOR Ki (Cz)

Esta unidad consiste de calizas masivas en capas mayores a un metro de espesor de textura mudston. Parcialmente recristalizado en ocasiones con nódulos de pedernal y frecuentemente con miliolitos y pelecipodos. De acuerdo con **(Ferrusquia 1970)** esta unidad corresponde a las calizas Teposcolula, descritas por este autor como biomicritas masivas desarrollada durante el intervalo Albiano – Cenomaniano como una serie transgresiva.

Estructuralmente se encuentra fuertemente plegada, estos depósitos sedimentarios se encuentran yaciendo en contacto discordante sobre rocas del complejo Oaxaqueño y de forma concordante a la Formación Todo Santos.

El contacto superior es concordante con (lutitas – areniscas) del Cretácico Superior y en forma discordante con rocas volcánicas del Terciario (Oligoceno Mioceno).

II.7 CRETÁCICO INFERIOR Ki (lu- ar)

Con esta clave se designa una alternancia de terrígenos de origen marino de textura pelítica y samítica de color pardo claro, las lutitas son fisiles de color negro y pardo claro de 30 centímetros de espesor y presenta pliegues chevron.

Las subarcosas contienen granos subangulosos a subredondeados de feldespatos cuarzo, calcita, hematina, arcillas y fragmentos de roca con cementante calcáreo. La estratificación es de 10 – 50 cm. de espesor, sobreyacen discordantemente al Complejo Oaxaqueño y subyace concordantemente a las calizas de la Formación Teposcolula (**carta geológica Zaachila, escala 1:250000 INEGI**)

II.8 TERCIARIO INFERIOR Ti Pa -Eo (Cg)

Los depósitos continentales terciarios han sido asignados a la formación Yanhuilitán y a la formación Huajuapán (**Salas 1949**). Según **(Erbern 1956)**, son facies distintas de la misma unidad, la primera esta formada por arcillas de color rojizo con algunas intercalaciones de areniscas y cenizas volcánicas con horizontes delgados de yeso, la segunda esta compuesta de arenisca ceniza volcánica, arcilla arenosa, capas de

conglomerado y brecha. **(Ferrusquía 1978)** menciona una edad radiométrica de 49.0 +_ 8 millones de años. Para una toba interestratificada en la formación Yanhuatlán, que fecha esta formación como Paleoceno Tardío Eoceno Medio, este autor señala que la formación tiene una posición estratigráfica similar a la de la formación Tehuacán **(Calderón 1986)** y el grupo Balsas **(Fries 1960)**.

(Nota) estos depósitos se encuentran fuera de la microcuenca en estudio.

II.9 TERCIARIO SUPERIOR Ts OI- Mi (An)

Son depósitos de origen magmático (andesitas), presentan una variedad textural afanítica, porfídica compuesta por fenocristales de andesina, oligoclasas y piroxenos fuertemente alterados a óxidos, pirita y hematina, clorita y sericita, presenta colores gris oscuro y verde oscuro, es compacto, masivo con intenso fracturamiento, presenta intemperismo esferoidal, cubre discordante a las rocas del Paleozoico y Mesozoico. Se les asigna un rango Oligoceno Superior – Mioceno Inferior **(Ferrusquía 1976), (Dante J. Morán- Zenteno y C. 2000)**.

En el área de estudio estas rocas cubren gran parte de la microcuenca, se encuentran subyaciendo en discordancia a los depósitos clásticos del Cuaternario. Las observaciones realizadas en campo a través de muestras de mano, presentan una textura fanerítica – porfídica, con coloraciones de gris oscuro a gris pardo, presenta fenocristales de plagioclasas (andesina) y ferromagnesianos (horblenda y biotita), con aspecto masivo, fuertemente alterados por el intemperismo esferoidal, con intenso fracturamiento, **(Ver fotos II.1, II.2).**

Estas rocas magmáticas se encuentran en la zona de recarga, sin embargo por sus características físicas no son buenas receptoras de agua.



La foto II.1 Muestra el intemperismo esferoidal y el fracturamiento intenso de las rocas magmáticas terciarias.

Foto II.2 Rocas magmáticas terciarias de color gris pardo al intemperismo con intenso fracturamiento, de baja permeabilidad.

II. 10 CUATERNARIO Q (AI)

Son depósitos aluviales que se encuentran relleno la topografía preexistente dentro de la microcuenca. Están compuesto por suelos limo - arcillosos y materia orgánica en la parte superior, la base de estos depósitos esta compuesto por una alternancia de conglomerados no consolidados y depósitos clásticos de arenas limo - arcillosos (**ver fotos II.3, II.4, II.5, II.6**).



La foto II.3 muestra 1.00 m de espesor de suelo en la margen derecha del río.

La foto II.4 muestra 1.00 m de suelo y 3 horizontes de material granular, arena gruesa, arena con una matriz arcillosa y conglomerado.

Las fotos II.5, II.6 muestran 0.15 m de espesor de suelo.

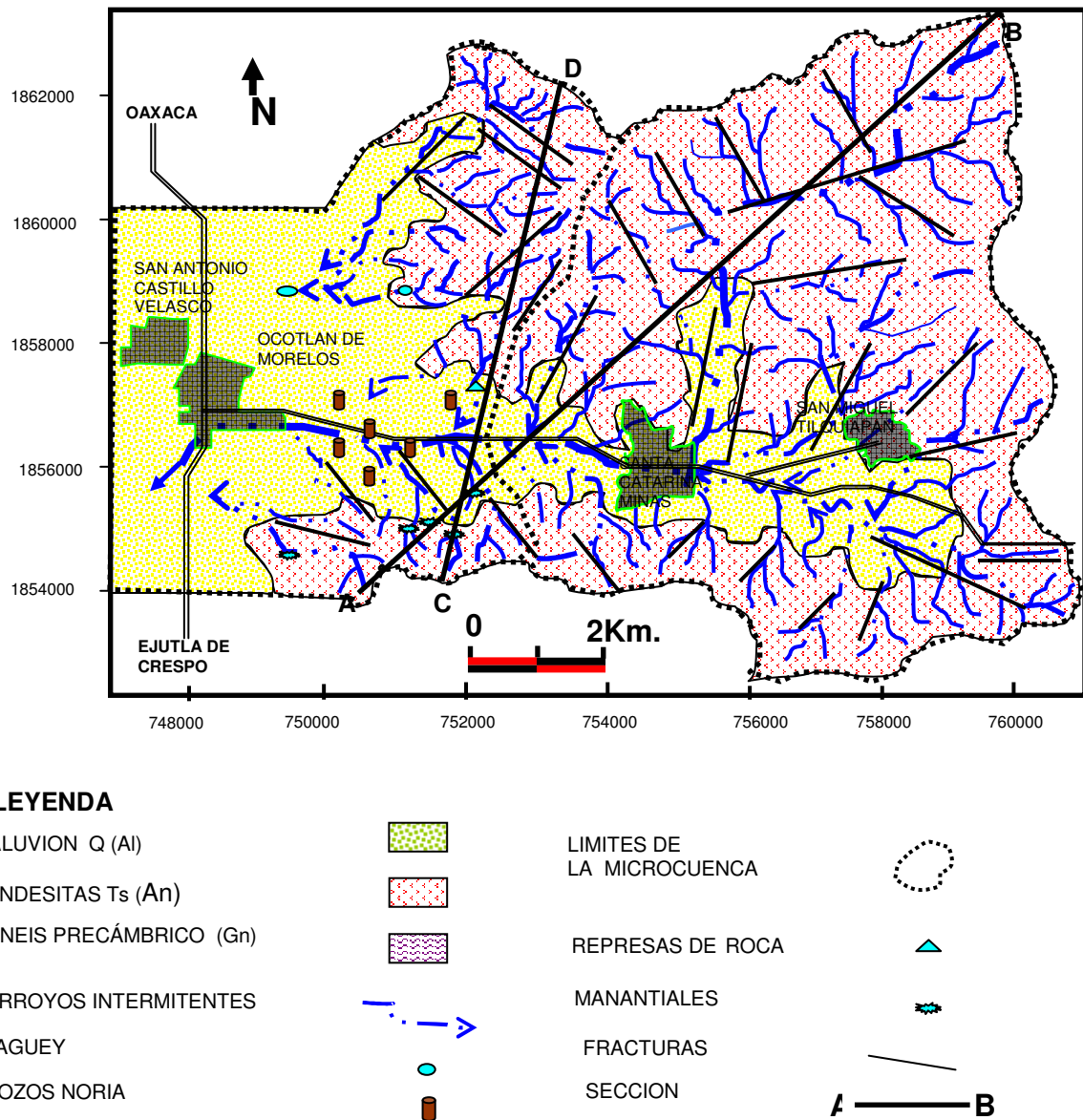


Figura II.4 Mapa geológico de la microcuenca Tilquiapam Ocotlán

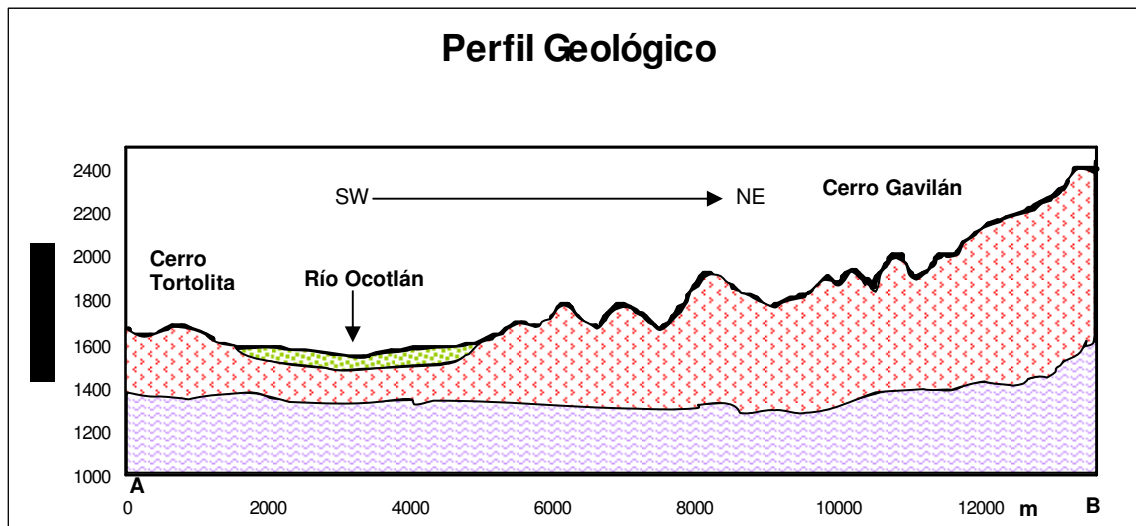


Figura II.5 Perfil geológico AB

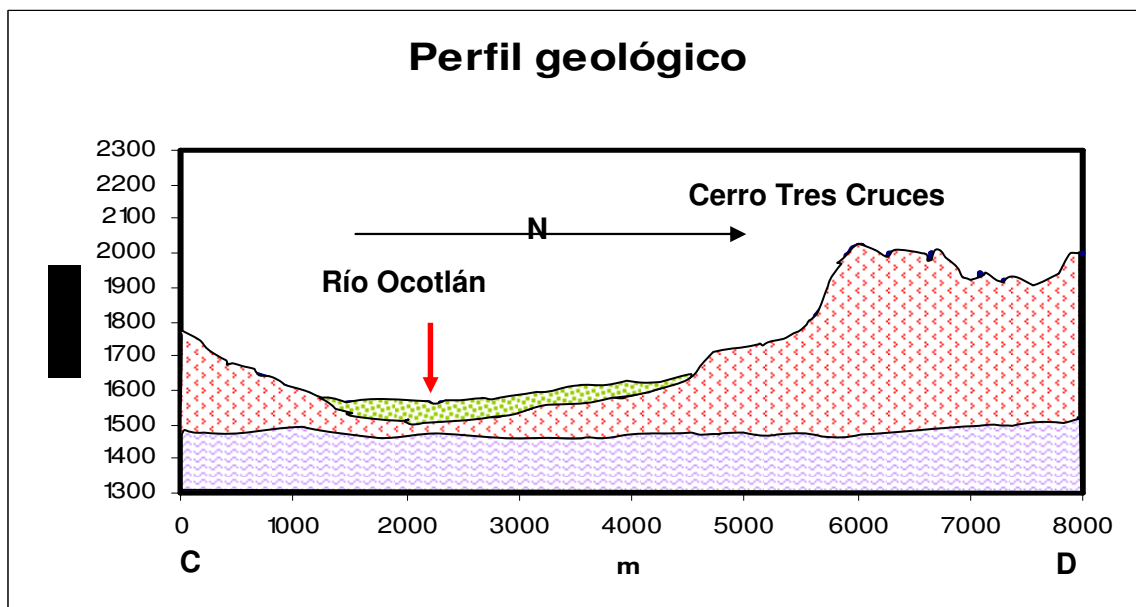


Figura II. 6 Perfil geológico CD

LEYENDA

ALUVION Q (Al)



LIMITES DE LA MICROCUENCA



ANDESITAS Ts (An)



REPRESAS DE ROCA



GNEIS PRECÁMBRICO (Gn)



MANANTIALES



ARROYOS INTERMITENTES



FRACTURAS



JAGUEY



SECCION



POZOS NORIA



II.11 MARCO TECTONICO REGIONAL

RASGOS TECTONICOS TERCIARIOS DE LA SIERRA MADRE DEL SUR.

Uno de los rasgos actuales más característicos del entorno geodinámico del sur de México, es la existencia de una zona de cizalla que comprende los sistemas Motagua - Polochic (**Rosencrantz y Sclater, 1986**). Este sistema de fallas que manifiesta el desplazamiento relativo izquierdo de la Placa de Norteamérica con respecto a la placa del Caribe, se extiende desde la región sur de Chiapas y Guatemala hasta la región del Caribe y uno de sus segmentos esta representado por la Fosa del Caymán. El punto triple en el que convergen las Placas de Cocos, Norteamérica y el Caribe, esta representado por una amplia zona de deformación por extensión que tiene como centro al golfo de Tehuantepec donde se registran sismos con mecanismos focales correspondientes a fallas normales (**Guzmán-Espeziale et al, 19899**).

Con base a las interacciones cinemáticas reconocidas por el sistema de fallas Montagua - Polochic, así como la arquitectura y la edad de la fosa del Caymán, se ha considerado que la parte continental del norte de Centroamérica, conocida como bloque de Chortis, se encontró en algún momento frente a las costas del sur de México (**Malfait y Dinkelman, 1972; Ross y Scotese, 1988; Pindell y Barrett, 1990**).

Estas interpretaciones se vieron fortalecidas con el hallazgo de zonas de cizalla izquierda de orientación NW observadas en la región costera de Guerrero y Oaxaca (**Ratschbacher et al 1991; Herrman et al 1994; Schaaf et al 1995; Tolson 1998**) y con el carácter truncado de la margen continental en esta región basados en la distribución de las zonas de cizalla y en las afinidades estratigráficas entre el bloque de Chortis y el sur de México, (Schaaf et al 1995) consideran que el extremo noroccidental del bloque de Chortis tuvo como máxima latitud la región de Zihuatanejo. Esta estimación es menor que el desplazamiento total calculado por (**Rosencrantz y Sclater 1986**) con base en el estudio de las anomalías magnéticas y la batimetría del piso oceánico generado en la fosa del Caymán.

Esta discrepancia se puede superar si se considera que el bloque de Chortis ha estado sujeto a procesos de extensión cortical durante su desplazamiento.

El truncamiento de la margen continental por el desplazamiento del Bloque de Chortis propició que rocas del arco magmático terciario, que durante su formación se encontraba a cierta distancia de la trinchera, quedaran colocadas en contacto con trinchera nueva (**Morán-Zenteno et al, 1996**) y (**Tolson 1998**) han interpretado que el levantamiento de la margen continental recién formado fue inducido en parte por la flexión de la litosfera oceánica en la zona del punto triple. Por otra parte la extinción gradual del magmatismo a lo largo de la margen continental actual, tal como ha sido documentado por (**Herrman et al 1994**) y (**Schaaf et al 1995**) sería también una secuencia del paso del punto triple mencionado.

Los rasgos tectónicos terciarios del sur de México han sido en general poco estudiados, sin embargo, una serie de informes producidos en años recientes han revelado algunos detalles que indican que la (**SMS**) evoluciono de manera diferente a la región continental ubicada al norte de la Faja Volcánica Trans-Mexicana (**FVTM**).

Estos estudios ponen en duda la continuación de la provincia de cuencas y sierras hacia el sur de México.

En una compilación de las estructuras tectónicas terciarias regionales realizadas por **(Morán et al 1999)** se puede observar una fuerte diversidad de orientación y cinemática de las fallas del Oligoceno, que difícilmente pueden haberse desarrollado como parte de un campo de esfuerzo regional único.

