

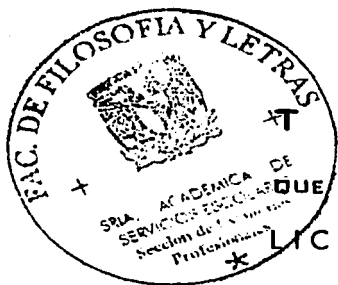


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFIA

FACTORES GEOGRAFICO - FISICOS QUE RIGEN
EL COMPORTAMIENTO FLUVIAL Y EL BALANCE HIDRICO
DE LA CUENCA ALTA DEL RIO SOLA DE VEGA, ESTADO
DE OAXACA, MEXICO



E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:

LICENCIADO EN GEOGRAFIA

P R E S E N T A:

JANETTE FRANCISCO ROBLES

ASESOR: MAESTRO VICTOR MANUEL MARTINEZ LUNA



MEXICO, D. F.



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

2003



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*Apenas sabrás quién soy
ni qué signífico.
Soy la salud de tu cuerpo
y me filtro en tu sangre y la restauro.*

Walt Whitman

DEDICATORIA

*Dedico este trabajo que realicé con mucho amor a mis padres:
Antonia Robles Aragón y Víctor Raúl Francisco Ayuso,
a mi queridísimo hermano Raúl Francisco Robles.*

Por estar conmigo cuando más te he necesitado y por darme tus consejos; por apoyarme y cuidarme siempre; por vivir a mi lado experiencias buenas y malas; por las que tuve que pasar para poder realizar este trabajo; por confiar en mí y por darme lo más importante que es la vida, gracias, mamá.

A ti papá, te estaré eternamente agradecida, ya que sin el apoyo y amor que me has brindado no hubiera llegado a donde estoy ahora; por cuidarme y por que siempre sabes aconsejarme, guiarme y regañarme cuando lo he necesitado, gracias.

Hermanito Raúl, te agradezco por hacerme ver mis defectos y virtudes, ya que por tus críticas constructivas pude llegar a ser una mejor persona. Gracias por ser mi hermano; aunque a veces me hagas enojar, te quiero mucho.

Doy gracias a Dios por permitirme compartir y festejar mis triunfos con mi seres queridos. Los amo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México. Agradezco la oportunidad de poder iniciar y terminar una carrera importante como es la Geografía. Porque gracias a la Geografía comprendí el sentido real de nuestro Mundo.

Al Programa de Becas Para la Licenciatura (PROBETEL) por el gran apoyo que me brindo en la realización de esta tesis.

Al Mtro. Víctor Manuel Martínez Luna: agradezco profundamente el apoyo, asesoría y revisión que ayudó a iniciar y culminar el presente trabajo.

A los sinodales:

Dra. Laura Elena Maderey Rascón: por aceptar ser mi sinodal, así como por brindarme su valioso tiempo, apoyo y conocimiento.

Dr. Juan Carlos Gómez Rojas: gracias por ser una parte fundamental de este gran logro en mi vida.

A la Dra. Marta Cervantes Ramírez: por brindarme su apoyo, sus consejos y aceptar ser mi sinodal muchas gracias.

Mtro. Cuauhtémoc Jesús Torres Ruata: por ser buena persona y compartir sus conocimientos en la formación de mi carrera y en la elaboración de la tesis.

A todos los Profesores que contribuyeron en mi formación académica y que compartieron tiempo, dedicación y conocimiento, muchas gracias.

A Renato Díaz: gracias por el cariño que profesas a su pueblo natal Sola de Vega.

A mi amor, José Alonso: te estoy muy agradecida por el gran apoyo que me brindaste en la elaboración de nuestra tesis, gracias por alentarme cada día para terminar mis estudios, la tesis y para seguir adelante; por depositar tu confianza en mí, gracias.

A mi prima Ileana Francisco: te admiro muchísimo y te agradezco por ser un ejemplo de perseverancia, audacia y dinamismo en todo lo que realizas, gracias.

J

A la memoria de mi tío Miguel Robles: gracias por compartir conmigo su gran sabiduría. Nunca lo olvidaremos.

A mi tío Melitón Ayuso y mi primo Leonardo Ayuso: gracias por su tiempo; y por contribuir con sus conocimientos a la elaboración de la tesis.

A mis compañeros y amigos: Israel (gracias por tu amistad sincera), José Luis, Víctor, Julio, Álvaro, Alicia, David, Regina, Felipe, Enrique, Miguel E. Castillo, Silvia, Paola, Fernando, Alejandro, Imelda, Marisol, Rosalva, Héctor, Meritt, Georgina, Eduardo, Verónica, Raúl, Alejandra Curiel, Ericka, Hortensia, Alejandra Paz, Karla, Angélica, Haide, Roberto, Carmen, Lourdes, Liliana, Leonel, Miguel Santos, Milagros, Armándo, Gabriel, José Manuel, Bronson, Gerardo, Tania (panameña), Valentín, Angélica Mixtli, Nora, Agustín, Ofelia, Itzihuari, Maribel, Berenice, Juan Carlos, Rafael.

Gracias por sus consejos, apoyo, confianza y amistad; son excelentes compañeros y amigos, gracias por compartir momentos muy importantes en nuestras vidas; por compartir problemas, alegrías, tristezas, éxitos, clases, prácticas de campo, el servicio social, fiestas y muchas otras cosas inolvidables. Esta tesis se las dedico a todos ustedes y por que me envanece recordarles que somos una de las mejores generaciones de la Facultad de Filosofía y letras y del Colegio de Geografía (1996 - 2000). Los quiero mucho.

Si me faltó mencionar algunos compañeros no es que los haya olvidado; al contrario los llevo en mi corazón.

	ÍNDICE	p.
Introducción		i
a) Planteamiento		ii
b) Justificación		ii
c) Hipótesis		iii
d) Objetivos		iii
e) Marcos de referencia:		iv
Marco conceptual		iv
Marco teórico		vi
f) Metodología		ix
Resumen		I
Capítulo 1. Localización geográfica y características físicas de la cuenca alta del río Sola de Vega, estado de Oaxaca		
1.1 Generalidades y localización geográfica		1
1.2 Parámetros morfométricos		4
1.2.1 Área y tamaño de la cuenca		5
1.2.2 Perímetro		6
1.2.3 Ancho y largo promedio		7
1.2.4 Forma de la cuenca		7
1.2.5 Coeficiente de compacidad		7
1.2.6 Relación de elongación		8
1.2.7 Factor de forma		9
1.2.8 Declive absoluto de la cuenca		10
1.3 Orografía		11
1.3.1 Altimetría		15
1.3.2 Histograma de frecuencias altimétricas		17
1.3.3 Curva hipsográfica		18
1.3.4 Curva integral hipsométrica		19
1.3.5 Declive de la cuenca alta del río Sola de Vega		22
1.3.6 Unidades básicas del relieve		25
1.4 Geología		27
1.5 Edafología		34
1.6 Vegetación y uso de suelo		40
1.7 Clima		53

1.7.1 Precipitación y temperatura.	55
1.7.2 Vientos	56

Capítulo 2. Hidrografía de la cuenca alta del río Sola de Vega, estado de Oaxaca

2.1 Hidrografía general de la cuenca	59
2.2 Características de la hidrografía en la cuenca	60
2.3 Patrones de drenajes	68
2.4 Clasificación de cauces según Strahler	73
2.5 Relación de confluencia	75
2.6 Relación de longitud	78
2.7 Clasificación de cauces según Shreve	81
2.8 Frecuencia de cauces	82
2.9 Densidad de drenaje	84
2.10 Aguas subterráneas	87

Capítulo 3. Ciclo del agua y balance hídrico de la cuenca alta del río Sola de Vega, estado de Oaxaca

3.1 El ciclo hidrológico	89
3.2 El ciclo hidrológico local	90
3.2.1 Temperatura	90
3.2.2 Precipitación	97
3.2.3 Evapotranspiración	103
3.2.4 Escurrimiento	110
3.2.5 Infiltración	111
3.3 Balance hídrico por franja de lluvia de la cuenca	113
3.3.1 Precipitación	114
3.3.2 Evapotranspiración	118
3.3.3 Escurrimiento	120
3.3.4 Infiltración	127
3.4 Balance hídrico global de la cuenca	138

Capítulo 4. Características socioeconómicas de la cuenca alta del río Sola de Vega, estado de Oaxaca

4.1	Región socioeconómica	142
4.2	Población	143
4.3	La población en la cuenca alta del río Sola de Vega	144
4.3.1	Disminución en la población de la cuenca	145
4.3.2	Población de los municipios y localidades vecinas a la cuenca	145
4.4	Población de los municipios y localidades de la cuenca alta del río Sola de Vega, para los decenios 1990, 2000 y 2010	149
4.5	Demanda actual y potencial del agua en la cuenca	156
4.5.1	Demanda actual y futura del agua en la cuenca alta del río Sola de Vega	157
4.6	El abastecimiento y uso del agua en la cuenca	162
4.7	Contaminación municipal y distrital del agua	171
4.8	Contaminación agrícola	173

Capítulo 5. Sinopsis geográfica e interpretación de la cuenca alta del río Sola de Vega, estado de Oaxaca

5.1	Sinopsis geográfica	175
5.2	Interpretación de la sinopsis geográfica de la cuenca	176
5.3	Resultados	182
5.4	Discusión de resultados	185
5.5	Conclusiones	190
5.6	Sugerencias	194

Bibliografía

Anexo I. Tipos ó configuraciones de drenaje

Anexo II. Modelo de la encuesta que se utilizó en el trabajo de campo

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Clasificación propuesta para el tamaño de las cuencas	6
Tabla 1.2 Datos para el análisis oroaltimétrico de la cuenca alta del río Sola de Vega, Estado de Oaxaca	16
Tabla 1.3 Categorías de los declives por rango	23
Tabla 1.4 Principales unidades básicas del relieve	26
Tabla 1.5 Litología de la cuenca alta del río Sola de Vega y áreas de las unidades Geológicas	28
Tabla 1.6 Principales unidades de suelo	35
Tabla 1.7 Vegetación y uso de suelo	40
Tabla 1.8 Especies predominantes del bosque de pino	42
Tabla 1.9 Especies predominantes del bosque mesófilo de montaña	44
Tabla 1.10 Especies predominantes del bosque de pino—encino con vegetación secundaria arbustiva	44
Tabla 1.11 Especies predominantes del bosque de encino	45
Tabla 1.12 Especies predominantes del bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva	46
Tabla 1.13 Especies predominantes de la selva baja caducifolia con vegetación secundaria arbustiva	47
Tabla 1.14 Especies predominantes del pastizal inducido y matorral espinoso	48
Tabla 1.15 Cultivos de temporal más comunes	50
Tabla 1.16 Cultivos de riego más comunes	51
Tabla 1.17 Promedios anuales y mensuales de temperatura y precipitación de la estación San Miguel Sola de Vega, periodo 1962—1985	55
Tabla 2.1 Corrientes principales que conforman el drenaje ó sistema fluvioigráfico de la cuenca alta del río Sola de Vega	61
Tabla 2.2 Patrones de drenaje	69
Tabla 2.3 Características del sistema de drenaje del río Sola de Vega	75
Tabla 2.4 Datos para la elaboración de la gráfica de relación de longitud	78

Tabla 3.1 Temperatura media anual y media mensual del periodo 1962–1985	94
Tabla 3.2 Precipitación anual y media mensual del periodo 1962–1985	98
Tabla 3.3 Evapotranspiración potencial anual del periodo 1962–1985	105
Tabla 3.4 Evapotranspiración real anual del periodo 1962–1985	108
Tabla 3.5 Datos de precipitación (P) por franja de lluvia	117
Tabla 3.6 Datos de evapotranspiración (ET) por franja de lluvia	119
Tabla 3.7 Datos de escurrimiento (R) por franja de lluvia	121
Tabla 3.8 Volumen de escurrimiento anual del periodo 1972–1981. Estación Hidrométrica Tlapacoyan	122
Tabla 3.9 Volumen de escurrimiento anual del periodo 1972–1981. Estación Hidrométrica Paso Ancho	125
Tabla 3.10 Datos de infiltración (I) por franja de lluvia	129
Tabla 3.11 Volumen total de las variables que constituyen el balance hídrico local por franja de lluvia	130
Tabla 3.12 Porcentaje de las variables que constituyen el balance hídrico local por franja de lluvia	130
Tabla 3.13 Láminas totales de las variables que constituyen el balance hídrico local expresado en mm por franja de lluvia	131
Tabla 3.14 Resultados del balance hídrico global en la cuenca	139
Tabla 4.1 Población de los municipios y localidades vecinas más importantes	146
Tabla 4.2 Población total por localidad según sexo de los decenios 1990–2000 y población total por localidad según sexo para el año 2010	150
Tabla 5.1 Sinopsis geográfica	
Tabla 5.2 Sinopsis geográfica	
Tabla 5.3 Sinopsis geográfica	176
ÍNDICE DE GRÁFICAS	
Gráfica 1.1 Histograma de frecuencias altimétricas o gráfica de distribución de alturas	17
Gráfica 1.2 Curva hipsográfica	19
Gráfica 1.3 Curva integral hipsométrica	20

Gráfica 1.4 Termopluviometría	56
Gráfica 2.1 Relación de confluencia	76
Gráfica 2.2 Relación de longitud	80
Gráfica 3.1 Temperatura media anual del periodo 1962–1985	95
Gráfica 3.2 Temperatura media mensual del periodo 1962–1985	96
Gráfica 3.3 Precipitación anual del periodo 1962–1985	99
Gráfica 3.4 Termopluviometría del periodo 1962–1985	101
Gráfica 3.5 Precipitación media mensual del periodo 1962–1985	102
Gráfica 3.6 Evapotranspiración potencial anual del periodo 1962–1985	106
Gráfica 3.7 Evapotranspiración real anual del periodo 1962–1985	109
Gráfica 3.8 Volumen de escurrimiento anual del periodo 1972–1981 Estación Hidrométrica Tlapacoyan	123
Gráfica 3.9 Volumen de escurrimiento medio mensual del periodo 1972–1981 Estación Hidrométrica Tlapacoyan.	124
Gráfica 3.10 Volumen de escurrimiento anual del periodo 1972–1981 Estación Hidrométrica Paso Ancho	125
Gráfica 3.11 Volumen de escurrimiento medio mensual del periodo 1972–1981 Estación Hidrométrica Paso Ancho	126
Gráfica 3.12 Franja de lluvia A	134
Gráfica 3.13 Franja de lluvia B	135
Gráfica 3.14 Franja de lluvia C	136
Gráfica 3.15 Franja de lluvia D	137
Gráfica 3.16 Franja de lluvia E	138
Gráfica 3.17 Balance hídrico global de la cuenca	139
Gráfica 4.1 Población total según sexo de la cuenca alta del río Sola de Vega, estado de Oaxaca. Para los decenios 1990, 2000 y 2010	151

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Foto 1.1 <i>Tierra Negra, Nachihuí Sola. Vista: cerro El Quialase</i>	13
Foto 1.2 <i>El Anís, Sola. Vista: cerro El Portillo de la Rosa</i>	15

Foto 1.3 Las Canoas, Sola. Vista: Bosque de pino	42
Foto 1.4 Loma de Giserene, Sola. Vista: Selva baja caducifolia y matorral Espinoso	49
Foto 1.5 Sayú, Nachihuí Sola. Vista: terrenos de cultivo	52
Foto 1.6 La Sabinada, Nachihuí Sola. Vista: bosque de galería	53
Foto 2.1 Santa Rosa Matagallinas. Vista: río Grande	62
Foto 2.2 Santa Catarina, Sola. Vista: río Santa Catarina	64
Foto 2.3 Santa María Sola. Vista: confluencia de los ríos Grande y Santa Rosa	65
Foto 2.4 Sola de Vega. Vista: Punto terminal de la cuenca alta del río Sola de Vega	67
Foto 2.5 Yocua, San Idelfonso Sola. Vista: río Yocua	68
Foto 4.1 San Sebastián de los Fustes. Vista: camiones de carga con troncos de árboles talados en las áreas de bosque	147
Foto 4.2 Grutas de San Sebastián. Vista: cascada formada por la acción del escurrimiento y el carbonato de calcio	148
Foto 4.3 Los cuajilotes, Nachihuí Sola. Vista: cultivo de riego	154
Foto 4.4 Los cuajilotes, Nachihuí Sola. Vista: Canal para riego paralelo al cauce del río Sola a 30 metros de distancia	161
Foto 4.5 Santa María Sola. Vista: depósito para el almacenamiento de agua para riego de cultivos	162
Foto 4.6 San Miguel Sola de Vega. Vista: río Sola, cortina para retener agua y poder recargar los pozos profundos que se encuentran en las orillas laterales de éste	164
Foto 4.7 San Miguel Sola de Vega. Vista: caseta de pozo profundo el cual, sirve para recarga y bombeo de agua	165
Foto 4.8 Pueblo Nuevo, Nachihuí Sola. Vista: tanque de almacenamiento de agua	166
Foto 4.9 El Guayabo, Sola. Vista: mangueras que extraen el agua directamente de los manantiales por acción de la gravedad	167
Foto 4.10 San Miguel Sola de Vega. Vista: agua residual en las calles del poblado	172
Foto 4.11 Ojo de Agua, Los Reyes Sola. Vista: personas que lavan su ropa a 5 metros de donde nace el manantial "Los Reyes"	173
Foto 5.1 La Loma del Obispo, Sola. Vista: prácticas agrícolas rosa, tumba y quema	182

RELACIÓN DE MAPAS

- Figura 1.1 Localización de la cuenca del río Verde y Ubicación de Regiones hidrológicas
- Figura 1.2 Cuencas circunvecinas al río Verde
- Figura 1.3 Localización de la cuenca alta del río Sola de Vega, Oax.
- Figura 1.4 Distrito Sola de Vega, Oaxaca
- Mapa 1.1 Topografía
- Mapa 1.2 Altimetría
- Mapa 1.3 Declives
- Mapa 1.4 Unidades básicas del relieve
- Mapa 1.5 Geología
- Mapa 1.6 Edafología
- Mapa 1.7 Vegetación y Uso de suelo
- Mapa 1.8 Climas
- Mapa 2.1 Hidrografía
- Mapa 2.2 Subcuencas
- Mapa 2.3 Patrón de drenaje
- Mapa 2.4 Clasificación de cauces según Strahler
- Mapa 2.5 Clasificación de cauces según Shreve
- Mapa 2.6 Distribución geográfica de la frecuencia de cauces
- Mapa 2.7 Densidad de drenaje
- Mapa 2.8 Hidrología de aguas subterráneas
- Mapa 3.1 Ubicación de estaciones climáticas e hidrométricas
- Mapa 3.2 Isoyetas normales anuales 1931–1990
- Mapa 3.3 Efectos climáticos regionales mayo–octubre
- Mapa 3.4 Efectos climáticos regionales noviembre–abril
- Mapa 3.5 Franjas de lluvia
- Mapa 3.6 Coeficientes de escurrimiento de las franjas de precipitación consideradas para efectuar el balance hídrico
- Figura 4.1 Regionalización socioeconómica
- Mapa 4.1 Ubicación de la cabecera de distrito, cabeceras municipales y localidades

Introducción

En la porción sureste de la vertiente mexicana hacia el Océano Pacífico, en las laderas altas de la Sierra Madre del Sur, en el estado de Oaxaca se ubican las cabeceras de algunas cuencas fluviales con ríos que adquieren bastante importancia en la región costera. Una de ellas es la cuenca del río Verde, el cual es el más importante de la región desde el punto de vista hidrogeográfico. Sin embargo, los conocimientos geográficos y los sistemas de drenaje y escurrimiento de las subcuencas correspondientes a las cabeceras de los ríos de dicha cuenca son de carácter general o mínimos. Esto se debe a que las características orográficas del relieve dificultan la accesibilidad; por lo tanto, el poblamiento y las actividades económicas son relativamente escasas. Otra causa que contribuye a la carencia de estudios hidrogeográficos es que en algunos cauces las aguas tienen muy poco caudal. Se considera que no se le ha dado importancia a estudios regionales de las subcuencas vertientes a los cauces principales.

Uno de estos casos es la cuenca alta del río Sola de Vega, localizada en el Centro Sur del estado de Oaxaca, en la región natural conocida como la Mixteca oaxaqueña, la cual forma parte de los principales afluentes de la margen derecha del río Verde. El río Sola de Vega, nace cerca del poblado llamado Santa María Lachixio, sigue una dirección Sureste, pasa por el poblado Sola de Vega y confluye al río Verde o Atoyac al Norte de San Vicente Coatlán.

Por lo antes expuesto se consideró necesario efectuar una investigación hidrogeográfica que abarque los principales aspectos físicos de la cuenca y sirva de base para otros estudios específicos. Estos tenderán a establecer el buen uso y manejo de la cuenca, para que, en caso que haya un mayor poblamiento en la región se pueda efectuar una detección de la verdadera vocación o potencialidad del uso de suelo y conservación del recurso agua en las diferentes regiones junto con su respectivo planeamiento, asociado con el posible ordenamiento territorial.

a) Planteamiento del problema

En la cuenca alta del río Sola de Vega y en sus alrededores, a la fecha no se han instalado estaciones climáticas e hidrométricas que se requieren en algunos lugares adecuados y estratégicos. debido a las condiciones orográficas, climáticas, despoblamiento y carencia de comunicaciones terrestres. Esta limitación impide conocer cual es el comportamiento particular de las fases que integran el ciclo hidrológico local y su respectivo balance hídrico. Cabe indicar, que los únicos datos de temperatura y precipitación existentes corresponden a una estación climática que estuvo en San Miguel Sola de Vega, la cual funcionó únicamente de 1962 a 1985. Por su ubicación geográfica los datos de dicha estación no representan las características climáticas de toda la cuenca alta del río Sola de Vega. El periodo observado de 23 años tampoco es significativo, ya que posteriormente pueden haberse presentado otras condiciones extremas de sequía o precipitaciones muy abundantes.

b) Justificación

Uno de los motivos más remotos y originales para seleccionar la cuenca alta del río Sola de Vega y elaborar su estudio hidrogeográfico radicó en el conocimiento personal de modo empírico, aunque superficial, que se tiene de la región desde mi adolescencia, como esta región es la tierra natal de mis familiares, hacemos viajes frecuentes y visitas a diversos lugares. Al estudiar la carrera de Geografía tuve la oportunidad de conocer de manera más amplia varios lugares y detectar algunos aspectos relacionados con el ciclo hidrológico local. De este modo pude descubrir, que en algunos sitios se efectúan talas inmoderadas. Por conversaciones con personas de la región me enteré que las arroyadas se han incrementado en la parte baja y el agua lleva más sedimentos en suspensión, además se percibe que la calidad del agua se deteriora conforme transcurren los años.

Con base en la idea de realizar un estudio geográfico de la región, ante varias alternativas, se escogió como espacio la cuenca alta del río Sola de Vega, como una unidad fluvial. Sin embargo, al hacer la revisión bibliográfica y búsqueda de

información, en la ciudad de Oaxaca, se detectó la inexistencia de datos concernientes a sus características geográficas en general, o de tipo hidrogeográfico, en particular. Ante esta situación se ponderaron varios enfoques geográficos a fin de escoger uno que fuera factible. Por este motivo opté por llevar a cabo un estudio hidrogeográfico basado en la información cartográfica, de tal modo que me permitiera detectar cuales son los factores geográfico-físicos que rigen el comportamiento fluvial y el balance hídrico medio de la cuenca alta del río Sola de Vega. Cabe agregar que el agua, como recurso natural de esta región, tiene bastante importancia, y está asociada a diversos problemas de carácter local.

Otro motivo primordial que condujo al desarrollo de esta investigación es dar a conocer la ubicación espacial de los diversos hechos y fenómenos geográficos, las causas que lo originan y las correlaciones con otras características de la región en donde existen las variaciones que tienen a lo largo del tiempo.

c) Hipótesis

Con base en lo planteado y debido a la carencia de datos pluviométricos e hidrométricos en la cuenca alta del río Sola de Vega, se considera que es factible efectuar un balance hídrico medio y entender su comportamiento fluvial, mediante el conocimiento de los factores geográfico-físicos obtenidos de la información cartográfica concerniente a diferentes temas. Para efectuar lo anterior se emplearon los métodos que se mencionan más adelante.

d) Objetivos

El objetivo general del presente estudio es reconocer los factores geográfico-físicos que rigen el comportamiento fluvial y elaboración del balance hídrico general de la cuenca alta del río Sola de Vega, en el estado de Oaxaca. Con el fin de estimar los recursos de agua disponibles, así, la población podrá efectuar un aprovechamiento racional de ellos.

Para lograr el objetivo general, fue necesario cubrir los siguientes objetivos particulares:

1. Conocer y cartografiar el área de la cuenca y sus factores geográfico-físicos que contribuyen al comportamiento fluvial.

2. Efectuar algunas mediciones, cálculos morfométricos, areales, clasificación y conteo de cauces y extraer información de algunos mapas temáticos precedentes, para establecer las causas, efectos y correlaciones que existen en relación con el comportamiento hídrico de la cuenca.

3. Realizar el balance hídrico de la cuenca de estudio y poder conocer el volumen de agua que se precipita, así como la evapotranspiración la cantidad de infiltración y escurrimiento del agua.

4. Con base en los resultados obtenidos, emitir las sugerencias necesarias conducentes para la sustentabilidad asociada directamente al uso del agua y a la conservación de este recurso natural renovable.

e) Marcos de referencia:

Marco conceptual

En la mayoría de los estudios concernientes a las cuencas fluviales se toma como punto de partida el conocimiento previo de las características geográfico-físicas; de éstas hay algunas que tienen una mayor influencia en lo inherente a la presencia del agua, su cuantificación y el comportamiento que tiene con respecto al transcurso del tiempo.

Para precisar lo anterior se hace referencia en primer lugar al concepto de cuenca. De acuerdo con Campos (1992) una *cuenca* es la totalidad del área drenada por una corriente o sistema interconectado de cauces, tales que todo el escurrimiento originado en tal área se descarga a través de una salida única.

Lo anterior puede complementarse con el concepto expresado por Llamas (1989) el cual se estipula que, una *cuenca* es un espacio geográfico cuyos aportes hídricos naturales son alimentados exclusivamente por las precipitaciones y cuyos excedentes en agua o en materiales sólidos transportados por el agua, forman en un punto espacial único, una desembocadura o una exutoria.

Los elementos espaciales concernientes al territorio de una cuenca son:

La línea divisoria de aguas, es la que circunda y delimita a una cuenca, y define el área de su territorio, así como su sistema fluvial, integrado por todo el conjunto de torrentes, arroyos, cauces y ríos que se puedan clasificar de diferentes maneras. También se pueden incluir otros elementos relacionados con la geomorfología fluvial de la cuenca: *El relieve y su inclinación*, como factores determinantes de la escorrentía y el tipo de sistema fluvial.

La geología; en particular *la litología*, la cual condiciona algunos aspectos tales como la infiltración, o el coeficiente de escurrimiento, tiene bastante importancia tanto para las aguas superficiales como para las subterráneas.

Las características *edafológicas* de una cuenca son de interés, puesto que los suelos constituyen una capa en donde se absorben y almacena una parte del agua que cae en algún lugar, es la fuente directa que alimenta a las plantas; éstas constituyen la *cubierta vegetal*, la cual ayuda a la retención de una parte del agua, retardando el escurrimiento. La conjunción de las características edafológicas y vegetales, con respecto al ciclo hidrológico regional, determina el proceso conocido como evapotranspiración el cual, por lo general, involucra la mayor cantidad de agua del balance hídrico.

Las características *climáticas* que predominan en una cuenca son en general, el punto de partida del proceso hidrológico, ya que la *precipitación* constituye la fuente básica de entrada de agua a la superficie de una cuenca, a partir de la cual se distribuye en salidas o pérdidas. La *temperatura*, como elemento climático se asocia fundamentalmente la ocurrencia de lluvias en las partes altas de las cuencas, simultáneamente, en el ciclo hidrológico local, es el factor primordial para las estimaciones de la evapotranspiración del agua y su importancia se refleja en el balance hídrico.

Las actividades *económicas agropecuarias* también influyen en el comportamiento fluvial y en el ciclo hidrológico regional. Uno de los aspectos más importante es la actividad agrícola, ya que la roturación del suelo, aunque no siempre facilita la infiltración; además el cultivo de las plantas requiere en algunos lugares de irrigación, lo cual se relaciona, a su vez con la evapotranspiración. En algunos casos estas actividades alteran el ciclo hidrológico.

Marco teórico

La investigación se apoyó primordialmente en el siguiente marco teórico.

Un concepto importante en los estudios hidrogeográficos es el que se refiere al llamado ciclo del agua o ciclo hidrológico.

Llamas (1989) afirma que el conjunto de todos los procesos de transformación del agua en la tierra se llama *ciclo hidrológico* cuyas fases principales son las siguientes:

- Evaporación del agua de océanos, del suelo y de las plantas
- Formación y desplazamiento en la atmósfera de nubes y niebla
- condensación del agua y precipitación en forma de lluvia, nieve, granizo, etc
- Escorrentía superficial, infiltración, percolación flujo subterráneo y retorno a la superficie (manantial, pozos, etc.)
- Formación de corrientes superficiales, como ríos y arroyos que descargan a los mares o a lagos y lagunas epicontinentales
- Evaporación, transpiración vegetal hacia la atmósfera y repetición del ciclo

El ciclo hidrológico sirve para destacar las cinco fases básicas de interés: Precipitación, evaporación, transpiración, escorrentía superficial y agua subterránea. (Linsley, Kohler; y Paulhus, 1988). Como puede notarse *el ciclo hidrológico* es un aspecto descriptivo aplicable a la circulación general del agua en la Tierra el cual, como concepto consta de una sucesión de etapas que sigue el agua, al pasar de la atmósfera a la tierra y volver a la atmósfera, evaporación desde el suelo, el mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y evaporación.

Ciclo hidrológico regional o local: Se puede afirmar que, a nivel mundial, el ciclo hidrológico general esta constituido teóricamente por una multitud de subciclos que ocurren simultáneamente en muchos lugares de la interfase de la superficie terrestre, en particular en los continentes, ya que ahí las características geográfico-físicas son muy variadas, lo cual es la causa que produce las diferencias de los elementos y factores del clima de un lugar a otro de las porciones continentales. Con base en lo anterior es factible establecer el concepto teórico del *ciclo regional*, el cual se circunscribe, para fines prácticos, en el área concerniente a una cuenca

epicontinental y/o a las subcuencas internas de los ríos que son afluentes hacia un colector principal. En este sentido, *el ciclo hidrológico regional* tiene un paralelismo con el balance del agua de una cuenca, ya que lo más importante es conocer la precipitación, como principio de ingreso de agua a un lugar y después conocer como son las salidas o pérdidas de agua con respecto a una cuenca fluvial, considerada como una unidad hidrogeográfica. De este modo el ciclo hidrológico regional, como movimiento de agua, se correlaciona con las características geográfico-físicas de una cuenca epicontinental. (Chow, 1964).

El balance hídrico; término que se refiere a las relaciones entre la evapotranspiración, la precipitación, la escorrentía y el almacenamiento superficial, subterráneo en una estación y tiempo determinados. (Whittow, 1998).

Campos (1992) menciona que en todo sistema o subsistema del ciclo hidrológico, existe un principio que indica que el agua no se crea, ni se destruye, pero se refleja en la denominada ecuación del balance hídrico, el cual permite relacionar las cantidades de agua que circulan por el ciclo, lo cual de manera general se expresa con la ecuación: $P = E + T + R + I$.

Martínez y Navarro (1996) el balance determina los siguientes puntos:

- Si presenta un excedente en el resultado permite ampliar el consumo de agua en la cuenca
- Si muestra un equilibrio, esto implica que se satisfacen las necesidades actuales y se necesitarán crear nuevas obras hidráulicas cuando se requiera aumentar el uso de agua; en este caso sólo será para consumo en el hogar y para riego
- Si existe un déficit, exige restricciones al consumo o el aumento de las disponibilidades hídricas

Evaporación, es el proceso, por el medio del cual el agua cambia del estado líquido al gaseoso y retorna directamente a la atmósfera en forma de vapor "evaporación desde el suelo". *La evaporación desde la superficie del suelo* en las cuencas rurales, sobre los volúmenes de agua (lagos, embalses, cauces, etc.) no abarcan, en general, más que una pequeña porción de la superficie total, excepto en las zonas extremadamente húmedas o pantanosas.

La transpiración vegetal es el proceso por el cual el agua de la vegetación pasa a la atmósfera en forma de vapor. Este concepto no incluye la evaporación desde el suelo.

Otra definición que es importante conocer es la *evapotranspiración* la cual, significa pérdida de humedad de la superficie de la tierra por medio de la evaporación directa junto con la transpiración de las plantas; se reconocen dos tipos: La *evapotranspiración potencial*, es la cantidad máxima de agua que perdería el suelo por evaporación y transpiración suponiendo que este estuviera saturado y la *evapotranspiración real*, es la observada o la verdadera pérdida de agua. (Whittow, 1998).

Demanda de agua: En términos generales se puede decir que entre los múltiples y variados factores que se conjugan para la conservación de la vida, el agua ocupa un lugar preferente y es el elemento que se utiliza en mayor cantidad. El agua interviene en todos los procesos vitales, y constituye la parte proporcionalmente mayor de todos los organismos; esto es, la vida está indisolublemente ligada al agua. La provisión de agua regula directamente los tipos de plantas y animales que pueden vivir en el medio y en consecuencia, el origen del agua es un de los componentes fundamentales del ambiente. De todos los seres vivientes, el hombre es quién necesita mayor cantidad de agua, para sobrevivir desde el punto de vista biológico y para conservar y mejorar la superestructura cultural de que se ha rodeado, sin la cual la civilización dejaría de existir. El agua tiene para el hombre una multiplicidad de usos entre ellos: consumo humano, doméstico o colectivo, agricultura, pesca, navegación, recreación, industrial, producción de energía, etc. El simple enunciado de sus múltiples usos queda lejos de englobar todo lo que implica el dominio de este elemento.

f) Metodología

Para desarrollar el presente estudio de la cuenca alta del río Sola de Vega, estado de Oaxaca y para cubrir los objetivos propuestos, se procedió conforme a la siguiente metodología.

Se inició con la búsqueda y recopilación de material bibliográfico, en la cual, no se encontraron precedentes sobre estudios físicos particulares e hidrogeográficos. Se recurrió a la información bibliográfica existente la cual es muy escasa. Ante esta carencia se requirió consultar información cartográfica, esto se considera válido, tanto para generar información, como para la elaboración del balance hídrico correspondiente el cual, es de buena precisión y veracidad fundamentada en generalidades. Con los mapas temáticos disponibles se pudo abstraer y procesar información de diversos aspectos geográficos mediante el proceso de algunos datos cualitativos y cuantitativos de los cuales se pudo generar información original y cartografía inédita, lo que significa una contribución al conocimiento geográfico regional. Posteriormente se buscó y recopiló material cartográfico específico, como las cartas topográficas y temáticas a escalas 1:50 000 y 1: 250 000, en las cuales se inició la delimitación de la cuenca alta del río Sola de Vega y la elaboración del mapa base. Con los mapas en escala 1: 50 000 se pudo visualizar y calcular parámetros de morfometría con más exactitud. Una de las problemáticas que existe en el Sureste de la Republica Mexicana es que no se han elaborado cartas con temas de interés a escalas 1: 50 000 incluso a escalas 1: 250 000, para realizar la totalidad del presente estudio se utilizaron como auxiliar algunas cartas temáticas a la escala antes mencionada y para trabajar mejor con la información de tales mapas fueron transferidos a escala 1: 50 000; por razones de presentación de la cartografía en la tesis, estos se redujeron a escala 1: 140 000.

Para efectuar lo que se planteo en la hipótesis se recurrió a la información disponible de la cuenca, en particular a los mapas de hidrología de aguas superficiales lo cual se complemento con los mapas de tipo de clima, los datos de esta información cartográfica se correlacionaron entre sí.

El nombre y clave de la cartografía que se utilizó son :

A escala 1: 50 000; Ejutla de Crespo (E14 D67), San Vicente Lachixio (E14 D67), y escala 1: 250 000 temáticas con la misma clave E14-12: Geológica, Edafológica, Uso de suelo y Vegetación, Eventos climáticos mayo–octubre y noviembre–abril. Como complemento a las dos últimas cartas, aunque corresponden a lapsos distintos del año, presentan variaciones notables con respecto a las demás cartas consultadas. Hidrología de aguas superficiales, hidrología de aguas subterráneas. Para diversos aspectos climáticos, y para el cálculo de la evapotranspiración, se consultaron diversas fuentes y entre ellas la carta a escala 1: 500 000 las cartas de Climas San Pedro Pochutla, 14Q–VIII y la Edafológica 1: 1000 000, México. De la Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Instituto de Geografía, (1970). La carta de Isoyetas normales anuales de la República Mexicana 1931–1990, de la Comisión Nacional del Agua, RH. 20, Costa Chica–Río Verde. La carta Hidrológica de aguas superficiales, 1: 250 000, (INEGI), Debido a la abundancia de las cartas utilizadas para la elaboración de los mapas de la cuenca se presenta una lista de la bibliografía–cartografía empleada. Se realizó una simplificación o selección de los elementos que conforman el mapa topográfico y de ahí usar las variables por separado, altimetría (el relieve) y los sistemas fluviográficos. Se inició con la elaboración de los mapas base después, se procedió con un análisis, interpretación y descripción de los diferentes mapas temáticos.