El sector sur de la provincia magmática de la **(SMS)**, colindante con el litoral del Pacífico, se han reconocido, como ya se mencionó, zonas de cizalla intensa, específicamente en las regiones costeras de Guerrero y Oaxaca **(Ratschbacher et al, 1991; Morán-Zenteno 1992; M excede et al, 1997; Corona-Chávez, 1997; Tolson 1998)**. Estas zonas de cizalla están representadas por milonitas con deformación cristal - plástica (deformación del cristal en estado plástico) y con fallamiento frágil sobrepuesto, que cuenta con una orientación subparalela a la costa. Al sur de Tierra Colorada, en el Estado de Guerrero, aflora una de estas zonas de cizalla, la cual se encuentra cortada por el intrusivo de Tierra Colorada para el cual se tienen edades concordantes de U-Pb en Zircones entre 35.2 y 34.3 Ma **(Herrman et al, 1994)**.

Estas fechas indican la edad mínima de la deformación, al menos de la deformación cristal-plástica. Los indicadores cinemáticos indican un desplazamiento oblicuo normal-izquierdo **(Riller et al, 1992)**. En la región de Huatulco el intrusivo terciario de 29 Ma **(Herrmann, 1994; Tolson, 1998)** se encuentra afectado por la milonitización, mientras que la milonita está cortada por un dique de 23.7 Ma **(Tolson, 1998)**. En esta región la zona de cizalla cuenta con una geometría subvertical y lineación horizontal. Los indicadores cinemáticos son de desplazamiento lateral izquierdo. También se cuenta en esta región con fallas de régimen de deformación frágil y desplazamiento lateral izquierdo con orientación E - W, NE - SW **(Delgado Argote y Carballedo-Sánchez, 1990; Tolson, 1998)**.

En la región de Arcelia Estado de Guerrero y Michoacán, **(Jansma y Lang 1997)**, reconocieron la existencia de un graben N - S que relaciona con extensión hacia el sur de la provincia de Cuencas y Sierras, abundantemente documentadas en el norte de México **(McDowel et al, 1997; Gans, 1997; Nieto - Samaniego et al, 1999)**, y mencionan evidencias que indican que el fallamiento anterior a los 32 Ma. A pesar de la presencia de esta estructura, existen numerosas evidencias de fallas de desplazamiento lateral con una orientación que varía de NNE a NNW, que contrasta con las fallas de desplazamiento predominantemente vertical que caracteriza la provincia de Cuencas y Sierras. Por ejemplo en la región de Taxco, **(Morán - Zenteno et al 1998)** y **(Nieto Samaniego et al, 1999)** reconocieron un sistema de fallas laterales derechas con orientación al N y NNW que cortan las secuencias de ignimbritas en esta zona (31 - 38 Ma).

Este sistema de fallas es aparentemente posterior a los sistemas de fallas de orientación al NW que alojan los principales cuerpos minerales del distrito minero de Taxco. Hacia el este, en la región oriente de Guerrero y noroeste de Oaxaca se ha documentado la presencia de fallas con orientación al N y NNW, pero con desplazamiento lateral izquierdo. En el noroeste de Oaxaca estas fallas limitan bloques que experimentaron subsidencia y el desarrollo de depósitos lacustres.

Estos depósitos lacustres se encuentran intercalados con rocas volcánicas del Oligoceno temprano (**Ferrusquilla-Villafranca, 1976; Martiny et al, 1996**).

La falla de Oaxaca es una estructura regional que ocupa el flanco oriental del valle del mismo nombre y tiene una orientación general al NNW. Su evolución ha sido compleja y su actividad más reciente ha sido descrita en términos de un desplazamiento de falla normal con el bloque caído hacia el oeste. (**Centeno -García 1988**), considero con base en criterios estratigráficos y geomorfológicos que la actividad de la falla de Oaxaca inicio antes del Mioceno y continuó aún en el cuaternario.

Estudios más detallados han mostrado que esta falla se origino antes del Jurásico Medio y que ha tenido actividad durante diversos regimenes tectónicos desde hace mas de 180 Ma (**Alanis-Álvarez, 1996**). Al sur de la falla de Oaxaca, (**Nieto-Samaniego et al, 1995**) han reconocido estructuras de graben de orientación E - W desde la Ciudad de Oaxaca hasta Miahuatlán. Los desplazamientos observados tanto en estructura E - W (falla de Donaji) como en la falla de Oaxaca N - S son mayores que 1,500 m. Se ha reconocido que las estructuras E - W al sur de la falla de Oaxaca cortan secuencias piroclásticas silíceas asignadas al Mioceno medio, con base en fechamientos de K-Ar en biotitas, (**Ferrusquia-Villafranca y McDowell1991**).

En síntesis, aunque el conocimiento sobre las estructuras tectónicas de la (SMS) es todavía escaso, se puede reconocer un patrón complejo con diferencias significativas en la orientación y detalles cinemáticas de las estructuras mayores, lo que sugiere la existencia de diferentes dominios que convivieron con el truncamiento de la margen continental del sur de México. En este contexto parece improbable que haya habido una transmisión de esfuerzos simple a través de la margen continental del sur de México, como lo han sugerido (**Meschede et al, 1979**). Los factores que controlaron la partición de la deformación no han sido comprendidos cabalmente, pero la reactivación de estructuras antiguas y de zonas de debilidad cortical parece haber jugado un papel importante.

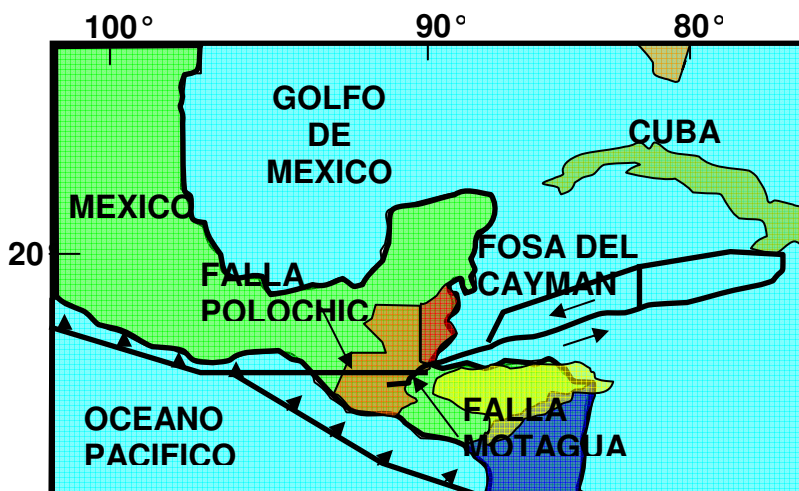


Figura II.7. Sistema de fallas Motagua-Polochic y su relación actual con las placas tectónicas (Rosencrantz y Sclater 1986) Tomado de Dante J, Morán Zenteno. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana V. LIII, (2000) 27- 58 www.igefcu.unam.mx),

II.12 EVOLUCIÓN GEOLOGICA.

El terreno con basamento mas antiguo es el Terreno Oaxaca que ocupa la parte central del estado, presenta una secuencia cámbrico – ordovícicas y mississípico - pensilvánico sin metamorfismo. La base metamórfica formada por el complejo Oaxaqueño del Precámbrico (900 – 1100 millones de años), ha sido interpretada como la evolución de un rift con sedimentación en corteza continental y el posterior metamorfismo a facies granulita en una evolución encialíca o por colisión continental **(Ortega, 1981)**

Este complejo es considerado como una continuación hacia el sur de la faja Grenvilliana **(Fries et al, 1962)**, sin embargo, la fauna de trilobites de su cubierta cámbrica – ordovícica, muestra mas afinidad con la fauna de Europa y Sudamérica que con la de Norte América **(Whittinton y Huges, 1974)**. **(Bazan 1984)**, no descarta la existencia de rocas arqueanas en este complejo, tomando como base la interpretación de los cinturones de rocas verdes (green stone belts) similares a los de los escudos precámbricos.

Al occidente del Terreno Oaxaca se encuentra el Terreno Mixteco que tiene como basamento al complejo Acatlán del Paleozoico Inferior **(Campa y Coney 1983)**, y que, en contraste con rocas contemporáneas del primer terreno, se presenta metamorfizado en diversos grados.

El limite entre estos dos terrenos ha sido interpretado como un limite tectónico **(Ortega, 1981)**, y la época de su acreción no ha sido todavía confirmada, pero se ha sugerido como probables el Devónico y el intervalo Jurásico Superior – Cretácico Inferior **(Ramírez, 1984)**.

Los primeros datos Paleomagnéticos para unidades del Pérmico de ambos terrenos indican direcciones similares de magnetización primaria, lo que no descarta totalmente una acreción posterior por movimientos a lo largo de la misma paleolatitud magnética **(Urrutia y Morán, 1984)**

El complejo Acatlán ha sido interpretado como una agrupación de conjuntos petrotectónicos resultado de la apertura y cierre de una cuenca oceánica **(Ortega, 1981)**. El subgrupo Petlalcingo constituiría la secuencia de una margen pasiva autóctona y el subgrupo Acateco formaría el conjunto alóctono, incluyendo a la formación Xayacatlán, como vestigio de una antigua litosfera oceánica consumida en un proceso de subducción.

Al suroeste, los terrenos Mixteco y Oaxaca están limitados. En un contacto tectónico por el Complejo Xolapa cuya edad y tiempo de acreción al mosaico tectónico del sur de México no son bien conocidos, pero sus características lo identifican como la raíz montañosa de un antiguo arco magmático **(Helpern, 1974)**

En el extremo oriental de la porción centro meridional de México se reconocen secuencias mesozoicas marinas deformadas que rebelan una paleogeografía de bajos y altos fondos marinos, desarrollados sobre un basamento paleozoico y que ha sido tradicionalmente considerado como Apalachiano.

Estos conjuntos forman parte del terreno Maya, que se extiende hacia el sur y sureste de México **(Campa y Coney 1983)**.

Separado del Terreno Maya del Terreno Oaxaca se ha reconocido una franja aparentemente mesozoica formada por secuencias marinas que incluyen rocas calcáreas, detríticas y volcánicas sumamente deformadas y con una vergencia general al oriente. El límite occidental de esta franja lo forma una banda milonítica que la separa del Terreno Oaxaca.

Para el Mesozoico se reconoce en la porción centro-meridional de México dos dominios principales con características claramente diferentes.

En el occidente se desarrollo un arco insular andesítico asociado a la subducción de la litosfera oceánica (**Campa y Ramírez 1979**), fenómeno que es común en gran parte del occidente de Norte América y que se originó durante el principio de la disgregación de Pangea. Por otro lado, en el oriente se desarrollo una zona externa con sedimentación marina sobre la Plataforma Guerrero – Morelos. La cuenca de Tlaxiaco y el área del flanco este de la Sierra de Juárez la llanura costera y plataforma del Golfo de México y la transgresión de los mares sobre esta porción de México.

Los conjuntos volcánicos y sedimentarios parcialmente metamorfisados de la Sierra de Juárez alteran la homogeneidad de este dominio y su presencia no esta claramente comprendida (**Carfantan 1983**) ha sugerido que este conjunto petrotectónico es el resultado de la apertura y sierra de una cuenca oceánica, ocurrido entre el Portlandiano y el Huroniano debido al desarrollo de un rift que se conectaba en unión Triple a la dorsal ubicada entonces entre Yucatán y Sudamérica. Para explicar el desarrollo de un arco insular volcánico en el dominio occidental de la porción centro meridional de México se han postulado dos modelos alternativos: en una de ellas se propone la acresión por obducción de un sistema de arco-insular desarrollado en el Pacifico y desplazado hasta su colisión con la corteza continental Mexicana (**Urrutia, 1980; Coney 1983**).

En otro modelo se propone el desarrollo de un dominio de arco en la vecindad de la corteza continental de México limitado al suroeste por una subducción al oriente (**Campa y Ramírez 1979**). Datos paleomagnéticos preliminares de la secuencia volcánica - sedimentaria de Ixtapan -Teloloapan, (Urrutia y Valencia 1985) Refuerzan la primera hipótesis, sin embargo no existen reportes de afinidad oceánica que indique una sutura (**Según Campa y Ramírez 1979**), en la región noroccidental de Guerrero y regiones colindantes con otros estados, se reconocen cinco fases de deformación que actuaron en el Mesozoico y Cenozoico.

La primera de ellas, ocurrida a finales del Jurásico, afecto los depósitos volcánicos – sedimentarios Jurásicos y se manifiesta por la presencia de pliegues replegados en dos generaciones con un aumento relativo del metamorfismo en algunas zonas.

La segunda fase ocurrió en el Cenomaniano, se manifiesta en el área Teloloapan-Ixtapan por el metamorfismo que plegó y folió la secuencia volcánico - sedimentario; esta fase originó en la Sierra Madre del Sur la emersión de los terrenos de arco volcánico y mar marginal, mientras que en la Plataforma Guerrero - Morelos y hacia el oriente continuaba la sedimentación marina, con una aportación importante de terrígenos provenientes de la región occidental emergida.

La siguiente fase ocurrida en el Paleoceno deformó toda la carpeta Mesozoica de los dos dominios y es responsable de los pliegues de la zona externa, así como del cabalgamiento del dominio interno sobre dicha zona externa. (**Campa 1978**)

Campa ha propuesto dos modelos alternativos para explicar la presencia del conjunto volcánico - sedimentario de Ixtapan - Teloloapan entre las plataformas de Guerrero-Morelos y Huetamo.

En uno de ellos se sugiere que el conjunto de Ixtapan - Teloloapan es el resultado de la evolución de un arco entre las dos plataformas, sin embargo no se puede explicar el metamorfismo de este conjunto entre las secuencias no metamorfisadas de las dos plataformas y la ausencia de cambios de facies de éstas al arco volcánico.

En otro modelo la autora sugiere que la secuencia de Guerrero - Morelos y Huetamo correspondientes al Albiano - Cenomaniano pueden ser parte de una sola plataforma y que el conjunto de Ixtapan - Teloloapan sería un alóctono tectónico de la fase compresional del Paleoceno.

Durante el Terciario ya se ha mencionado la evolución de las rocas magmáticas de la Sierra Madre del Sur.

En el intervalo Plio-Cuaternario la región centro - meridional y sur de México se ha visto afectada por fallamientos normales y desplazamientos lateral en el marco de un levantamiento general y una geodinámica muy activa.

	DIVISION		XOLAPA	ZAPOTITLAN	OAXACA	JUAREZ	
	CUATERNARIO	RECIENTE PLEISTOCENO		TLAXIACO			
CENOCIC	TERTIARIO	PLIOCENO	Fm. Alquitrán Fm. Agua del obispo Grupo Balsas	Fm. Chilapa, An. San Marcos, An. Yucudac, Fm. Suchistlahuaca	Andesitas Fm. Sosola Fm. Yanhuitlán Fm. Tecomatlá		
		MIOCENO		F. Río Verde, Fm. Liano de Lobos			
		OLIGOCENO		Fm. Yanhuitlán			
		EOCENO		Fm. Tamazulapam, Huajuapán			
MESOZOICO	CRETACICO	PALEOCENO		Margas Yucunama			
		MAESTRICHTIANO	Fm. Mexcala			Secuencia Flysch	
		SENONIANO		Fm. Teposcolula Fm. San Juan Raya	Fm. Teposcolula		
		TURONIANO	Fm. Morelos	Fm. Zapotitlán	Gr. Puebla		
	JURASICO	ALBIANO	Fm. Acahuizotla	Fm. Mapache Fm. Chimeco			
		NEOCOMIANO		Fm. Tecomazúchil		Secuencia de arco y Cuenca	
	TRIASICO	SUPERIOR			Fm. Etlaltongo		
		MEDIO	Fm. Chapalapa	?		Ofiolitas	
	INFERIOR						
PALEOZOICO	SUPERIOR		Fm. Ixcuinatoyac				
		MEDIO		Fm. Los Arcos Fm. Olinalá Fm. Matzitzi	F. Yodoñe		
	INFERIOR			F. Ixtaltepec			
		Complejo Xolapa		F. Santiago			
			Complejo Acatlán				
				F. Tiñu			
PRECAMBRICO							

Tabla geológica II.1, Estratigrafía adyacente a Ocotlán de Morelos Oaxaca, fuente INEGI Geología de la República Mexicana (Morán- Zenteno 1984)

CAPÍTULO III

HIDROGEOLOGÍA.

III.1 REGIONES HIDROLÓGICAS.

El estudio de la microcuenca Tilquiapam - Ocotlán, pertenece a la Región Hidrológica **No 20 Costa chica Río Verde (Ver, fig. III.1)**, los principales afluentes son: Los Ríos Atoyac, Tlacolula, Etna, Sordo, y Ometepec ó Grande.

El río más importante en la microcuenca, es el Río Ocotlán, de tipo intermitente, nace en la parte alta de la sierra conocido como El Gavilán, al noroeste de San Miguel Tilquiapam, en tiempos de estiaje queda completamente seco.

El Cerro Gavilán pertenece a la SMS. Compuesto por rocas magmáticas del Terciario superior (**Morán- Zenteno, Bárbara Martiny, Gustavo Tolson 2000**).



Figura III.1 Regiones hidrológicas tomado de INEGI www.inegi.gob.mx, 2005

III.2 CLIMA.

De acuerdo con la carta de clima de INEGI (**figura III.2**) y la clasificación de **Köopen** el clima que corresponde a la zona de estudio es de tipo templado subhúmedo con lluvias en verano; correspondiéndole el subtipo semicálido; en los cuales la relación de lluvias en verano y las lluvias de invierno es menor de 5.00 mm media (**tabla III. 3**).

Por otro lado y para obtener mayor información de las condiciones climáticas de la zona de estudio, se obtuvo información meteorológica de la estación de Zimatlán de Álvarez, de la cual se obtuvieron datos de precipitación, temperatura y evaporación principalmente, en base a los cuales se hace el siguiente análisis.

Las temperaturas medias bajas mensuales se presentan en los meses de enero con 9.4° C y 10.6° C en diciembre, por otro lado las temperaturas medias más altas se presentan en los meses de mayo y junio con 19.6 y 19.5° C respectivamente, manteniéndose en julio con 18.5° C agosto con 18.2° C y septiembre con 17.5° C temperaturas que favorecen a la mayoría de los cultivos, (**tabla III.1**).

La precipitación, esta se distribuye durante todo el año pero en los meses en que llueve más son: junio a septiembre, empezando a disminuir en el mes de Octubre. El mes más lluvioso es junio con 155 mm y el menor enero con 2.1 mm, la precipitación media anual que se calculó para el lapso 1982 - 1992 es de 762 mm de los cuales caen en promedio 337 mm en los meses de junio a noviembre, (**ver tabla III.3**).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1980	9.4	10.9	14.6	16.8	20.5	18.5	17.7	17.3	17	15.7	12.2	8.7	14.9
1981	7.6	10.4	15.2	17.5	19.7	18.2	17.5	17.7	17	16.5	11.9	11.1	15.0
1982	10.3	12.2	14.8	19.2	19.3	18.8	17.7	17.9	17.5	16.3	13.1	10.7	15.7
1983	8.5	9	12.7	17.1	20.3	21.1	19.4	18.3	17.2	16.3	16.9	11.6	15.7
1984	10.2	12.5	15.2	18.8	19.1	18.9	18	17.3	17.2	16.5	11.1	8.7	15.3
1985	9.1	10.8		17.2	19	18.9	17.8	17.7	17.4	16.5	12.4	11.5	15.3
1986	8.6	10.8									9.9		9.8
1987	7.8	10.6	15.7	16.2	18.6	19.4	19.1	17.9	18.2	14.2	12.5	11.6	15.2
1988	9.4												9.4
1991						20.6	19.2	19.6	17	14.8	13.9		17.5
1992	13.3	14.7	18.8	20	20.5	21.1	19.9	19.9	19	17.9	16.9		18.4
Promedio	9.4	11.3	15.3	17.9	19.6	19.5	18.5	18.2	17.5	16.1	13.1	10.6	15.6

(Tabla III.1) Temperatura

Estudio geohidrológico de la migrocuena Tilquiapam- Ocotlán en el distrito de Ocotlán de Morelos Oaxaca

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1980	122	134	215	219	193	188	190	124	100	122	115	109	1831
1981	106	137	221	217	179	111	115	110	116	103	102	105	1622
1982	111	139	176	198	182	131	156	185	119	135	105	101	1738
1983	104	113	184	202	238	164	134	157	98	124	94	89	1701
1984	112	152	204	238	176	114	96	117	78	126	102	100	1615
1985	111	136		177	196	112	119	139	104	105	86	87	1372
1986	65	69											134
1987	101	70	192										363
Prom.	104.0	118.8	198.7	208.5	194.0	136.7	135.0	138.7	102.5	119.2	100.7	98.5	1655.1

(Tabla III.2) Evaporación

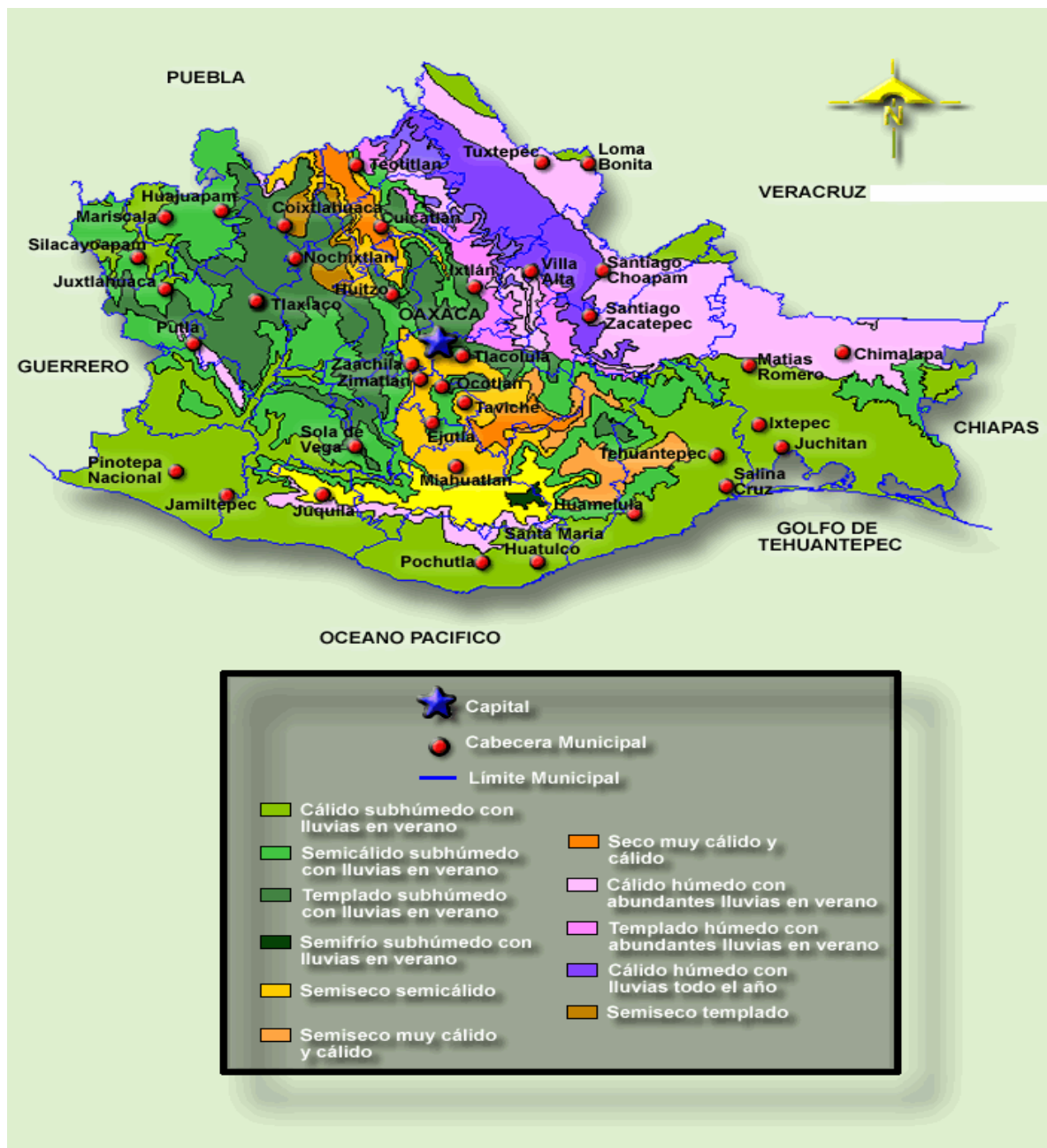


Figura III. 2, Temperatura media anual tomado de INEGI www.inegi.gob.mx, 2005

III.3 PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL

En el estado de Oaxaca se representa, en su parte central de sur a noroeste, una franja inclinada con rangos de precipitación que van desde los menores a 600 mm incrementándose hacia ambos lados de dicha franja, para llegar al rango mayor a 2 500 mm al este del estado, en donde ubicamos el clima semicálido subhúmedo y, hacia el norte de la entidad un rango mayor a 4 500 mm, donde se presenta el clima cálido húmedo; cabe resaltar que sólo existe una porción con un rango de precipitación que es mayor a los 3000 mm y que es coincidente con el clima semicálido húmedo al noreste del estado, (ver figura III 3)

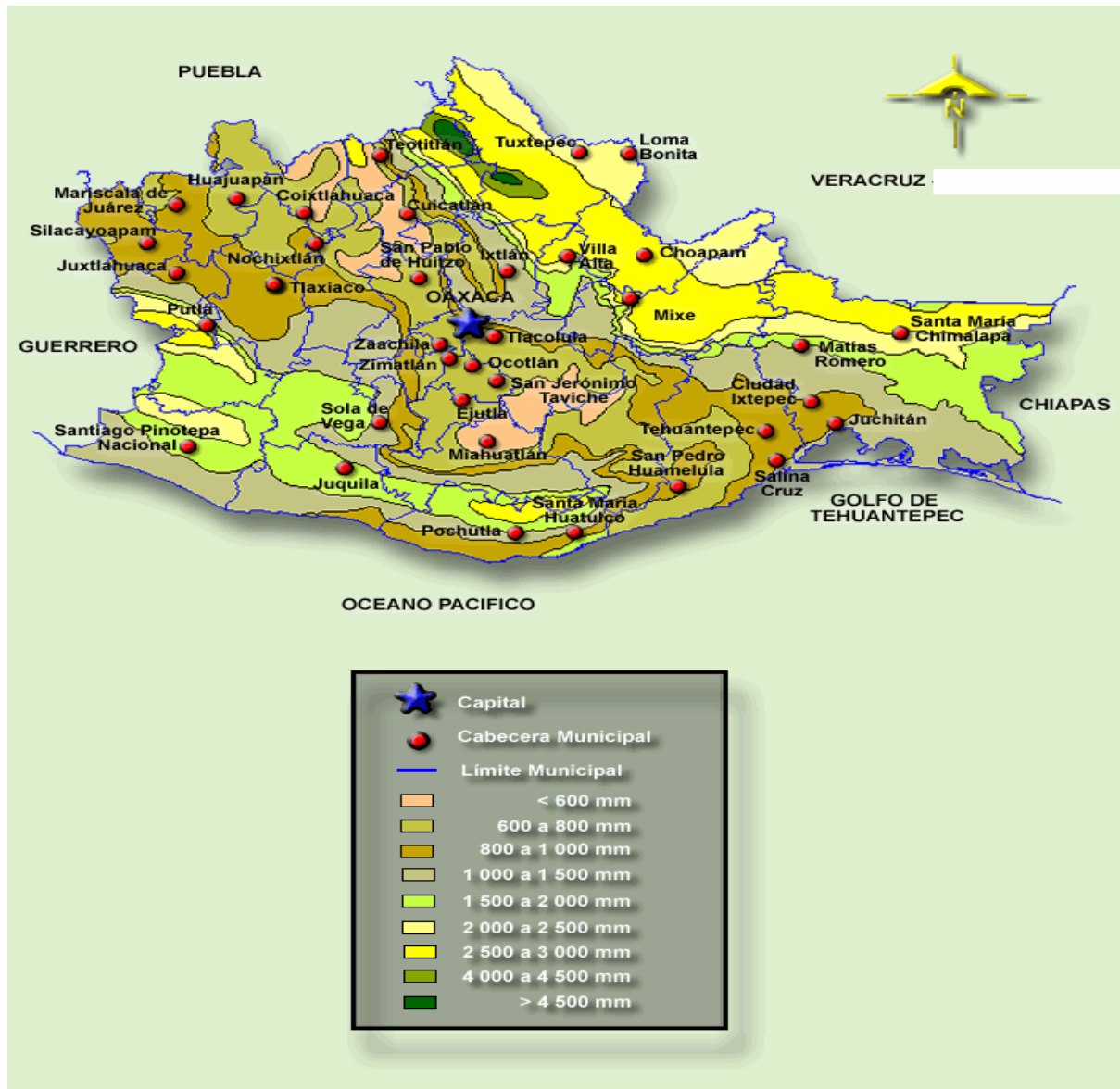


Figura III.3, Coeficiente de precipitaciones tomado de INEGI (www.inegi.gob.mx, 2005)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Total
1982	0	23.3	26.6	77.2	219.5	32.6	53.7	0	85.2	11.3	537.9
1983	0	58.4	50.7	0	5.9	261.8	135.2	32.5	127	24.1	735.3
1984	4.8	5.2	7.4	18.7	98.6	208.2	318.7	154.4	241.1	0	1057.1
1985	0	0		130.4	177.6	116.9	75.6	245.8	170.3	29.4	976.0
1986	0	0									0.0
1987	0		11.6	156.1	0		41.8	0	18.6	0	234.1
1988	0					116.6	180.9	108.4			405.9
1991		0	0	0	0		144.3	42.4	99.6	187.3	503.2
1992	12.2	90	64.8	183.1	51.2	195.8	61.6	102.7	7	103.7	913.2
Promedio	2.1	25.3	26.9	80.8	79.0	155.3	126.5	85.8	107.0	50.8	762.6

(Tabla III.3) Coeficiente de precipitación promedio anual de estaciones locales.

III.4 HIDROGRAFÍA

En la **siguiente figura III. 4** Se presenta el sistema de drenaje regional, sin embargo, para este trabajo se mencionan sólo los principales afluentes del Río Atoyac que se encuentran en los valles centrales, ya que dentro de esta región se encuentra la microcuenca Tilquiapam-Ocotlán, que presenta un sistema de drenaje de tipo dendrítico, la precipitación media anual es de 762.6mm de acuerdo a las estaciones climáticas locales de Zimatlán, y zonas adyacentes al área de estudio



Figura III.4 Hidrografía regional de los Valles Centrales

El Río Ocotlán el más importante dentro de la microcuenca, es de tipo intermitente, en la zona de estudio sólo existen dos manantiales importantes, El Bañerío y La Caja, hay otros cuatro pequeños manantiales de poca importancia que no se aprovechan porque tienden a secarse durante el estiaje. El manantial conocido como El Bañerío no se cuantificó su gasto, toda el agua se aprovecha para el bañerío, no hay sitios para su medición. En el paraje Tortolita se encuentra el otro pequeño manantial conocido como la Caja, tampoco se pudo cuantificar el gasto debido a que se encuentra con una caja de captación, es aprovechado por unas 10 familias aproximadamente. Los otros cuatro afloramientos producto de infiltraciones asociados a fracturamiento, no fluyen, es muy reducido el caudal, en épocas de estiaje tienden a secarse. Existen algunos pequeños cuerpos de agua producto de pequeñas represas, estanques rústicos y jagüeyes que se aprovechan como abrevaderos de ganado. En el área de estudio no existen lagos naturales ni grandes obras civiles que puedan embalsar volúmenes importantes de agua como se muestra en la siguiente figura (**figura III.5**).