La cartografía temática inédita, se digitalizó auxiliándose por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG); Integrated Land and Water Management Information System (ILWIS), correspondientes al manejo de cuencas. Estos sistemas de información sirvieron para digitalizar los mapas y calcular áreas y perímetros. Algunos valores lineales se midieron con el curvómetro.

Se utilizó la paquetería: Office para capturar y procesar la información; y Corel Draw para editar todos los mapas. (Relación de mapas).

Con respecto al conteo y clasificación del sistema fluvial se utilizará el método de Shreve y Strahler. Con base a esta información se hicieron las interpretaciones correspondientes.

Para realizar los cálculos que determinaron la evapotranspiración se aplicó la fórmula empírica de Turc basada en observaciones meteorológicas mundiales. Se utilizó esta fórmula ante la carencia de información hidrométrica. La medición de la infiltración se elaboró con expresiones algebraicas indirectas, a partir de la fórmula general del balance hídrico simplificado.

El balance hídrico realizado ayudó a deducir el volumen de agua con el que se dispondrá en general, en los próximos años, para así limitar o planear la explotación del recurso agua.

Para analizar y confirmar algunos datos e información cartográfica de los aspectos físicos y socioeconómicos de la cuenca alta del río Sola de Vega, se realizó un trabajo de campo durante el mes de abril del 2002. Para ello se diseñó previamente en gabinete un cuestionario de 12 preguntas (Anexo II). Se entrevistó a 25 personas de diferentes localidades y se les preguntó a fin de conocer específicamente sobre algunos aspectos tales como la época de lluvias y secas así como las variaciones estacionales. Permanencia o intermitencia del agua en el colector principal y en cauces como el de Santa Rosa, río Grande, Santa Catarina. Crecidas observadas en años anteriores, usos del agua, enfermedades en general y gastrointestinales en particular a fin de establecer una posible correlación con el agua que emplean o beben.

PAGINACIÓN DISCONTINUA

Resumen

La cuenca alta del río Sola de Vega como parte del río Verde se localiza en la porción Sureste, en las laderas meridionales de la Sierra Madre del Sur correspondientes al Suroeste del estado de Oaxaca.

De acuerdo con la división política del estado de Oaxaca, la cuenca se ubica totalmente en el distrito Sola de Vega, en el cual ocupa los municipios de Santa María Lachixio, San Vicente Lachixio, San Lorenzo Texmelucan, Santa María Sola, San Idelfonso Sola, Villa Sola de Vega y San Francisco Sola. También abarca una pequeñísima parte del distrito de Zimatlán, localizado al Norte de la misma.

Esta cuenca se extiende desde el cerro El Gavilán, cuya cumbre alcanza los 2865 m.s.n.m., hasta su desembocadura o punto terminal en el poblado San Miguel Sola de Vega. Por coordenadas geográficas la cuenca alta del río Sola de Vega se localiza entre los paralelos 16°45' N y 16°30' N y entre los meridianos 96°55' W y 97°15' W.

El río Sola de Vega nace en las estribaciones del cerro El Gavilán con el nombre el arroyo Tinto, y desde su origen fluye hacia el Sureste, a los 14 km de recorrido recibe el nombre de río Grande y a lo 33.5 km se une al afluente río Santa Rosa, estos dos dan origen al colector principal río Sola de Vega.

El área total de la cuenca es de 471.46 km², tiene una forma elipsoidal, su perímetro mide 106.61 km y presenta un declive absoluto a lo largo del cauce principal de 1°57'.

Respecto a las unidades básicas del relieve que componen la cuenca, son cinco: montañas y laderas altas, montañas secundarias internas, talud de transición, laderas bajas y cañadas y lomeríos con valles fluviales. Siendo relevante el talud de transición con 43.90 % del área total.

La oroalтимetría de la cuenca se caracteriza por el predominio de las altitudes entre 1600 y 2200 m.s.n.m., esta franja de 600 m. ocupa el 64 % del área total de la cuenca. El tipo de relieve que predomina es el montañoso y de lomeríos. Destacan entre estas altitudes, montañas secundarias internas, el talud de transición y laderas bajas y cañadas. Los declives dominantes corresponden a la mayor inclinación, Muy escarpado, escarpado, algo escarpado, muy inclinado, este tipo de declive propicia el escurrimiento, también hay porciones de menor declive, moderadamente inclinado y suave.

El elemento estructural dominante en la cuenca alta del río Sola de Vega, lo constituye la toba ácida emplazado a partir del terciario oligoceno–mioceno con 73.24 % del área total ocupando $\frac{3}{4}$ partes de la cuenca. Se encuentra en altitudes entre los 1600 y 2865 m.s.n.m., aproximadamente este tipo de roca favorece la infiltración además se encuentra en una zona de fracturas.

El tipo de suelo que ocupa el 74.64 % del área total de la cuenca, es el regosol eútrico con un drenaje eficiente, este suelo está asociado con la unidad de suelo secundario luvisol crómico y el litosol con clase textural media, su textura franca o limosa favorece la infiltración y son suelos que se pueden encontrar en muy distintos climas y con diversos tipos de vegetación, en general son claros y se parecen bastante a la roca que los subyace son suelos poco profundos. Su fertilidad es variable y su uso agrícola está condicionado a su profundidad, en las sierras encuentra un uso pecuario y forestal, con resultados en función de la vegetación que exista, son de susceptibilidad variable a la erosión.

En cuanto a la vegetación de la cuenca alta del río Sola de Vega, el bosque de pino es el que ocupa la mayor área 49.40 % del total de la cuenca, este tipo de vegetación favorece la infiltración ya que retiene el agua de escurrimiento y su índice de transpiración es muy bajo. El uso local que se le da es la extracción madera para construcción de viviendas, leña, obtención de carbón y algunas resinas.

En la cuenca, existen dos tipos de climas; el clima templado semicálido subhúmedo con lluvias en verano con temperatura anual $> 18^{\circ}\text{C}$ y con una precipitación entre los 800 y 1000 mm anuales, localizado de la parte media a la parte baja de la cuenca y el clima templado subhúmedo con lluvias en verano con temperatura media anual de 12 y 18°C y con una precipitación entre 1000 y 2000 mm anuales, localizado de la parte media a la parte alta de la cuenca. En el caso de la cuenca del río Sola de Vega los vientos que la envuelven son del tipo de vientos persistentes regionales que son originados por el intercambio de grandes masas de aire que afectan grandes extensiones de terreno, unos son de variación estacional y otros más periódicos. El flujo dominante de este viento cargado de aire marítimo tropical es del Océano Pacífico en una dirección de Sur a Norte.

La cuenca alta del río Sola de Vega, cuenta con tres principales subcuencas; la subcuenca del río Grande, la subcuenca del río Santa Rosa y la del río Sola. Se tienen en total 566 cauces de los cuales 453 son de primer orden de acuerdo con la clasificación de Strahler, 85 de segundo orden, 20 de tercer orden, 5 de cuarto orden, 2 de quinto y 1 de sexto orden. La frecuencia absoluta de cauces es media de 1.20 cauces sobre km^2 , el análisis particular de la distribución de frecuencia de cauces en la cuenca también indica el predominio de la frecuencia media. En cuanto a la densidad de drenaje que va ligado a la frecuencia de cauces este obtuvo un valor de 2.17 km sobre km^2 , esto indica que tiene una densidad de drenaje baja, en el análisis de la densidad de drenaje en toda la cuenca se muestra la que más predomina en este caso es la densidad media.

Los resultados del balance hídrico global indican una alta infiltración en la cuenca, con 351.223 millones de metros cúbicos, equivalente al 48.06 % del ingreso total de agua por medio de la lluvia. Esto se justifica por las características geográficas de la superficie. La conjugación de los aspectos físicos como: vegetación, litología y fracturas, suelos poco profundos y con texturas medias que favorecen a la infiltración, en este sentido puede afirmarse que la cuenca es un territorio apto para la recarga de los acuíferos sobre todo en la temporada de

lluvias que se presenta en verano, constituye una reserva de agua para el abasto de la población. Aunque en general la cuenca está poco poblada con un total de 7512 habitantes para el año 2000 y una densidad teórica de 15 habitantes por km^2 . La población se encuentra distribuida en pequeñas localidades rurales. La mayor población se concentra hacia la parte Sur y Sureste de la cuenca. El municipio principal Villa Sola de Vega que a su vez funge como cabecera distrital está enlazada a través de la carretera pavimentada de Oaxaca–Puerto Escondido. En general la alteración de la cuenca es media ya que todavía conserva algo de su estado natural. En cuanto a la vegetación arbórea ésta, se exterminará a mediano plazo de seguir la tala excesiva. Los suelos en general tiene la posibilidad de conservarse si se evita el constante cambio de uso del suelo y en particular en la parte de las montañas y laderas altas, así como en las montañas secundarias internas que se encuentra en proceso de erosión de tipo hídrico.

Se han elaborado tablas donde se plasma una sinopsis geográfica con los resultados del estudio con base en correlaciones geográficas, de las cuales surgen las conclusiones y sugerencias pertinentes.

Capítulo 1. Localización geográfica y características físicas de la cuenca alta del río Sola de Vega, estado de Oaxaca

1.1 Generalidades y localización geográfica

El río Sola de Vega es un afluente de la cuenca río Verde, la cual corresponde a la vertiente continental mexicana hacia el Océano Pacífico, en el sureste del país. La cuenca del río Verde se localiza entre los 17°37' N y 15°58' de latitud Norte y 96°14' W y 98°06' de longitud Oeste. Según las unidades orogénicas de México, la cuenca del río Verde se ubica en las laderas meridionales de la parte oriental de la Sierra Madre del Sur. De acuerdo con la Organización Oficial del Gobierno Mexicano para el Ordenamiento de cuencas, plasmado en el Programa Nacional Hidráulico 2001–2006 (C N A , 2000), la cuenca del río Verde corresponde a la Gran Región V, Pacífico Sur y particularmente a la Región Hidrológica Número 20, (Fig. 1.1) denominada Costa Chica – Río Verde y la circundan algunas cuencas importantes. (Fig. 1.2).

Todo el territorio de la cuenca del río Verde se ubica políticamente dentro del estado de Oaxaca; Cabe indicar a este río también se le conoce con el nombre de Atoyac en particular en su porción alta y Atoyac Oaxaqueño en general. La distribución territorial de los afluentes y subafluentes en la cuenca del río Verde es sumamente complicada a causa de la orografía compleja de la porción Norte, constituida por las numerosas estribaciones de la Sierra Madre del Sur y en la porción meridional, en donde se ubica la cabecera del río Verde. La longitud de este colector es de 342 km. Su cuenca de captación cubre 18 465 km² y el escurrimiento medio se ha estimado en 6 173 millones de m³. La abundancia de serranías secundarias en el Estado explica el gran número de afluentes que el río tiene. (Fig. 1.1).

El río Sola de Vega perteneciente a la margen derecha de la cuenca del río Verde, nace cerca de Santa María Lachixio; sigue una dirección Sureste, pasa por Sola de Vega y confluye al cauce principal río Verde ó Atoyac al Norte de San Vicente Coatlán. La cuenca del río Sola de Vega se localiza en la porción Sureste, en las laderas meridionales de la Sierra Madre del Sur correspondientes al Suroeste del estado de

Fig. 1.1 Localización de la cuenca del río Verde y regiones hidrológicas

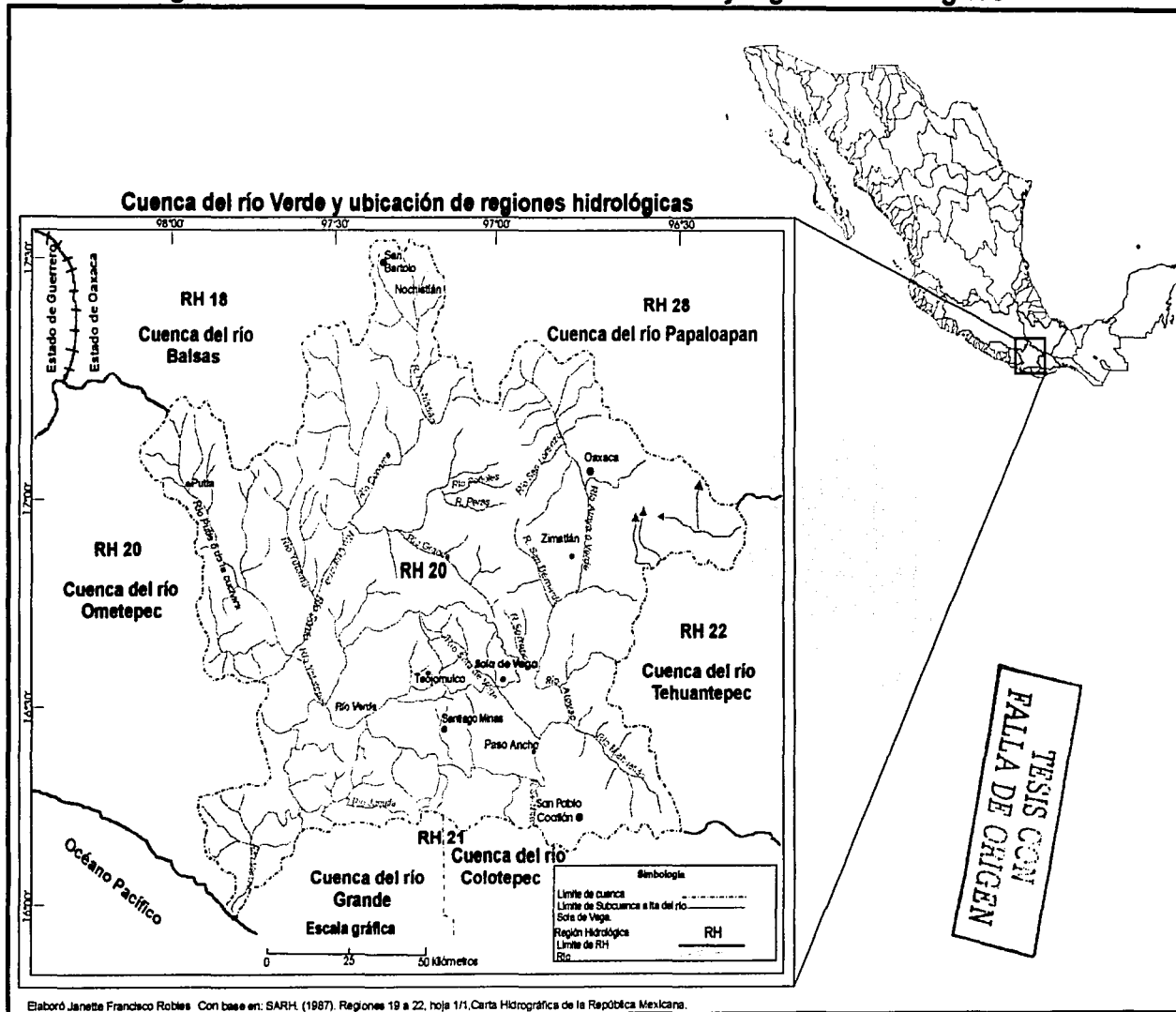
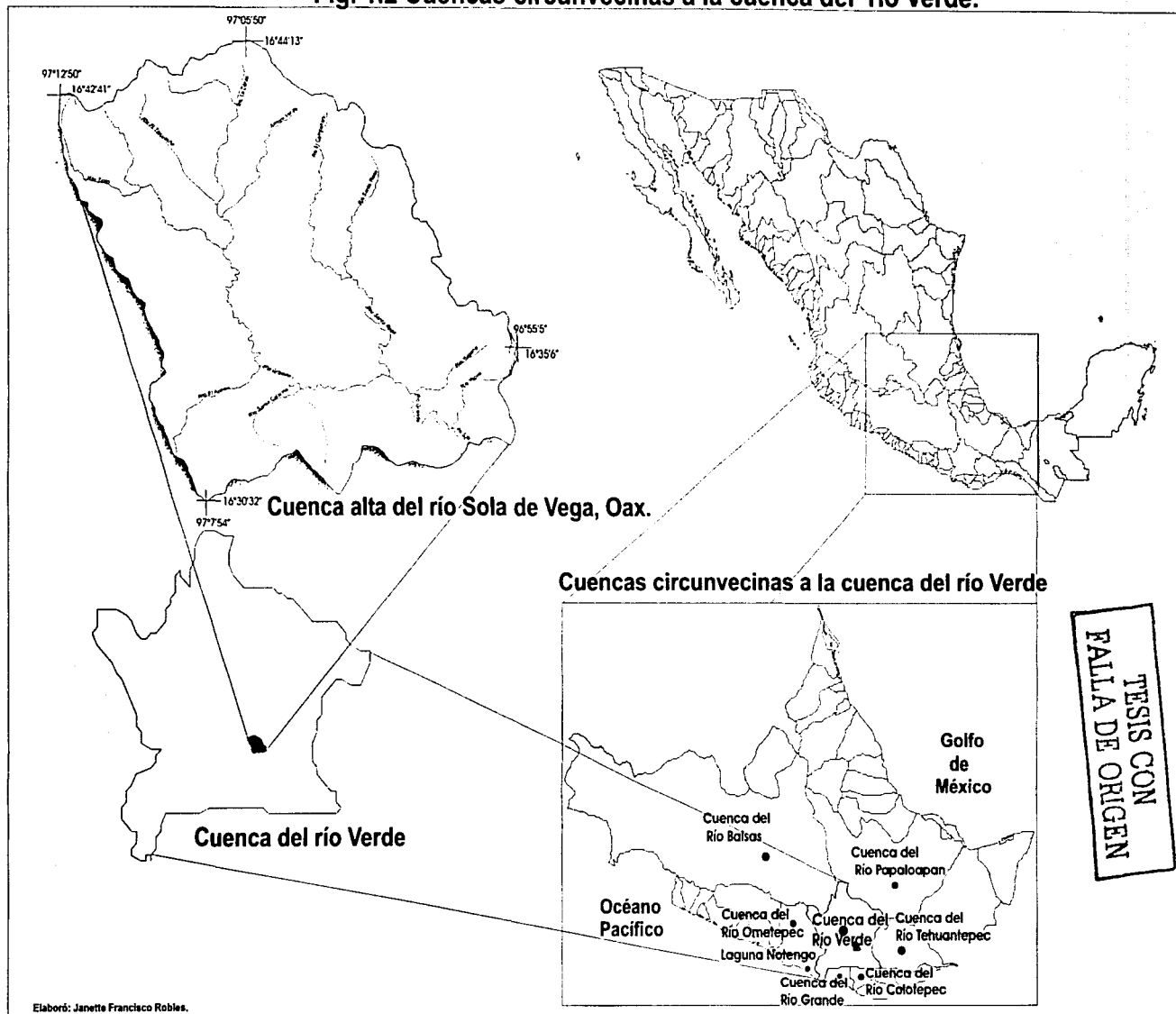


Fig. 1.2 Cuencas circunvecinas a la cuenca del río Verde.



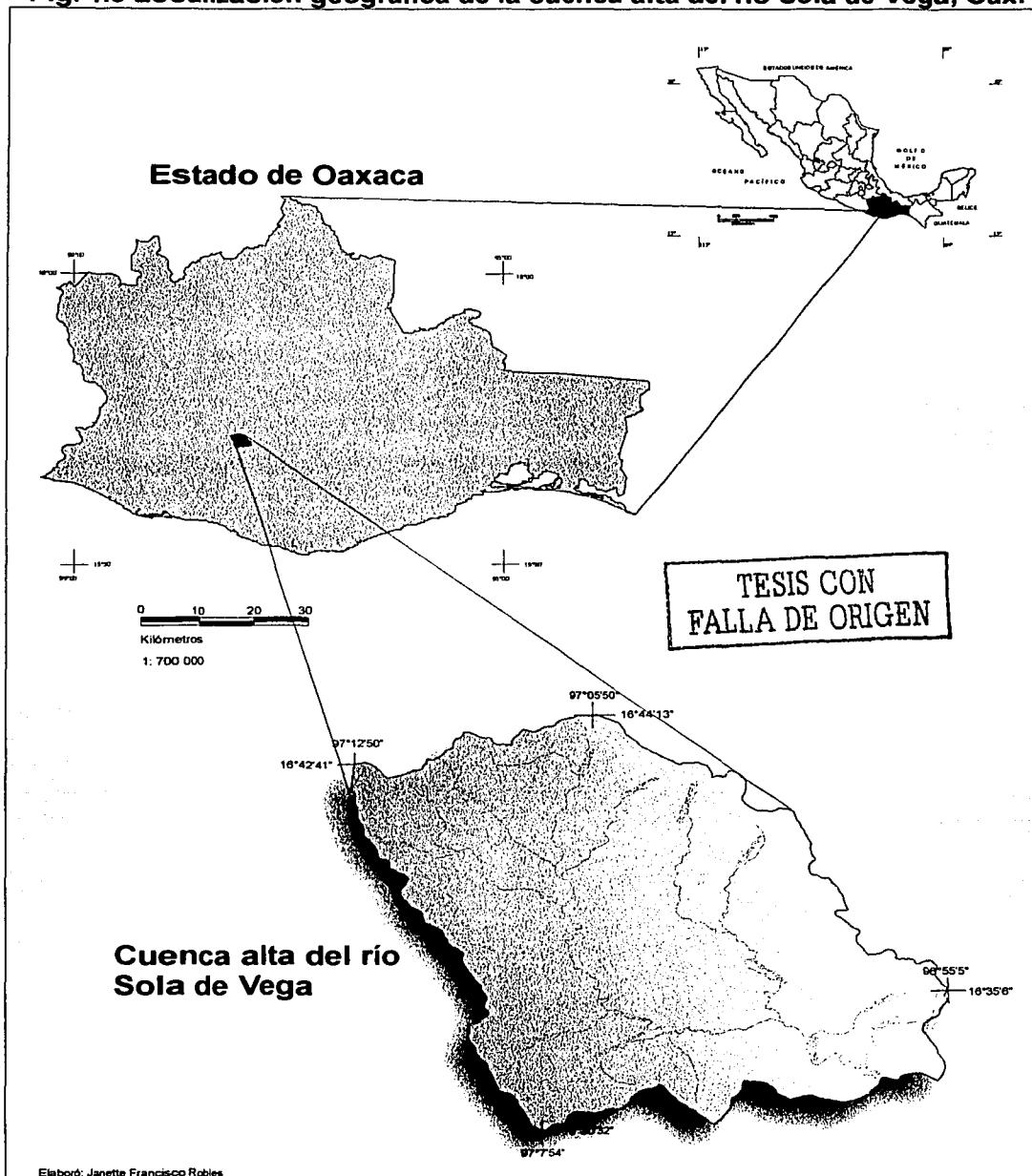
Oaxaca. El Centro de la cuenca se ubica, aproximadamente a una distancia de 73.5 Km, al Suroeste de la ciudad de Oaxaca; el punto terminal se encuentra cercano a San Pablo Coatlán y unos 98 Km de la ciudad de Oaxaca en donde se une como afluente al colector del río Atoyac. (Fig. 1.4). Esta cuenca se extiende desde el cerro El Gavilán, cuya cumbre alcanza los 2865 m.s.n.m., hasta su desembocadura en el río Atoyac, en la proximidad del poblado San Vicente Coatlán, aproximadamente a 5.3 Km, al Norte del poblado Paso Ancho. La cuenca del río Sola de Vega, tiene una forma alargada orientada de Noroeste a Sureste con una longitud total de 56.7 Km.

En términos generales y de acuerdo con la finalidad del presente estudio a la cuenca del río Sola de Vega se le puede dividir en dos porciones, la cuenca alta y la baja. La porción alta, razón principal del presente estudio, se extiende desde el ya mencionado cerro El Gavilán hasta el poblado San Miguel Sola de Vega; esta delimitación se realizó con base en los siguientes criterios: aquí el colector principal presenta un desarrollo normal y por que hasta este lugar la alteración del caudal es mínima; éstas alteraciones se deben a la construcción de canales y pequeños diques que sirven como cortinas derivadoras útiles para el riego, que alteran un poco la calidad del agua. Se considera que esta parte de la cuenca conserva muchas de sus características naturales y aunque tiene alteraciones, sin embargo sus efectos no son tan notables. La porción baja abarca desde el punto terminal de la cuenca alta, hasta su confluencia o desembocadura en el río Atoyac, inmediatamente es notable el aumento de la contaminación e inician cambios drásticos como mayor población y alteraciones por las vías de comunicación, las cuales son algo transitadas ya que son el paso obligatorio hacia las zonas turísticas del estado de Oaxaca. Cabe indicar que las características geográficas de ambas porciones de la cuenca son diferentes.

Localización de la cuenca alta del río Sola de Vega

La cuenca alta del río Sola de Vega tiene un desarrollo en las laderas intermedias de la Sierra Madre del Sur, porciones eminentemente montañosas, ubicadas al Suroeste del estado de Oaxaca. (Fig. 1.3), con climas templados y otras características particulares. La parte baja presenta algunas llanuras intermontanas, también con climas

Fig. 1.3 Localización geográfica de la cuenca alta del río Sola de Vega, Oax.

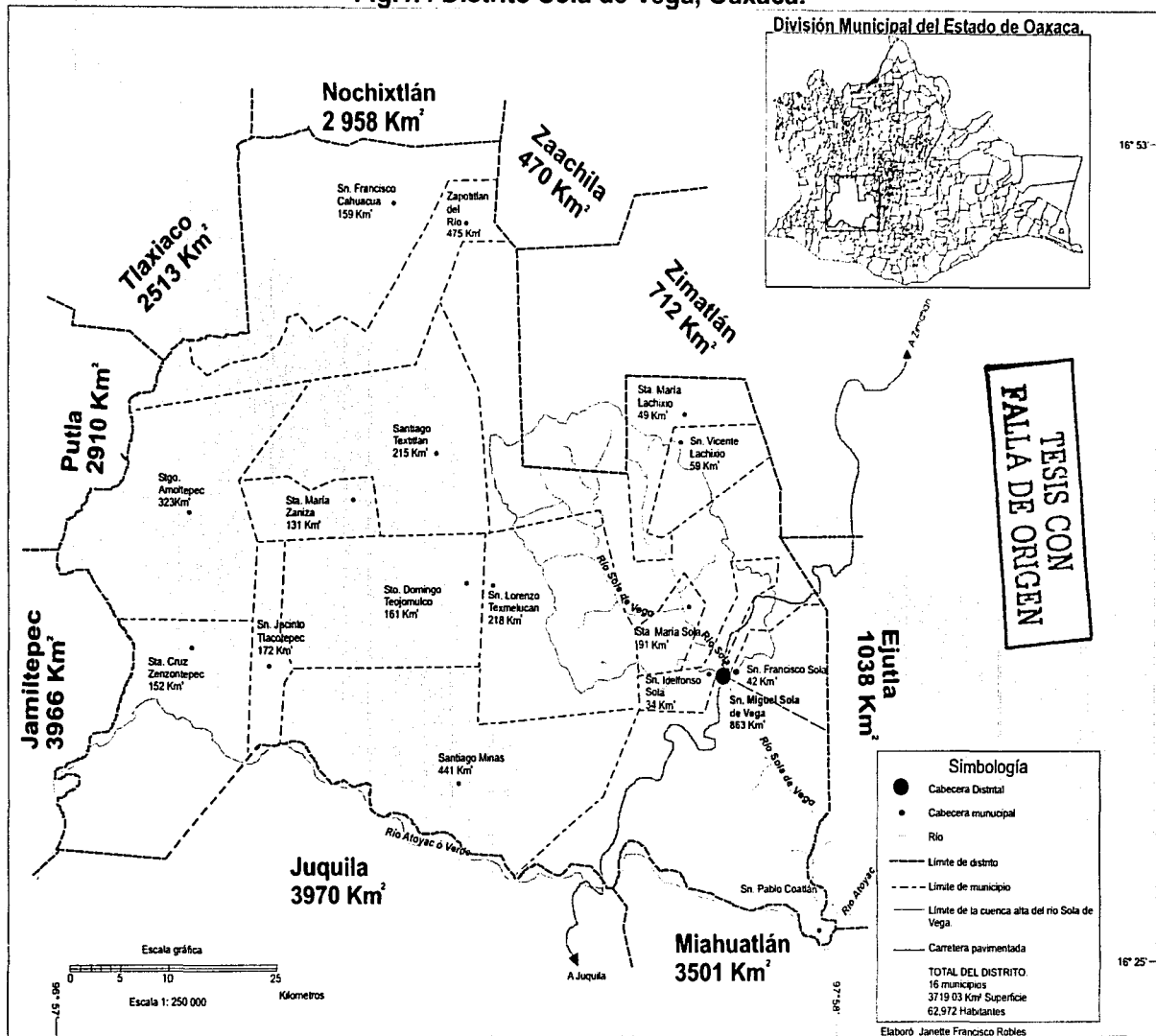


templados pero con menor cantidad de lluvia y otras características que no son el objetivo del presente estudio.

Por coordenadas geográficas la cuenca alta del río Sola de Vega, se localiza entre los paralelos $16^{\circ}45'$ N y $16^{\circ}30'$ N y entre los meridianos $96^{\circ}55'$ W y $97^{\circ}15'$ W. Por coordenadas extremas: el punto extremo septentrional de la cuenca tiene de latitud $16^{\circ}44'13''$ N y de longitud $97^{\circ}05'50''$ W, a 3 Km aproximadamente, al Noroeste del cerro El Garabato. El punto extremo meridional tiene de latitud $16^{\circ}30'32''$ N y de longitud $97^{\circ}07'54''$ W, a 4 Km aproximadamente al Sureste del cerro El Arador. En el punto extremo Oriental las coordenadas son: latitud $16^{\circ}35'06''$ N y longitud $96^{\circ}55'05''$ W, a un Km de un lugar llamado La Colorada. En el punto extremo Occidental su latitud es de $16^{\circ}42'41''$ N y de longitud $97^{\circ}12'50''$ W, en el cerro El Gavilán. (Fig. 1.3). Su forma es sensiblemente trapezoidal, con una orientación general de Noroeste a Sureste; Desde el cerro El Gavilán hasta la desembocadura ó punto terminal, (Mapa 1.1), - entre los poblados de San Francisco Sola y San Miguel Sola de Vega -, el río principal de esta cuenca tiene de largo 43.5 Km.

La cuenca, como ya se mencionó, pertenece a la margen derecha del río Verde; pero, debido a las características peculiares del relieve, y las direcciones cambiantes del colector principal, las subcuencas vecinas que la circundan pertenecen a su vez a la misma cuenca del río Verde o Atoyac. Las colindancias son: al Norte con la subcuenca del río Grande y Yerbabuena, al Oriente cuenca alta del río Verde o Atoyac, y la subcuenca la Cueva y el Serrano, al Sur las subcuencas el Anís, Latiguilla, y Minas, al Occidente las subcuencas de los ríos San Pedro, Suchil, Tigre, El Hoyo y Textitlán, todas ellas constituyen afluentes del río Verde. De acuerdo con la división política del estado de Oaxaca la cuenca alta del río Sola de Vega se ubica totalmente en el distrito Sola Vega que se localiza entre las coordenadas $16^{\circ}25'$ y $16^{\circ}53'$ de latitud Norte, $96^{\circ}57'$ y $97^{\circ}58'$ de longitud Oeste, también incluye una pequeñísima parte del distrito de Zimatlán, localizado al Norte de la cuenca. La cuenca abarca algunos municipios pertenecientes al Distrito Sola de Vega y estos son: Santa María Lachixio, San Vicente Lachixio, San Lorenzo Texmelucan, Santa María Sola, San Idelfonso Sola, San Miguel Sola y San Francisco Sola. (Fig. 1.4).

Fig.1.4 Distrito Sola de Vega, Oaxaca.



1.2 Parámetros morfométricos

La morfología y la geomorfometría comprenden el estudio de las formas superficiales con base en su expresión planimétrica para poder cuantificar determinados rasgos propios de la superficie terrestre. La cuenca fluviográfica funciona como un gran colector que recibe las precipitaciones y las transforma en escurrimientos, evapotranspiración e infiltración. Esta transferencia se realiza con pérdidas y es una función, bastante compleja, de numerosos factores, entre los que predominan el clima y la configuración del terreno y otras características geográficas en el cual se desarrollan los fenómenos hidrológicos; los índices y las magnitudes morfométricas de la cuenca se expresan en términos simples junto con los valores medios de ciertas características del terreno; todos juegan un papel muy importante y son algunas de las condicionantes del régimen hidrológico.

En realidad resulta fácil establecer la función de varios de los factores físicos de la cuenca con respecto volumen de precipitación que ingresa en la cuenca, y a las salidas de agua expresadas en volumen de escurrimiento. Ello se puede establecer de forma intuitiva, pero la dificultad estriba en expresar estas influencias en parámetros que representen exactamente esa forma de acción. Existen parámetros que dan las respuestas hidrológicas de una cuenca y por ello son puntos de partida de los análisis y determinaciones cuantitativas de cuencas hidrogeográficas, entre tales parámetros cabe citar el área o tamaño de la cuenca, orientación, su perímetro, forma, pendiente, elevación media y las características de las áreas cubiertas por suelos, vegetación, tipos de roca.

Un estudio hidrogeográfico se inicia en gabinete y requiere de la determinación precisa de los parámetros físicos lo cual es condicionado por la disponibilidad cartográfica, en cuanto a sus escalas y calidad. A este respecto, a las cartas topográficas de INEGI y DETENAL a escalas 1: 50 000 y 1: 250 000 ofrecen un apoyo de excelente calidad y precisión, las primeras para análisis de cuencas menores de unos 1,500 km² y las segundas para las mayores.

1.2.1 Área y tamaño de la cuenca

El área drenada de una cuenca es el espacio geográfico en proyección horizontal delimitada por su divisoria de aguas, donde queda comprendida una corriente principal y todos sus afluentes. La representación del área en estudio sobre los mapas implica que sus mediciones lineales y areales son planimétricas. En las cuencas de gran extensión las áreas se expresan en kilómetros cuadrados, aunque en términos generales las áreas pequeñas se expresan en hectáreas.

De acuerdo con Campos (1992) las investigaciones hidrológicas han puesto de manifiesto que existe una diferencia significativa entre una cuenca pequeña y una grande. En una cuenca pequeña la cantidad y distribución del escurrimiento esta influenciado notablemente por las condiciones físicas del suelo y cobertura, sobre las cuales el hombre tiene algún control. En cambio, para grandes cuencas, el efecto del almacenaje del cauce llega a ser muy importante y habrá que darle más atención a la hidrología de la corriente principal. Aunque cabe indicar que existen discrepancias de criterio al respecto.

Según Springall (1970). "Es difícil distinguir una cuenca grande de un pequeña, considerando solamente su tamaño; en hidrología dos cuencas del mismo tamaño son diferentes". Una cuenca pequeña se define como aquella cuyo escurrimiento es sensible a lluvias de alta intensidad y corta duración y donde predominan las características físicas del suelo con respecto a las del cauce. Así el tamaño de una cuenca pequeña puede variar desde unas pocas hectáreas hasta 250 km²".

Autores como Campos, hacen una división más específica como se muestra en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Clasificación propuesta para el tamaño de las cuencas

Tamaño de la cuenca en km ²	Descripción
< 25	Muy pequeña
De 25 a 250	Pequeña
De 250 a 500	Intermedia-Pequeña
De 500 a 2,500	Intermedia-Grande
De 2,500 a 5,000	Grande
> 5,000	Muy grande

Fuente: Campos, 1992.

De acuerdo con la tabla de clasificación, la cuenca del río Sola de Vega, es una cuenca Intermedia-Pequeña ya que el rango es de 250 a 500 km² y el área de la cuenca es de 471.46 km².

1.2.2 Perímetro

El perímetro de una cuenca es la línea divisoria o parteaguas, es decir el contorno de la cuenca. Se puede dividir en dos porciones a partir del punto más alto de la divisoria de aguas, una línea por la margen derecha y otra por la izquierda, hasta que ambas llegan a la desembocadura.

El perímetro de la cuenca es de 106.61 Km

Este parámetro sirve para determinar el coeficiente de compacidad.

1.2.3 Ancho y largo promedio

La anchura media es la relación del área de la cuenca entre la longitud.

El largo de la cuenca, se determina, por la longitud en línea recta, desde la desembocadura hasta el punto más lejano de la divisoria. Dicha recta se traza por el centro de la cuenca y se orienta según el cauce principal.

La cuenca alta del río Sola de Vega, tiene 20 Km, de ancho y de largo 29.3 Km. Con estos datos se pueden inferir los siguientes parámetros.

1.2.4 Forma de la cuenca

La forma de la cuenca definitivamente afecta las características de la descarga de la corriente; principalmente en los eventos de flujo máximo. En general los escurrimientos de una cuenca de forma casi circular serán diferentes a los de otra, estrecha o alargada, ambas de la misma área.

La forma de una cuenca se sabe por de la obtención del Coeficiente de compacidad (Cc) y Relación de elongación (Re).

1.2.5 Coeficiente de compacidad

H. Gravelius definió el llamado Coeficiente de compacidad, como el cociente adimensional entre el perímetro de la cuenca, la circunferencia de un círculo con área igual al tamaño de la cuenca en km^2 , es decir:

P = Perímetro

$P_c = 2\sqrt{\pi A}$ = La circunferencia de un círculo con la superficie de la cuenca.