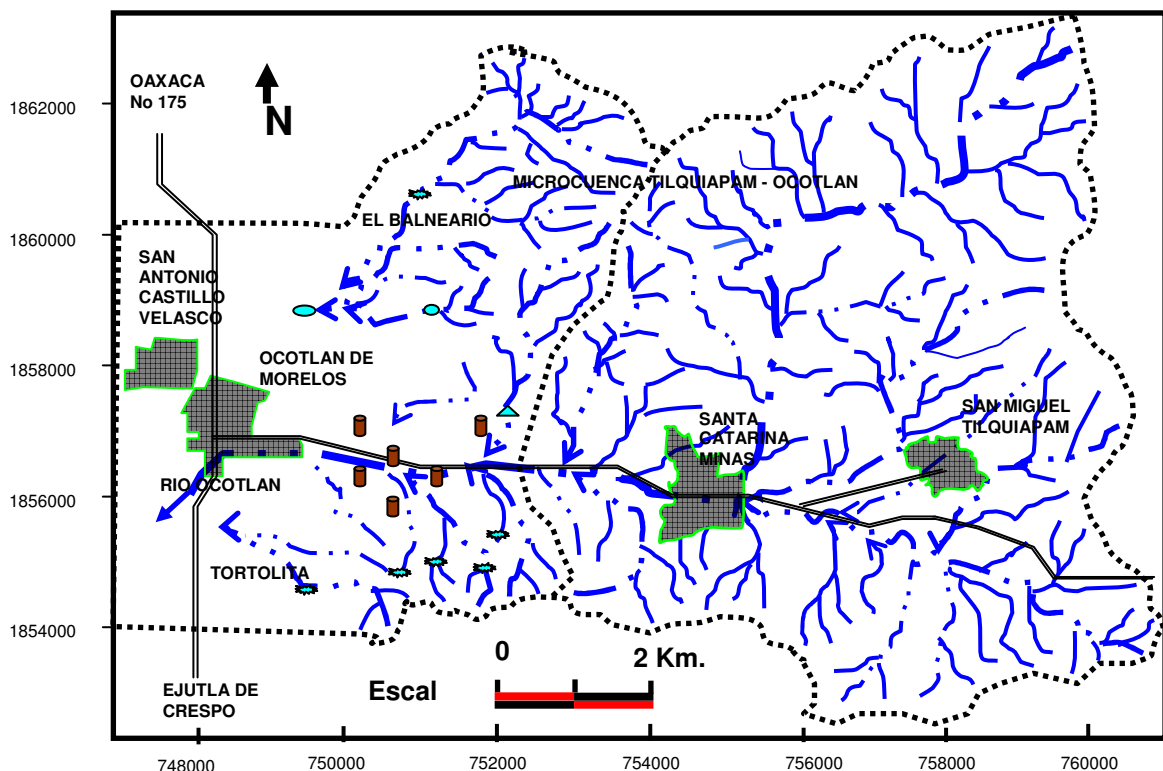


Figura III.5 Hidrografía local de la microcuenca Tilquiapam- Ocotlán

LEYENDA

ARROYOS INTERMITENTES



JAGUEY



POZOS NORIA



LIMITES DE MICRO-CUENCA



REPRESAS DE ROCA



MANANTIALES

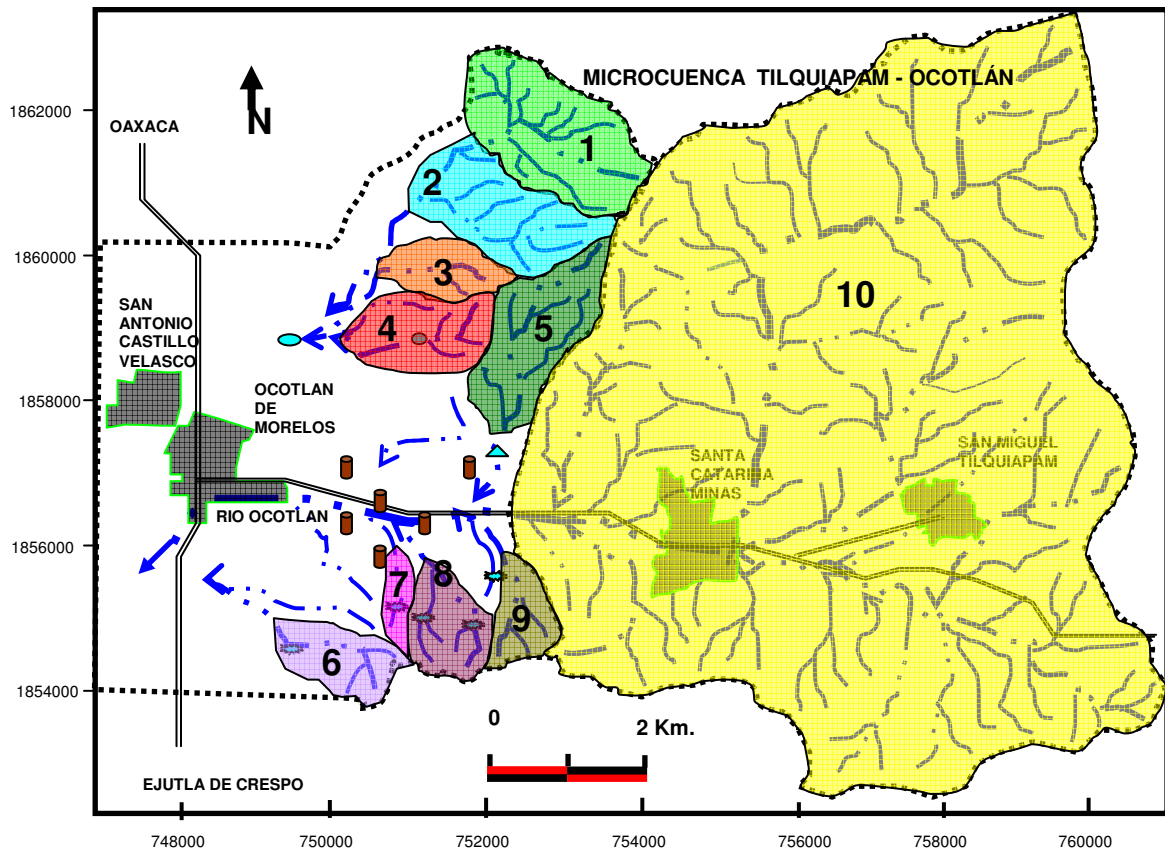


III. 5 VOLUMEN MEDIO ANUAL DE ESCURRIMIENTO

Los puntos de interés fueron georeferenciados con geoposicionador satelital (GPS) en los recorridos de campo y con la corroboración de las cartas topográficas se delimitaron los polígonos topográficos ó microcuencas y se calcularon las áreas de influencia de precipitaciones, en los principales arroyos que drenan al valle. Así como el área principal de la microcuenca Tilquiapam-Ocotlán. Utilizando el software Arc View (ver figura III.6).

Se tomaron en cuenta los coeficientes de escurrimiento, complementado con la precipitación máxima en diferentes períodos de retorno obtenida de las estaciones locales (Ver tabla III.4)

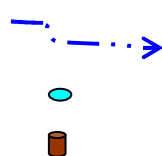
Con lo que fue posible calcular el volumen medio anual de escurrimiento para cada área (polígono) ó microcuenca.



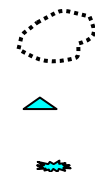
(Fig. III. 6) Áreas ó polígonos topográficos de la microcuenca Tilquiapam-Ocotlán

LEYENDA

ARROYOS INTERMITENTES
 JAGUEY
 POZOS NORIA



LIMITES DE MICRO- CUENCA
 REPRESAS DE ROCA
 MANANTIALES
 POLIGONO



Nombre de la microcuenca ó polígono topográfico	Área que representa (Km ²)	Precipitación Media anual (mm)	Factor de escurrimiento Adimensional	Volumen medio anual de escurrimientos en (m ³)
Chorro - 1	4.2080	762.6	0.77	2,470.946
Piedra larga - 2	2.1613	762.6	0.77	1,269.119
Guayabos - 3	2.2211	762.6	0.87	1,473.615
Vichivil - 4	2.5291	762.6	0.87	1,677.961
Tres cruces - 5	6.1190	762.6	0.77	3,593.089
Tortolita - 6	1.8096	762.6	0.77	964.804
Rinconada - 7	0.6449	762.6	0.87	378,686
El jagüey - 8	3.2722	762.6	0.77	1,921,442
Reten - 9	0.9616	762.6	0.77	564.653
Ocotlán - Tilquiapam - 10	77.812	700	0.87	47,387,508
			total	62,168,475

Tabla III. 4 Volúmenes de precipitación por polígonos topográficos ó microcuencas.

III. 6 CÁLCULO DE VOLUMENES DE ESCURRIMIENTO.

El volumen medio de escurrimiento se calculó por medio de la ecuación propuesta por el Colegio de Postgraduados, **Universidad Autónoma de Chapingo**, la cual se expresa de la siguiente forma: $Vm = A \times P \times C$

Donde

Vm= al volumen medio de escurrimiento en el fondo del cauce y en el punto de cierre de la cuenca, expresado en miles de m³

A= área del polígono ó microcuenca, expresada en Km², calculada para cada poligonal topográfico ó microcuenca, se utilizó el software Arc view.

P= precipitación media anual expresada en mm.

C= factor de escurrimiento (adimensional) que varía desde 0.1 - 1.0, calculada para cada poligonal dentro de la microcuenca, de acuerdo al **Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo (ver cuadro IV.5)** que presenta los valores del coeficiente de escurrimiento basándose en las condiciones de cobertura vegetal, pendientes y textura del suelo.

VEGETACION	TOPOGRAFÍA	TEXTURA DEL SUELO		
		Gruesa	Media	Fina
Bosque	Pendiente plano 0-5%	0.10	0.30	0.40
Bosque	Pendiente ondulado 6-10%	0.25	0.35	0.50
Bosque	Pendiente escarpado 11-40%	0.32	0.52	0.62
Pastizales	Pastizales plano 0-5%	0.10	0.30	0.40
Pastizales	Pendiente ondulado 6-10%	0.16	0.36	0.55
Pastizales	Pendiente escarpado 11-40%	0.23	0.43	0.63
Terrenos denudados	Pendiente plano 0-5%	0.35	0.55	0.65
Terrenos denudados	Pendiente ondulado 6-10%	0.45	0.65	0.75
Terrenos denudados	Pendiente escarpado 11-40%	0.57	0.77	0.87

Tabla III.5 Valores de los coeficiente de escurrimiento propuesto por el colegio de posgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo.

. III. 7 CENSO DE FUENTES DE ABASTECIMIENTOS HÍDRICOS.

EL PRESENTE TRABAJO ESTA BASADO EN EXPLORACIONES DIRECTAS EN CAMPO QUE CONSTA DE CUATRO ACTIVIDADES PRINCIPALES, EN ABRIL DEL 2005 (DURANTE EL ESTIAJE).

- Censo de 20 fuentes de abastecimientos hídricos conocidos en el lugar como pozos tipo noria.
- Censo de 6 pequeños manantiales (ojos de agua)
- Exploraciones directas a través de 9 excavaciones ó pozos a cielo abierto sobre el cauce y márgenes del Río Ocotlán
- Exploración directa a través de 6 obras de observación (piloto) previamente construidas en diferentes parajes dentro de la microcuenca.

La siguiente tabla muestra los datos del censo de las fuentes de abastecimientos hídricos de la microcuenca Tilquiapam - Ocotlán, de estos pozos tipo noria se abastece de agua el municipio de Ocotlán de Morelos Oaxaca. **(Ver tabla IV.1).**

Se Censaron 20 norias, los pozos del Municipio cuentan con equipamiento, algunos pozos particulares cuentan con bombas caseras, la mayoría de estos pozos no cuentan con equipamiento.

La mitad de estos pozos se encuentran en ambas márgenes de Río Ocotlán emplazados en material aluvial, los otros 5 se encuentran las márgenes del arroyo, El Calicanto de los Ocotitos y 5 más se encuentran en los bordes del valle.

Los pozos noria que se ubican en los límites del valle se encuentran emplazados en rocas magmáticas terciarias fuertemente alteradas, la mayoría se encuentra sin agua,

En varios pozos que se encuentran emplazados en las márgenes del Río Ocotlán se pudo comprobar su agotamiento a las dos horas de bombeo durante la extracción, y la recuperación hasta las 24 horas.

Por lo que en este trabajo se omiten los datos de las pruebas de bombeo debido a que no se pudieron realizar ya que se trata de un acuífero libre agotado.

Tipo de aprovechamiento	Nivel estático	Nivel dinámico	Profundidad total	Coordenadas y altura topográfica	Paraje	Observaciones
Exploración pozo noria	Seco	No hay datos	2.10 m	1856997 N 749078 E 1540m snmm	Camino Real	En material aluvial
Pozo noria	4.20 m	Se agota	5.00 m	1856902 N 749074 E 1541m snmm	Camino Real Eucaliptos	En material aluvial
Sistema Pozo noria y jagüey estanque	5.75 m	Se agota	5.85 m	1856282N 749525 E 1548m snmm	Rancho Particular	En rocas magmáticas andesíticas
Sistema manantial, caja de captación y represa de roca	Sobre la superficie	Permanente	4.00	1855448 N 94936 E 1571m snmm	La Caja	Sistema, en rocas magmáticas andesíticas
Manantial pozo noria	0.30 m	Se agota	1.10 m	1855697 N 749929 E 1612 msnm	La Rinconada	En rocas magmáticas andesíticos
Pozo noria	6.0 m	No hay datos	13.15 m	1855996 N 750852 E 1592M snmm	Huerto	En rocas magmáticas andesíticas
Pozo noria	11.00 m	Se agota	12.00 m	1857303 N 749679 E 1535m snmm	Rancho Bajío	En material aluvial
Pozo noria	12.90 m	Se agota	13.90 m	1857247 N 749767 E 1530m snmm	Rancho Particular	En material aluvial
Sistema, pozo noria y jagüey - estanque	2.00 m	Sin datos	8.00 m	1856424 N 749535 E 1548m snmm	Chilaguá Azul	Sistema en basaltos andesíticos
Pozo- manantial	5.00 m	Se agota	6.00 m	1855605 N 750961 E	Rincón el Huisache	En rocas magmáticas andesíticas
Pozo noria	5.00 m	Se agota	6.30 m	1855470 N 750871 E	Las Jarillas	En rocas magmáticas

						andesíticas
Pozo noria	5.00 m	Se agota	6.00 m	1855940 N 750805 E 1581m snmm	El Mango Gaytanes	En rocas magmáticas andesíticas
Pozo noria	4.30 m	Se agota	4.50 m	1857363 N 751250 E 1535m snmm	Sobre el río Ocotlán	En material aluvial
Pozo noria municipal	Seco	Sin datos	12.00 m	1857363 N 751250 E 1539m snmm	Gaviones	En material aluvial
Pozo noria municipal	Secos	Sin datos	12.00 m	1857363 N 751250 E 1539m snmm	Gaviones	En material aluvial
Pozo noria municipal	12 m	Se agota	15.00 m	1857363 N 751250 E 1539m snmm	Gaviones	En material aluvial
Pozo noria	8.40 m	Se agota	9.70 m	1858233 N 751155 E 1544m snmm	Rancho Los Amador	En material aluvial
Pozo noria	4.70 m	Se agota	4.90 m	1858325 N 751249 E 1543m snmm	Antonio Pérez G.	En material aluvial
Pozo noria	7.50 m	Se agota	10.00 m	1858465 N 751362 E 1543m snmm	Marcelino Ventura S.	En material aluvial
Pozo noria	3.10 m	Se agota	6.0 m	1885632 N 751827 E 1545m snmm	Barranca Ocotitos	En material aluvial

Tabla III. 6 Censo de pozos tipo Noria, abril del 2005



Foto III.1 En las márgenes del Río Ocotlán se puede apreciar un pozo tipo noria abandonado al encontrarse seco por el abatimiento de del nivel freático

Foto III.2 Pozo tipo noria, 12.00 m de profundidad, nivel estático 11.50 m, se agota a las 2 horas de bombeo.



Foto III.3 Pozo municipal, tipo noria con equipamiento, 15.00 m de profundidad, 11.50m nivel estático, se bombea de 2 a 4 horas diario, se recupera a las 24 hrs.

Foto III.4 Sistema, estanque rustico ó jagüey que recarga al pozo tipo noria emplazado en la base del bordo, con un nivel estático de 2.00 m y 8.00 m de profundidad total.

III.8 CENSO DE PEQUEÑOS MANANTIALES (OJOS DE AGUA)

Se encontraron 6 pequeños manantiales producto de infiltraciones asociados a fracturamientos en rocas andesíticas fuertemente alteradas.

La Caja y El Balneario se encuentran con cajas de captación y con cerradura por lo que no se pudo cuantificar el gasto, el primero alimenta a unas 10 familias, el segundo es exclusivo para el balneario (**ver tabla III. 7**).

Los otros cuatro pequeños afloramientos ojos de agua son permanentes, cuando se les extrae el agua tienden a secarse y se recuperan hasta las 24 y 36 horas, algunos se encuentra estancados en excavaciones rústicas de 1.00 a 2.00 metros de profundidad.

Se aprovechan como abrevaderos de ganado (**Ver fotos IV.5, 6, 7, IV.8**).

Manantiales	Coordenadas y altura topográfica	Paraje	Observaciones
La Caja, tiene caja de captación	1855448 N 94936 E 1571m snmm	Cerro Tortolita	Asociado a fracturamiento en rocas andesíticas
El Ojo de agua, no fluye	1855697N 749929 E 1612m snmm	Rinconada	Asociado a fracturamiento en rocas andesíticas
El Lloradero. caudal reducido	1855605 N 750961 E	Rincón el Huisache	Asociado a fracturamiento en rocas andesíticas
Manantial Jarilla, caudal reducido	1855470 N 750871 E	Las Jarilla	Asociado a fracturamiento en rocas andesíticas
El Mango, caudal reducido	1855940 N 750805 E 1581m snmm	Los Gaitanes	Asociado a fracturamiento en rocas andesíticas
El Balneario se capta todo en el balneario	1861650 N 750897 E 1590m snmm	Piedra Larga	Asociado a fracturamiento en rocas andesíticas

Tabla III.7 Censo de pequeños manantiales ojos de agua



Foto III.5



Foto III.6

Foto III.5 Manantial El Lloradero en el paraje Rincón el Huisache asociado a fracturamiento en rocas terciarias magmáticas andesíticas.

Foto III.6 Manantial El Mango en el paraje los Gaitanes asociado a fracturamiento en rocas terciarias magmáticas andesíticas



Foto III.7 Manantial La Jarilla en el paraje del mismo nombre, asociado a fracturamiento en rocas terciarias magmáticas andesíticas.

Foto III.8 Manantial El Ojo de agua en el paraje Rinconada asociado a fracturamiento en rocas terciarias magmáticas andesíticas.

III.9 EXPLORACIÓN DIRECTA A TRAVÉS DE CATAS Ó POZOS A CIELO ABIERTO SOBRE EL CAUCE Y MÁRGENES DEL RÍO OCOTLÁN

Se hicieron 9 catas de exploración en forma de pozos, a pico y pala, algunas con retroexcavadora, de 2.00 – 5.00 m de profundidad por 2.00 m de diámetro, en diferentes puntos en el valle dentro de la microcuenca.

Las excavaciones o (catas) a cielo abierto sirvieron para hacer observaciones directas y conocer el espesor de los suelos en ambas márgenes del río. El espesor de los suelos varía de 1.00 a 1.20 m de acuerdo con las mediciones en las excavaciones (**ver foto III. 9, III.10**).

Las excavaciones ó (catas) a cielo abierto sobre la superficie del cauce del Río Ocotlán ayudaron a conocer el nivel de las aguas subálveas y el espesor del material granular que se encuentra en contacto discordante con las rocas andesíticas.

Estas excavaciones realizadas sobre el cauce del Río Ocotlán a 100 y 500 m de distancia en dirección horizontal de la ubicación de los pozos de abastecimiento de agua potable del municipio, aportaron los siguientes datos.

A 5.00 m, se encontró el macizo rocoso de andesitas, el nivel freático a 4.50 m, en un horizonte de conglomerados no consolidados con espesor de 1.00 m y una lamina de 0.50 m de espesor de agua, (**ver fotos III. 11, III. 12**)



Foto III.9



Foto III. 10

Foto III.9 Excavación ó pozo en la margen derecha del río Ocotlán con 3 horizontes de material granular con matriz arcillosa.

Foto III.10 Excavación ó pozo sobre el margen derecho del río Ocotlán con una profundidad de 3.0m, 1.0 m de espesor de suelo.



Foto III. 11



Foto III. 12

Foto III.11 Excavación ó pozo en la margen izquierda del río, 4.50 m de profundidad

Foto III.12 Excavación ó pozo sobre el cauce del Río Ocotlán. 5.0 m de profundidad.

III.10 EXPLORACIÓN DIRECTA A TRAVÉS DE OBRAS DE OBSERVACIÓN (PILOTO) PREVIAMENTE CONSTRUIDAS EN DIFERENTES PARAJES DENTRO DE LA MICROCUENCA.

Existen dos estanques rústicos uno en el paraje Loma Larga y el otro en el paraje Chilaguá Azul, de forma irregular de 30 m de largo, 15 m de ancho, 3 m de altura.

Estas estructuras fueron construidas para la observación directa de la capacidad de almacenamiento, retención de agua durante el estiaje, conocer la permeabilidad e infiltración.

Se pudo observar que a principios de abril de 2005 contenía una lámina de agua de 0.10 - 0.20 m en ambos estanques, sabiendo que la última lluvia cayó a mediados de Septiembre del 2004 en esta área de estudio.

Represa de mampostería ubicada sobre el arroyo Tres Cruces en el paraje conocido como, El Calicanto de los Ocotitos, 20.00 m de longitud de cortina, 5.00 m de altura de cortina, 50.00 m de longitud del vaso, con una capacidad de 2,125.00 m³ de almacenamiento de agua.

Se pudo apreciar que contenía una tercera parte de su volumen con agua, y además su influencia en la recarga de 4 pozos noria que se encuentran a 300 m de distancia del almacenamiento, aguas abajo sobre ambas márgenes del arroyo.

El Jagüey Vichivil se encuentra emplazado sobre el arroyo en el paraje Vichivil con una cortina de arcilla de 40.00m de longitud, 4.00 m de altura, 70.00 m de longitud del vaso, su capacidad de 4,760 m³ de almacenamiento de agua. En la base del arroyo se pudieron observar rocas andesíticas fuertemente alteradas.

El Jagüey se encuentra a la mitad de su capacidad con agua, obsérvese las siguientes imágenes. **(Fotos IV. 14, IV.13)**



Foto IV.13



Foto IV.14

Foto III.13 Jagüey Vichivil en pleno estiaje con más de la mitad de su capacidad con agua.

Foto III.14 Cortina de roca emplazada en andesitas fuertemente fracturadas con una tercera parte de su capacidad con agua, ubicado sobre el arroyo Tres Cruces.



Foto III.15



Foto III.16

Foto III.15 Estanque rústico con una lámina de 0.20 m de agua, recarga al pozo noria que se encuentra en la base del estanque.

El estanque está a punto de secarse, sin embargo el pozo noria tiene aún 6.00 m de agua.

Foto III. 16 Estanque rústico a la mitad de su capacidad con agua se utiliza como abrevadero.

CAPITULO IV

INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN

IV.1 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LAS EXPLORACIONES DIRECTAS A TRAVÉS DE CATAS Ó POZOS A CIELO ABIERTO.

Se pudo apreciar en ambas márgenes del río Ocotlán el espesor de los suelos promedio es de 1.00 m. En los bordes del valle varía de 0.10 - 0.30 m de espesor, estos suelos por su composición limo- arcillosos son poco permeables.

Las exploraciones sobre el cauce del río indican que a 5.00 m se encuentran las rocas terciarias magmáticas andesíticas, en contacto con los depósitos aluviales del cuaternario, los depósitos cuaternarios están compuestos por horizontes de conglomerados no consolidados envueltos en matriz limo-arcilloso y arena gruesa mal clasificada con una matriz limo arcilloso.

En la base de estos depósitos se pudo apreciar 1.00 m de conglomerados no consolidados, con un horizonte de 0.50 m de espesor de agua subálvea que vienen siguiendo el curso del río de aguas arriba, de las partes altas de la microcuenca (ver foto IV.1 y IV.2).



Foto IV.1 Muestra los 4.50 m de espesor de material granular de la superficie del cauce al espejo de agua.

Foto IV. 2 Se puede apreciar a los 4.50 m el nivel freático, en un horizonte de 1.00m de conglomerados y un espesor de 0.50 m de aguas subálveas que forman el acuífero libre

IV.2 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LOS CENSOS DE POZOS TIPO NORIA.

Los pozos: Rancho Bajío, Rancho Particular se encuentran en la margen izquierda del río, los pozos Gaviones 1, 2, 3 del municipio se encuentran en la

margen derecha del Río Ocotlán, presentan un nivel estático de 11.50 m en promedio, se bombean durante 2 horas al día durante el estiaje, se recuperan hasta las 24 horas.

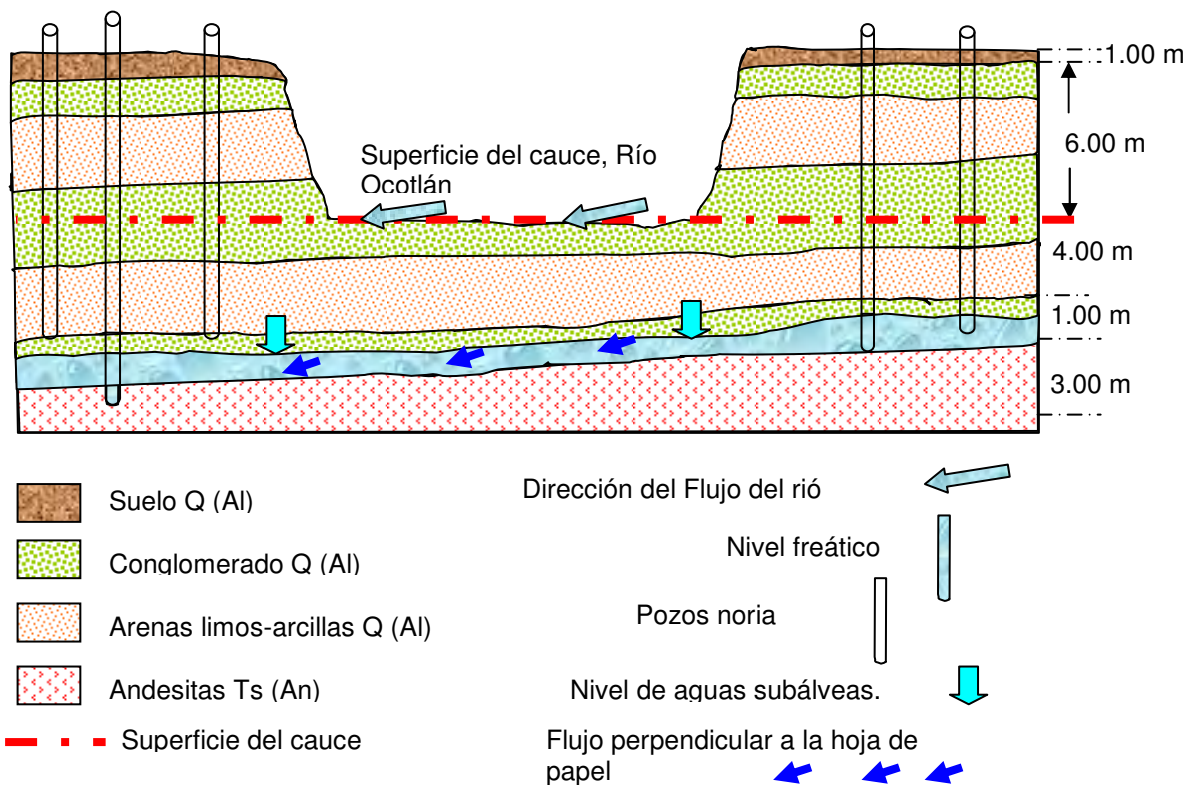
Algunos pozos particulares se bombean de 3 a 4 veces al día para llenar sus pipas y vender el agua como es el caso del Rancho Particular.

Los pozos noria citados anteriormente se encuentran en ambas márgenes del río, se alimentan directamente de las aguas subálveas que trae el Río Ocotlán desde las partes altas.

Se pudo observar un espesor de 0.50m de agua subálvea que forma parte del acuífero libre abatido, en conglomerados no consolidados con matriz arenosa gruesa de 1.00 m de espesor, (**ver figura IV.1**).

De los pozos noria ubicados en los bordes del valle como son: Rancho los Amador, Los Pérez, Gaytanes, Chilaguá Azul etc. se encuentran emplazados en rocas andesíticas fuertemente alteradas, varían su profundidad de 5.00 – 8.00 m, algunos están secos y otros tienen desde 0.50 – 6.00 m de espesor de agua, si se bombean se agotan y se recuperan algunos hasta las 24hrs, abastecen a unas cuantas familias.

Estos pozos son alimentados de infiltraciones muy locales asociados a fracturanamiento de las rocas andesíticas.



La figura IV.1 muestra el nivel freático de los pozos noria emplazados en ambas márgenes del Río Ocotlán, un horizonte de 0.50 m de agua subálvea y un espesor de 1.00 m de conglomerado no consolidado. De acuerdo a los datos tomados de las exploraciones realizadas sobre la superficie del cauce del río.

(Fig. IV.1) Muestra la interpretación de los datos obtenidos de los pozos noria y de las catas ó excavaciones realizados a cielo abierto en la superficie del cauce del Río Ocotlán.

Se muestra el nivel freático de los pozos emplazados a 100.00 y 500.00m de distancia en línea horizontal en ambas márgenes.

El nivel de las aguas subálveas representado por un horizonte de 0.50m, en conglomerados no consolidados de 1.00 m de espesor.

Las rocas magmáticas terciarias de baja permeabilidad actuando como roca sello del acuífero libre.

IV.3 INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LOS CENSOS DE PEQUEÑOS MANANTIALES.

De los 6 manantiales observados, la mayoría se encuentran al pie de monte sobre las márgenes de los arroyos, asociados a fracturamiento en rocas andesíticas fuertemente alteradas. Tienden a secarse por lo que son poco aprovechados (**ver figura IV.2**).

Los manantiales más valiosos son: La Caja y El Balneario ambos se aprovechan, el primero tiene una caja de captación y se va directamente a un depósito que permanece cerrado, alimenta a 10 familias aproximadamente, el segundo es aprovechado en su totalidad por el balneario.

Estos manantiales son alimentados por infiltraciones que siguen el fracturamiento no profundo, originando flujos muy pobres y muy locales en la zona de recarga.

Por lo cual se puede interpretar que el agua de las precipitaciones pluviales no se infiltra profundamente al interior de las rocas magmáticas andesíticas por su baja permeabilidad, más bien la infiltración es superficial que da origen a flujos muy pobres haciendo un recorrido muy local, emanando en forma de manantiales. (**Ver figura IV.2**)

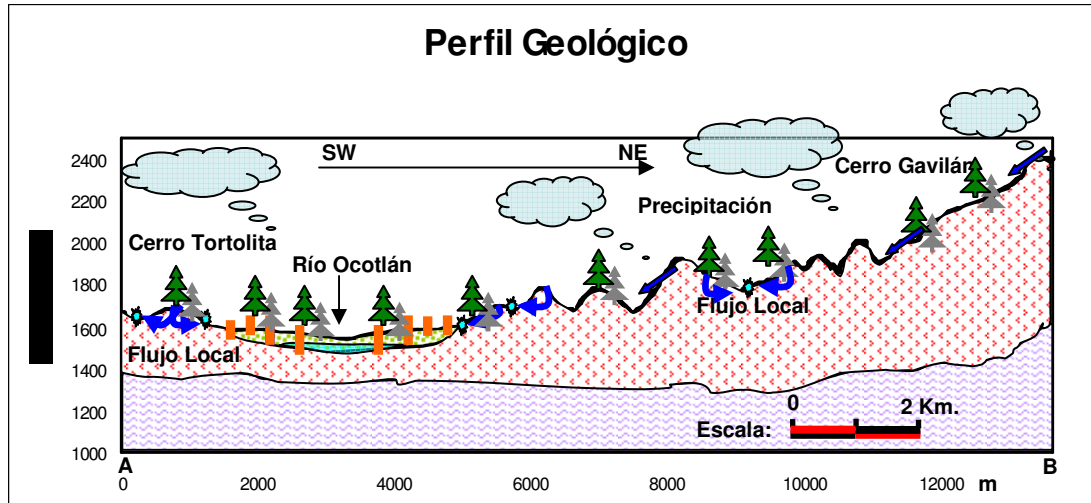
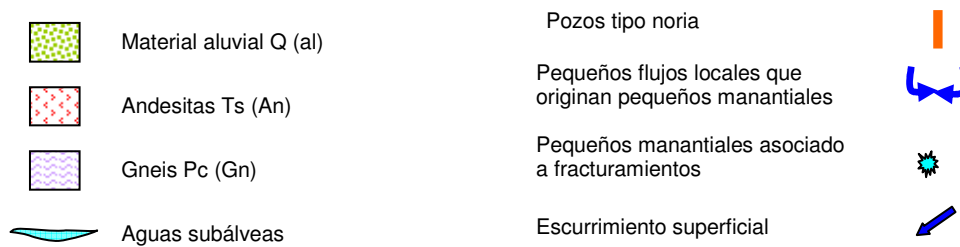


Figura IV.2 Jerarquización de los sistemas de flujo Tóth (1963, 1990, 1999) Freeze y Witherspoon (1967), Carrillo Rivera et al. (1999) Una topografía montañosa, en un medio geológico homogéneo, producirá numerosos sistemas de flujos locales.



IV.4 INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS DE OBRAS DE OBSERVACIÓN (PILOTO) PREVIAMENTE CONSTRUIDAS EN DIFERENTES PARAJES DENTRO DE LA MICROCUECNA.

En los estanques rústicos se encontró una lamina de agua de 0.10 - 0.20 m de espesor ya casi estaban a punto de secarse (**ver foto IV.3**),

La represa de roca almacena una tercera parte de su volumen de agua, además recarga a los 5 pozos noria que se encuentran aguas abajo en ambas márgenes del arroyo.

Esta pequeña obra se encuentra emplazada en andesitas fuertemente fracturadas, a pesar de estas características presenta poca permeabilidad (**ver foto IV.4**).

El Jagüey Vichivil se encuentra a la mitad de su capacidad con agua y sirve como abrevadero de ganado, en su base presenta andesitas fuertemente alteradas y fracturadas a pesar de estas características presenta poca permeabilidad.

Estas pequeñas obras demuestran, que a pesar de estar emplazadas en rocas fracturadas andesíticas, son capaces de almacenar agua durante todo el estiaje.

Por lo que cualquier represa o jagüey que sea construida sobre estas rocas garantizara el almacenamiento de agua durante toda esta estación.



Foto IV.3



Foto IV.4

En la fotografía VI.3 se puede apreciar un estanque rústico con una lámina de 0.50m de espesor de agua, permaneciendo durante la sequía del estiaje. Se puede deducir que el material en la que se encuentra el agua es poco permeable evitando una infiltración importante, pero mucha evaporación.

La fotografía IV.4 presenta el emplazamiento de una represa de roca, en andesitas fuertemente fracturadas, gracias a su baja permeabilidad, el vaso se encuentra a un poco menos de la mitad de su capacidad con agua, soportando la sequía de los 6 meses de estiaje.

IV.5 PROPUESTA.

CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE 3 REPRESAS DE ROCA.