$K = P + 2\sqrt{\pi A} = 0.282$

$C_c = p + P_c = 0.282 p + \sqrt{A}$

El Coeficiente de compacidad tendrá como límite inferior la unidad, indicando entonces que la cuenca es circular y conforme a su valor crece indicará una mayor distorsión en su forma, es decir se vuelve alargada o asimétrica y dejará de captar en mayor proporción las aguas de lluvia.

P = Perímetro de la cuenca 106.61 km

A = Área de la cuenca 471.46 km^2

$$K = \text{Constante } 0.282$$

$$P = 106.61 \text{ km} \quad A = 471.46 \text{ km}^2 \quad A = \sqrt{471.46} \quad A = 21.71$$

$$\text{Reemplazando : } K = (0.282) (106.61 \text{ km} + 21.71)$$

$$C_c = 1.38$$

La cuenca del río Sola de Vega presenta un Coeficiente de compacidad de 1.38 lo que significa que la forma de la cuenca es un elipsoidal, parecida a una elipsoide, esto significa que si llegan a presentarse tormentas (o lluvias concentradas), estas abarcarán únicamente partes de la cuenca y no cubrirán su totalidad, por lo tanto tiene menos probabilidad de presentar avenidas fuertes y de presentar riesgos en la desembocadura.

1.2.6 Relación de elongación

Campos (1992) menciona que Schumm propuso la denominada relación de elongación (Re), definida como el cociente adimensional (Re) que resulta de dividir el diámetro (D) de un círculo que tiene igual área (A) que la cuenca entre la longitud (L_c) de la misma; la longitud se define como la más grande de la dimensión de la cuenca, a lo largo de una línea recta paralela al cauce principal, desde la desembocadura natural o convencional como es el caso de la cuenca alta del río Sola de Vega, hasta la parte más alta de la divisoria de aguas en la cabecera de la cuenca.

$$Re = D \div L_c = 1.1284 \sqrt{A} \div L_c$$

El cociente que se obtiene, varía entre 0.60 y 1.00 para una amplia variedad de climas y características geológicas. Además, parece estar fuertemente relacionado con el relieve de la cuenca, de manera que valores cercanos a la unidad son típicos de regiones con relieve bajo, en cambio donde (Re) varía de 0.60 a 0.80 está asociado a relieves altos y pendientes pronunciadas del terreno. En este caso, para la cuenca alta del río Sola de Vega es:

$$Re = (1.1284) (21.71+29.3)$$

$$Re = 0.836$$

Además de su forma de círculo irregular en forma de elipse esta cuenca se asocia a fuertes relieves y pendientes.

1.2.7 Factor de forma

Otra manera de determinar la forma de la cuenca es por medio de la fórmula siguiente:

$$Ff = Am \div L$$

En donde :

Ff = Factor de forma

Am = anchura media de la cuenca

L= largo de la cuenca

En la cuenca de estudio se tiene:

$$Ff = 20 \div 29.3$$

$$Ff = 20 \div 29.3 = 0.68$$

$$Ff = 0.68$$

Este valor mientras más pequeño es, respecto a la unidad, indica mayor grado de circularidad. Por lo tanto, en la cuenca estudiada se determina que tiene una forma de círculo irregular, más bien elipsoidal ya que el valor esta más cercano a la unidad.

1.2.8 Declive absoluto de la cuenca

El declive absoluto de la cuenca es valioso para tener una idea general de las características topográficas de la misma. Se pueden calcular dos tipos de declives absolutos, uno en línea recta desde el punto más alto hasta el punto más bajo en la desembocadura de la cuenca. El segundo declive absoluto considera la longitud del cauce principal. (Meléndez, 1999, p.19)

a) Declive absoluto en línea recta

Tan x = (diferencia entre el punto más alto y más bajo ÷ distancia de la línea recta).

Reemplazando con los datos de la cuenca:

$$\tan x = (2865 - 1375) \div 32\ 500\ \text{m}$$

$$\tan x = 1490 \div 32\ 500$$

$\tan x = 0.045846153$ valor numérico de la tangente de un ángulo

$$\tan x = (0.045846153) (100)$$

$$\tan x = 4.6 \%$$

$$\text{arc tan } x = 2^{\circ}37'30''$$

$$\text{Declive absoluto} = 2^{\circ} 37'$$

b) Declive absoluto del cauce principal

Se considera la longitud total del río Sola de Vega desde su nacimiento hasta el punto terminal, en la divisoria preestablecida.

Declive absoluto del cauce.

$$\tan x = \text{altura máxima de la cuenca} \div \text{longitud del cauce principal.}$$

$$\tan x = 1490 \div 43\,500 \text{ m}$$

$\tan x = 0.034252873$, que es el valor numérico de la tangente de un ángulo

$$\tan x = (0.034252873) (100)$$

$$\tan x = 3.4\%$$

$$\arctan x = 1^\circ 57' 42''$$

$$\text{Declive absoluto} = 1^\circ 57'$$

Con estos resultados se finaliza y se concluye que el colector principal tiende a presentar poca inclinación. También indica que la erosión en esta cuenca ha sido muy alta.

Conviene aclarar también que las características físicas condicionan al régimen hidrológico y que, recíprocamente, el carácter hidrológico de una cuenca tiende a formar sus características físicas del terreno.

1.3 Orografía

Como ya se indicó, fisiográficamente la cuenca se localiza en las laderas meridionales de la Sierra Madre del Sur por lo que cuenta con montañas internas y puntos notables en la divisoria de aguas. (Mapa 1.1)

Cumbres notables de la divisoria de aguas de la cuenca alta del río Sola de Vega.

Cerro El Gavilán:

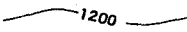




Siendo uno de los de mayor altitud con 2865 m.s.n.m., se encuentra al Noroeste. En este cerro se forman las nacientes del Arroyo Tinto que vierte sus aguas al río Grande.

Mapa 1.1 Topografía.

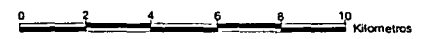
Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

SIMBOLOGÍA

-  1200 Curva de nivel
Equidistancia entre curvas de nivel 200 mts.
-  Ríos, arroyos
-  Limite de la cuenca
-  C. Cerros
-  Localidades

Elaboró Janette Francisco Robles con base en:
INEGI. (1996). E14D66 San Vicente Lachixio, E14D67 Ejulla de Crespo. 1: 50 000



11A

Cerro Garabato:

Forma parte de la cabecera principal de la cuenca y tiene una altitud de 2800 m.s.n.m., ubicada al Norte de ésta, en el cerro se forman las nacientes del río Grande y Arroyo Verde.

Cerro Cresta del Gallo:

Con una altitud de 2400 m.s.n.m., ubicado al Noreste de la cuenca dividiendo así la cuenca del río Sola de Vega con la subcuenca el Serrano perteneciente a la cuenca del río Atoyac. Ahí se localizan algunos cauces nacientes del río Santa Rosa y El Campanario.

Cerro La Boca:

Con una altitud de 2000 m.s.n.m., ubicado al oriente de la cuenca y al sureste del cerro Cresta de Gallo, aquí el río de Boca atraviesa el cerro formado principalmente por rocas calizas, en el interior de este cerro existen las conocidas grutas de San Sebastián.

Cerro El Obispo:

El cerro el Obispo se encuentra a una altitud de 2400 m.s.n.m., aproximadamente, se encuentra hasta el extremo sureste de la cuenca, aquí nace el río Yocua.

Cerro El Quialase:

Con 2600 m.s.n.m., ubicado al Sur de la cuenca, allí nacen algunos arroyos que vierten sus aguas al río Grande. (Foto 1.1).

Cerro San Juan:

Se ubica al Sur de la cuenca con una altitud de 2400 m.s.n.m., de igual manera que en el cerro Quialase allí nacen arroyos que vierten sus aguas al río Grande. (Foto 1.1)

Foto 1.1



Lugar: Tierra Negra, Nachihuí Sola. Long. 96°59'27" Lat. 16°33'00" Alt. 1470 m.s.n.m. En primer plano se observa, la vegetación de selva baja caducifolia y algunos pastizales, en segundo plano se observa, a la izquierda terrenos de cultivo y a la derecha el pueblo de Nachihuí. Y por ultimo al fondo el cerro El Quialase con 2400 m.s.n.m. aprox. y a la izq. el cerro San Juan con 2400 m.s.n.m. aprox.

Cerro El Arador:

Ubicado a una altitud 2200 m.s.n.m., y al Suroeste de la cuenca, las aguas que nacen en este punto también llegan río Grande.

Cerro El Zacate Amarillo:

Cuenta con 2600 m.s.n.m., ubicado al Oeste de la cuenca, aunque no es muy relevante es un punto notable para la formación del parteaguas en esta cuenca.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cerro Tres Cruces:

Este cerro se encuentra ubicado al Oeste noroeste de la cuenca, con una altitud de 2600 m.s.n.m., de el se desprenden arroyos que vierten sus aguas al Arroyo Tinto y este a su vez al río Grande.

Cumbres notables al interior de la cuenca alta del río Sola de Vega.

Cerro Peña Negra:

Este punto tiene una altitud de 2200 m.s.n.m., se ubica al centro de la cuenca y constituye uno de los parteaguas internos que divide el río Grande y el río Santa Rosa, que vierte sus aguas al río Sola de Vega.

Cerro Portillo de la Rosa:

Este punto se encuentra en el centro de la cuenca y de igual manera que el Cerro Peña Negra tiene una altitud de 2400 m.s.n.m., y forma parte del mismo parte aguas solo que este se encuentra al Sur del Cerro antes mencionado. (Foto 1.2).

Foto 1.2



Lugar: El anís, Sola. Long.97°06'25" Lat.16°33'40" Alt.1620 m.s.n.m. Predomina la vegetación de bosque de pino con variedades de (pinaveta), (pino-ocote). Al Norte se aprecia el cerro El Portillo de la Rosa con una altitud aproximada de 2400 m.s.n.m.

Cerro el Cacalote:

Este es el más alto de los puntos anteriores por que su altitud es de 2400 m.s.n.m., ubicado al Oeste de la cuenca constituyendo así el parteaguas entre los subafuentes río Tinto y río Grande.

1.3.1 Altimetría

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El propósito en esta parte es cuantificar y analizar las características topográficas de la cuenca, a través de las mediciones de las franjas altimétricas, para lo cual se adjunta un cuadro de análisis oroaltimétrico y gráficas que derivan del mismo. Para facilitar el análisis oroaltimétrico se elaboró el mapa altimétrico de la cuenca del río Sola de Vega. A este mapa también se le conoce como hipsométrico, el cual se elabora a partir de la topografía. Para la elaboración del mapa altimétrico se considera la cota máxima y mínima de la cuenca en estudio, para elegir el numero de rangos a trabajar; en donde

los tonos fríos representan las partes bajas y los cálidos las altas (Salitchev, 1981). Adicionalmente en este mapa se calculó las áreas entre curva y curva de nivel en toda la cuenca. (Mapa 1.2)

Análisis Oroaltimétrico

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Se trata del análisis oroaltimétrico con un alto grado de detalle a través de franjas altitudinales con una amplitud de 200m. comparándolo con las áreas.

Tabla 1.2 Datos para el análisis oroaltimétrico de la cuenca alta del río Sola de Vega, Estado de Oaxaca

Altitudes	Diferencia altimétrica	Alturas	Alturas %	Área km ²	Área % km ²	Área acumulada	porcentaje areal
2865 - 2800	65	1465 - 1400	100 - 95.56	0.13	0.04	0.13	0.04
2800 - 2600	200	1400 - 1200	95.56 - 81.91	16.74	3.55	16.87	3.59
2600 - 2400	200	1200 - 1000	81.91 - 68.26	30.21	6.41	47.08	10
2400 - 2200	200	1000 - 800	68.26 - 54.61	55.55	11.79	102.63	21.79
2200 - 2000	200	800 - 600	54.61 - 40.96	95.58	20.28	198.21	42.07
2000 - 1800	200	600 - 400	40.96 - 27.30	108.48	23.02	306.69	65.09
1800 - 1600	200	400 - 200	27.30 - 13.65	97.68	20.72	404.37	85.81
1600 - 1400	200	200 - 25	13.65 - 1.70	66.98	14.21	471.35	99.88
1400 - 1375	25	25 - 0	1.70 - 0	0.11	0.02	471.46	100

Al relacionar las franjas altimétricas y sus respectivas áreas, se detectaron tres grandes grupos. El primer conjunto tiene una altitud entre los 2865 a los 2200 m.s.n.m., representa un área de 102.63 km² forma el 22 % del área total de la cuenca, este grupo representa las principales cabeceras ubicadas en las montañas y laderas altas de la cuenca. El segundo conjunto tiene una altitud entre los 2200 a los 1600 m.s.n.m., el área es de 301.74 km², constituye el 64 % del área total; este conjunto de franjas representa al talud de transición y elevaciones secundarias internas. El tercer grupo tiene una altitud entre los 1600 a 1375 m.s.n.m., es una sola franja es el área más pequeña de 67.09 km², equivalente al 14 % del área total de la cuenca. Dentro de este último rango altimétrico se localiza así la totalidad de los pobladores y sus localidades, debido a la accesibilidad en la zona de lomeríos y valles fluviales. Como se puede observar en el mapa altimétrico la distribución del relieve es irregular. La diferencia altitudinal entre el punto mas alto es de 1490m.

Mapa 1.2 Altimetría.

Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

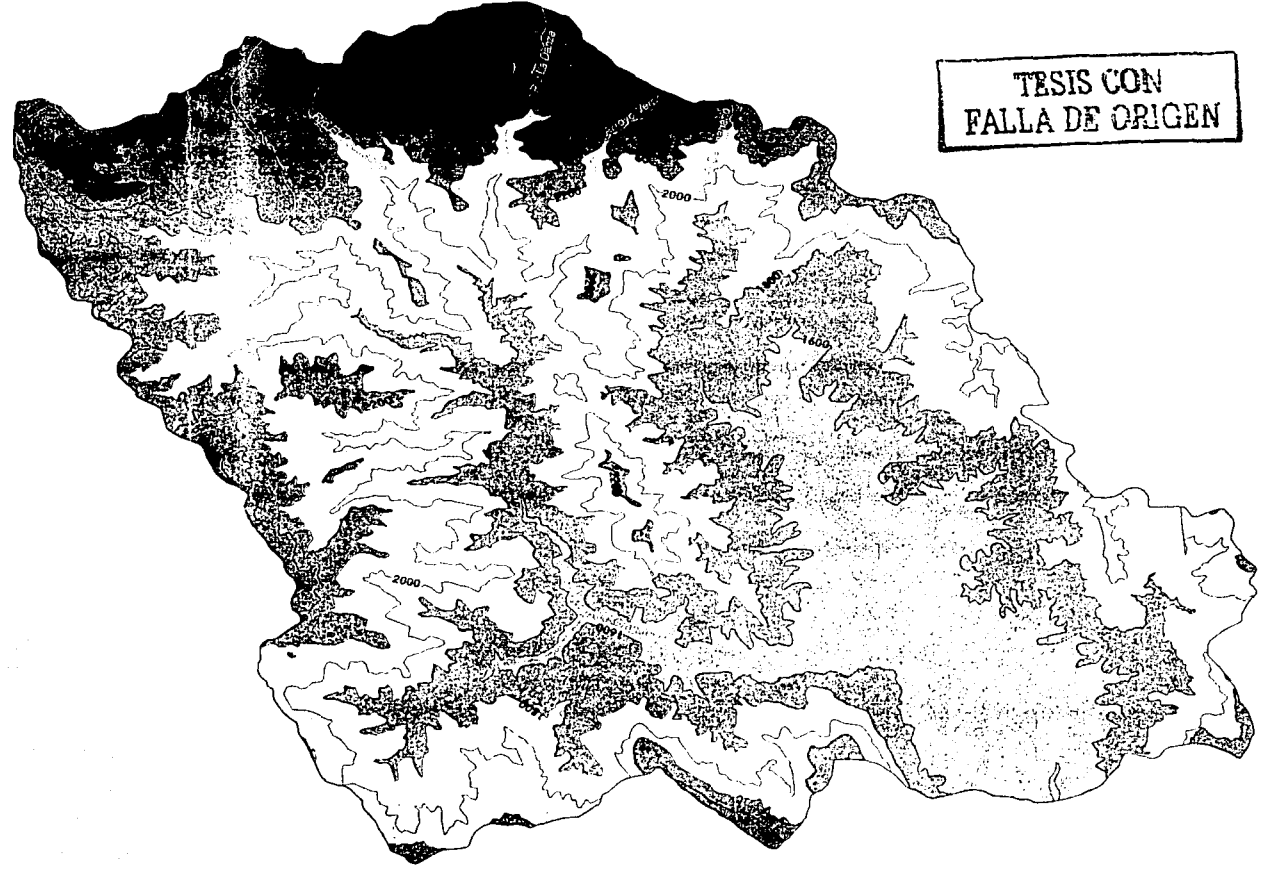
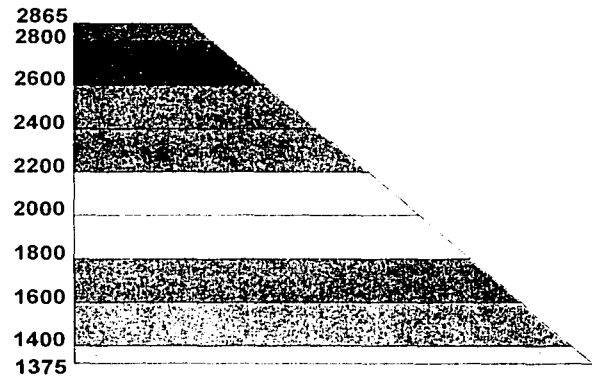
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SIMBOLOGÍA

- 1200 — Curva de nivel
Equidistancia entre curvas de nivel 200 mts.
- Ríos, arroyos
- Limite de la cuenca

Altimetría

Altitud m.s.n.m.



Elaboró Janette Francisco Robles

Para realizar un análisis altimétrico más completo se obtuvo el área en kilómetros cuadrados de cada franja altimétrica, con ellas se realizaron cálculos para elaborar gráficas que muestren algunas características de la cuenca en estudio.

Histograma de frecuencias altimétricas o Gráfica de distribución de áreas por franjas altitudinales.

Curva hipsográfica.

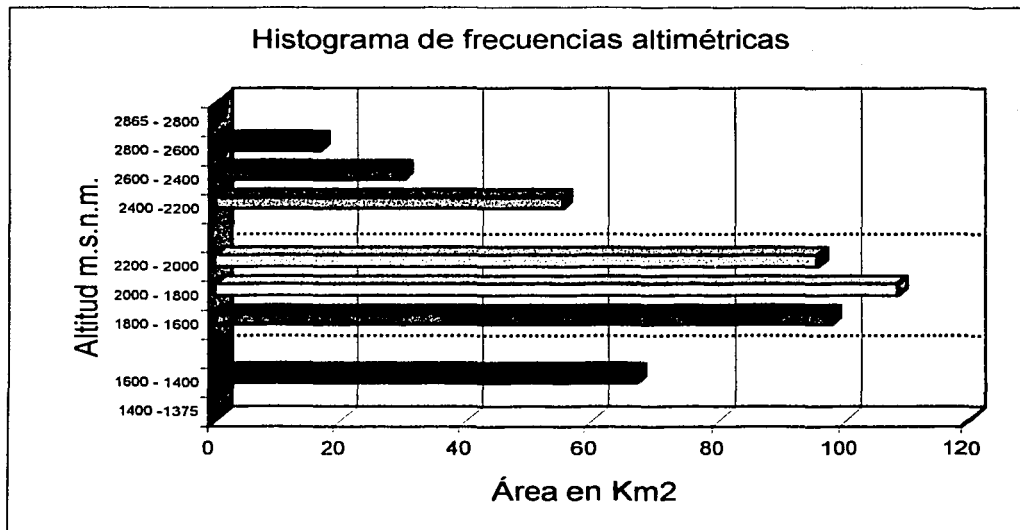
Gráfica de la curva integral hipsométrica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.3.2 Histograma de frecuencias altimétricas

Esta gráfica se obtiene de representar sobre el eje de ordenadas (x), el área total de la cuenca expresada en km^2 y en el eje de las (y), la altitud en m.s.n.m. comprendida entre las curvas de nivel, con su respectiva equidistancia.

Gráfica 1.1



En la gráfica 1.1 de distribución de alturas, se puede visualizar proporcionalmente franjas altimétricas, así mismo así mismo reforzar el análisis oroaltimétrico de la cuenca.

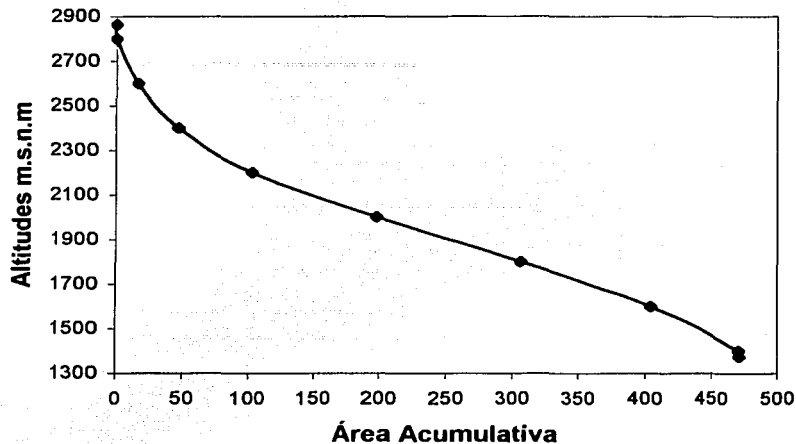
La gráfica muestra y confirma lo que observó en el análisis oroaltimétrico anterior. Se observa, de manera general que, las franjas altimétricas con respecto al área que ocupan, de manera particular, también se perciben las franjas altimétricas con la mayor área, ésta es de 64 %, al centro de la gráfica y estas franjas cuentan con altitudes de 1600 a los 2200 m.s.n.m. Esta franja es muy representativa en la cuenca con respecto al área que ocupa, por que marca una división muy notoria tanto en el mapa, como en la gráfica, ya que la altitudes pertenecen al talud de transición aunado a las elevaciones secundarias internas y en algunas laderas bajas y cañadas.

Después le siguen las franjas con área intermedia de 22 %; ésta se encuentra en las cabeceras de la cuenca, montañas y laderas altas, las altitudes a las que pertenece son de 2200 a 2865 m.s.n.m. Y las de menor área con el 14 % del total de la cuenca, pertenece a la planicie de acumulación y va de los 1375 a 1600 m.s.n.m.

1.3.3 Curva hipsográfica

La Curva hipsométrica muestra la distribución de la altitud con sus áreas respectivas, pero se presenta de manera secuencial y acumulativa, dando la idea de la superficie de cada piso altimétrico y a su vez muestra algo similar a un perfil topográfico de la cuenca.

Gráfica 1.2. Curva hipsográfica



La distribución del área en las altitudes de manera descendente va aumentando ya que el área que ocupa la altitud de 2865 m.s.n.m., es mínima, y a medida que descendes de altitud va aumentando el área, señalándose con una curva continua hasta los 2200 m.s.n.m., allí hay un punto de inflexión y hasta los 1600 m.s.n.m., comienza una pequeña curva poco convexa, para finalizar en los 1375 m.s.n.m. Se infiere que esta gráfica tiene similitud con el histograma de frecuencias altimétricas ya que los valores representados son la altitud y la superficie, lo cual tiene un comportamiento similar en cuanto a la representación de sus valores y resultados.

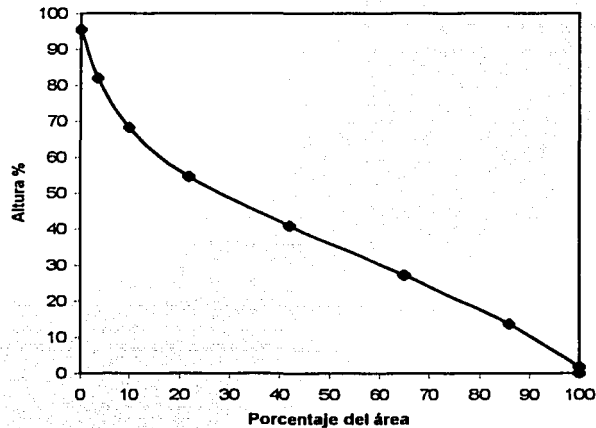
1.3.4 Curva integral hipsométrica

Esta curva nos ofrece una visión del relieve y la altimetría de la cuenca. Por encima de la altitud mínima de la cuenca se halla el cien por el cien de su superficie. Para realizar la curva se trasladan las superficies calculadas al eje de abscisas y la altitud al de las ordenadas.

La utilidad de la curva integral hipsométrica: La topografía o relieve de una cuenca puede tener más influencia sobre su respuesta hidrológica que la forma de la misma, es frecuente definir el relieve de una cuenca por medio de su llamada curva hipsométrica, la cual representa gráficamente las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes, esto permite calcular la elevación media de la cuenca. (Rosas, 1996, pag.17).

Esta gráfica nos permite inferir el grado de erosión que tiene el relieve de la cuenca.

Gráfica 1.3 Curva integral hipsométrica



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Como se observa la gráfica es un cuadrado que representa el 100 % del volumen del relieve de la cuenca.

De acuerdo con la gráfica 1.3 de la curva integral hipsométrica se puede observar que existe una curva que se divide en dos tramos perfectamente identificables.

El área bajo la curva abarca aproximadamente 36.24 % del área total del relieve de la cuenca lo cual corresponde en teoría al volumen de rocas de la cuenca de sus cumbres

más altas al punto terminal. Y el 63.76 % es la roca ya erosionada de la cuenca. (Strahler, 1974)

El primero desciende desde el 100 % de altura 1490 m. ó en su equivalencia a los 2865 m.s.n.m., hasta aproximadamente 2300 m.s.n.m., y presenta una inclinación notable lo cual implica que desde las cumbres más altas hasta dicha altitud existen una serie de laderas con declives muy notables, ya que estos pisos tienen una disposición casi vertical. Esto abarca 30% del área. (Tabla 1.3). También se puede corroborar en el mapa altimétrico (Fig.1), en donde se observan las franjas altimétricas estrechas y que abarcan áreas pequeñas.

El segundo tramo de la línea de la curva tiende a presentar menor inclinación y muestra una pendiente relativamente constante. Esto significa que los declives del terreno son menos marcados desde los 2300m. aproximadamente hasta la desembocadura ó punto terminal (1375 m.s.n.m.) Cubre el 70 % de área. Observar la tabla 1.3 sólo para tener una referencia en cuanto a las principales unidades del relieve dentro de la cuenca.

De acuerdo a la gráfica 1.3 de la curva integral hipsométrica se puede inferir que el primer tramo y el más notorio a simple vista en forma descendiente corresponde a relieves constituidos por una estructura de rocas relativamente blandas o de poca dureza, lo cual ha facilitado la acción erosiva.

Estos relieves constituyen aproximadamente el 10 % del área total de la cuenca y representan un volumen de 1.74 %. Al correlacionar cartográficamente el área del territorio de las cumbres y laderas altas con el mapa geológico se nota que esta constituido por el tipo de rocas llamadas Tobas ácidas de un tiempo de 36 ± 2 millones de años lo cual indica también que es una cuenca geológicamente madura.

1.3.5 El Declive de la cuenca alta del río Sola de Vega

Los declives que existen dentro de la cuenca tienen una importante y compleja relación con la el escurrimiento superficial, la humedad del suelo, infiltración y la contribución del agua subterránea al flujo de los cauces. Es uno de los factores físicos que controlan la velocidad y por lo tanto el tiempo del flujo sobre el terreno; también tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas.

Para el análisis de los declives en la cuenca del río se elaboró un mapa a escala 1: 50 000. Las categorías de declives se delimitaron en base a la relación distancia vertical y horizontal y el ángulo que forman. Para la elaboración del mapa de declives (Mapa 1.3) Se tuvieron como bases: el mapa topográfico, altimétrico y el análisis oroaltimétrico, se escogieron los rangos más apropiados a la topografía de la cuenca y a la equidistancia predeterminada (cada 200 m.), así como las áreas totales de estas unidades y su porcentaje, este ultimo se sintetiza en el cuadro adjunto. La información de los declives con áreas parciales (Tabla 1.3) y la distribución espacial representada en el mapa es un indicador importante para interpretar los procesos exógenos en la cuenca. Así mismo es una información importante para estimar; los escurrimientos superficiales y un parámetro para estimar el uso potencial del suelo en la cuenca.

Mapa 1.3 Declives.

Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

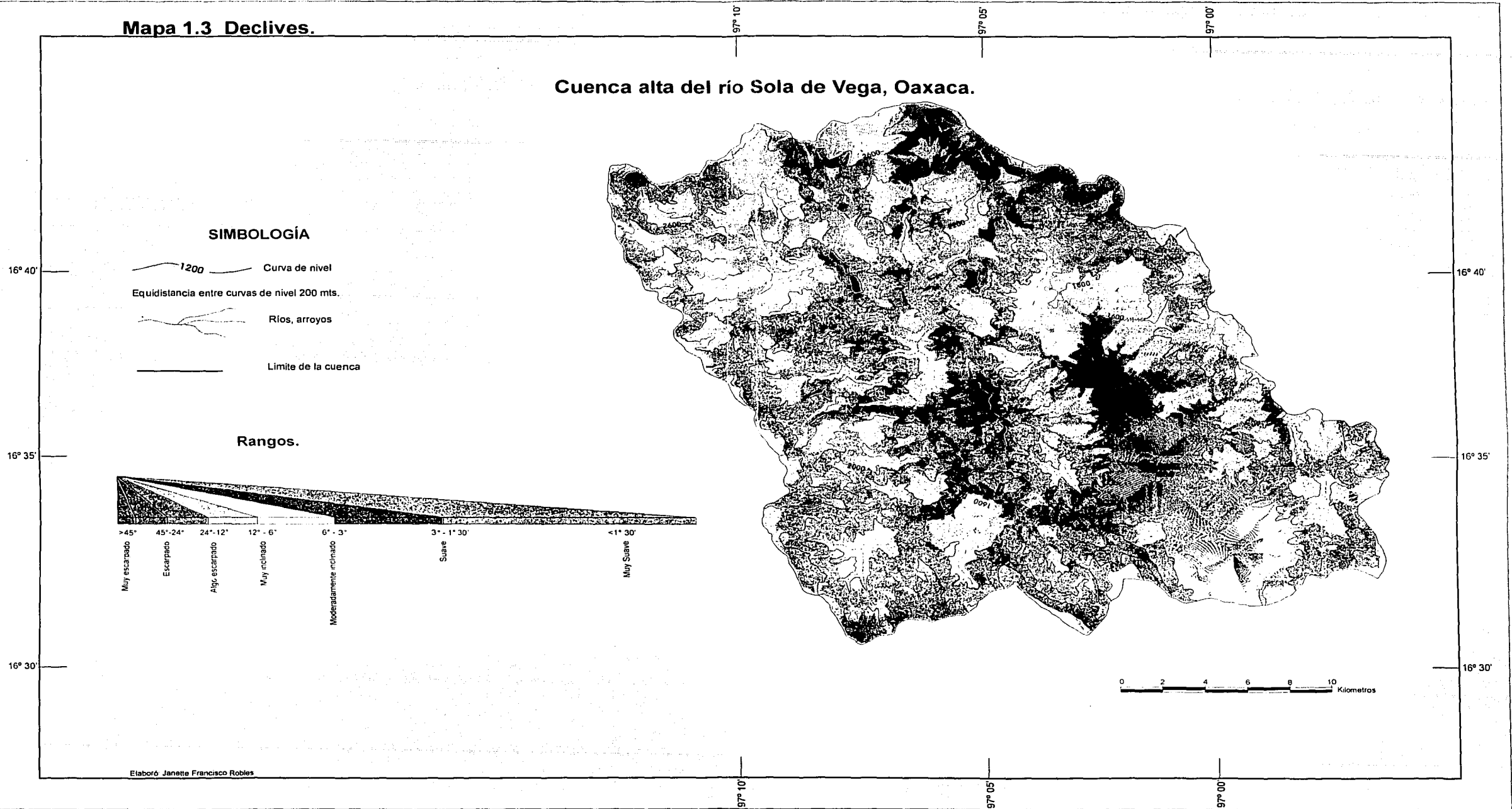


Tabla 1.3 Categorías de los declives por rango

Rango en grados	Categorías de Declives	Área en Km ²	Porcentaje Areal
> 45°	Muy escarpado	0.39	0.08
45° - 24°	Escarpado	42.13	8.94
24° - 12°	Algo escarpado	176.74	37.51
12° - 6°	Muy inclinado	131.03	27.82
6° - 3°	Moderadamente inclinado	55.42	11.76
3° - 1°30'	Suave	35.28	7.49
< 1°30'	Muy suave	30.19	6.41
TOTAL		471.46	100.00

La denominación de los declives que aparecen en la tabla se adecuaron a la topografía de la cuenca por ejemplo: Muy escarpado, Escarpado y Algo escarpado.

Categoría de declive > 45°

Este rango de declive se presenta mayormente en las áreas de montañas, nacientes de arroyos y ríos aproximadamente entre los 2200 y 2865 m.s.n.m., como referencias importantes donde se encuentran los cerros de La Ventana al Oeste, Al Noroeste El Gavilán, en el Noreste El Garabato y al Noreste Cresta de Gallo. En la cuenca esta categoría ocupa un área de 0.39 km². Y el 0.08 % del total de la cuenca. La denominación de esta categoría de declive es Muy escarpado, y el área que ocupa indica que no es una cuenca con predominio alto de montañas y laderas.

Categoría de declive entre 45°-24°

Estos declives se presentan mayormente en laderas de pequeños valles de montañas altas como el cerro San Juan y El Quialase al sur de la cuenca, cerca del poblado la localidad El Rincón al Noreste y otros lugares dispersos dentro de la cuenca.

Secundariamente se localizan en cañones y barrancas de la cuenca, la denominación de esta categoría es Escarpado. El área de esta unidad de declives es de 42.13km^2 , 8.94% del área total de la cuenca.

Categoría de declive entre 24° - 12°

Es la categoría y rango de mayor cobertura y predominio en la cuenca; con área de 176.74km^2 , 37.51% , proporcionalmente se distribuyen en toda la cuenca, son zonas Algo escarpadas, se localizan en laderas intermedias y en cañones y barrancas alguno ejemplos como el cerro El Portillo de la Rosa al centro de la cuenca, cerro El Arador al Oeste y (En las nacientes de los arroyos).

Categoría de declive entre 12° - 6°

Esta categoría se denomina Muy inclinada, se localiza predominantemente en valles que tienen en promedio 1 km. De amplitud, estas unidades se distribuyen por ejemplo : la localidades como El Tlacuache al Noroeste, Tierra Blanca al Norte y San Antonio al Sureste de la cuenca, alcanza mayores superficies cuando los valles tienen una mayor amplitud aproximadamente entre uno y dos kilómetros, se acentúan más entre 1600 a 1800 m.s.n.m. Esta unidad de declive es la segunda representativa en la cuenca por el área que ocupa 131.08km^2 , que representan el 27.82% en la cuenca.

Categoría de declive entre 6° - 3°

Son unidades de declive moderadamente inclinadas, están en la transición hacia los valles amplios de la cuenca. Son importantes como uno de los parámetros útiles para estimar posibles localizaciones agropecuarias, el área de éstos declives es de 55.42km^2 , que representan el 11.76% del área total de la cuenca. (Mapa 1.3).

Categoría de declive entre 3°-1°30'

Son unidades de declives suaves y se distribuyen por toda la cuenca, a excepción de las áreas montañosas, se observan mejor donde se encuentran poblados importantes como Santa Rosa Matagallinas, Santa María Sola, Yoganita, La Cañada, y el cerro Peña Negra, la distribución de estas unidades, explica que los declives sean llanos en la cuenca (ver declives absolutos). Destaca la localización de esta categoría en la zona de lomeríos y valles fluviales, al Sureste de la cuenca. En estos declives se localizan las principales actividades agrícolas de la cuenca, constituyen áreas importantes por que se toman en cuenta para planear y actividades como la agricultura de riego y de ganadería intensiva. El área total de esta unidad es de 65.47 km², equivalente al 13.9 % del área total de la cuenca.