De acuerdo a los datos obtenidos anteriormente, se realizaron las siguientes tres propuestas principales que deberán dar solución a la escasez de agua a corto plazo.

- Construcción de un sistema de 3 represas de rocas separadas a cada 350 m, sobre el Río Ocotlán, en una longitud de 1km para embalsar 67,500 m³ de agua que deberá ser aprovechado durante los 6 meses de estiaje, además deberá elevar el nivel freático en los pozos noria y recargar el acuífero libre.
- Construcción de sistemas de represas de roca en los 6 arroyos principales dentro de la microcuenca para reforzar la recarga del acuífero libre y elevar el nivel freático en general.

- Así como la construcción sistemática de represas con gaviones en diferentes parajes dentro de la microcuenca, bordos o jagüeyes, estanques rústicos, anillos de captación, bordos a nivel en parcelas y reforestación con plantas nativas de la región para el control de la erosión y regeneración de suelos

Estos sistemas ayudaran a la regeneración y conservación de la microcuenca de forma integral. **(Gerardo Cruiskshank García, 1998, Proyecto Lago de Texcoco. Rescate Hidrogeológico, segunda edición).**

IV.6 PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA.

PROYECTO QUE DEBERA REALIZARSE TOMANDO COMO MODELO UN SISTEMA DE REPRESAS DE ROCA.

En este proyecto se plantea la obtención de 300 m³ de agua diario durante el estiaje, para lograr equilibrar las necesidades de consumo de agua de la población, como primera etapa del proyecto.

Se propuso el paraje Tarai que se encuentra sobre el río Ocotlán para la construcción de tres represas de mampostería (roca) que deberán estar separadas a una distancia de 350 m cada una.

El propósito es saturar de agua la base y las márgenes de este río al menos en 1 km de longitud, **(recargar el acuífero libre).**

Elevar el nivel freático de los pozos noria que se encuentran a 100.00 y 500.00 m de distancia en línea horizontal de ambas márgenes del Río Ocotlán.

Las 3 represas de roca deberán almacenar un volumen de 67,500 m³ de agua. Las dos últimas estarán conectadas con la primera, por el terreno natural en su base que está compuesto por un conglomerado no consolidado, **(ver figura IV.3).**

La primera represa estará anclada 5.00 m bajo la superficie del río Ocotlán en el macizo rocoso de baja permeabilidad para elevar el nivel freático del agua.

Posteriormente en la primera represa de un sistema de tres, la obra de toma estará a 5.00 m bajo el nivel de agua almacenado, por un conducto (válvula) de 6 pulgadas de diámetro de salida.

Esta salida estará comunicada con tubería de acero al carbón hasta el pozo noria para su bombeo **(ver figura IV.4).**

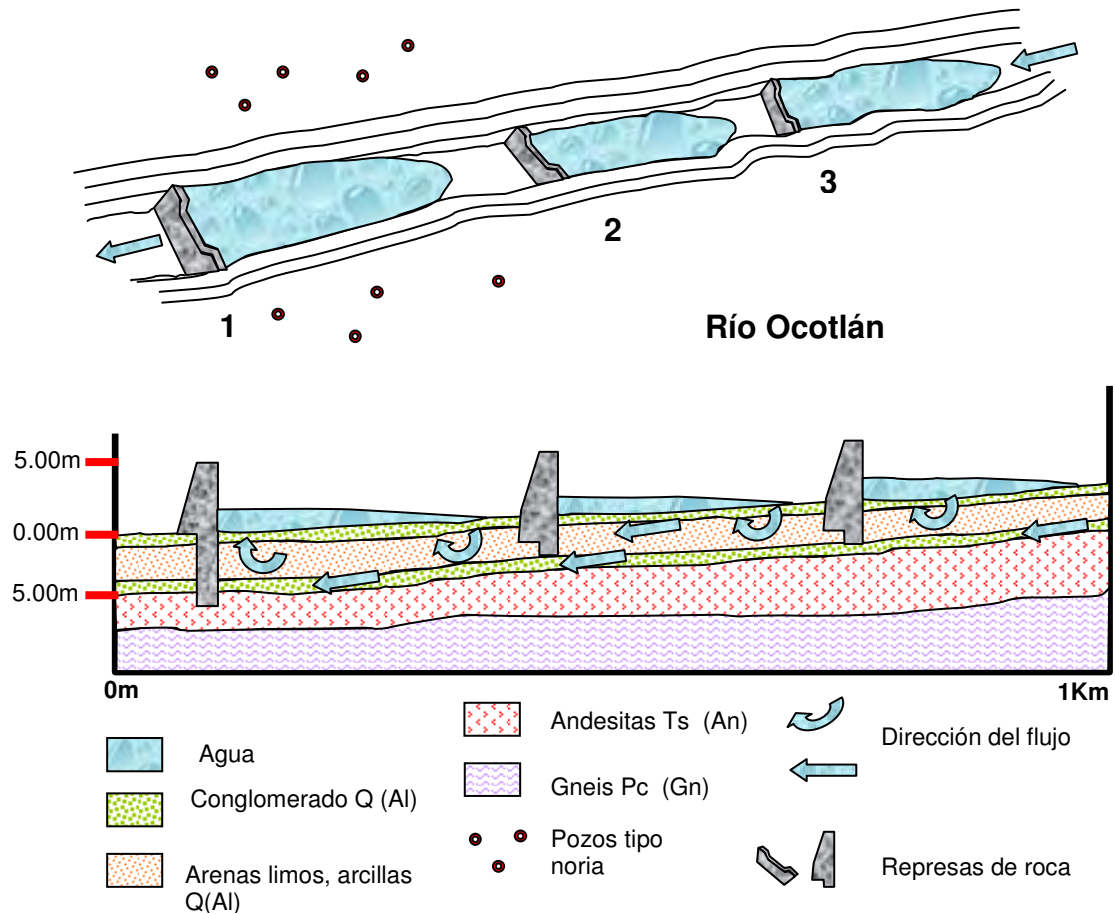


Figura IV.3 Modelo esquemático de un sistema de represas de roca para recargar el acuífero libre y elevar el nivel freático en ambas márgenes del Río Ocotlán.

IV.7 DATOS TECNICOS DE PROYECTO REPRESA DE ROCA.

Las dimensiones del sistema de represas serán iguales en las tres en cuanto a volumen de almacenamiento.

H = 5.00 m altura de cortina
 L= 300.00 m longitud del baso
 A = 40.00 m de longitud de cortina

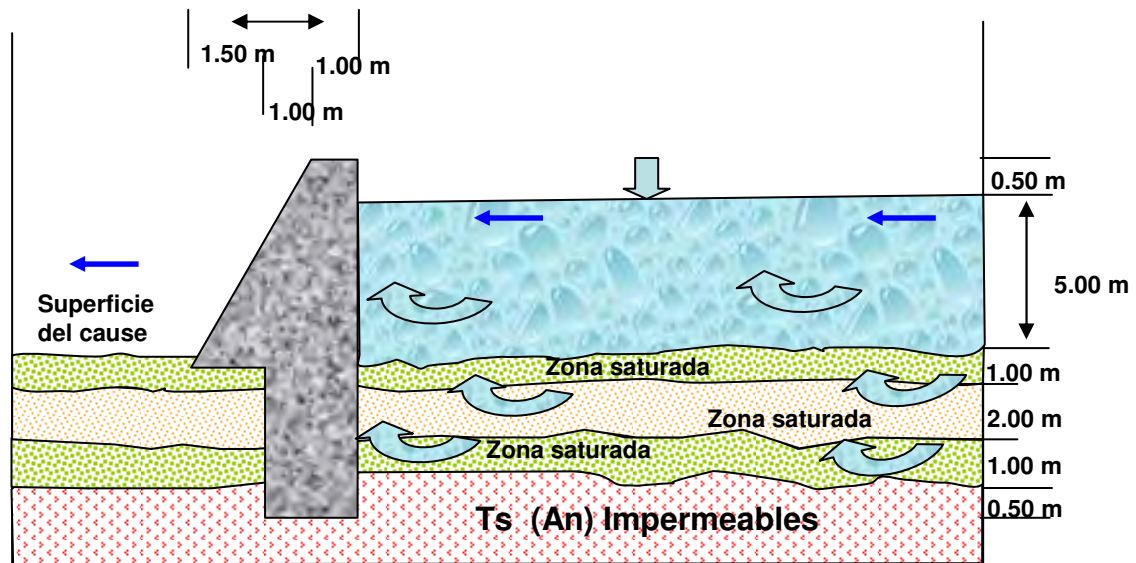


Figura IV.4

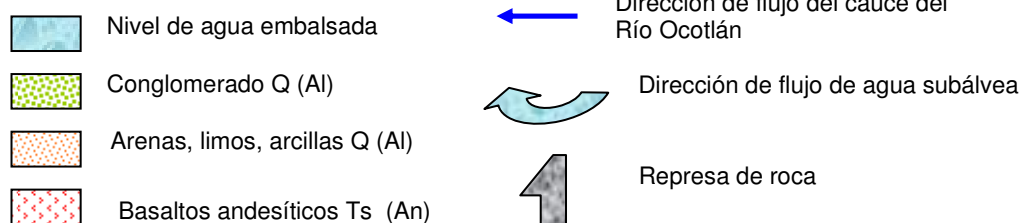


Figura IV.4 Diagrama esquemático de la primera represa de roca anclada sobre el macizo rocoso de andesitas de baja permeabilidad, para elevar el nivel freático en ambas márgenes del Río Ocotlán.

IV.8 CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE EMBALSE DE AGUA EN EL SISTEMA DE TRES REPRESAS DE ROCA.

Se inicia calculando los volúmenes de agua que deberá almacenar el sistema de 3 represas de roca tomando en cuenta que tienen las mismas dimensiones, en cuanto volumen de almacenamiento.

Longitud (L) = 300 m, Altura (H)= 5 m, Ancho (a) = 40 m

$300\text{m} \times 40\text{m} \times 5\text{m} = 60,000 \text{ m}^3$ por cada una

Por tratarse de un cuerpo rectangular

$V = 60,000 \text{ m} \times \frac{1}{2} = 30\,000\text{m}^3$

Volumen total: $30,000 \times 3 = 90,000 \text{ m}^3$ de agua.

Este volumen es afectado por el factor (k) evapotranspiración que varía de (0.7 a 0.85) de acuerdo con (U. S. Weather Bureau), por lo que el volumen disponible queda de la siguiente forma.

VOLUMEN DISPONIBLE: $90,000 \text{ m}^3 \times 0.85 = 76\,500\text{m}^3$

IV.9 VOLUMEN MÍNIMO ANUAL DE CONSUMO DE AGUA PARA EL MUNICIPIO DE OCOTLÁN DE MORELOS OAXACA.

De acuerdo con la ONU para poblaciones menores a 20,000 habitantes en zonas rurales, el consumo de agua por habitantes es de 150 lts. / día. (**PNUMA 2002 semarnat.gob.mx**), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. **Tomando como referencia este dato se calculó el gasto mínimo del municipio.**

GASTO MÍNIMO ANUAL = 972,000 m³
EXTRACCIÓN ANUAL = 918,000 m³
DÉFICIT DURANTE EL ESTIAJE = 54 000 m³

Se necesita 300 m³ de agua por día durante los meses de estiaje de noviembre a mayo, que serían 6 meses.

IV.10 DESCARGA DEL VOLUMEN DISPONIBLE

La descarga se realizará a través de una (válvula) de de 6" pulgadas de diámetro, el gasto se calcula partiendo del siguiente razonamiento.

1 Minuto = 60 segundos
1 Hora = 60 minutos = 3600 segundos
24 Horas = 86400 segundos

EL gasto calculado de una válvula de 6 pulgadas es afectado por el factor 0.5 de perdidas de energía (**0.045599 m³**). Solo se necesita abrir la válvula durante dos horas diarias para obtener los siguientes volúmenes.

(7200 segundos) (0.045599m³)

Q = (328.31) m³ /2hrs.

Este volumen obtenido en sólo dos horas por día, multiplicado por 30 días que tiene un mes, se obtiene el siguiente gasto.

Q = (328.31) m³ x (30 días)

Q = 9, 849.3 m³ /mes

Este volumen multiplicado por seis meses que son las que se necesitan.

(6 meses) (9849.3) m³ , origina el siguiente gasto **Q = 59,095.8 m³ /6 meses**

$Q = 59,095.8 \text{ m}^3$ VOLUMEN DE EXTRACCIÓN

$Q = 76\,500 \text{ m}^3$ VOLUMEN DISPONIBLE O DE (ALMACENAMIENTO)

El volumen de extracción comparado con el volumen disponible ó de almacenamiento en las tres represas de roca, nos indica claramente que soluciona el problema de escasez de agua planteado en este trabajo de tesis (ver figura IV.5).

Sin tomar en cuenta el volumen almacenado de agua en la base de las presas, en donde el material granular estará saturado.

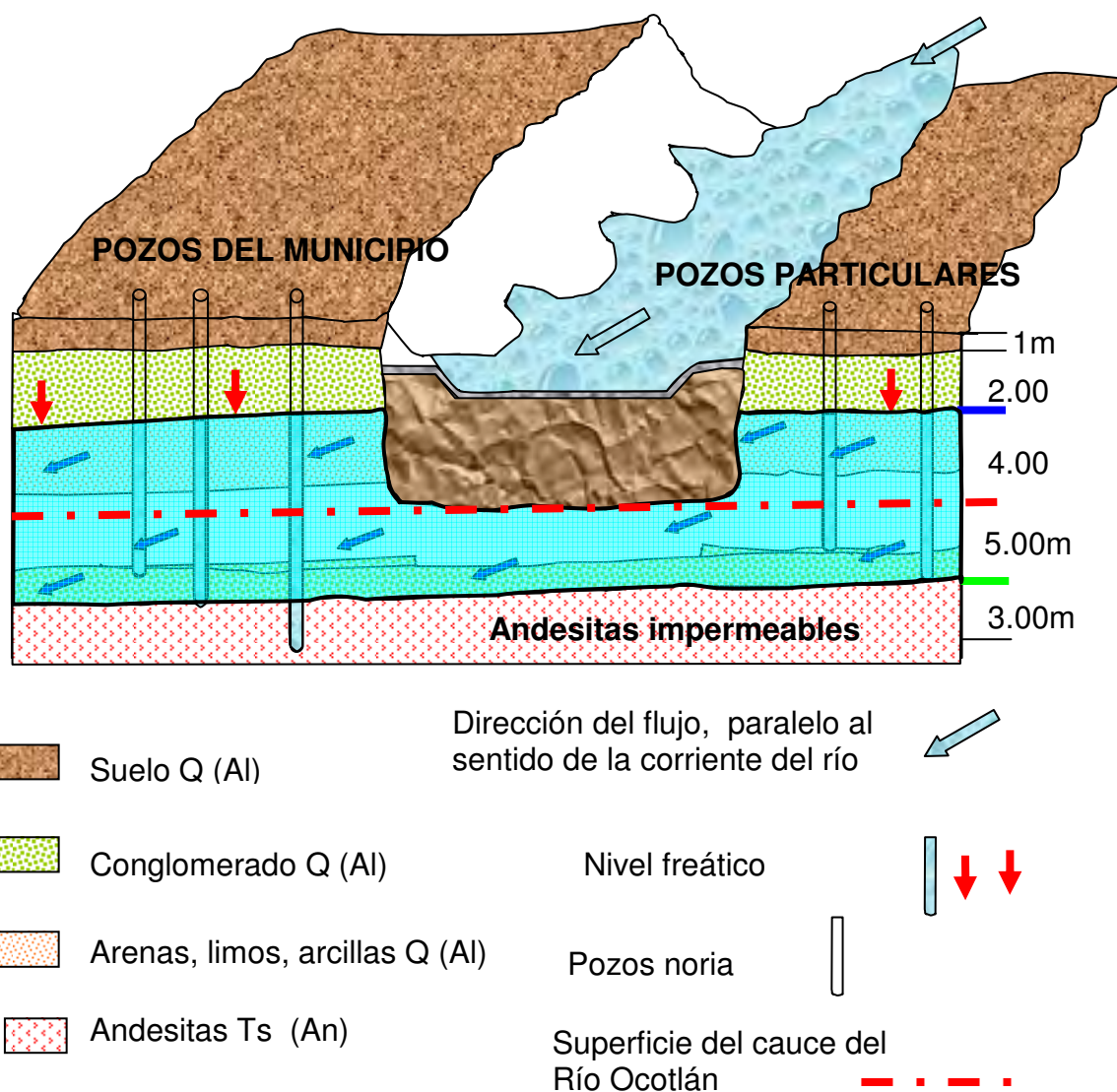


Fig. IV.5 Modelo conceptual del sistema de represas de roca y su influencia en la recarga del acuífero libre y la elevación del nivel freático en los pozos tipo noria en la estación de verano (lluvias).

IV.11 PANORAMA QUE SERVIRÁ PARA DISTINGUIR LOS EFECTOS ANTES Y DESPUÉS DE LA RECARGA.

Las siguientes fotografías muestran las características físicas del cauce del Río Ocotlán en tiempo de estiaje.



Foto IV.5



Foto IV.6

Foto IV.5 Cauce del río Ocotlán durante el estiaje y observación de las obras civiles que se ha llevado las grandes avenidas.

Foto IV.6 Cauce del río Ocotlán totalmente seco y ampliado por los excesos de extracción de los materiales de construcción.



Foto IV.7



Foto IV.8

Foto IV.7 Sobreexplotación de los materiales de construcción que provoca a cambiar el curso ó dirección del río Ocotlán, erosionando las márgenes y llevándose los terrenos de cultivo.

Foto IV.8 La erosión y la sobreexplotación del material granular contribuyen a la evaporación de las aguas subálveas provocando que el río se seque con más rapidez.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1 CONCLUSION DE LA PRIMERA OBRA EN LAPRIMERA ETAPA.

Hasta la fecha 01/Octubre/2005 se ha concluido con la primera represa de roca de un sistema de tres obras contempladas, para el año 2006.

En la foto (V.1) Se puede apreciar el proceso constructivo de la primera obra del sistema de represas de roca, con algunas avenidas provocado por las lluvias de verano.

A pesar de ser una obra tan pequeña muestra el volumen de agua que puede embalsar, y la capacidad de estos sistemas para recargar el acuífero libre, elevar el nivel freático en los pozos y resolver un problema de escasez de agua.



Foto V .1 Proceso constructivo de la primera represa de roca con algunas avenidas en agosto del 2005.



Foto V.2

En la foto V.2 se puede apreciar una de las grandes avenidas provocada por el Huracán Stan. Al fondo en la margen izquierda en dirección de la corriente se observa un poste de luz con un transformador que alimenta a la bomba de uno de los pozos.



(Foto V.3)

En la foto V.3 se puede apreciar el embalse paralelo a uno de los pozos municipales, efectuándose la recarga del acuífero libre y elevando el nivel freático en los pozos. Efecto que se ve realizado con el planteamiento del estudio presentado en este trabajo de tesis.

V.2 CONCLUSIONES.

- **No existen manantiales importantes, tampoco cuerpos de agua embalsados por obras civiles que pudieran ayudar al abastecimiento de la población.**
- **Con la construcción de la primera represa se logró elevar el nivel freático provocando los primeros efectos de recarga del acuífero libre y la elevación del nivel de agua en los pozos que están emplazados en ambas márgenes del río Ocotlán.**
- **Se realizaron exploraciones directas a través de excavaciones ó catas en ambas márgenes del río Ocotlán a cielo abierto, encontrándose espesores de 12.0 a 15.0 m de material granular envueltos en una matriz arcillosa, en el cual se encuentran emplazados la mayoría de los pozos particulares y del municipio,**
- **El nivel freático en promedio se encuentra a 11.50 m en ambas márgenes del río Ocotlán, en un horizonte de conglomerados no consolidados de 1 m de espesor. Con 0.50 m de espesor de agua subálvea que trae el río de aguas arriba.**
- **Los resultados de las exploraciones directas a cielo abierto realizados sobre el cauce del río y en varios puntos dentro del valle, se pudo apreciar claramente que existe una sobreexplotación del acuífero libre de tal forma que está a punto de secarse.**
- **La erosión de los suelos es bastante marcada producto de una extrema deforestación y el sobre pastoreo desmesurado. También existe una sobreexplotación de materiales de construcción (grava, arena), siendo este material la estructura de almacenamiento de agua sobre el río Ocotlán, estas acciones aceleran la evaporación de las aguas subálveas y contribuyendo a un desequilibrio hidroambiental.**

V. 3 RECOMENDACIONES.

- **Se recomienda el concepto de Sistema de Recarga de Microcuenca ó cuencas tributarias por que es un estudio integral dinámico, trata áreas muy locales facilitando su estudio, la comunicación, la interacción, la conscientización y la participación social de sus habitantes, para llevar a cabo las acciones como son: la construcción de bordos ó jagüeyes, estanques rústicos, represas con gaviones, reforestación con plantas nativas de la región. Estas acciones reafirman la recarga del acuífero libre, la conservación y regeneración del medio ambiente en general de la microcuenca, se requiere de poca inversión y está al alcance de las poblaciones pequeñas a nivel municipio.**

- **Se recomienda a las autoridades gubernamentales e instituciones federales a retomar el concepto de Sistema de Recarga de Microcuenca, o cuencas tributarias y ser aplicadas para la recarga de acuíferos en otras microcuencas dentro de la República Mexicana. Ya que por pautas culturales solo se piensa en la extracción de grandes volúmenes de agua provocando un grave desequilibrio hidroambiental en los acuíferos y abandonándolos a su suerte, esperando que la naturaleza los vuelva a recargar.**

- **Se recomienda aplicar el concepto de Sistema de Recarga de Microcuenca en otras cuencas regionales de la República Mexicana, porque ayuda a generar sus propios recursos naturales como el agua construyendo su propio desarrollo sustentable, facilita la participación directa de los habitantes que se encuentran en comunidades o municipios, compartiendo los mismos problemas como la escasez de agua, dentro de un territorio delimitado naturalmente como microcuenca.**

- **Es recomendable este tipo de trabajos porque los municipios que han logrado entender el concepto de Sistema de Recarga de Microcuenca ó cuencas tributarias ayudan a la conservación y regeneración del medio ambiente de su territorio, implantando diversas obras para la captación de agua, reforestan, no tiran aguas negras de drenaje ni basura en las barrancas ó arroyos, con estas actividades contribuyen a su propio desarrollo sustentable tratando de encontrar un equilibrio hidroambiental.**

APENDICE.

CICLO HIDROLOGICO.

El ciclo hidrológico es el término que se usa para describir la circulación general del agua desde el océano hacia la atmósfera, hacia el subsuelo y nuevamente hacia el océano.

El ciclo hidrológico o del agua no tiene principio ni fin, el agua de la superficie del océano se evapora hacia la atmósfera. Este vapor se condensa por varios procesos y cae a la tierra como precipitación. Una parte de esta precipitación cae sobre el océano y otro sobre el terreno. Una porción de la que cae en la tierra es retenida temporalmente en depresiones superficiales, vegetación y otros objetos receptores, posteriormente retorna a la atmósfera por evaporación y transpiración. La restante se mueve a través de la superficie formando ríos y lagos vaciándose en los mares, durante su trayecto también esta sujeta a la evaporación y transpiración e infiltración.

El agua infiltrada puede percolarse hasta zonas más profundas y ser almacenada como agua subterránea de hecho tiene movimiento y hasta puede emanar en forma de manantiales (**ver figura 1**).

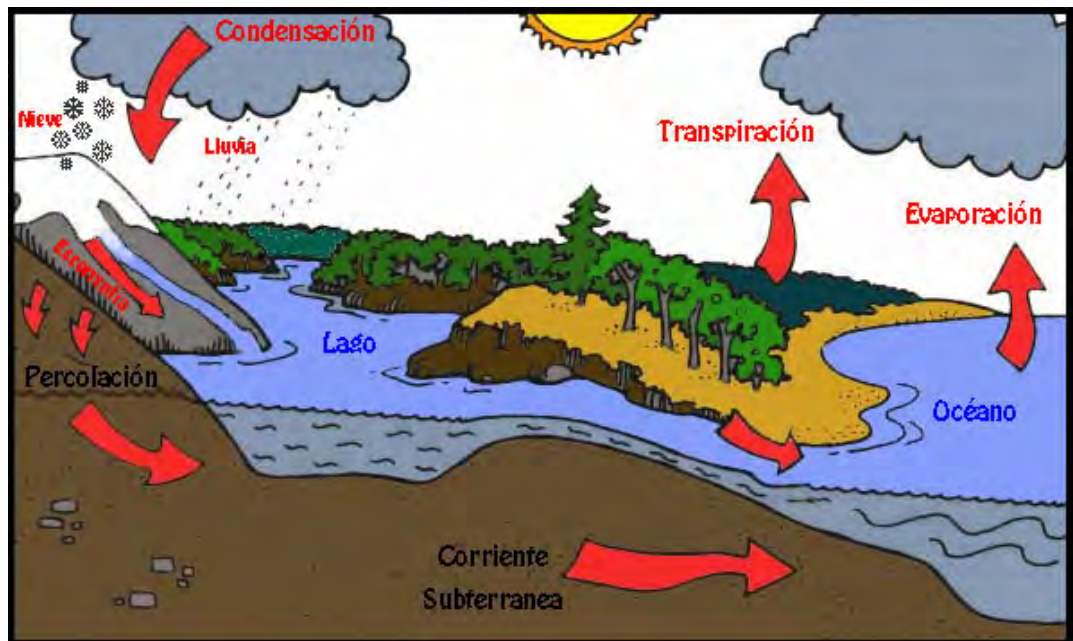


Figura 1 Ciclo hidrológico

AGUA FREÁTICA.

Agua que se encuentra en el subsuelo, a una profundidad que depende de las condiciones geológicas, topográficas y climatológicas de cada región. La superficie del agua se designa como nivel de agua freática.

INFILTRACION.

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el subsuelo. La percolación es el movimiento del agua a través, después de la entrada. Muchos factores influyen en la tasa de infiltración, incluyendo la condición de la superficie del suelo y su cubierta vegetal, las propiedades del suelo, tales como la porosidad y la conductividad hidráulica, y el contenido de humedad presente en el mismo, así como también la duración de la lluvia y del patrón de drenaje en la cuenca.

ACUIFEROS: Capaces de almacenar y transmitir el agua (gravas, arenas, calizas); son formaciones con capacidad de drenaje alta, en la que se puede perforar pozos y sondeos con el fin de satisfacer las necesidades humanas de abastecimiento, agricultura e industria, ganadería.

ACUITARDOS: Capaces de almacenar agua en cantidades importantes, pero la transmiten con dificultad; se suele denominar con frecuencia formaciones semipermeables (limos, arenas – limosas, arenas arcillosas). Su capacidad de drenaje es media a baja, no son de interés para la obtención de caudales importantes, sin embargo en la naturaleza juegan un papel muy importante como elementos trasmisores de agua en recargas verticales a través de grandes superficies.

ACUICLUDOS: Pueden almacenar agua en grandes cantidades pero no tienen las posibilidades de transmitirla y se drena con mucha dificultad; el agua se encuentra encerrada en los poros de las formaciones y no puede ser liberada (arcillas y limos-arcillosos). En conceptos de hidrología clásica se considera como impermeable, no obstante en ingeniería se considera su más mínima permeabilidad.

ACUIFUGOS: Formaciones incapaces de almacenar y transmitir el agua, están representados por las rocas compactas, como granitos y gneises y a veces hasta calizas muy compactas sin carstificar, se muestran como impermeables salvo cuando se encuentran fracturadas pueden permitir flujos, **(ver tabla 1)**.

CLASIFICACION	CAPACIDAD DE ALMACENAR	CAPACIDAD DE DRENAR	CAPACIDAD DE TRANSMITIR	FORMACIONES CARACTERISTICAS
ACUIFEROS	ALTA	ALTA	ALTA	GRAVA, ARENA, CALIZA
ACUITARDOS	ALTA	MEDIA - BAJA	BAJA	LIMOS, ARENAS LIMOSAS Y ARCILLAS
ACUICLUDOS	ALTA	MUY BAJA	NULA	ARCILLAS
ACUIFUGOS	NULA	NULA	NULA	GRANITO, GNEISES MARMOLES

Tabla 1 Formaciones geológicas y su relación con el almacenamiento de agua.

POROSIDAD: La porosidad es la relación entre el volumen de huecos y el volumen total de una roca. Es un parámetro adicional y depende únicamente

de la constitución de la roca o suelo, es decir, de una textura característica, sin que intervenga la forma geométrica ni la potencia de la formación o su mecanismo de funcionamiento hidráulico en la naturaleza.

POROSIDAD TOTAL: (n), referida al volumen total de poros independientemente de que el fluido tenga o no la capacidad de circular entre ellos.

$$n = \frac{\text{Volumen de poros}}{\text{Volumen total}}$$

POROSIDAD EFICAZ: (n_e), también conocida como porosidad cinemática se refiere al volumen de poros conectados por los que el transporte del fluido es posible, y queda ligada no solo a la textura de la formación, si no también a las características del fluido.

$$n_e = \frac{\text{Volumen de poros conectados}}{\text{Volumen total}}$$

PERMEABILIDAD.

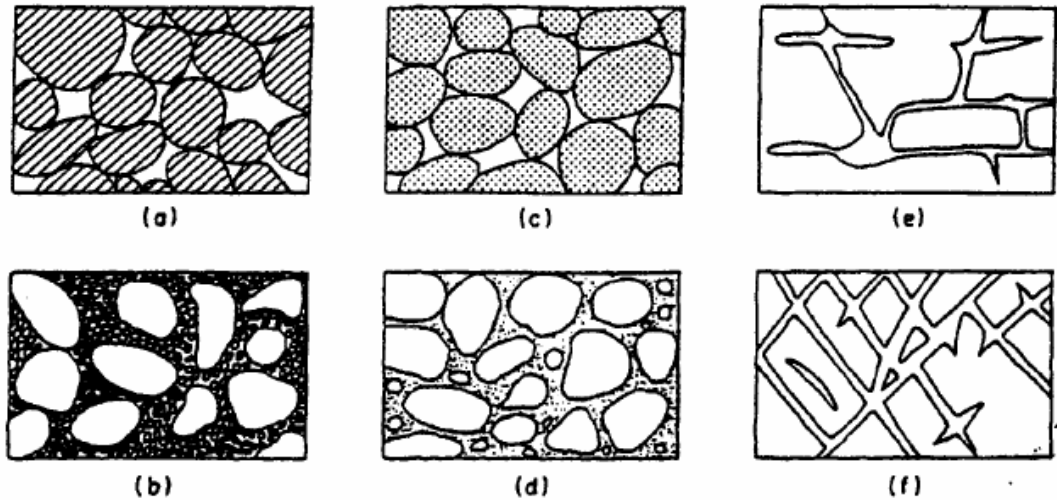
Es el parámetro que permite evaluar la capacidad de transmitir agua de una formación en función de la textura, sin relacionarla con su estructura o forma geométrica.

PROMEDIOS APROXIMADOS DE POROSIDAD, RENDIMIENTO ESPECÍFICO Y PERMEABILIDAD DE VARIOS MATERIALES

MATERIAL	POROSIDAD %	RENDIMIENTO ESPECIFICO %	PERMEABILIDAD INTRINSECA D(DARCYS)	PERMEABILIDAD	
				UNIDADES MEINZER	m ³ /DIA/m ²
ARCILLA	45	3	0.0005	0.01	0.0004
ARENA	35	25	50.00	1000.00	41.00
GRAVA	25	22	5000.00	100000.00	4100.00
GRAVA Y ARENA	20	16	500.00	10000.00	410.00
ARENISCA	15	8	5.00	100.00	4.10
CALIZAS DENSAS	5	2	0.05	1	0.041
CUARZO Y GRANITO	1	0.5	0.0005	0.01	0.0004

$$\text{UN DARCY} = 0.987 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$$

$$\text{UN MEINZER} = 0.0408 \text{ m}^3 / \text{dm}^2 \text{ con gradiente unitario.}$$



- a) Porosidad primaria, en sedimentos bien clasificados, arenas de granulometría uniforme, permeabilidad alta.
- b) Porosidad primaria, en sedimentos mal clasificados, arenas, cantos en una matriz arcillosa, permeabilidad baja
- c) Porosidad primaria, en sedimentos bien clasificados, cantos rodados, guijarros, granulometría uniforme, permeabilidad alta.
- d) Porosidad primaria en cantos rodados, arenas gruesas en una matriz areno- limosa, baja permeabilidad.
- e) Porosidad secundaria por cárst en rocas carbonatadas alta permeabilidad.
- f) Porosidad secundaria por fracturamiento en basaltos, granitos gneis.

TIPOS DE ACUIFEROS.



(Figura No 1 groundwater@co.portage)

Tres tipos de acuíferos tomado de, Portage County Groundwater 2002

Los acuíferos según sus circunstancias hidráulicas y estructurales reaccionan de tres distintas formas, (ver figura No1)

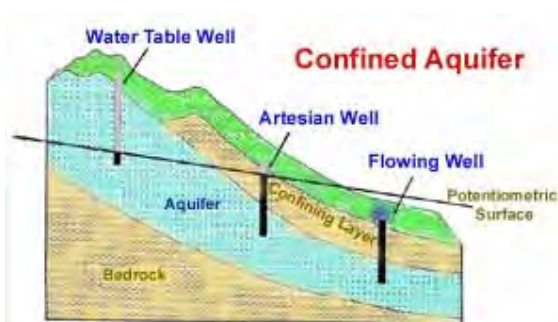
Acuífero libre: cuando el terreno que lo separa de la superficie es permeable. En este caso el agua se encuentra a presión atmosférica, el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable, es decir, el agua que se encuentra, es el agua que tiene almacenada. Este volumen de almacenamiento de agua puede ser alto en comparación de los acuíferos que se mencionaron a continuación y por ello tiene material impermeable por todos lados (**Ver figura No 2**).