Categoría de declive < 1°30'

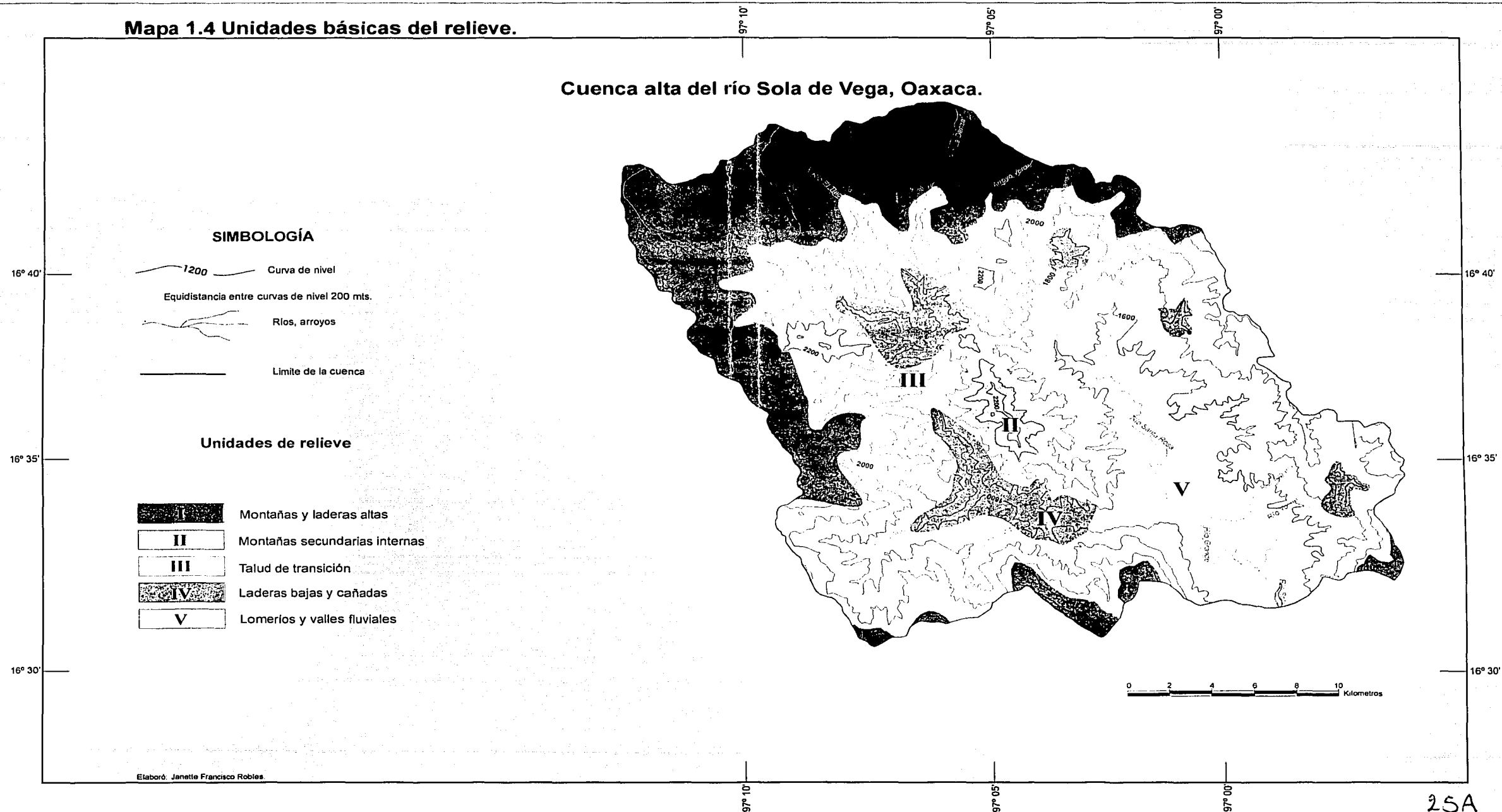
Son declives llanos, su localización también coincide con zonas de acumulación de material aluvial, al sureste de la cuenca. En las partes más amplias y bajas en esta unidad se presentan las principales actividades agrícolas, esto es importante tomarlo en cuenta para otros lugares posibles para dedicarlos a las actividades agrícolas con riego cercano a los canales exclusivos para ello cercanos al cauce del río, así como la ganadería intensiva. El área total de esta unidad es de 30.19 km², lo que representan en porcentaje 6.41 del total de la cuenca.

1.3.6 Unidades básicas del relieve

Para determinar las unidades básicas del relieve de la cuenca alta del río Sola de Vega se tomaron como base los mapas altimétrico y el de declives, complementándose con el mapa geológico. Se consideró la forma y configuración de las curvas de nivel, la anchura de las franjas altimétricas, esto permitió determinar cinco unidades básicas: (Mapa 1.4).

Mapa 1.4 Unidades básicas del relieve.

Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.



- 1) Montañas y laderas altas
- 2) Talud de transición
- 3) Montañas secundarias internas
- 4) Laderas bajas y cañadas
- 5) Lomerío y valles fluviales

Tabla 1.4 Principales Unidades básicas del relieve

Unidades de relieve	Área en Km²	Porcentaje areal
Montañas y laderas altas	137.84	29.23
Montañas secundarias internas	14.13	2.99
Talud de transición	207.03	43.90
Laderas bajas y cañadas	27.99	5.93
Lomerío y valles fluviales	84.47	17.91
Total	471.46	100.00

Montañas y laderas altas

Son sierras altas y complejas que pertenecen a la Sierra Madre del Sur. Están constituidas por elevaciones montañosas mayores de 2200 m.s.n.m.

Las montañas y laderas altas de la cuenca se ubican en tres porciones de la cuenca: El Norte constituye la cabecera más alta y abarca la mayor área; el centro occidente con montañas de menor altitud y menor área, el conjunto se extiende formando un arco con su concavidad hacia el Sureste, y algunas porciones aisladas en el suroeste, sur y sureste de la cuenca. Esta unidad abarca un área de 137.84 km².

Montañas secundarias internas

Son lugares internos, separados de la divisoria de aguas con poco valor areal dentro de la cuenca, su altitud varia entre 2200 y 2000 m.s.n.m., están ubicadas en la porción centro occidental, algunas montañas son una prolongación de las laderas altas, otras se encuentran en la porción central de la cuenca, esta unidad se encuentra dentro del talud de transición, su área cubre 14.13 km² lo cual en porcentaje equivale al 2.99 %.

Talud de transición

El talud de transición es un conjunto que se encuentra entre los 2200 y 1600 m.s.n.m., este es el parteaguas entre las montañas y laderas altas y los lomeríos y valles fluviales, ocupa la mayor área de la cuenca con 207.03 km², lo cual representa un 43.90 %. Ocupa la mayor parte de su área en el lado Oeste de la cuenca y del lado Este el área es mucho menor.

Laderas bajas y cañadas

Estos laderas bajas y cañadas se encuentran también dentro del talud de transición, son notorias a simple vista también en el mapa 1.4, se ubican al centro sur de la cuenca, son una prolongación de las curvas de nivel con valor de 1600 y 1800 m.s.n.m., una punta mira al noroeste y otra al suroeste, ocupan un área de 27.99 km², esto equivale al 5.93 % del total de la cuenca.

Lomeríos y valles fluviales

Esta unidad es de baja en altitud ya que tiene una altitud máxima de 1800 m.s.n.m., y una mínima de 1375 m.s.n.m., aproximadamente. Cubre una extensión de 84.47 km² equivalente al 17.71% del área total de la cuenca. Estos valles fluviales han sido originados por la acción de las aguas de escurrimiento.

1.4 Geología

La geología de la Sierra Madre del Sur tiene como basamento rocas cristalinas y metamórficas, calizas plegadas y otros sedimentos clásticos asociados con ellas. La Sierra Madre del Sur es una unidad profundamente disectada de rocas plegadas afalladas y separadas por intrusiones que datan del pre-cámbrico, paleozoico, mesozoico y aún del terciario. De todas las provincias geológicas de México es la menos estudiada. (Barrera, 1946 p.139). Con respecto a la litología de la cuenca del río Verde o Atoyac Oaxaqueño en particular, se encontraron formaciones integradas principalmente por rocas llamadas esquistos de cuarzo feldespático y gneiss granítico,

estas son resultado de un largo proceso y principalmente de elevadas presiones, El núcleo más importante que se encontró cubre la mayor parte del estado de Oaxaca, Oriente de Guerrero y Sur de Puebla, esta formación incluye todas las rocas visibles del precámbrico y del paleozoico. También se encontró algo muy importante y fue, el contacto de las rocas sedimentarias con las metamórficas e ígneas, pues se sospechó que parte de los granitos pudieran ser intrusivos mesozoicos y que no correspondieran a rocas del basamento que se ha visto en algunas zonas como la formación Acatlán al Sur de Oaxaca, también existen granitos posiblemente del precámbrico y que aparecen actualmente aflorando por erosión de rocas superyacentes, los granitos que se encontraron esta muy alterados y en los lugares que se observaron no se vieron rocas sedimentarias superpuestas. En cambio se encontraron calizas que afloran en la parte norte de la cuenca que yacen sobre capas rojas o derrames ígneos antiguos, que se llevaron acabo sobre el anterior o más antiguo basamento. (Barrera, 1946 p.156).

Litología de la cuenca alta del río Sola de Vega

Las unidades que afloran en la cuenca, son: rocas ígneas intrusivas y extrusivas; al Oeste, Norte y Suroeste. Rocas sedimentarias clásticas o detríticas y no clásticas o químicas y metamórficas exfoliadas; al Noreste, Sureste y Sur de la cuenca. Ubicadas en el rango geocronológico comprendido entre el precámbrico y el cenozoico. (Mapa 1.5) (Tabla 1.5).

Las unidades de roca caliza del cretácico, se encuentran al Noreste y Sur de la cuenca, corresponden a depósitos marinos que posteriormente ascendieron con el levantamiento tectónico.




Para el análisis de la geología de la cuenca se elaboró un mapa geológico, (Mapa 1.5) el cual contiene información litológica, esta muestra los diferentes tipos de rocas, y presenta su posición en tiempo geológico, se localizan seis unidades geológicas principalmente, las cuales serán definidas más adelante. De igual manera se elaboró una tabla con la geocronología de las rocas, tipo de rocas, área que ocupan y la ubicación dentro de la cuenca (Tabla 1.5).

Mapa 1.5 Geología.

Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.


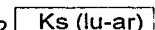
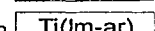
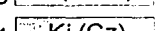
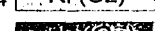

TESIS CON FALLA DE ORIGEN




SIMBOLOGÍA

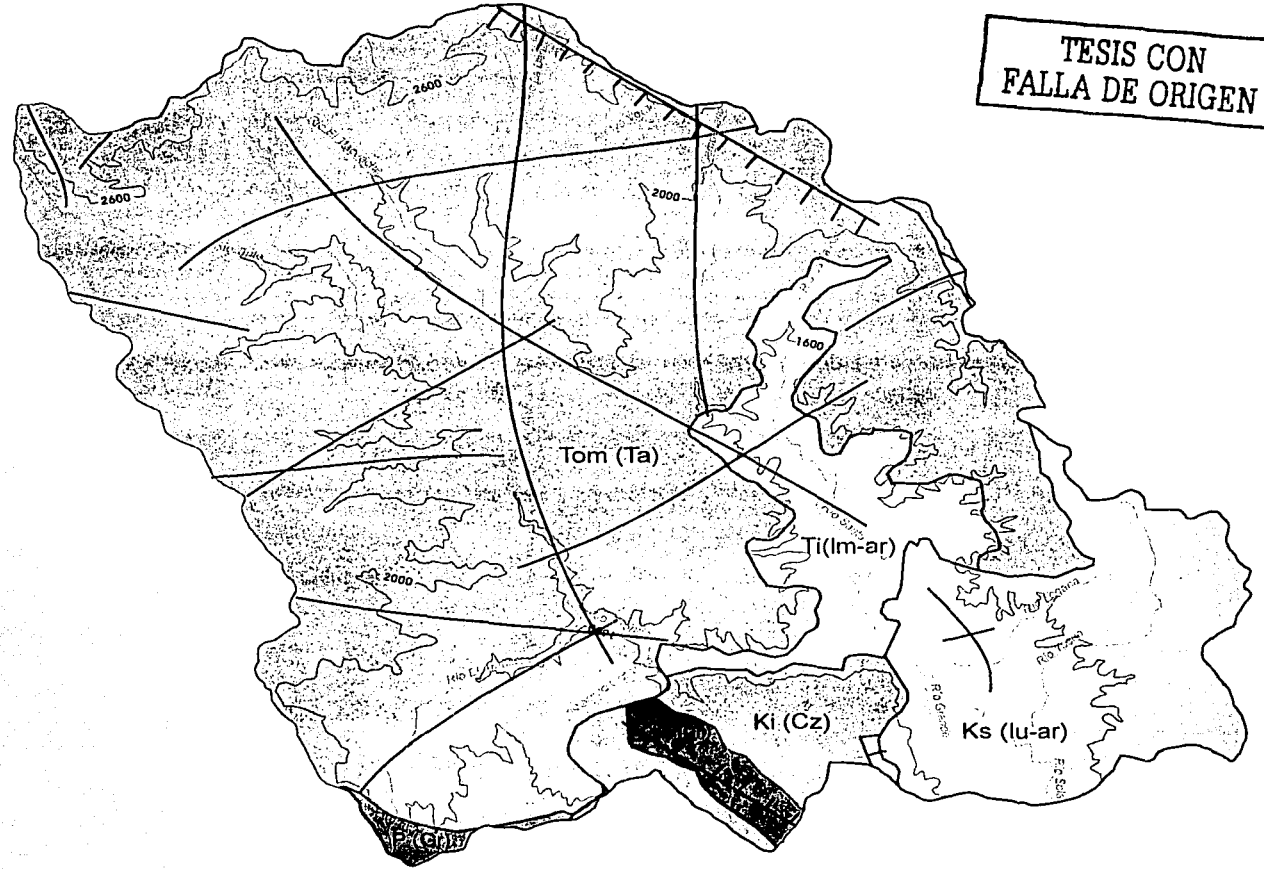
-  1200 Curva de nivel
-  Ríos, arroyos
-  Limite de la cuenca

Geología

Roca Litología

- | | | |
|---|---|--|
| 1 |  | Toba ácida (Ta), Terciario Oligoceno-Mioceno (T o-m) |
| 2 |  | Lutita - Arenisca (lu-a), Cretácico Superior (Ks) |
| 3 |  | Limolita - Arenisca (lm-a), Terciario inferior (Ti) |
| 4 |  | Caliza (Cz), Cretácico inferior (Ki) |
| 5 |  | Gneis (Gn), Precámbrico (PE) |
| 6 |  | Granito (Gr), Paleozoico (P) |

-  Fractura
-  Falla normal
-  Anticlinal



Elaboró Janelte Francisco Robles con base en INEGI (1999) E14-12 Zaachila 1: 250 000

Tabla 1.5 Litología de la cuenca alta del río Sola de Vega y áreas de las unidades geológicas

Era	Período	Epoca	Edades, cronología en miles de años antes del presente	Unidades de roca por su origen	Por su lugar de formación	Composición mineralógica dominante	Tipo de roca	Area en km2	Area en porcentaje	Ubicación en la cuenca
Cenozoico	Terciario	Mioceno Oligoceno	36 ± 2	Ignea	Extrusiva, rocas piroclásticas	Tobas ácidas	Tobas ácidas	345.12	73.24 %	Oeste, Norte y Suroeste
Paleozoico	De todo el periodo		600	Ignea	Intrusiva	Ácida	Granito	2.69	0.57 %	Suroeste
				Por su forma de Acarreo y depósito						
Mesozoica	Cretácico Superior		135 ± 5	Sedimentaria	Clástica o dendrítica		Lutitas-Areniscas	60.59	12.86 %	Sureste y Noreste
Cenozoico	Terciario Inferior	Plioceno Mioceno	63 ± 2	Sedimentaria	Clástica o dendrítica		Limolita-Areniscas	35.31	7.49 %	Sureste
Mesozoico	Cretácico Inferior		135 ± 5	Sedimentaria	No clástica o qulmica		Caliza	20.89	4.43 %	Sur y Noreste
				Por sus rasgos estructurales						
Pre-cambriico	Aún no existen Sub divisiones		Más de 600	Metamórfica	Exfoliada		Gneis	6.64	1.41 %	Sur

Elaborado con base en: La Guía para la interpretación de cartografía, Geología, INEGI, (1989).

Unidades litológicas presentes en la cuenca alta del río Sola de Vega**Rocas ígneas**

Rocas ígneas (ígnis=fuego). Se originan a partir de materiales existentes en el interior de la corteza terrestre, los cuales están sometidos a temperaturas y presiones muy elevadas.

Por su lugar de formación

Intrusivas: Cuando la corteza terrestre se debilita en algunas áreas, el magma asciende y penetra a las capas cercanas a la superficie; pero sin salir de ésta, lentamente se enfría y solidifica, dando lugar a la formación de rocas ígneas intrusivas.

Extrusivas: Cuando el magma logra llegar a la superficie; de la corteza terrestre, es arrojado a través de erupciones y derrames volcánicos; al enfriarse y solidificarse la lava, da origen a la llamada roca ígnea extrusiva.

Por su composición mineralógica dominante

Intrusivas ácidas (Igia): Textura de grano grueso; compuestas predominantemente por mineral de cuarzo (SiO_2); feldespatos alcalinos y plagioclasas sódicas.

Extrusivas, rocas piroclásticas (Tobas ácidas): Roca ígnea extrusiva formada de material volcánico suelto consolidado, de diferentes tamaños y composición mineralógica. (ceniza volcánica, arenas, lapilli, bombas etc.).

Tipos de Rocas ígneas en la cuenca alta del río Sola de Vega

Tobas ácidas o riolita (Ta):

Roca ígnea extrusiva formada de material volcánico, con su composición mineralógica correspondiente a la roca riolítica feldespatos alcalinos, cuarzo abundante, plagioclasas sódicas, éste tipo de roca se ubica en la cuenca del río Sola de Vega, al Norte, al Oeste y Suroeste ocupando $\frac{3}{4}$ partes de la cuenca, las montañas y laderas altas; los cerros El Zacate Amarillo, Tres cruces, La Ventana, El Gavilán, El Garabato, Cresta de Gallo, Cerro de Boca, talud de transición montañas secundarias internas; las cumbres más altas Portillo de la Rosa, Peña Negra, Del Berro. Esta unidad tiene una extensión de 345.12 km² equivalentes a 73.24 % del área total. Se encuentra en altitudes entre los 1600 m.s.n.m. aproximadamente a los 2865 m.s.n.m.

Granito (Gr):

Es una roca ígnea intrusiva ácida, el granito (del latín granum, grano), tiene un contenido abundante de cuarzo, predominio de feldespatos alcalinos ó plagioclasas sódicas. El granito ocupa dentro de la cuenca 2.69 km² que equivale a el 0.57% del área y se ubica al Sureste del cerro El Arador y ocupa una pequeña porción al Suroeste de la cuenca. Las altitudes entra las que se localiza son 2000 y 2400 m.s.n.m. De acuerdo con Miller(1970). El granito se meteoriza y se desintegra, especialmente en climas áridos, la descomposición del feldespato, su componente mineral más débil relaja la textura y origina una rápida destrucción en climas cálidos y húmedos.

Rocas sedimentarias

Los sedimentos (Sedimentum-asentamiento); son materiales formados como consecuencia de la actividad química o mecánica ejercida, depositándose en forma estratificada, capa por capa, la petrificación de los sedimentos a temperaturas y presiones relativamente bajas, conduce a la formación de las rocas sedimentarias.

Por su forma de acarreo y depósito

Clásticas o detríticas: Rocas formadas a través de sedimentos depositados mecánicamente como lodo, arena y grava por la acción del intemperismo y la erosión (detritos de roca preexistente).

No clásticas o químicas: Rocas originadas por precipitación química en cuerpos de agua superficiales tanto de ambientes marinos como continentales; la precipitación puede ser causada directamente por evaporación, por reacciones inorgánicas, entre las sales disueltas (haluros, sulfatos, sílice, fosfatos, carbonatos), o por organismos como bacterias, corales, moluscos que forman secreciones esqueléticas fácilmente visibles (arrecifes de coral).

Tipos de rocas sedimentarias en la cuenca alta del río Sola de Vega**Lutitas--Areniscas (lu--ar):**

La lutita; Se ubican al Sureste principalmente donde se encuentra el cerro El Obispo y las localidades de San Idelfonso el viejo, Palo Blanco, La Colorada, El Nogal, San Antonio, Nachihuí, Yoganita, Yocua, Santa María Sola y Santa Rosa Matagallinas. Y ocupan un área de 60.59 km² equivalentes a el 12.86 % del total de la cuenca. La altitud a la que se encuentra es de 1375 m.s.n.m. a 2300 m.s.n.m. Existen tres tipos de lutita como la de grano fino, medio y grueso. La roca sedimentaria clástica de grano fino es del tamaño de la arcilla (menos de .005 mm). Compuesta principalmente por minerales de arcilla. La arenisca Roca sedimentaria clástica de grano medio, con abundantes granos de arena y limo grueso (.05 mm. a 2 mm), constituida principalmente por minerales de cuarzo y feldespatos.

Limolita--Arenisca (lm--ar):

Limolita; roca sedimentaria clástica de grano fino del tamaño del limo (.05 mm a .005 mm) compuesta principalmente por minerales de arcilla. Éste grupo de rocas ocupa una extensión de 35.31 km² equivalentes a 7.49 % del área de la cuenca, y se ubica al

Sureste una franja con dirección Norte-Sur las localidades que se encuentran sobre esta unidad son: Texcoco, Colón, El Sabino, El Rincón y La Rosa. Las altitudes aproximadas a las que se encuentra la unidad geológica van de los 1600 a los 1800 m.s.n.m.

Caliza (cz):

Roca sedimentaria química constituida por la precipitación del carbono de calcio; se denominan calizas aquellas rocas sedimentarias en las cuales la porción carbonosa esta compuesta principalmente de mineral de calcita.

Resistente de acuerdo con la porosidad y sistemas de diaclasas agrandadas por disolución. Origina mesetas secas y escarpes, pero resulta mucho más vulnerable en climas húmedos y para altitudes donde alcanza el nivel freático a causa de su solubilidad, (Miller, 1970). Se ubican al Sur de la cuenca y también al Noreste, los puntos más notables que se encuentran es esta unidad son: el cerro San Juan y el Quialase al Sur y al Noreste, una pequeña porción al Sureste del cerro Cresta de Gallo. en muy poca proporción, ocupando un área de 20.89 km² que equivalen a 4.43 % del total, y está dividida en dos por una franja de gneis. La altitud a la que se encuentra es 1600 a 2500 m.s.n.m. al Sur y al Noreste de 2200 m.s.n.m. aproximadamente.

Rocas metamórficas. en la cuenca alta del río Sola de Vega

Rocas metamórficas: (gr. meta-morphe, cambio de forma). Son todas aquella rocas que han sufrido cambios en su estructura original y en su composición mineralógica; debido a los procesos del metamorfismo como son el calor, la presión y los fluidos o gases químicamente activos pueden ser tomados a partir de roca preexistente como ígneas y sedimentarias.

Por sus rasgos estructurales

Exfoliadas: (exfoliación—propiedad de los cristales de romperse según caras planas de posición simétrica definida).

Tipo de roca metamórfica en la cuenca alta del río Sola de Vega

Gneis (Gn):

Roca metamórfica exfoliada; en la cuenca del río Sola de Vega, ocupa una extensión de 6.64 km² equivalentes a 1.41 % del área total y se ubica al Sur y tiene una dirección Noroeste–Sureste. La localidad que se encuentra cerca es el Anís, y la altitud donde se encuentra esta unidad es de 1800 a 2200 m.s.n.m. Originada por diversas variedades de roca con granos moderadamente gruesos, su textura es exfoliada y masiva, algunas presentan ojos o lentes que son cristales o agregados de minerales; otras presentan fajas largas y angostas. Los minerales comunes de los gneis son el cuarzo, feldespatos y micas. Se originan por metamorfosis regional.

Muy resistentes, masivo, compacto y con frecuencia de gran espesor. Se forma en tierras altas con formas generalmente redondeadas. Muy antiguo, de modo que con frecuencia está muy reducido por la erosión, Miller, (Op. Cit.).

Estructuras, fracturas y fallamientos geológicos de la cuenca

Con respecto a las estructuras que se ubican en la cuenca al Noreste, paralelo al parte aguas con dirección Noroeste- Sureste, se encuentra una falla normal con 2 km de longitud, pasando justo al Sur del Cerro El Garabato y terminando a la altura de 2800 m.s.n.m. sobre el tipo de roca de las Tobas ácidas. Se encuentran otras dos fallas normales, al Sur una con dirección Norte–Sur con una longitud de .5km, a partir del parte aguas, se encuentra sobre la roca caliza con un echado de 10 a 80°, la otra con dirección Noroeste–Sureste, con una longitud de 1 km. Sobre roca gneis.

Existe la presencia de una anticlinal, un pliegue convexo hacia arriba, originado por fuerza de compresión sobre las rocas de la corteza terrestre, de 1km de longitud, iniciando donde se une el río Grande al río Sola de Vega, Cruzando por los poblados Nachihuí y Yoganita. Sobre la roca de lutita–arenisca. Ubicado al Sureste de la cuenca.

La cuenca esta cruzada por fracturas con diferentes direcciones, en las cuales al parecer no existe un desplazamiento, la más grande tiene una dirección Norte-Sur, con una longitud de 4 km, cruzando casi la totalidad de la cuenca, la siguiente más grande tiene una dirección de Noroeste a Sureste, cruzando la anterior perpendicularmente, está tiene una longitud de 3 km. Las dos se ubican al centro de la cuenca.

1.5 Edafología

De acuerdo con los objetivos hidrogeográficos de este trabajo el estudio de la geología (rocas) y suelos de la cuenca debe estar encaminado a clasificar en términos generales su mayor o menor permeabilidad y en ciertos casos debe ser mucho más detallado; indicando la localización de las aguas subterráneas, sus áreas de recarga, resurgencia o descarga.

El suelo influye especialmente sobre régimen hidrológico de la corriente y en transporte de material sólido, ya que sus características físicas determinan la naturaleza y el desarrollo de la vegetación. La evapotranspiración, la erosión y el arrastre de sólidos son función del tipo de suelo de la cuenca, concretamente en la relación a los suelos, será conveniente estimar su capacidad de infiltración, y con base a la textura determinar su capacidad de retención de agua como humedad en el suelo. (Mapa 1.6)

Unidades de suelo de la cuenca alta del río Sola de Vega

Se presenta una tabla con la información global de las unidades de suelo en la cuenca, para después detallar las particularidades de cada unidad.

Para la elaboración de esta parte de la tesis se recurrió principalmente a la información que se encuentra en la carta edafológica, escala 1: 1 000,000, hoja México de la Secretaría de Programación y Presupuesto.

Mapa 1.6 Edafología.

Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

SIMBOLOGÍA

1200 Curva de nivel

Ríos, arroyos

Limite de la cuenca

Unidades de suelo

Re + Lc + I/2

Re + I + Hh/2

I + E/3

Unidades

R Regosol

I Litosol

H Feozem

L Luvisol

E Rendzina

Sub unidades

Re Regosol eutríco

Hh Feozem háplico

Lc Luvisol crómico

Clases texturales

2 media

3 fina

Fase física

+++++

Limite entre unidades

Elaboró Janette Francisco Robles con base en:
(SPP) (1981). México. 1: 1 000 000.

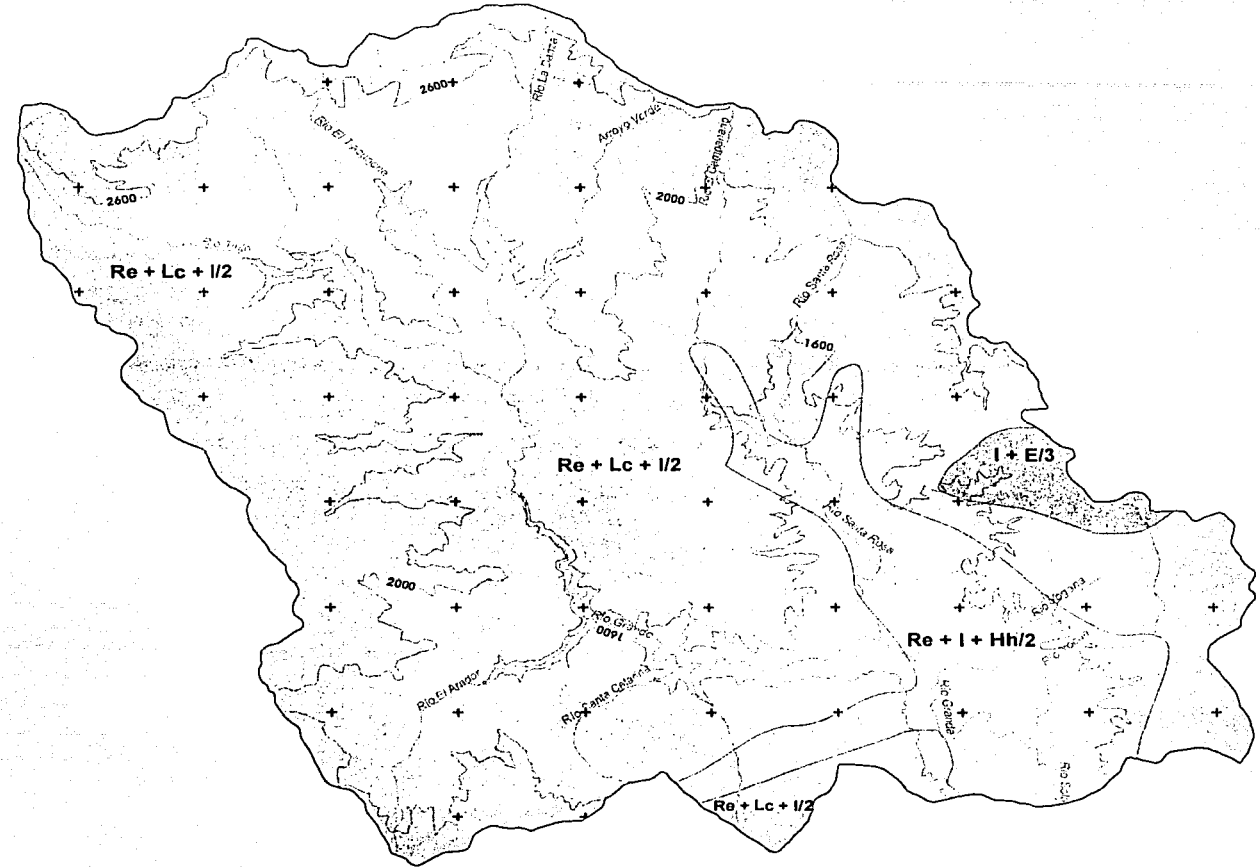


Tabla 1.6 Principales unidades de Suelo

Unidad de suelo	Área en km ²	Porcentaje areal	Localización
Re + Lc + I/2 Regosol eútrico	351.62	74.64	Norte, Centro, Este, Oeste, Suroeste y parte del Sureste
Re + I + Hh/2	97.74	20.72	Sur y Sureste.
I + E/3 Litosol	21.86	4.63	Este
Total	471.46	100.00	

Fuente: Unidades de suelo del Sistema FAO / UNESCO, 1970. Modificado por CETENAL.

En la cuenca alta del río Sola de Vega se encontraron tres principales tipos de suelo.

Re + Lc + I/2 Regosol eútrico combinado con Luvisol crómico y Litosol con textura media

Re + I + Hh/2 Regosol eútrico combinado con Litosol y Feozem háplico con textura media

I + E/3 Litosol y Rendzina con textura fina

Las particularidades de cada unidad de suelo se explican a continuación.

Re + Lc + I/2:

Este tipo de suelo se encuentra principalmente en casi toda la cuenca en la parte Norte, Noroeste, Noreste, Centro, Este, Oeste y Suroeste y un pequeño corredor al Sureste, cuenta con un área de 352.02 km², y un porcentaje de 74.64 % del área total, casi coincide con el área y la ubicación que ocupa la toba ácida en el mapa geológico. Se encuentra una altitud de 1500 a 2865 m.s.n.m. aproximadamente, abarca parte del talud de transición, montañas secundarias internas y montañas y laderas altas. En pendientes mayores a los 6° lo que provoca que también sean suelos susceptibles a la erosión, aunado a esto son zonas donde la precipitación y el viento son mucho mayores.

Regosol (R):

Como unidad de suelo dominante que muestra las características primarias del tipo de suelo como clima, material del suelo, forma y desarrollo del suelo. Del griego rhexos: manto cobija, denominación connotativa de la capa de material de suelo que cubra a la roca. Son suelos que se pueden encontrar en muy distintos climas y con diversos tipos de vegetación. Se caracteriza por no presentar capas distintas en general son claros y se parecen bastante a la roca que los subyace cuando no son profundos. Se encuentran en las laderas de todas las Sierras Mexicanas muchas veces acompañados de litosoles y de afloramientos de roca o tepetate.

Frecuentemente son someros; su fertilidad es variable y su uso agrícola está principalmente condicionado a su profundidad y al hecho que no presente pedregosidad en las sierras se encuentra un uso pecuario y forestal, con resultados en función de la vegetación que exista, son de susceptibilidad variable a la erosión.

Regosol eútrico (Re):

Subunidad del suelo dominante, que abarca características menos relevantes como el color del suelo, presencia de algún elemento químico su saturación con agua etc. El regosol eútrico (e), no tiene ninguna propiedad especial salvo las ya señaladas para el grupo regosol. Su capa superficial es de color claro que puede ser o no pobre en materia orgánica.

Luvisol (L):

Como unidad de suelo secundario muestra las características de suelo secundario en función de los horizontes de diagnóstico. El latín luvi; lavar, literalmente; suelo lavado.

Son suelos que se encuentran en zonas templadas o tropicales lluviosas; se puede encontrar en climas algo más secos su vegetación es de las que observa un enriquecimiento de arcillas en el subsuelo son muy fértiles y no son muy ácidos, son frecuentemente rojos o claros, aunque presentan tonos pardos o grises que no llegan a ser muy oscuros. Su uso puede ser para pastizal inducido, puede dar buenas utilidades

en ganadería. El uso forestal del suelo es muy importante y su rendimiento sobresaliente. Para el caso de la cuenca alta del río Sola de Vega son suelos de alta susceptibilidad a la erosión además de que la mayoría se encuentra en laderas y pendientes pronunciadas.

Luvisol crómico (Lc):

Subunidad de suelo dominante; (del griego cromos: color), presenta colores rojizos o amarillentos en el subsuelo son de fertilidad moderada.

Litosol (I):

Unidad de suelo terciario muestra la característica primaria del tipo de terciario en función de los horizontes de diagnóstico específicos. (Piedra). Literalmente suelo de piedra).

Son suelos que se muestran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación. Se caracterizan por tener una profundidad menor de 10 cm. Hasta la roca, tepetate o caliche duro en mayor o menor proporción, en laderas, barrancas y loñeríos y en algunos terrenos planos en la cuenca alta del río Sola de Vega se presentan en zonas de laderas bajas y cañadas, talud de transición, montañas secundarias internas y en montañas y laderas altas. Tiene características muy variables en función del material que lo forma. Pueden ser fértiles e infértiles, arenosos o arcillosos.

En el caso de la cuenca en estudio, los suelos de esta unidad son de textura limosa o media /2, La clase textural media (/2) se refiere a suelos de textura franca o limosa con retención de agua y nutrientes modera, drenaje interno eficiente y de fácil manejo tiene una alta susceptibilidad a erosionarse depende de la zona donde se encuentren, la topografía y el mismo suelo, el uso de suelo depende de la vegetación que lo cubre.

Re + I + Hh/2:

Se ubica principalmente al Sur y Sureste a una altitud de 1375 m.s.n.m. a 1500 aproximadamente, tiene una extensión de 97.74 km², y un 20.72 % del área total de la cuenca. Se encuentra en pendientes menores a los 6° es una zona donde se encuentran lomeríos y valles fluviales, por lo que la erosión de estos suelos depende de las condiciones físicas del terreno, vegetación y clima en las que se encuentre.

Como ya se ha descrito el regosol y el litosol en el grupo anterior a este, continuare a presentar la unidad de suelo terciario y la subunidad que la constituye.

Feozem (H):

Como unidad de suelo terciario (del griego Phaeo: parda; y del ruso zemije: tierra, literalmente tierra parda). Son suelos que se encuentran en varias condiciones climáticas desde zonas semiáridas hasta templadas tropicales muy lluviosas, así como en diversos tipos de terreno puede presentar cualquier tipo de vegetación en condiciones naturales.

Su característica principal es una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes. El uso óptimo para estos suelos depende mucho del tipo de terreno y las posibilidades de obtener agua en cada caso de agrícola, forestal y ganadero. Su susceptibilidad a la erosión varía también en función de las condiciones en que se encuentre.

Feozem háplico (Hh):

Como subunidad del suelo dominante, (del griego haplos: simple), tiene solo las características descritas para la unidad de feozem, la textura que presenta es media/2¹ con mayor cantidad de limos menos de 35 % de arcilla y menos de 65 % de arena. Su ubicación en la cuenca coincide con la limolita-arenisca, en el mapa geológico.

¹ La clase textural media (/2) se refiere a suelos de textura franca o limosa con retención de agua y nutrientes moderada, drenaje interno eficiente y de fácil manejo

I + E/3:

Se ubica al Este de la cuenca al Sur del cerro La Boca, este tipo de suelo tiene una extensión de 21.86 km², y 4.63 % del área total de la cuenca. Se desarrollan a una altitud de 1600 a 2000 m.s.n.m. aproximadamente y con pendientes de 12°-24° esta zona pertenece al talud de transición.

Rendzina (E):

Como unidad de suelo secundario, (nombre polaco que se da a los suelos poco profundos y pegajosos que se presentan sobre rocas calizas). Estos suelos se presentan en climas cálidos o templados con lluvias moderadas o abundantes. Su vegetación natural es matorral, selva o bosque.

Se caracteriza por tener abundante humus y ser muy fértil, que descansa sobre roca caliza o algún material rico en cal, no son muy profundos y son generalmente arcillosos.