(Figura No 2) Acuífero libre

Acuífero confinado o cautivo: el nivel del agua se encuentra por encima del techo del material acuífero, en realidad esta a presión o en carga debido al peso de los materiales superiores, el agua que cede procede de la descompresión de estos niveles superiores, cuando se produce la depresión en el acuífero.

En realidad no existen en la naturaleza acuíferos confinados puros, dado que no existen materiales absolutamente impermeables capaces de aislarlos, en efectos prácticos de ingeniería se consideran como tales, (**ver figura No3**).



(Figura No 3) Acuífero confinado

Acuífero colgado: en la zona no saturada de un acuífero libre, pueden quedar pequeños volúmenes de agua retenidos por la presencia de zonas impermeables intercaladas **ver (figura 4) groundwater@co.portage**.



(Figura 4) Acuífero colgado

DEFINICIÓN DE CUENCA.

La cuenca es un concepto geográfico e hidrológico que se define como el área de la superficie terrestre por donde el agua de lluvia escurre y transita o drena a través de una red de corrientes que fluyen hacia una corriente principal y por ésta hacia un punto común de salida que puede ser un almacenamiento de agua interior, como un lago, una laguna o el embalse de una presa, en cuyo caso se llama cuenca endorreica. Cuando sus descargas llegan hasta el mar se les denominan cuencas exorreicas. Normalmente la corriente principal es la que define el nombre de la cuenca.

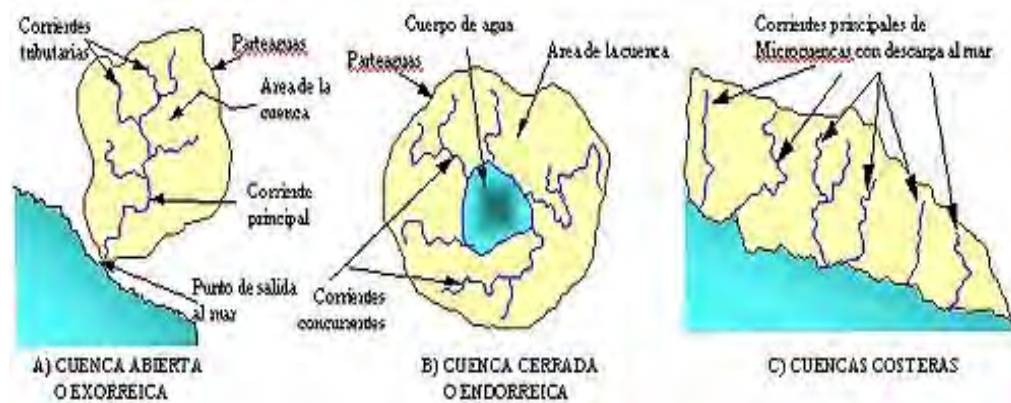
TIPOS DE CUENCA

- **CUENCAS ARREICAS:** No vierten sus aguas a los embalses internos ni al mar, los escurrimientos se pierden en los cauces por evaporación o infiltración sin convertirse en corrientes subterráneas. No existe una red permanente.
- **CUENCAS CRIPTORREICAS:** Los escurrimientos se infiltran y corren como ríos subterráneos sin tener una red fluvial permanente y organizada.
- **CUENCAS ENDORREICAS O LACUSTRES:** El área de captación de la cuenca forma un sistema de corrientes que desemboca en un embalse o lago interior sin llegar al mar.
- **CUENCA EXORREICA:** El sistema de drenaje llega al mar por vía superficial o subterránea, **(ver figura No 5)**

EL CONCEPTO DE CUENCA HIDROGRAFICA.

En el mundo moderno, casi todos los países vienen reconociendo a las grandes cuencas hidrográficas como los territorios más apropiados para conducir los procesos de manejo, aprovechamiento, planeación y administración del agua y, en su sentido más amplio y general, como los territorios más idóneos para llevar a cabo la gestión integral de los recursos hídricos.

Las cuencas además de ser los territorios donde se verifica el ciclo hidrológico, son espacios geográficos donde los grupos y comunidades comparten identidades, tradiciones y cultura, y en donde socializan y trabajan los seres humanos en función de su disponibilidad de recursos renovables y no renovables. En las cuencas la naturaleza obliga a reconocer necesidades, problemas, situaciones y riesgos hídricos comunes, por lo que debería ser más fácil coincidir en el establecimiento de prioridades, objetivos y metas también comunes, y en la práctica de principios básicos que permiten la supervivencia de la especie, como el de corresponsabilidad y el de solidaridad en el cuidado y preservación de los recursos naturales.



(Figura No 5)



(Gestión por cuenca 2002 SAGARPA) informes@ccvm.org.mx

Clasificación de cuencas por su extensión

Cuenca superficie > ha 50,000

Subcuena superficie entre 30,000 y 50,000 ha

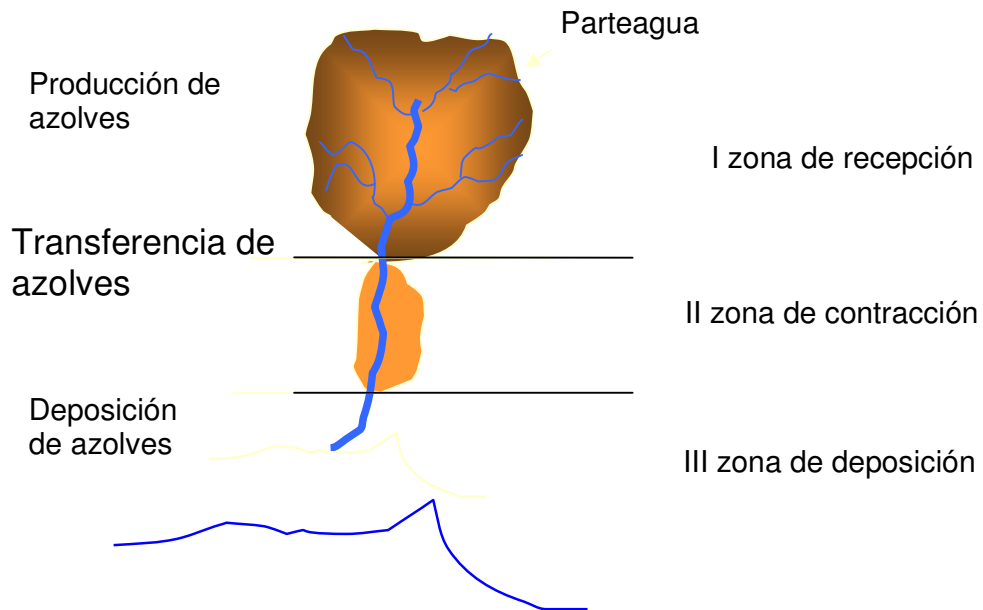
Subcuena tributaria.- superficie entre 10,000 a 30,000 ha

Subcuena específica.- superficie entre 6,000 a 10,000 ha

Microcuena: superficie promedio < 6,000 ha

Microregión: superficie promedio de 10,000 ha

Zonas que integran la cuenca



Parteaguas: Es una línea imaginaria que pasa por los puntos de mayor cota topográfica que limita una cuenca de otra, formando una área receptora de las precipitaciones

El área de la Cuenca: Se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitado por el parte aguas o línea divisoria e imaginaria de la cuenca.

informes@ccvm.org.mx

BIBLIOGRAFÍA.

Alanis – Álvarez, S. A. Nieto- Samaniego, A. F. Ortega- Gutiérrez, F., 1994 Structural evolution of the Sierra of Juárez mylonitic complex , State of Oaxaca, Mexico; UNAM. Instituto de geología, Rev. Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 11 pp 147-156.

Bautista Belmonte A., Belmonte –Jiménez Aragón- Sulik, Nabarro-Mendoza. Caracterización de áreas de recarga y descarga a partir de sondeos eléctricos verticales. Geos. Vol. 23, No 2, P. 9-86, Nov.2000.

Belmonte –Jiménez ¹⁻², Pérez-Flores M. A³ · Campos-Enríquez J.O² Estructura Geoeléctrica del valle de Zaachila Oaxaca. Geos. Vol. 23, No 2, P. 9-86, Nov.2003, E-mail: belmont@prodigy.net.mx

¹Centro interdisciplinario de investigaciones para el Desarrollo Integral Regional IPN, ²Instituto de Geofísica UNAM, ³ ICESE.

Campa, M. F., y Coney, P. J., 1983, Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico: Canadian Journal of Earth Sciences, v. 20, p. 1040-1051.

Carrillo-Rivera JJ., Cardona-Benavides A., Herat t., Guisar R., 1999 Recopilación, Integración y ordenamiento de información relativa a los sistemas de flujo de agua subterránea en la cuenca de San Luís Potosí y su relación Con la Sierra Madre Occidental, Informe final (Texto). No de convenio SGT- GAS -001/PRO99.

Cardona-Benavides, A., y Carrillo-Rivera, JJ., situación Hidrogeológica de las cuencas de S. L. P. Aguas Calientes e Hidalgo como referencia conceptual del funcionamiento del agua subterránea en la región centro del país, Memorias del simposio Internacional de Aguas Subterráneas, Guanajuato, México, p, 69-83.

Castany G. 1975.

Prospección y explotación de las aguas subterráneas
Ed. Omega 576- 581

Chow Ven Te, Maidment David R. 1994.

Hidrología aplicada.
Ed. Graw - Hill p. 130-179.

COPEI Ingeniería, 2001. Estudio de actualización geohidrológica del Acuífero de Valles Centrales Oaxaca, trabajo para CNA.

CRM, 1996 Monografía Geológico-minera del estado de Oaxaca, Secretaria de Energía SECOFI México.

Cruiskshank García Gerardo, 1998.

Proyecto Lago de Texcoco. Rescate Hidrogeológico.
Segunda edición CNA.

Estudio geohidrológico de la migrocuenca Tilquiapam- Ocotlán en el distrito de Ocotlán de Morelos Oaxaca

Custodio, E., Llamas, M. R. (1983).

Hidrología Subterránea.

Editorial Omega, S.A., p 1971- 1972

Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Valles Centrales de Oaxaca México. CNA. 2002, cna.gob.mx

Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Río Verde Ejutla Edo. Oaxaca, CNA. 2002, cna.gob.mx.

Fetter C. W. 2001.

Applied Hidrogeology.

Fourth edition, 8 chapter p. 286-345, Ed. Prentice Hall

Ferrusquía-Villafranca, I., Wilson, J. A., Denison, R. E., McDowell, F. W., y Solorio-Murguía Oaxaca, Estado de Oaxaca: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, v. 26, p. 249-262.

Ferrusquía-Villafranca, I., 1976, Estudios geológico-paleontológicos en la región Mixteca, Parte 1: Geología del área Tamazulapam-Teposcolula Yanhuitlán, Mixteca Alta, Estado de Oaxaca, México: Instituto de Geología, Boletín, n. 97, 160 p.

Freeze R. Allan.Cherry John A 1979.Groundwater, Ed. Prentice Hall.

GEOCA S. A. 1980 Estudio de las condiciones hidrológicas del Valle de Tlacolula y alrededores de Oaxaca, trabajo para CNA.

González-Arreola, Celestina, 1985, Una edad cretácica de las rocas sedimentarias deformadas de la sierra de Juárez, Oaxaca: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología Revista, v, 5, p 100-101

González de Vallejo Luís I.

Ingeniería Geológica.

Ed. Prentice Hall 2002

Heath Ralph C. 1998 Basic Ground-water Hydrology

Huízar-Álvarez Rafael, T. Mendoza-García, R. Madrid.-Ríos.

Hidrogeoquímica del agua subterránea, de la subcuenca de Apan-Tochac, Hidalgo México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 16, No. 1 1999, p. 89-96.

Huízar-Álvarez Rafael 1, Oscar Campos-Enríquez2, Luís Miguel Mitre-Salazar1, David Alatraste-Vilchis2, Teodoro Méndez-García1 y Faustino Juárez-Sánchez2
Evaluación hidrogeológica de la subcuenca de Tecocomulco. Estados de Hidalgo, Puebla y Tlaxcala, México. 1 Instituto de Geología, 2 Instituto de Geofísica; Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México, D.F. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 18, núm. 1, 2001, p. 55-73

Estudio geohidrológico de la migrocuenca Tilquiapam- Ocotlán en el distrito de Ocotlán de Morelos Oaxaca

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 1984 Geología de la república Mexicana Facultad de Ingeniería, UNAM. Morán-Zenteno, D. J.

INEGI Carta geológica Zaachila Oaxaca, clave: E14-12 Escala 1:250,000

INEGI Carta Hidrológica de aguas superficiales Zaachila Oaxaca, clave: E14-12 Escala 1:250,000.

INEGI Carta Geohidrológica de aguas subterráneas Zaachila Oaxaca, clave: E14-12 Escala 1:250,000.

INEGI Carta topográfica Villa de Zaachila Oaxaca, E14D57, escala 1:50,000

INEGI Carta topográfica Santa María Zoquitlán Oaxaca, E14D68, escala 1:50,000

INEGI Carta topográfica Tlacolula de Matamoros Oaxaca, E14D58, escala 1:50,000

Monsalve Záenz Germán 1999.

Hidrología en la ingeniería segunda edición.

Ed. Alfa-omega, p.146-173,

Morán-Zenteno, D. J., Caballero-Miranda, C. I., Silva-Romo, G., Ortega-Guerrero, B., y González-Torres, E., 1993, Jurassic- Cretaceous paleogeographic evolution of the northern Mixteca Terrane, Southern México: Geofísica Internacional, v. 32, p. 453-473.

Morán Zenteno¹ Dante J., Martiny¹ Bárbara, Tolson¹ Gustavo, Solís- Pichardo¹ Gabriela, Alba-Aldave¹ Leticia, Hernández-Bernal¹ Ma del Sol, Macias-romo¹ Consuelo, Martínez Serrano² Raymundo G., Schaaf² Meter, Gilberto Silva-Romo³ Gilberto, 2000.

¹Instituto de Geología, ²Instituto de Geofísica, ³Facultad de Ingeniería.

Geocronología y características geoquímicas de las rocas terciarias de la Sierra Madre del Sur. Boletín de la sociedad geológica Mexicana. V. (LIII), (2000), p. 27-58, Inst. Geología UNAM. www.igeofcu.unam.mx

Nieto-Samaniego, A. F., Alaniz-Álvarez, S. A., Ortega-Gutiérrez, F., 1995, Estructura interna de la falla de Oaxaca (México) e influencia de las anisotropías litológicas durante su actividad Cenozoica: Instituto de Geología, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 12, p. 1-8.

Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J., Morán-Zenteno, D., Alaniz-Álvarez, S.A., Nieto-Samaniego, A., 1992, Carta Geológica de la República Mexicana, escala 1: 2,000,000, 5a. edición, Consejo de Recursos Naturales, Instituto de Geología, UNAM. Ortega-Gutiérrez, F., 1981, Metamorphic belts of southern México and their tectonic significance: Geofísica Internacional, v. 20, p. 177-202.

Ortega-Gutiérrez, F y Gonzáles 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. 79- 175.

Ortega-Gutiérrez, F, 1984, Evidence of Precambrian Evaporites in the Oaxacan Granulite complex of Southern in Mexico, Precambrian Research. Vol. 23, pp. 377-363.

Estudio geohidrológico de la migrocuenca Tilquiapam- Ocotlán en el distrito de Ocotlán de Morelos Oaxaca

Ortega-Gutiérrez, F. ,1976 Los Complejos Metamórficos del sur de México y su significado Tectónico, Resumen del Tercer congreso Latinoamericano de Geología, México.

Osorio Veloz Maribel, 2003, Caracterización de los sistemas de descarga de aguas subterráneas en la región de Valles Centrales, Oaxaca, Tesis licenciatura Fac. Ing. UNAM, México.

PROYESCO, 1979 Estudio para determinar las fuentes recomendables para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Oaxaca, trabajo para CNA.

Rojas Osain Dabián 1992 et al. Métodos hidrológicos para previsión de escurrimientos Secretaria de Comunicación y Transporte, México.

Rovirosa Wade Leandro 1976, Pequeños almacenamientos. Secretaria de Recursos Hidráulicos

TACSA S. A. 1984 Estudio geohidrológico cuantitativo de Valle de Zimatlán Oaxaca México, trabajo para CNA.

Tóth József 1999 Journal Hydrogeology, p 1-14. Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes, and manifestations.

Tóth József 1995 Journal Hydrogeology, v 3, Journal p 4-5. Hydraulic continuity in large sedimentary basins

Valdez Cesar Enrique.
Abastecimiento de agua potable
Apuntes Fac, Ing. UNAM 1994.

Wiley Esousi John, Patrick A. Domenico, Franklin w. Schuartz 1998
Physical and Chemical Hydrogeology, second edition.