El uso forestal de estos suelos depende de la vegetación que presentan. Su susceptibilidad a la erosión es moderada, no tiene subunidades y su símbolo es E; su textura es fina /3, lo que indica que tiene más del 35 % de arcilla. La clase textural fina (/3), se refiere a suelos de textura arcillosa con retención de agua y nutrientes de baja a alta, según el tipo de arcilla, drenaje interno lento y de difícil manejo, especialmente en los que son arcillosos pesados y agrietables.

La fase física lítica (L): Se presenta en toda la cuenca da las características de suelo definido de acuerdo con la presencia y abundancia de elementos sólidos de grava, piedra o capas fuertemente cementadas que impiden o limiten el uso agrícola del suelo; se presentan a profundidades variables siempre menores a 100cm, es un suelo con roca continua dentro de los 50 cm de profundidad. Las indicaciones para los suelos de la cuenca en estudio no incluyen información de la fase química en el mapa.

1.6 Vegetación y uso de suelo

La vegetación o cobertura vegetal en particular los bosques y los cultivos añaden su influencia a la naturaleza geológica de la cuenca, para condicionar la retención; la evaporación y el escurrimiento, ya que la vegetación controla la acción y el movimiento del agua; intercepción, almacenamiento, evapotranspiración y erosión. (Mapa 1.7).

En general es conveniente obtener los porcentajes de área de cuenca cubierta por cada tipo de vegetación. A continuación se presenta la tabla de datos que muestran la vegetación y el uso de suelo con el área que ocupa en km^2 , y el porcentaje en orden descendente con respecto al área agrupados por tipo.

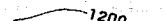


Tabla 1.7 Vegetación y uso de suelo

Vegetación y Uso de Suelo	Área en Km^2	Porcentaje areal
Bosque de pino	232.8	49.40
Bosque de pino (vegetación secundaria arbórea)	120.91	25.66
Bosque de pino (vegetación secundaria arbustiva)	9.24	1.96
Bosque de pino-encino	11.97	2.54
Bosque de pino-encino (vegetación secundaria arbustiva)	7.27	1.54
Bosque de encino (vegetación secundaria arbustiva)	3.73	0.79
Bosque de encino	2.71	0.58
Selva baja caducifolia (vegetación secundaria arbustiva)	9.81	2.08
Pastizal inducido-Matorral espinoso	56.43	11.98
Agricultura de temporal (cultivos anuales)	11.99	2.54
Agricultura de riego (cultivos anuales y semipermanentes)	4.38	0.93
Total	471.46	100.00







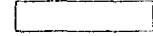

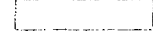
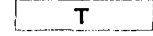




Mapa 1.7 Vegetación y Uso de suelo.

Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

SIMBOLOGÍA

-  1200 Curva de nivel
-  Ríos, arroyos
-  Límite de la cuenca

Vegetación y uso de suelo

-  Bosque de pino.
-  Bosque de pino (vegetación secundaria arbórea)
-  Bosque de pino (vegetación secundaria arbustiva)
-  Bosque pino - encino
-  Bosque pino - encino vegetación secundaria arbustiva)
-  Bosque de encino
-  Bosque de encino (vegetación secundaria arbustiva)
-  Selva baja caducifolia (vegetación secundaria arbustiva)
-  Pastizal inducido (matorral espinoso)
-  Agricultura de temporal
-  Agricultura de riego
-  Cultivos anuales
-  Cultivos semi permanentes
-  Límite de unidades



Elaboró Janette Francisco Robles con base en:
INEGI (1985) E14-12 Zaachila 1:250 000

Vegetación

Bosque: Vegetación arbórea, principalmente de las regiones de clima templado y semifrío, con diferentes grados de humedad, por lo común con poca variación de especies. La vegetación arbórea densa que se localiza en laderas de montañas, barrancas y otros sitios protegidos en condiciones de humedad más favorables que las que tienen el reto de la vegetación que la rodea, generalmente se encuentran a altitudes entre 800 y 2400 m.s.n.m., limitada por el bosque pino-encino.

Los principales grupos vegetales que se encuentran formando bosques y que se señalan en la carta de uso de suelo y vegetación escala 1: 250 000 son: Oyamel, Cedro blanco, Carpinus, Eucalipto, Aile, Hilite, Enebro, Pino, Encino, Pirul, Ahuehuéte, o Sabino *casuaría*, Sauce y Ayarín.

Bosque de pino de la cuenca alta del río Sola de Vega:

Ocupa un área de 232.8 km² y un 49.40 % del área total de la cuenca Ubicada al Noroeste y algunas islas al Oeste, Suroeste y Centro de la cuenca, a una altitud de 1800 a los 2865 m.s.n.m., en las montañas y laderas altas donde se encuentra el cerro Cresta de Gallo al Este de la cuenca, y hacia el Oeste pasando por las localidades Tierra Blanca y El Rincón la Danza, El Manzano, El Tlacuache, cerro El Berro, El Zacate Amarillo, La Ciénega del río y en las montañas secundarias internas en los cerros El Portillo de La Rosa, Peña Negra , al Suroeste El Arador, y al Sur San Juan y El Quialase. (Foto 1.3).

Foto 1.3



Lugar: Las Canoas, Sola. Long. 97°06'23" Lat. 16°33'40" Alt. 1600 m.s.n.m. Laderas erosionadas sosteniendo vegetación de bosque de pino, el tipo de suelo tiene como unidad primaria Regosol eutricto.

Tabla 1.8 Especies predominantes del bosque de pino

Nombre común	Nombre científico
Pino	<i>Pinus sp.</i>
	<i>Pinus rudis.</i>
	<i>Pinus oocarpa.</i>
Ocote	<i>Pinus teocote.</i>
Chepil silvestre	<i>Crotalaria sp.</i>
Encino negro	<i>Quercus magnifolia.</i>
Encino Rojo	<i>Quercus rugosa.</i>
Encino blanco	<i>Quercus conspersa.</i>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fuente: Martínez. (1994). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas.*

El uso local; por lo general se usa para extraer madera para leña y obtención de carbón, algunas resinas, las laderas están sujetas a continuos incendios que aparentemente favorecen al mantenimiento de la estructura y composición de esta comunidad vegetal proporcionando la abundancia de gramíneas.

Bosque de pino (con vegetación secundaria arbórea ¹) en la cuenca alta del río Sola de Vega:

Se encuentra distribuida a lo largo y ancho de la cuenca en manchones medianos, sobre todo a una altitud de 1800 a 2600 m.s.n.m., las especies que predominan en este tipo de vegetación es similar a la anterior. Tiene una extensión de 120.91 km² equivale a 25.66 % del área total de la cuenca.

Bosque de pino (con vegetación secundaria arbustiva ²) en la cuenca alta del río Sola de Vega:

Ocupa una extensión de 9.24 km² y un porcentaje de 1.96 del área de la cuenca, se encuentra localizada a una altitud de 1800 a los 2000 m.s.n.m., en la parte Este de la cuenca en el talud de transición.

Bosque mesófilo de montaña: Vegetación arbórea densa que se localiza en laderas de montañas, barrancas y otros sitios protegidos en condiciones de humedad más favorables que las que tienen el reto de la vegetación que la rodea, generalmente se encuentran a altitudes entre 800 y 2400 m.s.n.m., Limitada por el bosque pino-encino.

Los principales grupos vegetales que se encuentran formando bosques y que se señalan en la carta de uso de suelo y vegetación escala 1: 250 000 son: Oyamel, Cedro blanco, Carpinus, Eucalipto, Aile, Hilite, Enebro, Pino, Encino, Pirul, Ahuehuéte, o Sabino *casuaría*, Sauce y Ayarín.

¹ Nota: Vegetación secundaria arbórea, Fase sucesional secundaria de la vegetación, con predominancia de árboles. Es una fase relativamente madura. Con el tiempo puede dar lugar a una formación vegetal similar a la vegetación original en caso de no perturbarse o destruirse nuevamente.

² Nota: Vegetación secundaria arbustiva, fase sucesional secundaria de la vegetación, con predominancia de arbustos. Puede ser o no sustituida posteriormente por una fase arbórea. Con el tiempo puede dar lugar a una formación similar a la vegetación original, en caso de no perturbarse o destruirse nuevamente.

Tabla 1.9 Especies predominantes del bosque mesófilo de montaña

Nombre común	Nombre científico
Cuajinicuil	<i>Inga spuria</i> .
Encino blanco	<i>Quercus conspersa</i> .
Capulín	<i>Ardisia sp.</i>
Oyamel	<i>Abies religiosa</i> .
Cedro blanco	<i>Cuprasus lindleyi</i> .
Enebro	<i>Juniperus flaccida</i> .

Fuente: Martínez. (1994). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas*.

Bosque de pino–encino en la cuenca alta del río Sola de Vega:

Cuenta con un área de 11.97 km² y 2.54 % del total de la cuenca; existen pequeñas islas al Oeste y Sur de ella, este tipo de vegetación se encuentra a una altitud de 2000 a 2600 m.s.n.m.

Bosque de pino–encino (con vegetación secundaria arbustiva) en la cuenca alta del río Sola de Vega:

Este bosque tiene predominación de pinos y ocupa un área de 7.27 km² y 1.54 % del área total de la cuenca, se localiza al centro Sur de la cuenca a una altitud de 2000 m.s.n.m.

Tabla 1.10 Especies predominantes del bosque de pino–encino con vegetación secundaria arbustiva

Nombre común	Nombre científico
Pino	<i>Pinus sp.</i>
Pino - Ocote	<i>Pinus montezumae</i> .
Pino + Encino	<i>Pinus sp. + Quercus sp.</i>
Pino + Roble	<i>Pinus sp. + Quercus oleoides</i> .
Encino	<i>Quercus sp.</i>
Encino blanco	<i>Quercus conspersa</i> .
Encino Rojo	<i>Quercus rugosa</i> .
Aile	<i>Alnus sp.</i>
Helecho	<i>Pteridium anquilinum</i> .
Mo-la-hé	<i>Ilex toluicana</i> .
Chamiso	<i>Boccharis glutinosa</i>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fuente: Martínez. (1994). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas*.

El uso local: La mayor parte de esta área está sujeta a talas e incendios, la madera que se extrae es para usos domésticos (leña y construcción) e industrial (fabricación de papel).

Bosque de encino en la cuenca alta del río Sola de Vega:

Ocupa una extensión de 2.71 km² y 0.58 % del área total de la cuenca, se localiza en la margen derecha del río Sola de Vega, a un lado de la desembocadura, a una altitud de 1800 a 1600 m.s.n.m., entre lomeríos y valles fluviales y el talud de transición.

Tabla 1.11 Especies predominantes del bosque de encino

Nombre común	Nombre científico
Encino blanco	<i>Quercus conspersa.</i>
Encino amarillo	<i>Quercus glaucescens.</i>
Aguatle	<i>Quercus acutifolia.</i>
Capulín	<i>Ardisia sp.</i>
Tu-yuu	<i>Casearia arguta.</i>
Enebro	<i>Juniperus flaccida.</i>

Fuente: Martínez. (1994). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas.*

Bosque de encino (con vegetación secundaria arbustiva) en la cuenca alta del río Sola de Vega:

Dentro de la cuenca ocupa una extensión de 3.73 km² y 0.79 % del área total, y se localiza esta pequeña porción en la margen izquierda del río Sola de Vega, en la desembocadura o punto terminal a una altitud de 1800 m.s.n.m.

Tabla 1.12 Especies predominantes del bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva

Nombre común	Nombre científico
Chamiso	<i>Boccharis glutinosa.</i>
Higuera	<i>Ficus sp.</i>
Colorín	<i>Erithryna coralloides.</i>
Matagallina	<i>Coparis incana.</i>
Guayabillo	<i>Psidium sartorianum</i>
Flor de San José	<i>Cassia biflora.</i>
Nopal	<i>Opuntia sp.</i>
Maguey mezcalero	<i>Agave sp.</i>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fuente: Martínez. (1994). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas.*

El uso local que se le da a esta especie vegetal es para obtención de sus maderas y otros, con un alto índice de explotación.

Selva: Las selvas son comunidades formadas por vegetación arbórea, generalmente se encuentran localizadas en climas cálidos-húmedos y subhúmedos. A diferencia de los bosques, las selvas son comunidades muy complejas en cuanto a la composición de su flora.

Clasificación de acuerdo a su altura y a la persistencia o caducidad de la hoja durante la época más seca del año.

Selva baja: Entre 4 y 15 metros de altura.

Caducifolia: Más del 75 % de los árboles tiran las hojas en la época más seca del año; se distribuye frecuentemente, sobre laderas de cerros.

Selva baja caducifolia (con vegetación secundaria arbustiva) en la cuenca alta del río Sola de Vega:

Ocupa un área de 9.81 km² y un porcentaje de 2.08 del área total de la cuenca, se ubica al Sureste a una altitud de 1600 a 1400 m.s.n.m., y una porción muy pequeña a los 1800 m.s.n.m. entre el río Yogana y Yocua, otra porción más grande se encuentra en dirección Noreste-Suroeste en las localidades de San Antonio y Yocua, Este tipo de

vegetación se encuentra casi en su totalidad en los lomeríos y valles fluviales. (Foto 1.4).

Tabla 1.13 Especies predominantes de la selva baja caducifolia con vegetación secundaria arbustiva

Nombre común	Nombre científico
Copal	<i>Bursera sp.</i>
Nopal	<i>Opuntia sp.</i>
Huizache	<i>Caesalpinia sp.</i>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fuente: Martínez. (1994). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas*.

El uso local, es para recolección de frutos, forrajes. La posible existencia de selva baja caducifolia debe ser bastante antigua en esta región es posible que la anterior vegetación al actual matorral, fuera de pastizal, que por el sobre pastoreo fue invadida por los arbustos ahora presentes. En el estrato de vegetación secundaria se encuentran diversos pastos que no son identificables ya que no cuentan con espigas, y muchas plantas carentes de hojas. Persiste la actividad pecuaria por medio de ganado caprino.

Pastizal inducido: Es aquel que surge cuando se elimina la vegetación original que lo dominaba. Este pastizal puede aparecer como consecuencia de desmontes de cualquier tipo de vegetación, también puede establecerse en áreas agrícolas abandonadas o bien como producto de áreas que se incendian con frecuencia. Algunas de las especies de gramíneas que se encuentran en estas condiciones como el Zacate tres barbas, Zacate burro, El Zacate cadillo o roceta, etc. En México se han desarrollado zonas ganaderas considerables en este tipo de pastizal, para el caso de la cuenca alta del río Sola de Vega se ha cambiado el uso del suelo de forestal a pastizal inducido para introducir la agricultura y ganadería.

Matorrales: Vegetación arbustiva que generalmente presenta ramificaciones desde la base del tallo cerca de la superficie del suelo y con altura variable; pero casi siempre inferior a 4 metros. El matorral submontano: comunidad formada principalmente por elementos inertes y caducifolios por un breve período del año; se encuentra entre los límites de matorrales áridos, bosque de encino y selva baja caducifolia. La barreta, el

Anacahuite, o Cahuite, el Ocotillo. Dado el poco suelo con que cuentan las zonas donde crece esta flora, generalmente se dedican a la ganadería extensiva ya que además existen entre ella especies que el ganado ramonea.

Pastizal inducido–Matorral espinoso en la cuenca alta del río Sola de Vega:

Ocupa una extensión de 56.43 km² y 11.98 % del área total, se encuentra en el Sureste en San Idelfonso el Viejo, Palo Blanco, La colorada ahí forma una franja discontinua ocupando parte de los lomeríos y valles fluviales y talud de transición, a una altitud de 1600 a 2200 m.s.n.m. (Foto 1.4). Al Noreste como punto de referencia la localidad El Rincón, y más al Centro Santa Rosa Matagallinas, Yogana, Santa María Sola, Texcoco, Colón, Nachihuí y en el Sur San Juan Sola.

Tabla 1.14 Especies predominantes del pastizal inducido y matorral espinoso

Nombre común	Nombre científico
Zacatón	<i>Stipa sp.</i>
Coba - chita	<i>Muhlenbergia macroura.</i>
Guievada	<i>Asclepias glaucescens.</i>
Pha-cá ó Shumi	<i>Sellaginella sp.</i>
Zacate, cadillo, roseta ó Guechi-ne-ta	<i>Cenchrus sp.</i>
Ocotillo	<i>Gochnatia hypoleuca.</i>
Garbancillo	<i>Mimosa distachya.</i>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fuente: Martínez. (1994). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas.*

Foto 1.4



Lugar: Loma de Giserene, Sola. Long.96°57'20" Lat.16°34'01" Alt.1480 m.s.n.m. Se observa una vegetación de selva baja caducifolia, con especies de (Tepehuaje) y matorral espinoso (hiuzache). En segundo plano el cauce del río Grande delineado por una colosal franja de sabinos y por ultimo el cerro San Juan, con áreas verdes que indican la presencia de humedad en capas rocosas impermeables.

Su uso local es para forrajes y otros. En estrato herbáceo abundan gramíneas, las plantas que prosperan son palatables para el ganado ovino. El zacatón se emplea en la elaboración de escobetas. En esta zona hubo bosque de pino anteriormente; pero la necesidad de sembrar y de construir viviendas fue mayor y talaron los bosques totalmente, ahora es una zona muy erosionada.

Uso de Suelo

Agricultura: se incluye bajo este rubro todos aquellos conceptos referentes al uso que el hombre da a los suelos al dedicarlos a actividades agrícolas. La clasificación se

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

hace teniendo en cuenta primero, la disponibilidad de agua para cultivos y considerando también; en el caso de la agricultura de temporal, si es permanente o nómada.³

Agricultura de temporal: Se clasifica como tal a la agricultura de todos aquellos terrenos en donde el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran dependen del agua de lluvias. Estas áreas pueden dejarse de sembrar algún tiempo; pero deberán estar dedicadas a esa actividad por lo menos en 80 % de los años de un período dado.

Agricultura de temporal (cultivos anuales) en la cuenca alta del río Sola de Vega:

Ocupa una extensión de 2.54 % del área total, y se ubica en algunas localidades como Santa María, Nachihuí, Sola de Vega, San Idelfonso Sola, localizados en la lomeríos y valles principalmente, de los 1800 a los 1375 m.s.n.m., donde se ubica la mayoría de la población de la cuenca.

Tabla 1.15 Cultivos de temporal más comunes

Cultivo más común	Nombre científico	Ciclo agrícola			
		Mercado Sola de Vega.	Autoconsumo	Primavera - verano	Verano - otoño
Maíz	<i>Zea mays</i>	X	X	X	
Maguey mezcalero	<i>Agave spp.</i>	X	X		X
Frijol	<i>Phaseolus spp.</i>	X	X	X	
Garbanzo	<i>Cicer arietinum.</i>	X	X	X	
Calabaza biche	<i>Cucurbita pepo.</i>	X	X	X	

Fuente : Campesinos de la localidad entrevistados por la autora. Los nombres científicos; Fuente: Martínez. (1994). Catalogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas.

El maguey se cultiva intercalado con el maíz; la producción es variable según el año y se vende aproximadamente a \$100. la piña del maguey para mezcal. El maguey tiene un ciclo de cultivo de verano—otoño, se corta a la edad de 6 años para su venta. El mezcal se fabrica por lo regular en los pueblos, y se vende en los palenques.

³ Nota: Nómada: Los cultivos reciben únicamente agua de lluvia, pero la duración en el sitio es de uno a cinco años y posteriormente el terreno es abandonado al perder el suelo su fertilidad.

Agricultura de riego: Se práctica en aquellos terrenos donde el ciclo vegetativo de los cultivos está asegurado totalmente mediante el agua de riego, por lo menos en el 80 % de los años de un período dado, bien sea por gravedad, bombeo, aspersión o por cualquier otra técnica por lo general en la cuenca se usa el método de riego por bombeo y por gravedad.

Agricultura de riego en la cuenca alta del río Sola de Vega:

Ocupa una extensión de 0.93 % del área total de la cuenca, se ubica a las orillas de los ríos, en ambas márgenes, al Sur de la cuenca, donde hay un relieve de poca altitud de 1400 a 1800 m.s.n.m., y donde se encuentran más localidades como: San Idelfonso Sola, Nachihuí, San Juan Sola y San Miguel Sola de Vega. (Foto 1.5).

Tabla 1.16 Cultivos de riego más comunes

Cultivos más comunes de riego	Nombre científico	Riego			Procedimientos de cultivo	
		Bomba	Gravedad	Tracción animal	Manual	Tractor
Maíz	<i>Zea mays.</i>	X	X	X	X	
Frijol.	<i>Phaseolus spp.</i>		X	X		X
Alfalfa	<i>Medicago sativa.</i>	X	X	X	X	
Caña	<i>Saccharum officinarum.</i>		X	X	X	
Sandía.	<i>Citrullus vulgaris.</i>		X	X	X	
Melón	<i>Cucumis melo.</i>		X	X	X	
Jitomate	<i>Lycopersicum esculentum.</i>		X	X	X	
Chile	<i>Capsicum anuum.</i>		X	X		X
Chile	<i>Capsicum frutescens.</i>				X	
Limón	<i>Citrus limona.</i>		X	X		X
Limón	<i>Citrus aurantifalium.</i>		X		X	
Líma	<i>Citrum limetta.</i>		X		X	

Fuente : Campesinos de la localidad entrevistados por la autora. Los nombres científicos; Fuente: Martínez. (1994). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas.*

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Foto 1.5



Lugar: Sayú, Nachihuí Sola. Long. 97°06'00" Lat. 16°20'10" Alt. 1400 m.s.n.m. Terrenos de cultivo (alfalfa, maíz), al centro un sabino (ahuehuete), a la izquierda se observa un carrizal, y al fondo el cerro El Quialase.

La alfalfa tiene un procedimiento de cultivo, ya que cada 40 días se le hacen cortes durante todo el año. La zona de riego prácticamente no tiene servicios y sólo fertilizan en algunas ocasiones. La mayoría de los cultivos son para autoconsumo cuando lo venden, y la gente no tiene con que solventar los gastos, pagan con maíz ó frijol.

Bosque de Galería en la cuenca alta del río Sola de Vega:

El bosque de galería: Comunidad arbórea que se encuentra en los márgenes de los ríos o arroyos en este caso el colector principal río Sola de Vega, en condiciones de humedad favorables Son frecuentes los bosques de galería formados por el sabino o ahuehuete (*Taxodium mucronatum*). (Foto 1.6). y por el carrizo (*Olyra latifolia*).

Foto 1.6



Lugar: La Sabinada, Nachihuí Sola. En la proximidad del río Sola de Vega. A medio kilómetro de la localidad llamada Nachihuí, se aprecia que en el cauce del río Sola y en otros más presentan vegetación del tipo bosque de galería conformada por sabinos (ahuehuetes).

En resumen los suelos y la cobertura vegetal influyen especialmente sobre el régimen hidrológico, ya que las características físicas del suelo determinan la naturaleza y desarrollo de la cobertura vegetal, por lo tanto la evapotranspiración y la erosión está en función del tipo de suelo de la cuenca. En cuanto a la vegetación en particular los bosques y los cultivos añaden su influencia a la naturaleza geológica de la cuenca, para condicionar la retención, la evaporación y el escurrimiento, ya que la vegetación controla la acción y el movimiento del agua: intercepción, infiltración, almacenamiento, evapotranspiración y erosión.

1.7 Clima

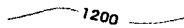


Para reconocer los climas de la cuenca se elaboró un mapa de climas a escala 1: 150 000 (Mapa 1.8), con base en la carta de climas escala 1: 500 000 de la Secretaria de la Presidencia y de la UNAM (1970).

Mapa 1.8 Climas.



Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

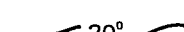
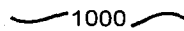
SIMBOLOGÍA

-  1200 Curva de nivel
-  Ríos, arroyos
-  Límite de la cuenca

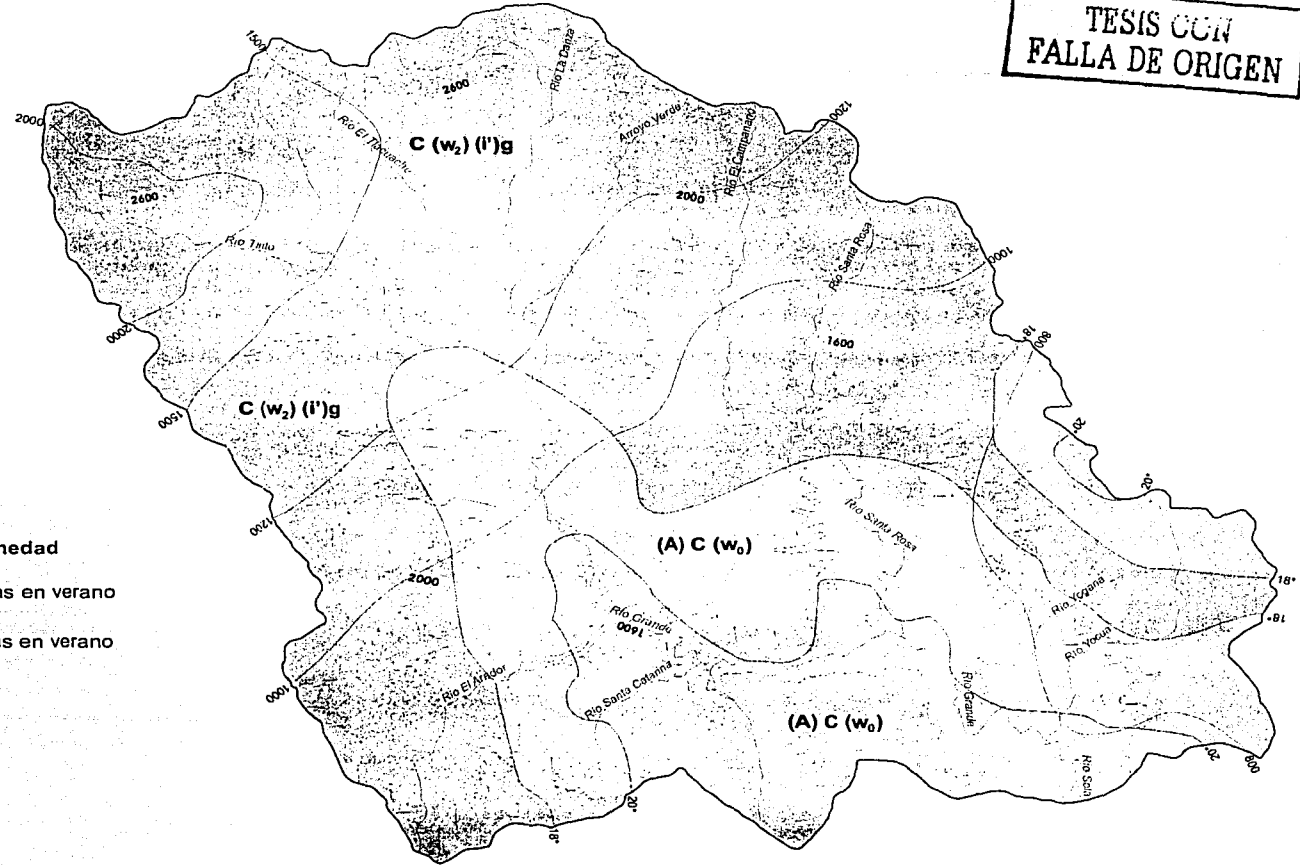
Tipos de climas

	Por su temperatura	Por su grado de humedad
 C (w ₂) (l')g	Templado (El más húmedo de los templados)	Subhúmedo con lluvias en verano
 (A) C (w ₀)	Semicálido (El más seco de los semicálidos)	Subhúmedo con lluvias en verano

Clasificación de climas según Köppen modificado por García, E.

-  20° Isotermas
Temperaturas en °C
-  1000 Isoyetas
Precipitación en mm

Elaboró Janetia Francisco Robles con base en:
(SP), (CETENAL), (IG). (1970). 14Q-VIII, San Pedro Pochutla. Oaxaca. 1: 500 000.



El clima de la cuenca alta río Sola de Vega, de acuerdo a la clasificación general de Köppen, le corresponden climas templados, simbolizado por la letra C.

Lo anterior se puede complementar con algunas características particulares con el criterio de García (1964), que implica algunas modificaciones para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana.

En esta cuenca hay dos tipos de clima templado (C); pero de acuerdo a su temperatura se dividen en el grupo de los templados semicálidos (A) C; y en el de los templados subhúmedos C (w_2).

(A) C:

Este grupo de climas templados semicálidos; tiene (el mes más cálido de los templados C, y con una temperatura media anual $>18^{\circ}\text{C}$. Tiene una (temperatura media del mes más frío entre -3 y 18°C).

C (w_2):

Pertenece al grupo de climas templados subhúmedos; tiene una (temperatura media anual entre 12 y 18°C ; este grupo tiene su (temperatura del mes más frío entre -3 y 18°C y la del mes más caliente $> 6.5^{\circ}\text{C}$.) por su régimen de lluvias y su grado de humedad se divide en C (w_2), el más húmedo de los subhúmedos con lluvias en verano, cociente $P/T >55.0$.

Climas de la cuenca alta del río Sola de Vega:

(A) C (w_0):

En la cuenca, este clima se ubica de la parte media a la parte baja de la cuenca, presenta una prolongación con dirección Noroeste en la parte occidental de la cuenca, el clima se presenta a una altitud aproximada de 2000 a 1375 m.s.n.m. Es un clima templado semicálido con lluvias en verano, el más seco de los semicálidos subhúmedos

con lluvias en verano, con un cociente $P/T < 43.2$, con precipitación del mes más seco menor a 40mm y con un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2, temperatura media anual $>18^{\circ}\text{C}$.

C (w_2)(i')g :

En la cuenca, este tipo de clima se localiza del centro hacia la parte alta, con dos prolongaciones, una del lado oriente y otra al occidente con una dirección Sureste, se ubica básicamente este tipo de clima en montañas y laderas altas, parte del talud de transición y las elevaciones secundarias internas, la altitud aproximada en la que se encuentra es de los 1800 a 2865 m.s.n.m. Es un clima templado con lluvias en verano, el más húmedo de los templados subhúmedos con lluvias en verano, cociente P/T 55.0, con poca oscilación, entre los 5 y 7°C , y con marcha de temperatura tipo ganges, lo que quiere decir que el mes más caliente se presenta antes de junio, con una temperatura anual entre 12 y 18°C .

1.7.1 Precipitación y temperatura

Según los datos de la estación climática San Miguel Sola de Vega, las mayores temperaturas y mayores niveles de precipitación se efectúan en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y mediados de octubre. La temperatura media anual registrada durante 23 años es de 21.3°C y precipitación con los mismos años de registro 899 mm. Esta información se utilizara para calcular el balance hídrico parcial.

Tabla 1.17 Promedios anuales y mensuales de temperatura y precipitación de la estación San Miguel Sola de Vega, periodo 1962–1985

Años	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
T 23	18.8	20.1	21.5	23.4	22.6	22.8	22.4	21.8	21.8	21.9	20	19.5	21.3
P 23	4.1	6.9	15.5	46.3	108.3	178.1	143.9	158.8	156.1	58.3	18.9	3.8	899

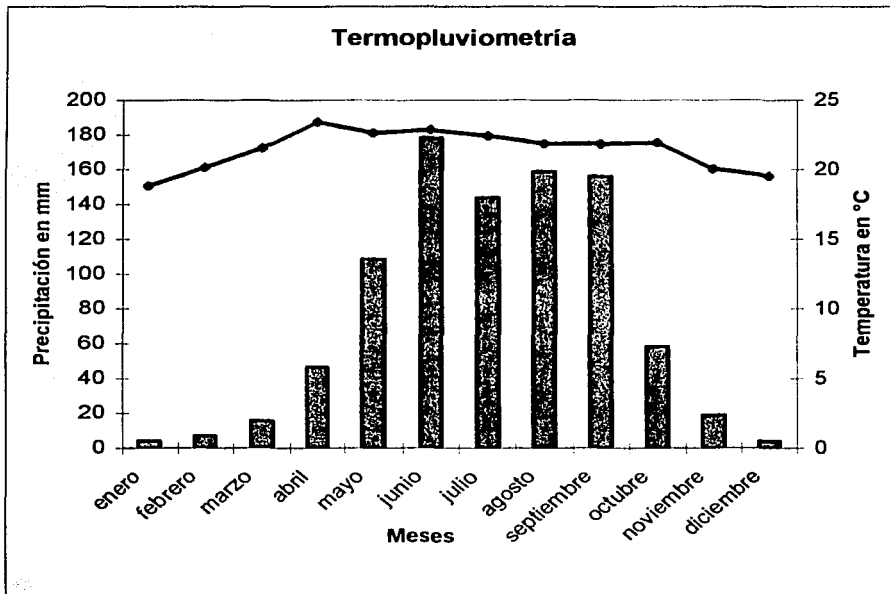
Fuente: Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional.

Coordenadas: Latitud Norte $16^{\circ} 31'$ Longitud WG. $96^{\circ} 58'$ Altura 1398m.

Volviendo al cuadro muestra con claridad el período de secas y lluvias, el periodo de secas comienza en noviembre y finaliza en marzo. El periodo de lluvias comienza en abril–mayo y termina en noviembre. Los meses con mayores precipitaciones son de mayo a octubre. En relación con la temperatura estas son mayores durante el periodo de lluvias en la cuenca. Esta relación entre precipitación y temperatura también se puede analizar por medio de la gráfica 1.4.

Gráfica 1.4

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



1.7.2 Vientos

El viento es el aire en movimiento y se debe al desigual calentamiento y enfriamiento de la superficie terrestre. Los vientos transportan energía y vapor de agua a través de la atmósfera. En el proceso de evaporación el viento lleva calor y vapor de agua hacia la superficie evaporante o hacia fuera de la misma. El viento es un componente esencial

de las tormentas de las cuales esta relacionado con el abastecimiento de humedad y el propio proceso de precipitación.

La rosa de vientos dominantes superficiales, indica que el viento sopla con una dirección Sur a Norte, y con una frecuencia de 75 %, con cero calmas. Esto se presenta en la carta de efectos climáticos regionales de mayo–octubre por lo que se aprecia que es en la temporada de lluvias. Y en la carta noviembre–abril la dirección de la rosa de vientos indica que el aire sopla de Sur a Norte y con una frecuencia semejante a la anterior, esto solo se presenta en la parte Sureste de la cuenca. Y en la parte Oeste otra rosa de vientos indica que el viento sopla de igual manera de Sur a Norte con 40 % de frecuencia y siete calmas en la temporada mayo–octubre, y en la de noviembre–abril el viento sopla de Sur a Norte con frecuencias de 25 % con cero calmas, este comportamiento se presenta en el período seco del año en la cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

Resumen del capítulo

Los parámetros morfométricos de la cuenca alta del río Sola de Vega, que ha sido descritos, integran un conjunto de estimaciones realizadas, en la mayoría de los casos, al iniciar un estudio hidrológico, con fines de aprovechamiento o control; sobre todo cuando la cuenca en estudio no cuenta con información hidrométrica.

En general los parámetros son bastante fáciles de obtener y constituyen el punto de partida de las estimaciones hidrológicas en una cuenca, destacando su magnitud, declives, geología, tipos de suelos, vegetación y clima.

Los parámetros morfométricos como: factor de forma, área y tamaño, perímetro, coeficiente de compacidad entre otros que también han sido presentados, permiten efectuar comparaciones cuantitativas y cualitativas entre cuencas.

En el caso de la cuenca del río Sola de Vega se llega a la conclusión que los vientos que la envuelven son del tipo de vientos persistentes regionales que son originados por el intercambio de grandes masas de aire que afectan grandes extensiones de terreno,

unos son de variación estacional y otros más periódicos. El flujo dominante de este viento cargado de aire marítimo tropical es del Océano Pacífico en una dirección de Sur a Norte.

Capítulo 2. Hidrografía de la cuenca alta del río Sola de Vega, estado de Oaxaca

Para el análisis del sistema de drenaje natural de la cuenca se utilizó como método la morfometría fluvial. (Strahler, 1974) Con objeto de cuantificar las características superficiales de los segmentos de cauces en la cuenca, se cuantificaron los cauces de la cuenca por medio de mediciones planimétricas en los mapas de trabajo. En este capítulo se refiere a la longitud de los cauces, se habla de las características generales del sistema de drenaje en la cuenca, patrones de drenaje, clasificación de cauces según Strahler y Shreve, relación de confluencia y relación de longitud, frecuencia de cauces y densidad de drenaje de la cuenca alta del río Sola de Vega.

2.1 Hidrografía general de la cuenca

El sistema fluvioigráfico de una cuenca tiene, un sistema de cauces por el que fluyen los escurrimientos superficiales, subsuperficiales, y subterráneos; de manera temporal o permanente. Su importancia se manifiesta por sus efectos en la formación y rapidez de drenado de los escurrimientos normales o extraordinarios; además de proporcionar indicios sobre las condiciones físicas del suelo y de la superficie de la cuenca.

Las principales características del drenaje de una cuenca son: tipos de corriente comúnmente se clasifican en tres tipos: perennes, intermitentes y efímeras; con base a la constancia de su escurrimiento o flujo; el cual está relacionado con las características físicas y climáticas de la cuenca. Las corrientes perennes conducen agua todo el tiempo, excepto durante las sequías extremas, una corriente intermitente lleva agua principalmente en época de lluvias, y por último, la corriente efímera sólo conduce agua durante las lluvias o inmediatamente después de éstas. La cuenca del río Sola de Vega cuenta con estos tres tipos de corriente dando lugar a la formación de los afluentes y subafluentes de la cuenca.

A nivel general la hidrografía de la cuenca se presenta en el mapa a escala 1: 150 000 a mayor detalle. (Mapa 2.1).

El mapa permite tener una visión regional de los fenómenos hídricos desde el punto de vista superficial. El análisis de los fenómenos hidrográficos se aprecian a mayor

Mapa 2.1 Hidrografía.

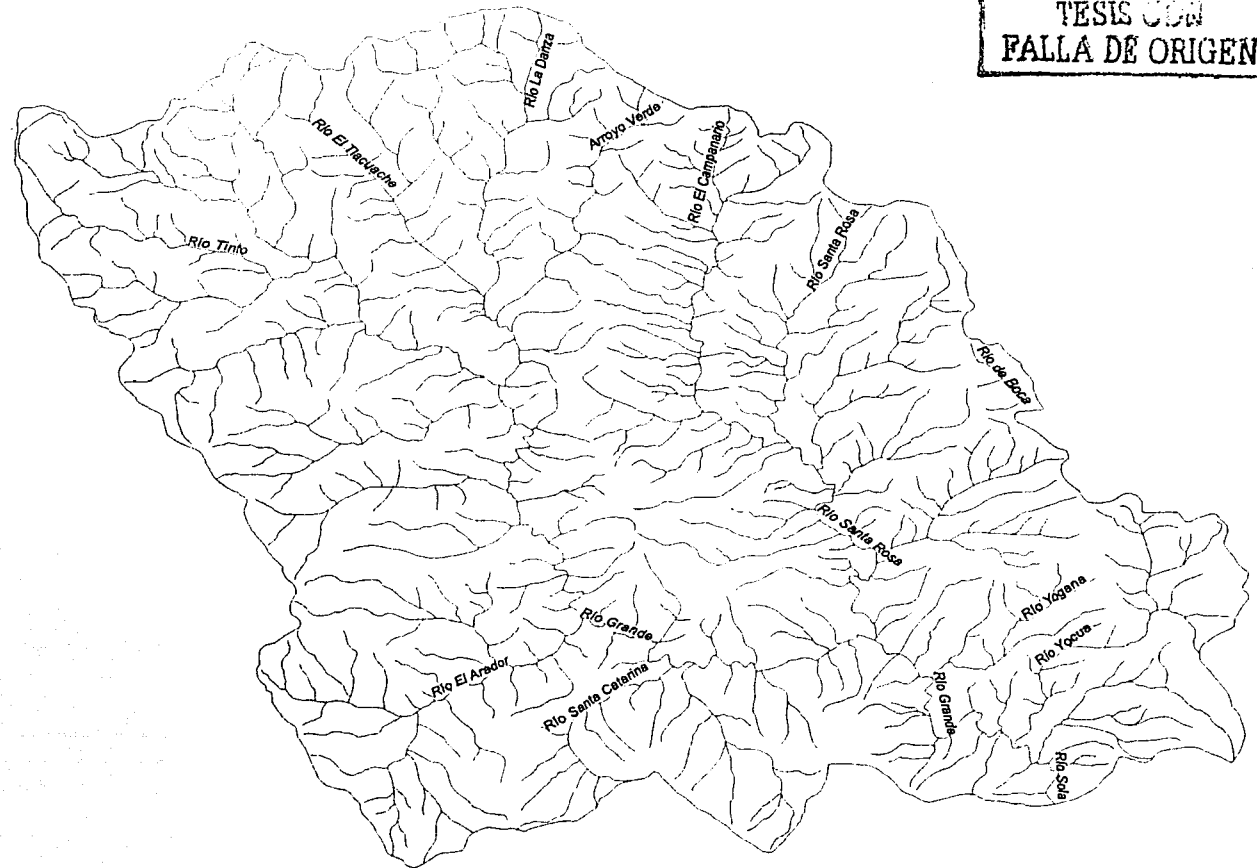
Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SIMBOLOGÍA

- Ríos, arroyos
- Limite de la cuenca

Elaboró Janette Francisco Robles con base en:
INEGI. (1996). E14D66 San Vicente Lachixio, E14D67 Ejute de Crespo. 1: 50 000



detalle en el apartado de los patrones de drenaje y en el análisis de los ordenes de cauces.

2.2 Características de la hidrografía en la cuenca alta del río Sola de Vega.

Número de afluentes en las márgenes derecha e izquierda

La cuenca del río Sola de Vega, cuenta con tres grandes subcuencas, la del río Santa Rosa y la del río Grande y el río Sola de Vega (Mapa 2.2) que es la del colector principal, a partir de este río se consideran dos márgenes derecha e izquierda.

La margen derecha cuenta con 153 cauces de primer orden y 24 cauces de segundo orden.

La margen izquierda abarca todos los afluentes y subafluentes tanto de la subcuenca del río Grande como la del río Santa Rosa, esta margen tiene 300 cauces de primer orden y 61 cauces de segundo orden.

¿A qué se debe que el colector principal por su margen derecha tenga menos segmentos de cauce que la izquierda constituida por un sus afluente y por los del río Santa Rosa? Se debe a lo complicado de la geología que compone cada parte de la cuenca y posiblemente a aspectos tectónicos.

Ambas márgenes del colector principal hacen un total de 453 segmentos de cauce de primer orden y 85 segmentos de cauce de segundo orden.

La cuenca alta del río Sola de Vega está constituida por dos grandes porciones una es la subcuenca del río Grande, la segunda la subcuenca del río Santa Rosa y una tercera mas pequeña pero muy importante, en el Sureste la subcuenca del colector principal río Sola de Vega. (Tabla 2.1) (Mapa 2.2).

Mapa 2.2 Subcuencas.

Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

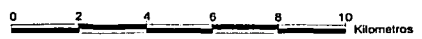
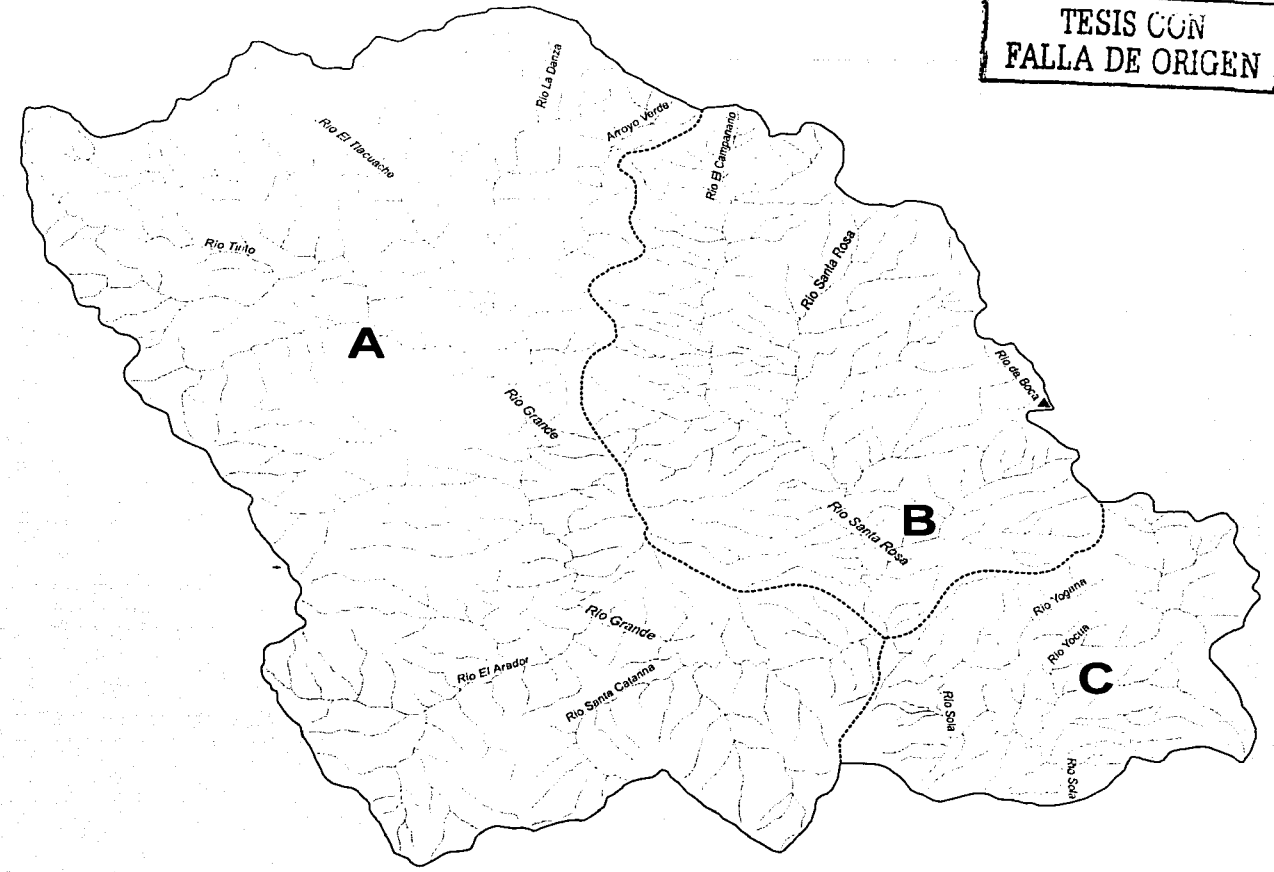
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

SIMBOLOGÍA

- Ríos, arroyos
- Limite de la cuenca
- Limite de subcuenca

Subcuencas

- A Subcuenca del Río Grande.
- B Subcuenca del Río Santa Rosa.
- C Subcuenca del Río Sola de Vega.



Elaboró: Janette Francisca Robles.

Tabla 2.1 Corrientes principales que conforman el drenaje o sistema fluvioigráfico de la cuenca del río Sola de Vega

Cuenca	Orden	Subcuenca Afluentes	Orden	Margen de afluencia	Sub- subcuenca. Subafluentes	Orden	Margen de afluencia
		A. Río Grande	5°		Arroyo Tinto	4°	
					Tlacuache	3°	Izquierda
					La Danza	3°	Izquierda
					Arroyo Verde	3°	Izquierda
					Santa Catarina	2°	Derecha
					El Arador	4°	Derecha
C. Río Sola de Vega	6°	B. Río Santa Rosa	5°	Izquierda	El Campanario	4°	Izquierda
		Yoganita	2°	Izquierda			
		Yocua	2°	Izquierda			

- **A. La subcuenca del río Grande:**

Se ubica en la parte occidental de la cuenca, se origina con un río que nace una altitud de 2865 m.s.n.m., aproximadamente con el nombre de arroyo Tinto, al Sur del Cerro el Gavilán, escurre inicialmente de Noroeste a Sureste hasta su termino después de un recorrido de 14 km. Cambia de nombre a río Grande con la unión del arroyo Verde que tiene una longitud de 8 km, La Danza con 12 km y El Tlacuache con 8 km de longitud. Recibe aportes por su margen derecha del río Santa Catarina con 7 km de largo, El Arador con una longitud de 13 km y otros subafluentes, y por la margen izquierda del río Tlacuache, La Danza y Arroyo Verde. Éste se une al río Sola de Vega a una altitud de 1560 m.s.n.m., aproximadamente desde su nacimiento hasta la unión con el colector principal mide 33.5 Km, de longitud, es un cauce de quinto orden. (Foto 2.1)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Foto 2.1



Lugar: Santa Rosa Matagallinas. Long. 97°01'13" Lat. 16°35'11" Alt. 1480 m.s.n.m. Río Grande después de la confluencia con el río Santa Rosa. Nótese el ancho del río.

Afluentes principales de la subcuenca del río Grande

- **El Tinto:**

Se ubica al Sur del cerro el Gavilán al Noroeste de la cuenca, es el principal colector de la cuenca alta del río Sola de Vega; y es el mayor de los afluentes del río Grande, tiene una longitud de 14 Km, desde su nacimiento a una altitud de 2865 m.s.n.m., aproximadamente hasta su unión con el río Grande a los 1800 m.s.n.m. Éste es un cauce de cuarto orden.

- **Tlacuache:**

Se ubica en la parte norte de la cuenca y nace a una altitud de 2750 m.s.n.m., aproximadamente. Y confluye al río Grande a 1790 m.s.n.m. aproximadamente. Tiene una longitud de 8 Km, es un cauce de tercer orden. En este río se tiene una pequeña presa donde se lleva acabo el cultivo de peces.

- **La Danza:**

Se Ubica en la parte Norte de la cuenca y nace a una altitud de 2800 m.s.n.m., aproximadamente. Tiene una longitud de 12 Km, es un cauce de tercer orden. Y confluye con el río Tlacuache para unirse al río Grande, a 1790 m.s.n.m. aproximadamente.

- **Arroyo Verde:**

Empieza a fluir a una altitud de 2600 m.s.n.m., al norte de la cuenca, éste confluye al río Grande a unos 1800 m.s.n.m. aproximadamente, con una longitud de 8 Km, es un cauce de segundo orden.

- **El Arador:**

Inicia su cauce a una altitud aproximada de 2400 m.s.n.m., al sur suroeste de la cuenca éste confluye al río Grande a unos 1650 m.s.n.m., aproximadamente, en un cauce de cuarto orden y tiene una longitud de 13 Km.

- **Santa Catarina:**

Ubicado al sur de la cuenca, nace aproximadamente a los 2000 m.s.n.m., y confluye al río Grande a una altitud de 1600 m.s.n.m., cuenta con 7 Km de longitud y es un cauce de segundo orden. (Foto 2.2).

Foto 2.2



Lugar: Santa Catarina, Sola. Long.97°03'20" Lat.16°34'05" Alt.1410 m.s.n.m. El agua del cauce del río Santa Catarina, es muy cristalina y en el fondo de su cauce se alcanzan a observar cangrejos peces y algunas ranas.

- **B. Subcuenca del río Santa Rosa:**

Se ubica en la parte oriental de la cuenca, se origina con un cauce que nace a una altitud de 2400 m.s.n.m., aproximadamente al Sureste del Cerro Cresta del Gallo, fluye desde su inicio con el nombre de Santa Rosa, con una dirección de Norte a Sur. A los 8.5 km de recibe aportes del río El Campanario que tiene una longitud de 11.2 km, por su margen derecha y por su margen izquierda algunos arroyos que no tiene nombre. Después de un recorrido de 15 km se une al río Sola de Vega al Sur de un lugar llamado Texcoco, (Foto 2.3),

Foto 2.3



Lugar: Santa María Sola. Long.97°01'29" Lat.16°34'08" Alt.1450 m.s.n.m. Confluencia de los ríos Santa Rosa y río Grande.

Afluyente principal de la subcuenca del río Santa Rosa

- **El Campanario:**

Se ubica al Noreste de la cuenca y nace a una altitud 2600 m.s.n.m., aproximadamente. Tiene una longitud de 11.2 Km, desde su nacimiento hasta su confluencia con el río Santa Rosa, es un cauce de cuarto orden. Entre este río y el de Yoganita existe otro llamado río de Boca se encuentra ubicado al oriente de la cuenca nace a 2000 m.s.n.m., aproximadamente es un cauce de segundo orden, aunque solo se logra apreciar una parte antes de introducirse al El Cerro la Boca para formar parte de la hidrología subterránea de esta zona cársica. Es un flujo definido, y es posible que en el área de calizas se realicen procesos de disolución interna en de huecos pequeños y tubaciones, dando origen a la formación de concreciones de carbonato de calcio, el cauce pasa a través de las grutas de San Sebastián, vertiendo sus aguas a la cuenca vecina ubicada al oriente.

- **C. Subcuenca del río Sola de Vega:**

Se ubica al Sureste de la cuenca, esta es originado por un escurrimiento que nace a 2865 m.s.n.m. aproximadamente a una distancia de 43.5 Km, al Noroeste de la población de San Miguel Sola. Su nombre en un principio es arroyo Tinto y desde su origen fluye hacia el Sureste, y a los 14 km de su recorrido recibe el nombre de río Grande, con un curso Noroeste–Sureste; llega a un lugar llamado Texcoco y a 33.5 km de recorrido se une al afluente río Santa Rosa, estos dos dan origen al colector principal río Sola de Vega, este es un cauce de sexto orden, aproximadamente a una altitud de 1400 m.s.n.m., al entrar al poblado Sola de Vega el río sufre un ensanchamiento de aproximadamente 32 metros. A lo largo del río éste ensanchamiento no se observó hasta llegar casi a su punto terminal. Según la clasificación de orden de cauces de Strahler, de la se expondrá más adelante. En su trayectoria este río recibe aportes del afluente arroyo Santa Catarina por su margen derecha y de algunos otros que no tiene nombre y por su margen izquierda recibe aportes del río Tlacuache, La Danza, Arroyo Verde, El Campanario, Santa Rosa, y de sus principales afluentes Yoganita con 5 km de largo, Yocua que tiene una longitud de 10 km, existen algunos otros arroyos que no tienen nombre que confluyen al colector principal. El río Sola de Vega, llega al punto considerado como punto terminal a una altitud de 1375 m.s.n.m., aproximadamente. La distancia recorrida por el colector principal desde su nacimiento hasta su punto terminal dentro de la cuenca alta es de 43.5 Km. (Foto 2.4). Posteriormente este cuerpo de agua continua su recorrido hasta la confluencia del río Atoyac o Verde para después llegar al Océano Pacífico.

Foto 2.4



Lugar: Sola de Vega. Long. 96°58'40" Lat. 16°30'53" Alt. 1400 m.s.n.m. Punto terminal de la cuenca alta del río Sola de Vega. El agua del río Sola normalmente es transparente y después de una fuerte lluvia en las partes altas, se pinta color sepia, al fondo en el centro, se logra apreciar el puente viejo conocido como puente "Grande" Este puente anteriormente era muy transitado ya que pasaban por ahí los transportes que van hacia Juquila y a Puerto Escondido.

Afluentes principales de la subcuenca del río Sola de Vega

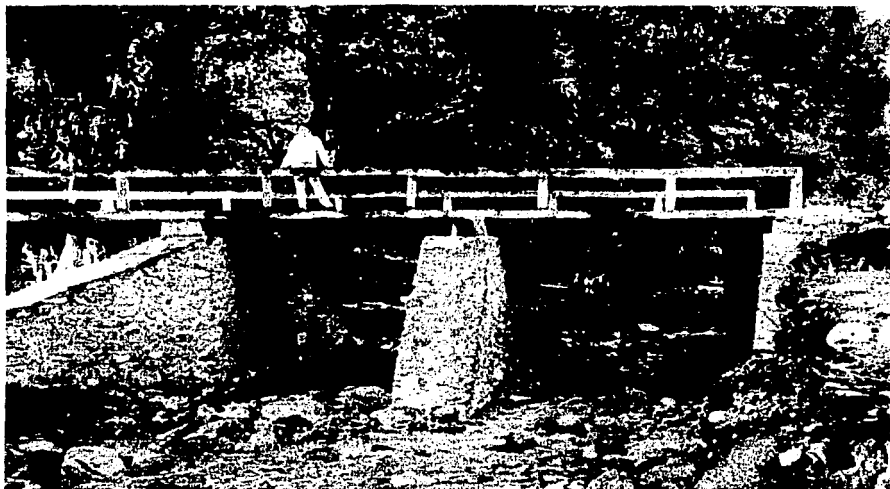
- **Yoganita:**

Se ubica al Sureste de la cuenca y nace a una altitud de 1800 m.s.n.m., tiene una longitud de 5 Km, es un cauce de segundo orden y se une directamente al río Sola de Vega.

- **Yocua:**

Se ubica al Sureste de la cuenca y nace a una altitud de 2000 m.s.n.m. aproximadamente. Mide 10 Km de longitud desde su nacimiento hasta donde confluye con el río Sola de Vega a 1520 m.s.n.m. es un cauce de segundo orden. (Foto 2.5)

Foto 2.5



Lugar: Yocua, San Idelfonso Sola. Long.96°58'50" Lat.16°32'53" Alt.1480 m.s.n.m. En primer plano se observa que el cauce del río Yocua que arrastró grandes rocas sedimentarias del tipo "canto rodado" en segundo plano el puente construido con cemento por las personas que habitan el lugar, ya que los puentes de madera son frágiles y siempre se los lleva el río cuando crece.

2.3 Patrones de drenaje

El patrón de drenaje se define como un conjunto de ríos y arroyos que cubren un área que se caracteriza por su forma, orientación densidad y uniformidad. La combinación de los efectos del clima y la geología de la cuenca, originan un modelo erosional el cual es caracterizado por la configuración del drenaje y el patrón que forma los cauces, también es originado por el acomodamiento de las superficies de debilidad, como fallas y de otros rasgos estructurales, en el caso de la cuenca alta del río Sola de Vega, ésta se localiza en una región de gran actividad tectónica, y por ello las líneas de drenaje se ajustan a las zonas de debilidad del terreno, es decir algunos cauces siguen el trazado de las fallas. (Mapa 1.5) y (Mapa 2.3) Este apartado se basa en los conceptos expuestos por Guerra Peña (1980).

Mapa 2.3 Patrones de drenaje.

Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

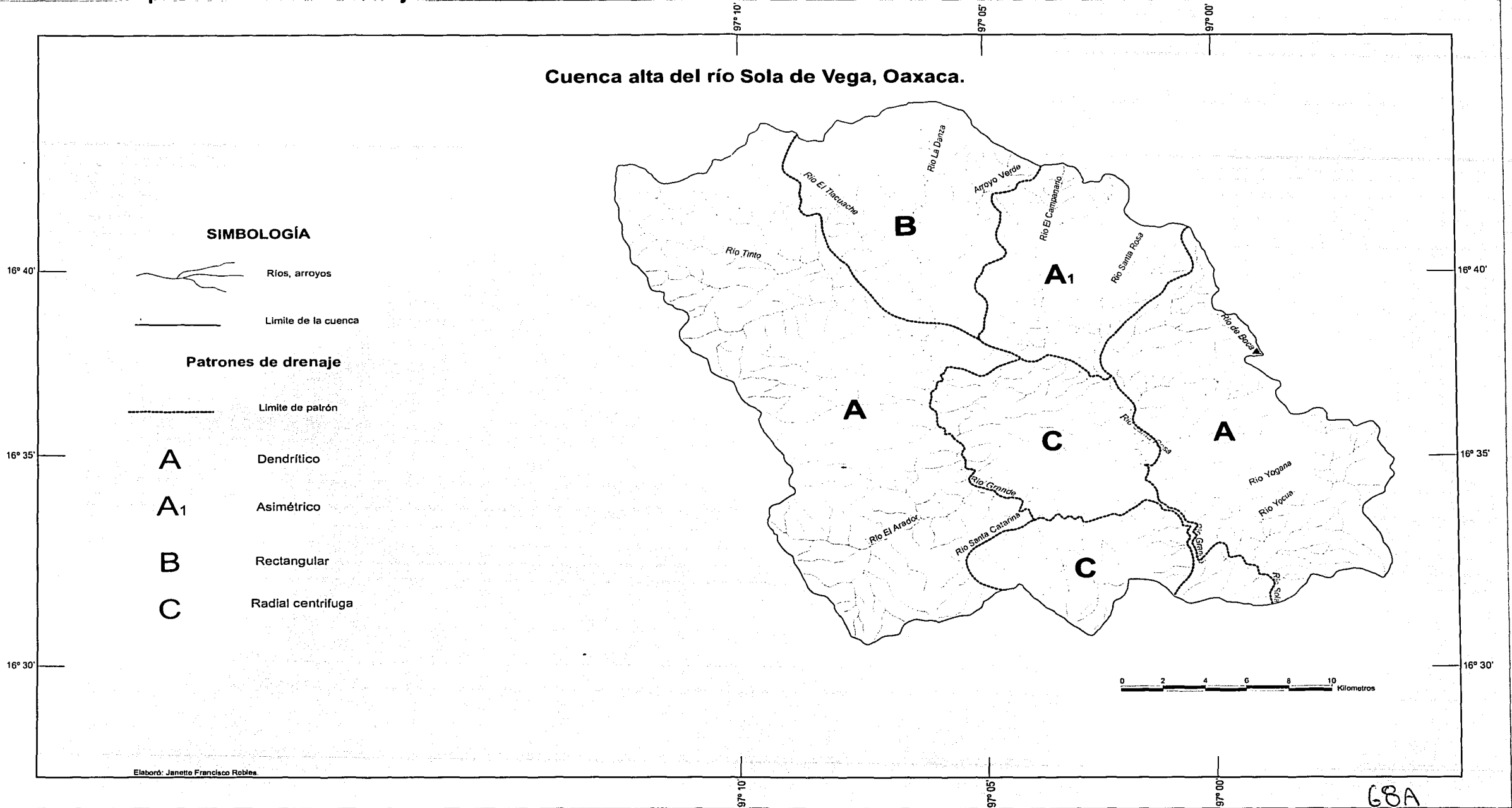


Tabla 2.2 Patrones de drenaje

Subcuencas y Sub-subcuencas	Ubicación	Patrones de drenaje	Litología
Yocua, Yogana, algunos afluentes del río Santa Rosa Santa Catarina, Tinto	Desde el Este, siguiendo el sentido de las manecillas del reloj, hacia el Norte. En la Subcuenca río Sola. Al Sur, Suroeste, Oeste y Noroeste de la cuenca. Subcuenca río Grande.	A. Dendrítico	Toba ácida y Lutita-arenisca Toba ácida
Santa Rosa y El Campanario	Noreste de la cuenca. Subcuenca Santa Rosa.	A1. Asimétrico	Toba ácida y Limolita-arenisca
Río Tlacuache y arroyo Verde	Norte de la cuenca. Subcuenca río Grande.	B. Rectangular	Toba ácida
Entre río Grande y Santa Rosa. El cerro San Juan	Centro - Sur de la cuenca. Subcuencas río Grande y Santa Rosa. Y Sur de la cuenca. Subcuenca río Sola.	C. Radial centrífuga	Toba ácida, Limolita-arenisca, Lutita-arenisca, Caliza y Gneis

Los patrones de drenaje que constituyen la cuenca alta del río Sola de Vega son principalmente cuatro tipos: A. Dendrítico, A1. Asimétrico, B. Rectangular, C. Radial centrífuga.

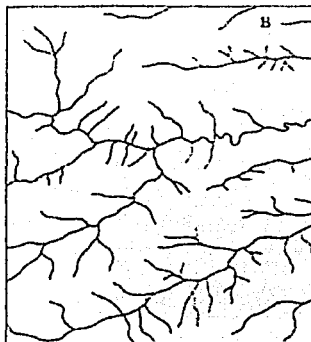
Estos patrones también son nombrados modelos de drenaje del sistema básico, ya que en los patrones del sistema básico se observan con una uniformidad marcada en cuanto a sus características. Esto es que se debe a condiciones y factores dominantes ya sea de carácter litológico; estructuras geológicas de materiales semi-consolidados o no consolidados y características topográficas.

A. Patrón dendrítico

Se distribuye prácticamente en casi toda la cuenca formando una media luna, orientada hacia el Norte, desde el Este de la cuenca pasando por el Sureste, Suroeste, Oeste y Noroeste en la subcuenca en la margen izquierda del río Santa Rosa, Yocua, Santa Catarina, y Tinto, abarca una parte del talud de transición, lomeríos y valles fluviales, parte las montañas y laderas altas al Noroeste de la cuenca. La característica principal de este patrón es que tanto el curso principal como los tributarios en su recorrido no sufren control alguno sea éste estructural o litológico.

Es el más común de los patrones de drenaje, se desarrolla libremente, en todas direcciones y se le denomina "arborescente" por parecerse en su desarrollo a la configuración de un árbol de donde viene su nombre "dendrón" = árbol. Sus tributarios

se unen a la corriente trocal formando ángulos de diversas graduaciones. (Sin llegar nunca a los ángulos rectos) aunque la presencia de la confluencia de dos o más corrientes en ángulo recto, dentro de una configuración "dendrítica", constituye precisamente la evidencia de una anomalía que debe atribuirse; Por lo general; a fenómenos tectónicos. Principalmente este tipo de drenaje se produce en rocas sedimentarias homogéneas, areniscas o en rocas ígneas macizas como las graníticas o en rocas estratificadas horizontales, aunque tengan algunas variaciones en su composición, siempre y cuando todos los estratos ofrezcan el mismo de resistencia al intemperismo y a la erosión. (Peña, 1980, p. 206, 207).



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

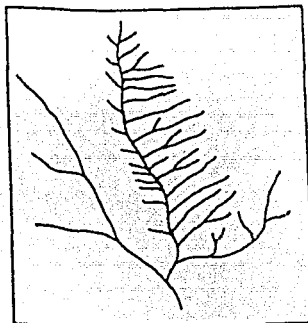
Ejemplo: Patrón de drenaje dendrítico.

A1. Patrón Asimétrico

La localización de este tipo de drenaje se encuentra al Noreste de la cuenca, en la subcuenca de los ríos Santa Rosa y El Campanario abarca desde su nacimiento, montañas y laderas altas, a su continuidad cruza por el talud de transición y se interna en la zona de lomeríos y valles fluviales.

La Asimetría puede referirse a cualquier configuración de drenaje, pero con más frecuencia corresponde a la configuración "dendrítica", (Anexo I), por cuyo motivo este tipo constituye una modificación de la misma.

La asimetría consiste en que tiene más tributarios en el lado o vertiente de mayor gradiente, que en la vertiente menos inclinada, con frecuencia se asemeja a un peine, de donde recibe el nombre de "pectiniforme". (Guerra, p. 212, 213).



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Ejemplo: Patrón de drenaje Asimétrico.

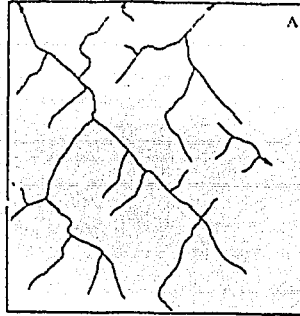
B. Patrón Rectangular

Se ubica al Norte de la cuenca, en la subcuenca del río Tlacuache y arroyo Verde desde donde nacen, las montañas y laderas altas, y parte del Norte del talud de transición.

Esta configuración es una modificación del patrón de drenaje "enrejada" (anexo I) y se caracteriza por violentos cambios rectangulares en el curso de las corrientes. La diferencia entre la enrejada y la rectangular reside en el hecho de ser más regular el tipo enrejado, puesto que el rectangular tiene tramos rectos cortos en vez de largos como el enrejado y con numerosos y abruptos cambios de rumbo.

Este patrón tiene como principal característica un fuerte control, tanto en el curso principal como en sus tributarios; los cursos de los ríos en su recorrido sufren cambios de dirección de aproximadamente 90° , forma ángulos rectos. La densidad de cauces es variable dependiendo del material del cual drena, el grado de uniformidad es marcado, éste patrón se desenvuelve en grados de granulometría gruesa; Por ejemplo: arenas o conglomerados, en cenizas volcánicas, granitos, rocas foliadas como las mica esquistos; Están relacionados a sistemas de fallas diaclasas y fracturas que se cortan en ángulos rectos; estos factores se diferencian por su densidad, grado de integración y

control orientado. En muchas regiones de drenaje dendrítico, puede observarse una pequeña tendencia hacia el rectangular. (Guerra, p.216, 218).



TIPO CON
FALLA DE ORIGEN

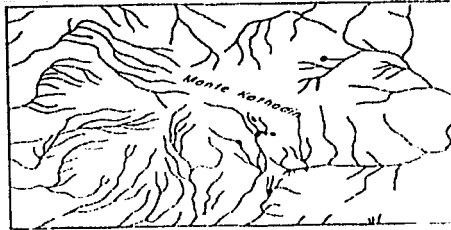
Ejemplo: Patrón de drenaje Rectangular.

C. Patrón Radial Centrifuga

Se ubica al centro sur de la cuenca, entre el río Grande y Santa Rosa. Se desprenden los cauces que siguen esta centrifuga alineación de un Cerro llamado Portillo de la Rosa que tiene con una altitud de 2400 m.s.n.m., escalonado a los 2000 m.s.n.m., y se presenta el mismo patrón de drenaje alrededor del Cerro San Juan a una altitud de 2400 m.s.n.m., éste se complementa con la parte externa de la cuenca con otros tributarios o afluentes de la cuenca del río El Anis.

Denominada así por las corrientes fluviales que se encuentran dispuestas como los rayos o radios de una rueda, con relación a un punto central. Este término puede también referirse a un tipo de configuraciones de drenaje originados en un punto común, forma que con frecuencia ofrecen los sistemas de cerros aislados.

Las corrientes fluviales divergen desde el punto o área central elevada. Si las corrientes radiales intersectan fajas concéntricas de rocas duras y débiles; ésta configuración debe estimarse como evidencia sustancial de que ocurrió un levantamiento. Es un patrón de drenaje erosional. (Guerra, p.220, 221).



Ejemplo: Patrón Radial centrífuga.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.4 Clasificación de los cauces según Strahler en la cuenca alta del río Sola de Vega

El orden de corrientes es una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación de corrientes de una cuenca. Para esta clasificación se tomó el criterio de Strahler (1952).

Para evaluar el orden de corrientes se requiere lógicamente, un plano de la cuenca que incluya tanto las corrientes perennes como las intermitentes, en la que se indica el orden de corrientes de la cuenca.

El mapa de clasificación de orden de cauces se elabora teniendo como base el mapa hidrográfico, atendiendo el método mencionado, en el se muestran la jerarquía de los ordenes de cauces. (Mapa 2.4)

Las corrientes iniciales no poseen afluentes, son de primer orden; con la unión de dos corrientes de primer orden se forma una corriente de segundo orden; con la unión de dos corrientes de segundo orden se forma un segmento de tercer orden, de esta manera se siguen trazando las corrientes hasta que finalmente se encuentre el cauce de mayor orden ⁵ de un sistema fluvial.

En el mapa 2.4 se observa que el río Sola de Vega tiene el mayor número de orden del sistema fluvioigráfico es de sexto orden. La jerarquía más alta alcanzada dentro de la cuenca, hasta el punto considerado como terminal.

Al respecto, se considera pertinente indicar que tal vez este número de orden se conserva hasta su unión con el río Atoyac oaxaqueño. Sin embargo hay que tener

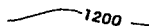
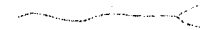

⁵ A manera de nota hay que aclarar que no siempre las corrientes de un orden se agregan a los de su siguiente inmediato, a veces corrientes de primer orden se agregan a corrientes de cualquier orden, por lo anterior, la confluencia es hipotética, pero válida.

Mapa 2.4 Clasificación de cauces según Strahler.


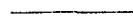
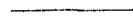
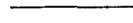
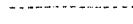
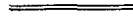
Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

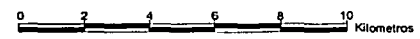
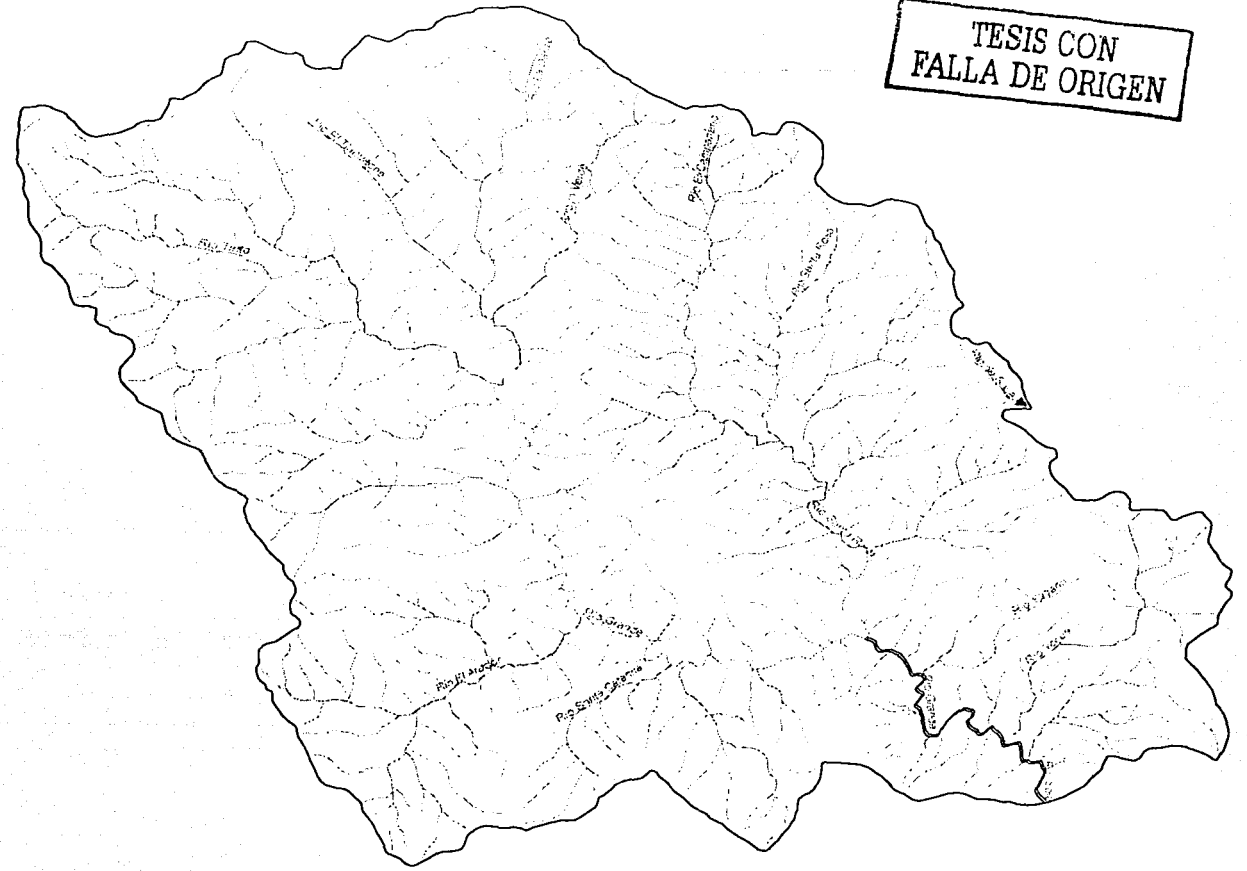
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SIMBOLOGÍA

-  1200 Curva de nivel
-  Ríos, arroyos
-  Límite de la cuenca

Numero de orden del cauce

-  1: 1er orden
-  2: 2o orden
-  3: 3er orden
-  4: 4o orden
-  5: 5o orden
-  6: 6o orden



Elaboró: Janette Francisco Robles.

presente que entre el punto terminal y la unión existen otros afluentes, de los cuales se desconoce su número de orden; pero se infiere que deben ser de jerarquías inferiores, según se puede observar en los mapas topográficos de la región. También debe considerarse que la longitud media del segmento de cauce de sexto orden presenta una disminución con respecto a las longitudes medias de los cauces de quinto orden, que confluye en un sitio para dar origen al colector principal de sexto orden. En este sentido la verdadera longitud del colector principal debe ser mayor, ya que abarca desde la confluencia mencionada hasta su desembocadura en el río Atoyac oaxaqueño.

Para el análisis cuantitativo de las corrientes se elaboró el cuadro 2.3, en donde:

- a) En la primera columna se pone el número de orden del cauce (u)
- b) En la segunda el número de corrientes que haya de cada orden (Nu)
- c) En la tercera columna se representa la relación de confluencia (Rc); para obtenerla se dividen el número de segmentos de primer orden entre el número de las de segmentos de segundo orden y el resultado es la relación de confluencia (Rc) para las corrientes de segundo orden. Posteriormente el número de las del segundo orden se dividen entre el de las de tercero y así sucesivamente hasta que se divide el último orden, como es lógico, las corrientes de primer orden no tienen relación de confluencia.
- d) En la cuarta columna se obtiene el valor logarítmico del número de corrientes de cada orden ($\log Nu$). Con los resultados se elabora la gráfica de relación de confluencia del sistema de drenaje dentro de la cuenca.

Con los datos obtenidos del mapa hidrográfico, con la clasificación del orden de cauces se elaboró la siguiente tabla la cual muestra algunas características del sistema de drenaje de la cuenca del río Sola de Vega.

Tabla 2.3 Características del sistema de drenaje del río Sola de Vega

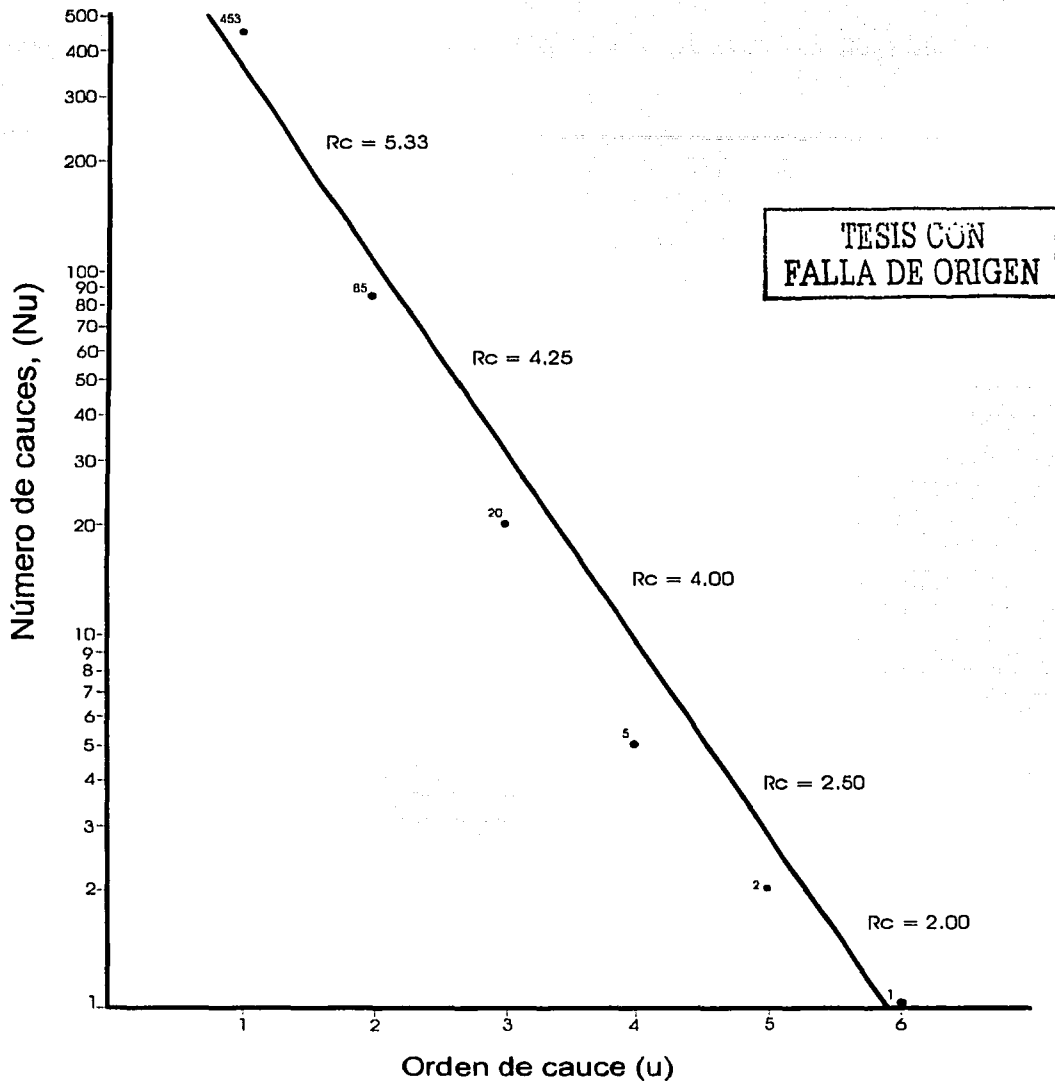
Numero de orden (u)	Número de cauces por orden (Nu)	Relación de confluencia (Rc)	Logaritmo Nu (log Nu)
1	453	----	2.65
2	85	5.33	1.92
3	20	4.25	1.30
4	5	4.00	0.70
5	2	2.50	0.30
6	1	2.00	0
Total	566		

2.5 Relación de confluencia

La relación de confluencia varía entre 3.0 y 5.0 para cuencas en las cuales las estructuras geológicas no distorsionan el modelo o el patrón de drenaje. El valor mínimo, teóricamente posible, es 2.0, el cual difícilmente se alcanza en condiciones naturales. En general el valor promedio es del orden de 3.5; Coates (1978) encontró que la relación de confluencia de corrientes de segundo a tercer orden varía de 4.0 a 5.1 y las de tercero a cuarto orden fluctúan de 2.8 a 4.9. Sin embargo dado que la relación de confluencia es una propiedad adimensional y que los sistemas de drenaje se desarrollan en materiales homogéneos, la distribución espacial de cauces tiende a mostrar una similitud geométrica; por lo tanto no es sorprendente que tal parámetro muestre variaciones de una región a otra; (Aranda, 1992).

Al observar la tabla 2.3 que muestra los datos del sistema de drenaje correspondiente a la cuenca alta del río Sola de Vega, valor medio de el número de cauces o segmentos de segundo orden le confluyen en promedio 5.33 segmentos de cauce el más alto de la lista. A los de tercer orden le confluyen en promedio 4.25 segmentos de cauce, al de cuarto orden 4.00 segmentos de cauce y por ultimo del de sexto orden le confluyen 2.00 segmentos de cauce. Esta columna de relación de confluencia presenta un orden descendente en cuanto a sus valores numéricos puesto que conforme aumenta el número de orden disminuyen cauces de mayor jerarquía.

Con la información de la tabla 2.3 se elaboró una gráfica semilogarítmica de relación de confluencia (gráfica 2.1). En el eje de las abcisas, el número de orden de los cauces y en el eje de las ordenadas, el número de cauces.



Gráfica 2.1 Relación de confluencia. Cuenca alta del río Sola de Vega.

La interpretación de la gráfica es la siguiente: En principio representa una función negativa por que conforme aumenta el número de orden disminuye el número de cauces. En la recta de la gráfica 2.1, se observa que la alineación de los puntos correspondientes a el primero, segundo y tercer orden es bastante satisfactoria, de igual manera los puntos de cuarto, quinto y sexto orden tienden a presentar una alineación aproximada, se nota en particular, que los puntos del quinto y sexto orden están desalineados con respecto a los anteriores. Esto indica que el desarrollo fluvial de la cuenca sigue una progresión que tiende a ser normal de acuerdo con el número de cauces entre el primero y el cuarto orden. Aunque cabe indicar que de acuerdo con los valores de relación de confluencia de la tabla 2.3, el número de cauces de primer orden es alto con respecto a los demás, las únicas relaciones de confluencia que tienen un valor parecido son las de segundo a tercero y de tercero a cuarto orden. Esta relación disminuye rápidamente del cuarto al quinto orden. Al observar el mapa de hidrográfico 2.4 con el sistema de clasificación cauces según Strahler de la cuenca alta del río Sola de Vega se nota que hay una concordancia con los valores de relación de confluencia y la gráfica correspondiente, precisamente es en la porción del Noreste de la cuenca, en las proximidades de la cabecera y las laderas más altas en donde se pueden apreciar una gran cantidad de cauces de primer orden, los cuales, espacialmente, están relativamente más cerca que los demás. Conforme se va descendiendo en altitud se aprecia que los cauces de primer orden, confluyen a los de segundo orden, y tercer orden, en la parte más baja el espaciamiento entre los cauces de con un orden más alto es mayor. En la gráfica 2.1, se ubican la mayoría de los puntos debajo de la línea recta, esto significa, una disminución de cauces con respecto al desarrollo normal de la recta en el orden de cauces de segundo, tercero, cuarto y quinto, y en el mapa 2.4, se nota una disminución en el espacio de los segmentos de cauce de esos ordenes. Las desviaciones suelen deberse -con base a los criterios de área, largo y ancho de la cuenca, así el área en estudio se considera como una cuenca pequeña intermedia como ya se mencionó en el capítulo anterior-. Además tiene una forma elíptica o de círculo irregular y esto no permite una homogeneidad en el número y longitud de los segmentos de cauce. Además también influye la geología del lugar. El número de segmentos de primero a segundo orden es muy notorio ya que el de primer orden

cuenta con 453 segmentos de cauce y los de segundo orden es de 85, los de tercer orden tienen 20 segmentos de cauce, los de cuarto 5 segmentos de cauce. Se logra percibir claramente cómo hay intervalos muy amplios entre el número de segmentos de un orden a otro, aunque del quinto al sexto orden no hay un intervalo tan grande por lo que este es diferente a los anteriores.

Estas son algunas interpretaciones teóricas que permiten estimar que áreas de la cuenca pueden tener muy pocos cauces.

2.6 Relación de longitud

Con la suma de las longitudes de los cauces de un orden dado entre el número de cauces de ese orden, se obtiene la longitud media.

La relación de longitud es un coeficiente numérico que resulta de dividir el promedio de longitud de los cauces de un orden dado, (u), entre el promedio de longitud del orden inmediato inferior (u-1).

Tabla 2.4 Datos para la elaboración de la gráfica de relación de longitud

1	2	3	4	5	6
Orden	Número de Caudes	Longitud total de cauces(Km)	Longitud de cauces acumulativa (Km)	Longitud media de los segmentos de cauces	Relación de longitud
(u)	(Nu)	(LNU)		$(\bar{L}u) = \frac{3}{2}$	(RL)
1	453	772.3	772.3	1.70	0.84
2	85	122	894.3	1.43	2.68
3	20	76.9	971.2	3.84	1.22
4	5	23.5	994.7	4.70	2.34
5	2	22	1016.7	11.00	0.90
6	1	10	1026.7	10.00	---
Total	566	1026.7	---	---	---

Puesto que los datos iniciales se obtuvieron de el mapa 2.4, entonces la longitud media establece el largo promedio que tendrán los cauces por número de orden, el cual va creciendo conforme aumenta el número de orden de los cauces. (Tabla 2.4). Por lo tanto, la relación de longitud será una indicación del número de veces en que proporcionalmente aumenta el largo de los cauces de una jerarquía a otra. La relación de longitud sirve para tener una idea del crecimiento que van teniendo los cauces y se

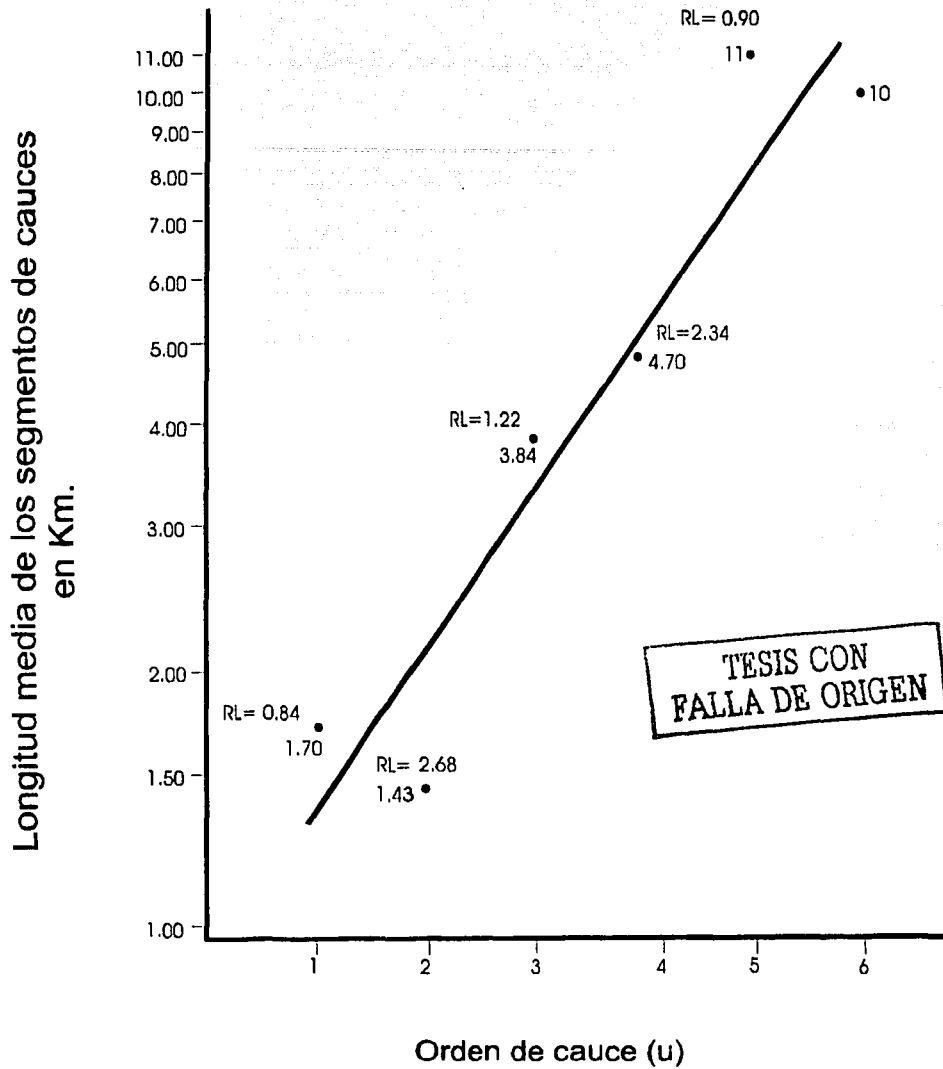
puede expresar en una gráfica similar a la de la relación de confluencia, con base en datos numéricos, en la gráfica se traza una línea recta cuyo trazo procura estar cerca de los puntos detectados en la tabla, a esa línea se le llama recta de ajuste o de regresión.

La alineación de los puntos significa que la longitud de los cauces es homogénea, y el hecho de que no todos los puntos estén perfectamente alineados significa que existe variaciones entre las longitudes de los cauces de un orden a otro como es el caso de esta cuenca por ejemplo: La longitud media de los cauces de primer orden es de 1.70 km y la de segundo orden de 1.43 km. Son muchos cauces de este orden; pero muy cortos, en cambio los cauces de 5to. y 6to. orden tienen una mayor longitud pero son uno o dos segmentos de cauce esta diferencia se aprecia en la gráfica 2.2, y por eso es que los puntos no están alineados perfectamente.

El hecho de que los puntos que se encuentran arriba de la línea significa que, su relación de longitud es menor que la de los puntos que se encuentra en la parte inferior aunque su longitud media varíe.

En el mapa de orden de cauces 2.4, como se observa, los cauces de primer orden son los de menor longitud, incrementándose con el número de orden de los cauces. La razón del incremento de la longitud cada vez que aumenta el número de orden se denomina relación de longitud, ya que se presentan algunas irregularidades como se observa también en el cuadro, este comportamiento se debe al relieve y litología de la cuenca ya que esto hace que las longitudes de los segmentos de cauces de menor orden y a la vez más numerosos sean menores. El cauce principal de la cuenca, es de sexto orden y tiene una longitud de 10 Km. Desde su nacimiento donde todavía no es un río de sexto orden, siguiendo la sinuosidad del río hasta su punto terminal tiene una longitud de 43.5 Km. El desarrollo longitudinal del cauce principal es también un parámetro característico útil y de efectos de la precipitación y el escurrimiento superficial en la cuenca ya que su efecto se nota más rápidamente en un río largo.

Para profundizar más en el análisis de la relación de longitud se elaboró una gráfica en la cual se relacionan la longitud media de los segmentos de cauces de un orden determinado, con el orden del cauce; se obtiene una recta de ajuste que corresponde a funciones exponenciales positivas. (gráfica 2.2).



Gráfica 2.2 Relación de longitud. Cuenca alta del río Sola de Vega.

Observando la recta de la gráfica 2.2 de relación de longitud de la cuenca alta del río Sola de Vega, presenta irregularidades en sus extremos.

La longitud media de los cauces de primer orden es de 1.70 km y la de segundo orden de 1.43 km. Lo cual, implica una disminución, a este aspecto se le podría considerar como una anomalía, ya que en la mayoría de los estudios de la morfometría fluvial la mayor tendencia es que esas longitudes aumenten. Del 6-5 orden, las longitudes medias de los conjuntos de los segmentos de cauces aumentan pero se percibe de inmediato que se carece de una secuencia numérica, con valores progresivos bien definidos. (Tabla 2.4). Cabe indicar que, el último valor, correspondiente a la longitud media del colector principal, en este caso de sexto orden, carece de la expresión numérica de la relación de longitud. Esto se refleja en los valores de la relación de longitud y en la gráfica respectiva, de tal modo que puede decirse que deben existir una serie de características geológicas y geomorfológicas que son las causas de estas aparentes anomalías.

2.7 Clasificación de cauces según Shreve

Esta clasificación de cauces se basa en la de Strahler; pero sigue un sistema acumulativo ya que considera el siguiente aspecto:

1. Cuando llueve en una parte de la cuenca la escorrentía se concentra hacia las partes más bajas del relieve y estos sitios constituyen los talwegs; Estas son las líneas que unen las porciones más profundas del cauce de un río, aunque algunas veces el término se usa en sentido más amplio, para aplicarlo a todo el cauce. (Lugo, 1989). Por lo tanto el agua fluye por depresiones, en particular durante la época de secas cuando disminuye el agua de escurrimiento superficial.

2. El escurrimiento de agua a lo largo de los cauces va teniendo una acumulación conforme van ocurriendo puntos de confluencia. Por lo tanto la acumulación de agua va aumentando conforme se van juntando los afluentes.

3. El aumento del caudal produce un aumento de la energía cinética del agua, por lo tanto también aumenta la capacidad erosiva a lo largo del colector principal tanto en sentido vertical como lateral, simultáneamente la energía cinética del agua tiene mayor capacidad de arrastre de materiales sólidos.

Mapa 2.5 Clasificación de cauces según Shreve.

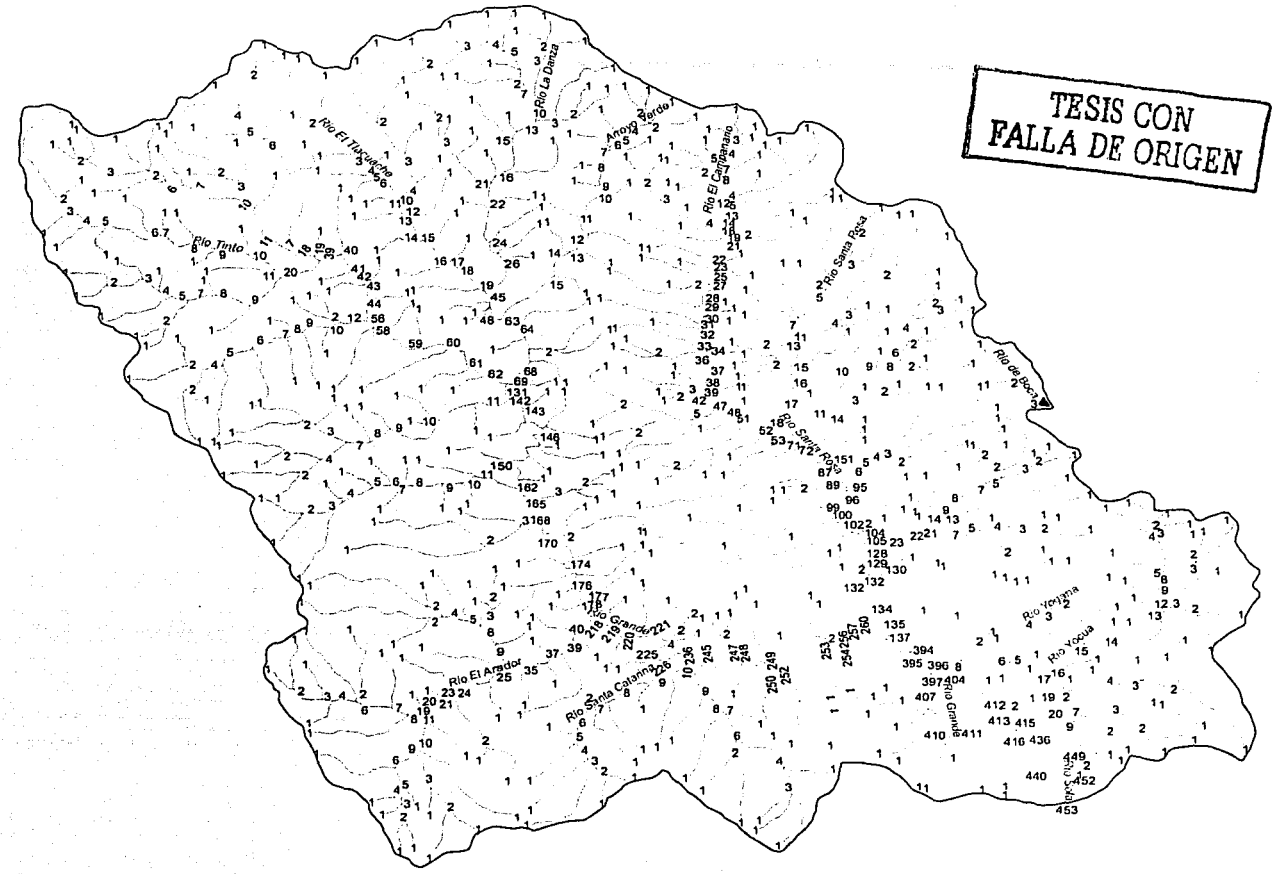
Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

SIMBOLOGÍA

- 1200 Curva de nivel
- Ríos, arroyos
- Límite de la cuenca

Sistema acumulativo



Elaboró: Janette Francisco Robles.

En el sistema de Strahler se consideran casos ideales en donde el número de orden de un colector no se altera cuando confluyen al cauce ordenes anteriores. Por ejemplo: a un colector de cuarto orden se le pueden unir cauces de primero, segundo y tercer orden y ese colector seguirá siendo de cuarto orden; En cambio, en el sistema de clasificación de cauces de Shreve el número de orden de los cauces va aumentando rápidamente, siguiendo un sistema de suma acumulativa. (Mapa 2.5).

Mientras más aumenta el número de orden de acuerdo a esta clasificación más es la capacidad erosiva, y la posibilidad de un aporte mayor de agua

La subcuenca del río Grande acumula un número de 258 cauces antes de su confluencia al río Sola de Vega, y el río de Santa Rosa una subcuenca más pequeña que la anterior acumuló 136 también antes de su confluencia con el río Sola de Vega, estos se suman y acumula un total de 394 segmentos de cauce y se le suman los faltantes hasta llegar a un total de la cuenca de 453 segmentos de cauce.

En el caso de la cuenca alta del río Sola de Vega, se obtienen un número de orden de 453 desde la cabecera hasta el punto terminal.

2.8 Frecuencia de cauces

La frecuencia de cauces en la cuenca alta del río Sola de Vega se puede analizar de dos maneras: una de manera general y otra particular por la cual se presenta el mapa de distribución geográfica de frecuencia de cauces (Mapa 2.6). Elaborado a escala 1: 150 000, la frecuencia de cauces particular se considera como unidad de análisis en un kilómetro cuadrado de área, siendo la figura de un cuadrado.

Esta característica permite establecer correlación con la naturaleza litológica del área drenada, la pendiente del terreno y la climatología de la zona (principalmente la precipitación), además permite conocer la eficiencia del desalojamiento del agua en el suelo.

R. E. Horton, introdujo el concepto de frecuencia de cauces, definida como el número de segmentos de cauces de cualquier orden y longitud sobre unidad de área. (Campos, 1992, p. 2-15)

Para obtener la frecuencia absoluta de cauces de la cuenca se empleó la siguiente fórmula y se reemplazó con los datos globales de la cuenca.

Frecuencia absoluta de cauces:

$$F_c = \frac{Nu}{A}$$

Donde : F_c = Frecuencia de cauces

Nu = Número total de cauces de la cuenca

A = Área de la cuenca en Km^2

$$F_c = \frac{566}{471.46 km^2}$$

$$F_c = \frac{1.20}{km^2}$$

Este resultado muestra una idea general del promedio de cauces por cada Km^2 . El resultado de 1.20 cauce sobre Km^2 en toda la cuenca, sin embargo, se requiere conocer la ubicación geográfica de la frecuencia de cauces de manera particular.

Frecuencia de cauces particular:

Se considera como unidad de análisis $1 Km^2$, sin importar la longitud y jerarquía de los cauces, se cuantifica el número de segmentos de cauces en estas áreas dentro de los límites de la cuenca y se incluyen los cuadrados de $1 Km^2$, que estén en la periferia exterior de la cuenca, aunque estos no se integren al sistema fluvial, y se hace el conteo respectivo para considerarlo en la distribución espacial, ya que los valores areales no serían correctos para la zona del parteaguas. Al respecto, cabe indicar que la frecuencia de cauces dentro y fuera de la divisoria es muy similar, como en las subcuencas internas. Estos resultados se presentan en el mapa de distribución geográfica de frecuencia de cauces. (Mapa 2.6).



Al observar el mapa de distribución geográfica de frecuencia de cauces se puede notar que predominan las unidades areales cuya frecuencia es de 3 y 4 cauces por Km^2 , categoría "media" en términos generales este tipo de frecuencia se encuentra distribuida en toda la cuenca y tiende a formar una continuidad. En segundo lugar predomina la frecuencia "baja" entre 1 y 2 segmentos de cauces por Km^2 ; en algunas partes tienden a formar en la cabecera conjuntos separados entre sí dentro de la

Mapa 2.6 Distribución geográfica de la Frecuencia de Cauces $F_c = Nu / Km^2$

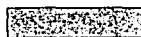



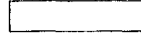
Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

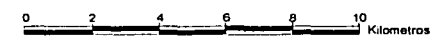
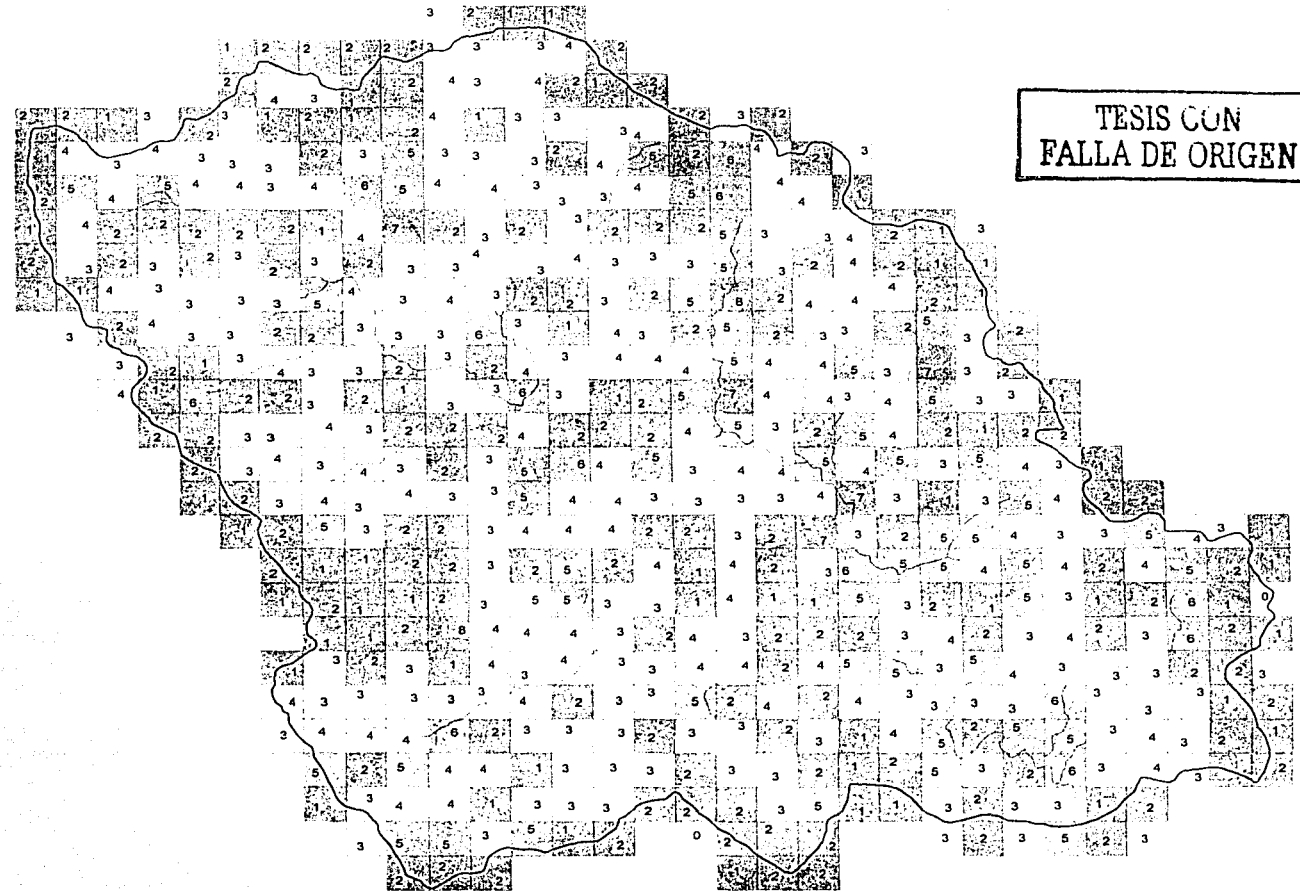
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

SIMBOLOGÍA

-  Ríos, arroyos
-  Limite de la cuenca

Frecuencia de cauces $F_c = Nu / Km^2$

	Frecuencia	Segmentos de cauce / Km^2
I 	Muy alta	8 - 7
II 	Alta	6 - 5
III 	Media	4 - 3
IV 	Baja	2 - 1
V 	Nula	0



cuenca presentando discontinuidades esta frecuencia tiende a dominar en las laderas occidentales y disminuye en las orientales. En tercer término la frecuencia alta con 5 y 6 segmentos de cauces por Km^2 , se nota una disminución general, estos valores predominan de las laderas orientales y tienden a formar pequeños grupos, en las laderas occidentales se presenta muy poco formando agrupaciones muy pequeñas aunque se logran apreciar sitios sin continuidad, esta categoría de frecuencia alta. Y por último la categoría muy alta con 7 y 8 segmentos de cauces por Km^2 , estos rangos se encuentran determinados y distribuidos en la cuenca. Se localizan básicamente al centro-oriente, y no existen en laderas occidentales. Solamente se presentó en dos sitios la categoría nula con cero segmentos cauce por Km^2 , y se ubican sobre el parteaguas que limita la cuenca, una se encuentra en la parte oriental y la otra en el Centro-Sur de la cuenca. La distribución geográfica de frecuencia de cauces muestra en lo general que existen áreas en donde tienden a presentarse continuidades en los valores más bajos y conforme aumenta el valor de la frecuencia disminuye tal continuidad. En las partes altas se presentan valores muy bajos.

Es relevante la presencia de frecuencias alta y media en la margen izquierda del cauce principal. En la margen derecha es escasa la frecuencia de cauces media con un rango de 3 y 4 segmentos de cauce, y más escasa aun la frecuencia de cauces muy alta de 7 y 8 segmentos cauces por Km^2 , esta situación de escasez de frecuencia muy alta en toda la cuenca es un indicador, no sólo de un bajo número de cauces en la cuenca, también lo es de una baja densidad de drenaje esto se podrá apreciar con mayor detalle en el siguiente punto.

2.9 Densidad de drenaje

La densidad de drenaje total se define como la longitud acumulada, expresada en kilómetros de los segmentos de cauces existentes dentro de la cuenca. Dividida entre el área total de drenaje. Es un concepto definido por R. E. Horton. (Ídem).

Este parámetro muestra el grado de desarrollo del drenaje de la cuenca, y la organización de éste se denomina sistema fluvial. La densidad de drenaje se expresa como la longitud de las corrientes por unidad de área, o sea que:

$$Dd = \frac{\sum L}{A} ; \frac{km}{km^2}$$

Donde : $\sum L$ = El total de la suma de la longitud de todos los cauces en Km

A = Área de la cuenca en Km²

En la cuenca alta del río Sola de Vega en general, se observan densidades bajas de drenaje en regiones de rocas resistentes o de suelos muy permeables cubiertos por vegetación densa y donde el drenaje es débil. En cambio se obtienen altas densidades de drenaje en áreas de roca débiles o de suelos impermeables, vegetación escasa y relieve montañoso.

La densidad de drenaje tiene importancia para las relaciones que presenta con la pendiente del terreno y cantidad de lluvias. Una alta densidad de drenaje significa un mejor desalojamiento del agua, acompañado de fuertes corrientes y si es una baja densidad ocurriría lo contrario.

$$Dd = \sum L \div A \quad Dd = 1026.7 \text{ Km} \div 471.46 \text{ Km}^2 \quad Dd = 2.17 \text{ Km} \div \text{Km}^2$$

Para la cuenca del río Sola de Vega, se obtuvo una densidad de drenaje total de 2.17 Km ÷ Km²; ésta se interpreta teóricamente como si existieran 2.17 kilómetros de cauce por cada kilómetro cuadrado de terreno. Esto significa que tiene una densidad de drenaje baja, no existe la presencia de fuertes corrientes, la baja densidad se puede deber a que es una región de textura muy gruesa más difícil de erosionar, lluvias de baja intensidad que intervienen poco en el modelado del sistema fluvial y con elementos de topografía de gran tamaño, con estratos rocosos que no son débiles así no se propicia un ambiente para desarrollar una alta densidad de drenaje.

El resultado de 2.17 Km ÷ Km², obviamente no es un valor homogéneo para toda la cuenca, ya que las corrientes de mayor longitud corresponden al río principal y a determinados tributarios con un número de orden tercero, cuarto, quinto, a diferencia de las corrientes de primero y segundo orden que se localizan principalmente en las cabeceras, y son sumamente cortos y con escurrimiento mínimo, por su carácter intermitente. Aunque este tipo de cauces son más numerosos y llegan a sumar una longitud considerable, también son alimentados por los aportes del subsuelo aunque son menos numerosos, en contraste con los primeros que reciben diversas descargas superficiales. La baja densidad de drenaje de la cuenca, es más notoria en la margen

de afluencia derecha del colector principal y en la margen izquierda se percibe una densidad mayor, a pesar que el resultado es bajo se aplica a toda la cuenca.

Para obtener una mayor claridad en los resultados se elaboró un mapa que muestra la ubicación de la densidad de drenaje en la cuenca (Mapa 2.7). Se expresa como se dijo anteriormente como la longitud de las corrientes km, por unidad de área un Km^2 .

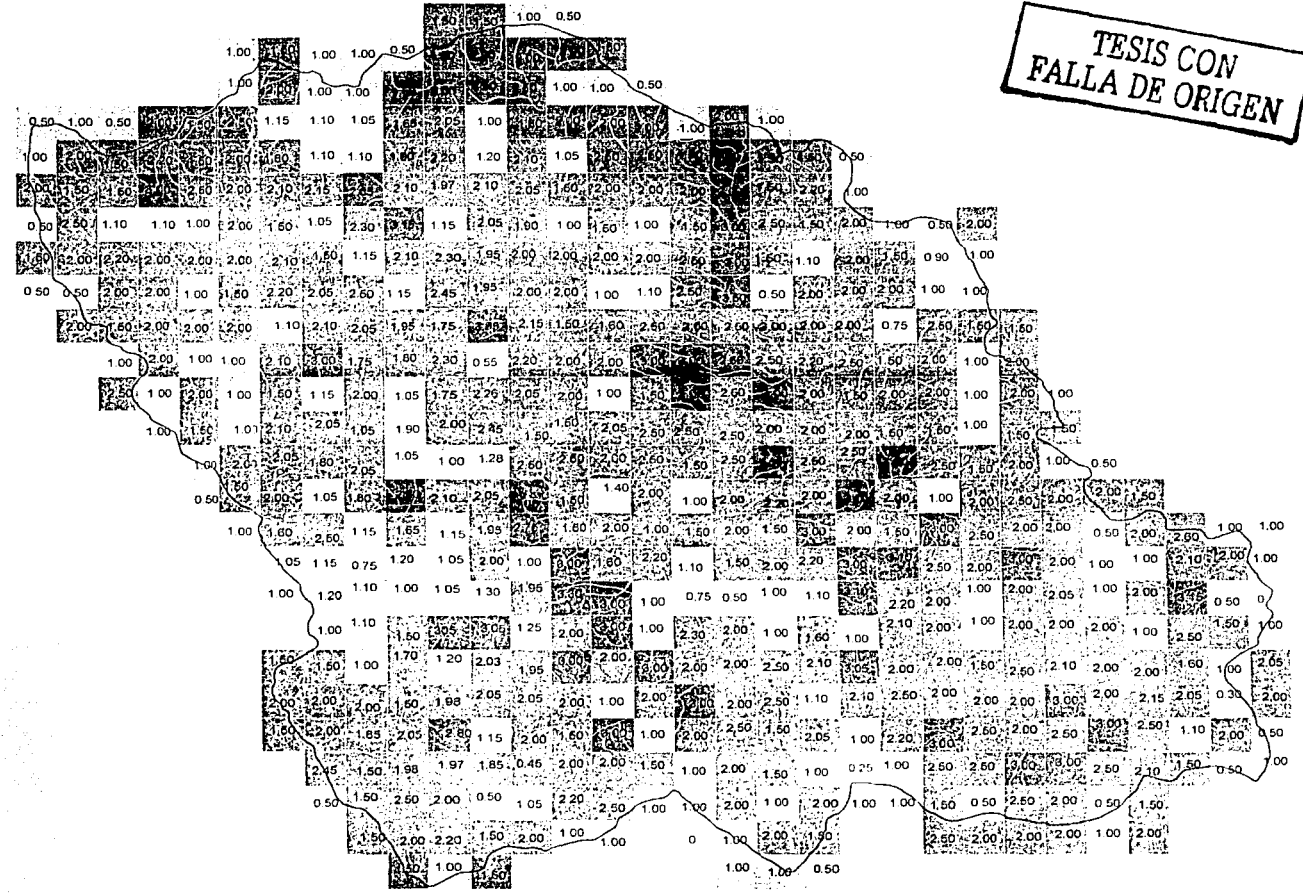
Para la elaboración del mapa se miden la longitud de los cauces que se encuentren dentro de 1 Km^2 de área. Y se le asigna un rango y una categoría, en este caso se encontraron cuatro; primero la categoría densidad nula con un rango de $< 0.25 \text{ Km}$, en la lista de rangos; estos valores están representados por colores, símbolo cuantitativo del mapa temático, al igual que el mapa de distribución geográfica de frecuencias altimétricas de la cuenca alta del río Sola de Vega, después la categoría de densidad baja, con un rango $1.45-0.26$; en tercer lugar la categoría de densidad media en la cuenca, con un rango de $2.65-1.46$; y por ultimo la categoría de densidad alta, con un rango de $3.85-2.66$.

Al observar el mapa de densidad de drenaje se puede apreciar a simple vista que la categoría "nula" sólo se presenta en dos lugares en la orilla oriental de la cuenca sobre la unidad de relieve talud de transición, con valores de 0 Km de longitud sobre Km^2 , al igual que la que se encuentra al sur de la misma, pero al exterior de la cuenca, y otra que sí está dentro de la cuenca, al sur de ella con valores de 0.25 km de longitud sobre Km^2 , en las montañas y laderas altas del Sur de la cuenca, después se aprecia la categoría baja, una de las más frecuentes por lo que se observa, en el (Mapa 2.7), puedo decir que está se presenta en las nacientes de los ríos, arroyos y en regiones de texturas gruesas más difíciles de erosionar, y con regularidad en las zonas con mayor altitud de la cuenca como es en las montañas y laderas altas y el talud de transición estas son regiones donde llueve con más frecuencia solo que esta parte de montañas altas son zonas de recarga de acuíferos y casi toda el agua que llega a la zona se infiltra y por lo tanto existe un menor escurrimiento. La categoría más dominante es la densidad media que se encuentra distribuida en toda la cuenca, La cuarta categoría; densidad alta, ésta acompaña las líneas trazadas por los cauces de ríos y arroyos y se presenta mayormente en la margen izquierda, sobre el talud de transición y lomeríos

Mapa 2.7 Densidad de drenaje. $Dd = Km / Km^2$

Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



SIMBOLOGÍA

- Ríos, arroyos
- Limite de la cuenca

Densidad de drenaje $Dd = Km / Km^2$

	Densidad	Longitud de cauces / Km^2
I	Alta	3.85 - 2.66
II	Mediana	2.65 - 1.46
III	Baja	1.45 - 0.26
IV	Nula	< 0.25



con valles fluviales, esta zona es más propia a generar densidad alta porque presentan estratos débiles, propiciando un ambiente para este desarrollo y por la razón de que el escurrimiento superficial es mayor dadas las características del declive en la cuenca y por que el agua no se infiltra tan fácilmente por la acumulación de sedimentos arcillosos que impiden ese proceso.

Cabe aclarar que para la medición de la densidad de drenaje sobre un Km^2 , se tomaron en cuenta los cauces de los ríos y arroyos de las cuencas circunvecinas y así completar las longitudes por Km^2 correspondientes a las que se encuentran en la orilla de todo el parteaguas.

2.10 Aguas subterráneas

El mayor porcentaje de agua (potable), se encuentra en el subsuelo. Si se extrajera esta agua posiblemente excediera en volumen a la que se encuentra en lagos y ríos. Esto se debe en gran parte a que el agua del subsuelo se encuentre almacenada y su flujo es muy lento; en cambio el agua de los ríos está en permanente circulación y es reemplazada varias veces al año. El agua del subsuelo tiene como ventaja principal la de no estar sujeta a las fuertes variaciones estacionales que sufre el agua superficial, y su extracción normalmente ocurre en periodos más largos que en la superficie.

En el caso de la cuenca alta del río Sola de Vega, se identificó dentro de una sola unidad geohidrológica. "Las unidades geohidrológicas están constituidas por la agrupación de uno o varios tipos de roca o materiales granulares, cuya característica común es que puedan o no funcionar como acuíferos",⁶ por lo que se realizó un mapa que presenta sus características. (Mapa 2.8).

Unidad de material consolidado con posibilidades bajas

La unidad geohidrológica que se presenta fue estimada por INEGI, (carta hidrología de aguas subterráneas).

Esta unidad comprende toda la cuenca, ocupa un área de 471.46 Km^2 , constituida por los tipos de roca señalados en el capítulo anterior. Está considerada como una unidad de bajas posibilidades de contener acuíferos de agua dulce subterránea en

⁶ Cita: INEGI.(1989).*Guía para interpretación de la cartografía; Hidrología*. Pagina 13.

Mapa 2.8 Hidrología de aguas Subterráneas.

Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

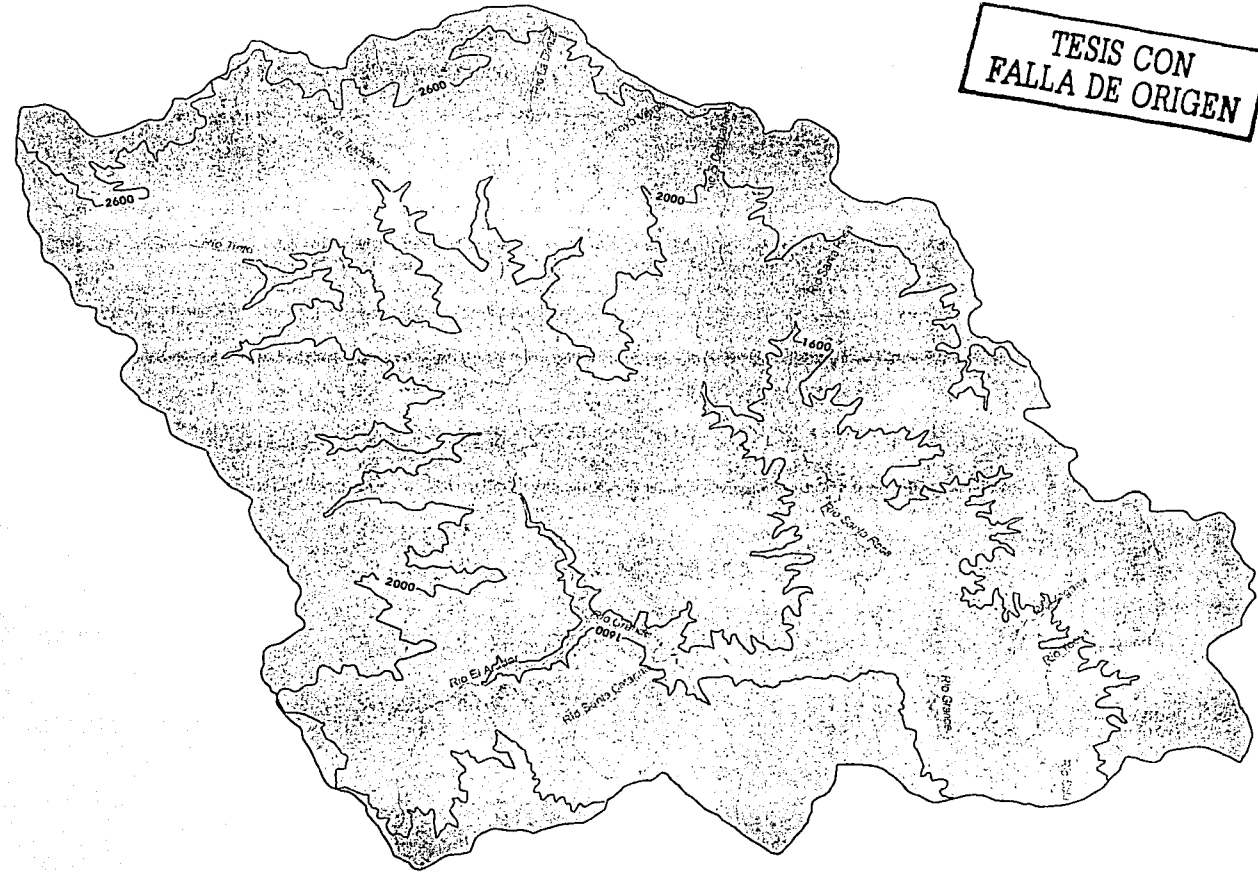
SIMBOLOGÍA

- 1200 — Curva de nivel
- Ríos, arroyos
- Limite de la cuenca

Unidad geohidrológica

- Material consolidado con posibilidades bajas

Elaboró Janette Francisco Robles con base en:
INEGI. (1990). E14-12 Zaachila 1: 250 000



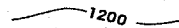
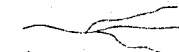

0 2 4 6 8 10 Kilometros

Mapa 3.3 Efectos climáticos regionales mayo - octubre.






Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

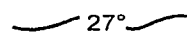
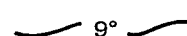

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SIMBOLOGÍA

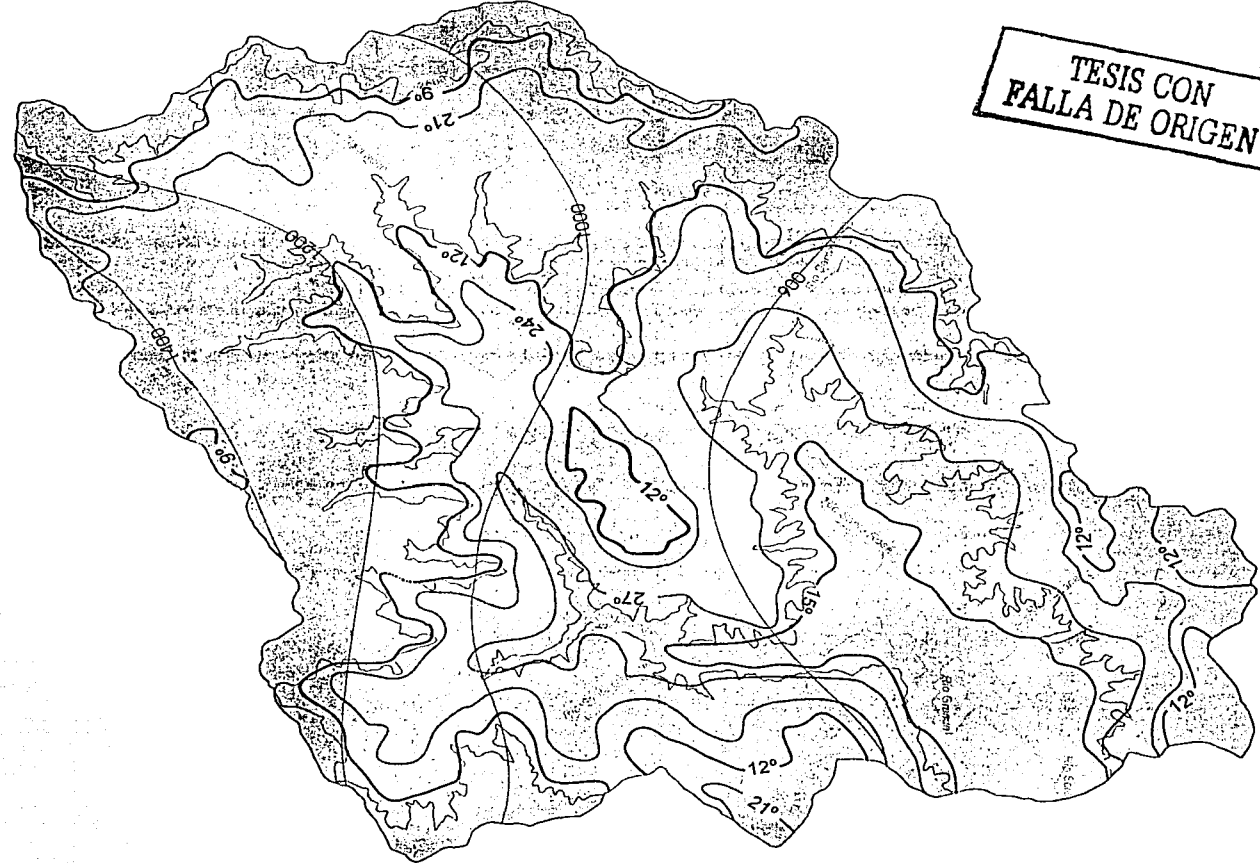
-  1200 Curva de nivel
-  Ríos, arroyos
-  Limite de la cuenca

Precipitación total en mm. Mayo - Octubre

-  800 - 900
-  900 - 1000
-  1000 - 1200
-  1200 - 1400
-  1400 - 1700

-  27° Isotermas medias máximas de mayo, junio, julio cada 3°C. Temperaturas en °C
-  9° Isotermas medias mínimas de mayo, junio, julio cada 3°C. Temperaturas en °C
-  1000 Isoyetas Precipitación en mm.

Elaboró Janette Francisco Robles con base en:
(SPP), (INEGI). (1984) E14-12 Zaachila 1: 250 000.

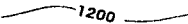




Mapa 3.4 Efectos climáticos regionales noviembre - abril.

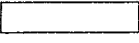


Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

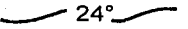
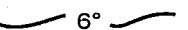

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

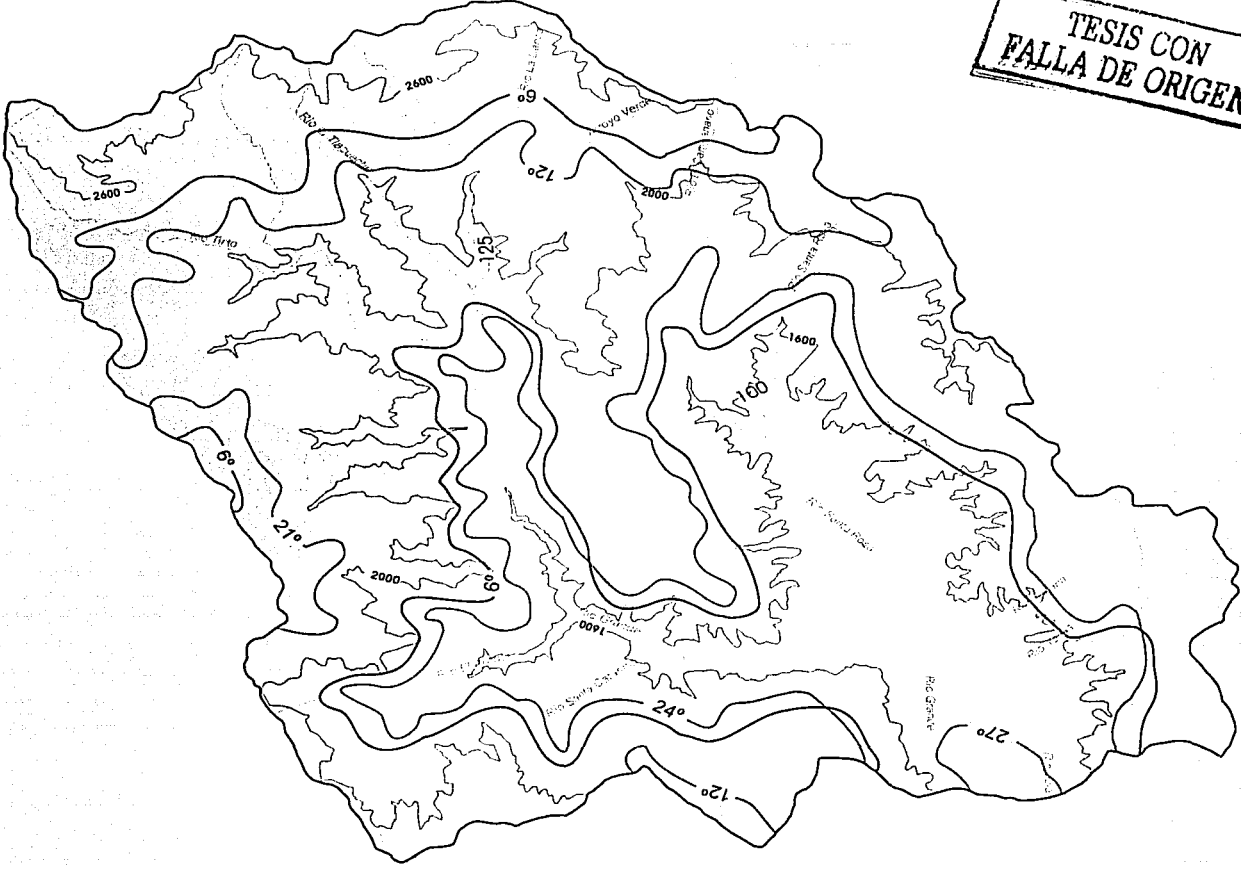
SIMBOLOGÍA

-  1200 Curva de nivel
-  Ríos, arroyos
-  Limite de la cuenca

Precipitación total en mm. Noviembre - Abril

-  75 - 100
-  100 - 125
-  125 - 150

-  24° Isotermas medias máximas de noviembre, diciembre, enero cada 3°C. Temperaturas en °C.
-  6° Isotermas medias mínimas de noviembre, diciembre, enero cada 3°C. Temperaturas en °C
-  1000 Isoyetas Precipitación en mm.



Elaboró Janelle Francisco Robles con base en (SPP), (INEGI) (1984) E14-12 Zaachila. 1. 250 000.

0 2 4 6 8 10 Kilometros

87C

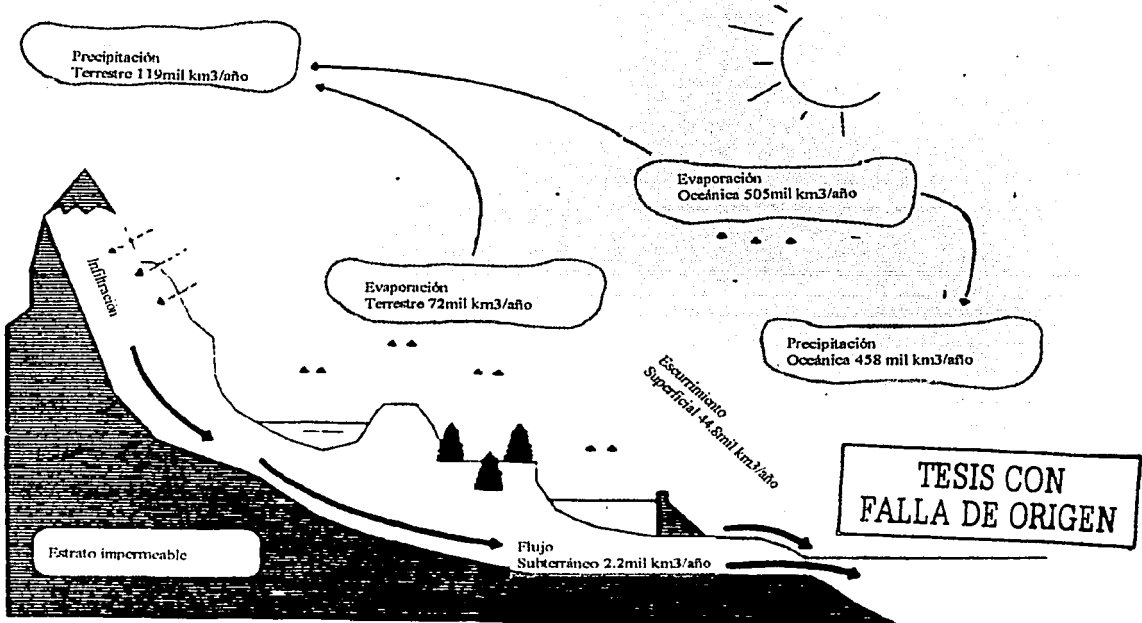
función de las características físicas y químicas de la roca. A esta misma unidad se le conoce también como unidad de material granular sin agua, esto es, que se constituye principalmente por suelos impermeables o por arenas, gravas y conglomerados que aún siendo permeables presentan espesores y áreas reducidas, por los que no son susceptibles de contener agua económicamente explotable.(INEGI, 1989). Ya que es muy alto el costo de su extracción en función de su posible volumen a obtener.

Capítulo 3. Ciclo del agua y balance hídrico de la cuenca alta del río Sola de Vega, estado de Oaxaca

Para iniciar este capítulo se hablará del comportamiento del ciclo hidrológico global y local.

3.1 El ciclo hidrológico

La energía de flujo que activa el ciclo hidrológico procede de la radiación solar, y el ciclo se fundamenta en los procesos de evaporación y de precipitación. El complejo sistema de circulación continua, a gran escala, asegura la dinámica, destilación y transporte del agua en todas sus formas y se conoce como ciclo del agua o ciclo hidrológico. Su funcionamiento general se presenta a continuación en forma de esquema.



Ciclo hidrológico (Modificado por Chow, 1988)

El agua evaporada de los océanos por medio de la energía solar equivale a 505 000 Km³ por año. De estos retornan por precipitaciones 458 000 Km³. Así mismo, cada año 47 000 Km³ de agua son desplazados hacia las tierras emergidas por los

vientos y se incorporan a los 72 000 Km³ por año procedentes de la evaporación directa sobre el suelo, las masas de agua y la transpiración de las plantas. Estas dos cifras constituyen los 119 000 Km³ por año que precipitan sobre los continentes de distintas formas (nieve, granizo, lluvia, etc.) De esta cantidad una fracción se infiltra en los suelos para originar la escorrentía subterránea a través de los acuíferos, por debajo del nivel freático. Otra cantidad escurre superficialmente (escorrentía superficial) a través del drenaje fluvial (ríos, arroyos, torrentes, etc.) hasta que llega al mar. El retorno del agua a los océanos se realiza en su mayor parte por escorrentía superficial; con un volumen de 44 800 Km³ anualmente (95%). Por escorrentía subterránea llega al mar el 5% del total constituido 2 200 Km³.

Este ciclo se compone de otros ciclos de distintos subsistemas son los continentales, regionales o locales y aunque el total del volumen del agua en el ciclo hidrológico permanece constante, la distribución del agua cambia continuamente sobre cada región o sobre las cuencas de los ríos, de aquí que en los estudios locales sea necesario estudiar el clima durante una serie de años (15, 30 o 40), y así obtener los datos medios sobre precipitaciones caídas en la cuenca. (Martínez y Navarro, 1996).

3.2 El ciclo hidrológico local

En los estudios hidrogeográficos es importante conocer básicamente el ciclo del agua a nivel local, en un subsistema denominado cuenca, en este caso la cuenca alta del río Sola de Vega; es pequeña-intermedia que tienden a ser homogénea. Las correlaciones de las características geográficas y la integración de los fenómenos que suceden en estas subunidades permitirá determinar el balance hídrico de la cuenca.

3.2.1 Temperatura

La temperatura es un elemento del clima cuya participación en la fase hidrológica de un escurrimiento no es directa; su efecto se deja sentir a través de otros procesos que actúan de manera importante en el ciclo del agua como posteriormente se verá; de ahí la importancia para incluirla en este trabajo.

La temperatura se manifiesta como un índice de la energía calorífica y de la radiación recibida por un cuerpo (suelo, vegetación o nieve). La importancia de la temperatura es que afecta el poder evaporante de la atmósfera, influye en procesos de

estabilidad en la atmósfera que originan las precipitaciones y la forma de éstas, por último interviene en el derretimiento de hielos y glaciares.

Radiación y temperatura:

La superficie terrestre recibe energía proveniente del Sol, en forma de radiación solar emitida en onda corta. A su vez, la Tierra, con su propia atmósfera, refleja alrededor del 55% de la radiación incidente y absorbe el 45% restante, convirtiéndose, ese porcentaje en calor.

Por otra parte, la tierra irradia energía, en onda larga, conocida como radiación terrestre. Por lo tanto, el calor ganado de la radiación incidente debe ser igual al calor perdido mediante la radiación terrestre; de otra forma la tierra se iría tornando, progresivamente, más caliente o más fría. Sin embargo, este balance se establece en promedio; pero regional o localmente se producen situaciones de desbalance cuyas consecuencias son las variaciones de temperatura.

La repartición de la temperatura en la troposfera condiciona la estabilidad atmosférica ya que se encarga de transferir la energía, entre la atmósfera y la superficie terrestre, actúa en el proceso de difusión y absorción de energía, transferencia de calor (el calor es una forma de energía térmica), por conducción, convección e intercambio turbulento. El conjunto de transferencias de calor entre la atmósfera y la superficie terrestre provoca el gradiente de temperatura típico en la troposfera. El gradiente de temperatura, el cual contiene tres tipos de gradientes: El gradiente de adiabático seco, el gradiente adiabático húmedo y el gradiente real de temperatura.

El gradiente adiabático seco es la temperatura del aire no saturado, se calienta o se enfría a una tasa aproximada de un grado centígrado por cada 100 metros de altitud. El gradiente adiabático húmedo es para condiciones promedio de 1000 milibares de presión y 10 grados centígrados de temperatura se puede demostrar que el gradiente adiabático húmedo es aproximadamente 0.53 °C por cada 100 metros de altura. Y el gradiente real de temperatura en la práctica, una masa de aire húmedo que al elevarse y condensarse perderá por precipitación parte de su vapor de agua y por esto no será

totalmente adiabático, se le denomina gradiente pseudo-adiabático y la tasa de variación de temperatura es el gradiente real de temperatura. La diferencia entre el gradiente real y el adiabático seco ó húmedo, tiene importancia en la estabilidad de masas de aire. Se dice que una capa atmosférica estable es cuando la distribución de la temperatura es tal que si un volumen elemental de aire se le imprime una aceleración elemental en cierto sentido, este vuelve por sí sólo al lugar que ocupaba. Los problemas de estabilidad e inestabilidad de una capa atmosférica, tiene gran importancia, dado que caracterizan los posibles movimientos verticales de la atmósfera que influyen en los mecanismos de precipitación y en los procesos climáticos.

En la troposfera es donde se encuentran la mayor parte de los gases y el vapor de agua de la atmósfera y su turbulencia afecta directamente a la corteza terrestre modelando su relieve.

La temperatura en la troposfera, de manera general, tiene un gradiente adiabático térmico vertical negativo, de 1°C para las masas de aire no saturadas y de $0,5^{\circ}\text{C}$ para las masas de aire saturadas, por cada 100 metros de altitud. Los cambios de temperaturas adiabáticos son aquellos que suceden en un gas, o en el aire, sin la intervención de ninguna fuente externa de frío o calor. Se calienta cuando se comprime y se enfría cuando se expande. En esta parte de la atmósfera la temperatura disminuye con la altura hasta alcanzar aproximadamente -60°C . (Internet, 1)

La temperatura en la superficie dependerá únicamente de la radiación solar, ya que la conductividad de las rocas es bastante escasa. En general, la temperatura es uno de los caracteres más sensibles del clima, pudiéndose resumir los factores que la determinan en cierto lugar: latitud, altitud, características de la superficie terrestre y circulación general de la atmósfera.

Latitud: La forma de la Tierra es como una esfera achatada en los polos, lo cual determina fuertes diferencias en la radiación que reciben las distintas zonas del planeta ya que la radiación es tanto mayor, cuanto más perpendicular incidan los rayos solares sobre la superficie terrestre, como el eje terrestre forma, en el plano de la órbita un ángulo de $23^{\circ} 27'$, esto origina que para los casos extremos en los polos que la radiación recibida varíe de cero a un máximo superior a la radiación que llega al ecuador. la cuenca tiene una latitud de $16^{\circ}45' \text{ N}$ y $16^{\circ}30' \text{ N}$.

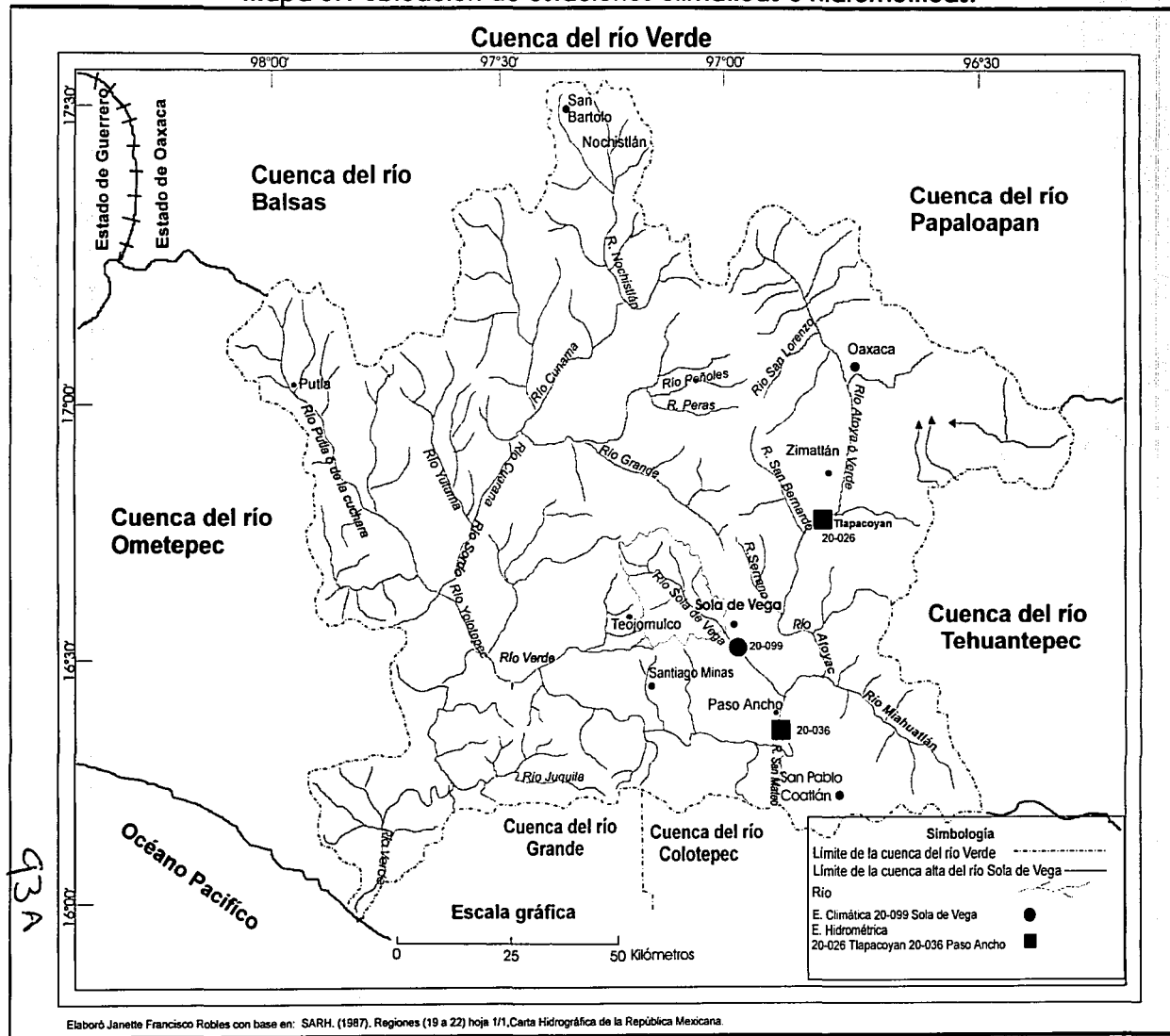
Altitud: Debido a un gradiente medio de 0.6 °C por cada 100 metros, los mapas de líneas isotermas que son curvas que unen puntos de igual temperatura presenta gran similitud con el mapa de relieve, por lo tanto, la altitud máxima de 2865 m.s.n.m., altitud media 2000 m.s.n.m. y altitud mínima 1375 m.s.n.m., de la cuenca influye en su temperatura.

Características de la superficie terrestre: (Suelo, roca, vegetación, agua). Tanto la superficie del terreno como la superficie libre del agua emite radiación; por que una propiedad de la radiación solar es que al contraste con un cuerpo cualquiera, es absorbida por éste, aumenta su temperatura, y emite a su vez radiación con otra longitud de onda. En general la superficie terrestre emite radiación de onda larga a la atmósfera, cuya intensidad depende principalmente de la temperatura de dicha superficie. En esta zona donde ubica la cuenca y la estación climatológica, (Mapa 3.1) la vegetación es un poco escasa, pastizal y matorral espinoso, y el uso que se da al suelo es para agricultura de temporal, sobre el tipo suelo regosol y la roca lutita-arenisca.

Circulación general de la atmósfera: Debido a la distribución de temperaturas progresivamente decrecientes del ecuador a los polos, el aire del ecuador sería más caliente, se dilataría y se elevaría siendo remplazado por el aire más frío y denso proveniente de las cercanías de los polos, con lo que se originan vientos con lo cual cada hemisferio funcionaría como una inmensa célula convectiva.

En la cuenca alta del río Sola de Vega, se obtuvieron datos de temperatura del Servicio Meteorológico Nacional con un periodo de 23 años de 1962 a 1985 de la estación San Miguel Sola que se localizaba como ya se dijo, inmediatamente después del punto terminal de la cuenca, a una altitud de 1398 m.s.n.m. (Mapa 3.1) Con estos datos se calculó la temperatura media anual, mensual y se realizaron sus gráficas respectivas. Cabe aclarar, que la estación climatológica se puede considerar representativa no solo del área donde se encuentra sino también de sus alrededores, que incluyen la cuenca de estudio, lo cual puede influir de una manera proporcional y se puede proyectar hacia las partes altas de la cuenca.

Mapa 3.1 Ubicación de estaciones climáticas e hidrométricas.



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Elaboró Janette Francisco Robles con base en: SARH. (1987). Regiones (19 a 22) hoja 1/1, Carta Hidrográfica de la República Mexicana.

Temperatura media anual: Es el promedio de las temperaturas anuales en un periodo largo de tiempo; para la mayoría de los cálculos climáticos se toman temperaturas medias anuales de un periodo mayor a 20 años. (García, 1989).

Temperatura media mensual: Es el promedio de temperaturas mensuales en un periodo más o menos largo de años. Para los cálculos climáticos se emplean las temperaturas medias mensuales que comprenden un promedio mayor de 20 años, a veces no es posible tener datos de tanto tiempo y pueden emplearse promedios de 5 o 10 años pero con reservas. (Ídem).

Para poder entender más las variaciones temperatura en la cuenca se elaboró la Tabla 3.1 y las gráficas 3.1 y 3.2 que muestran la distribución temporal de temperatura, más claramente.

Tabla 3.1

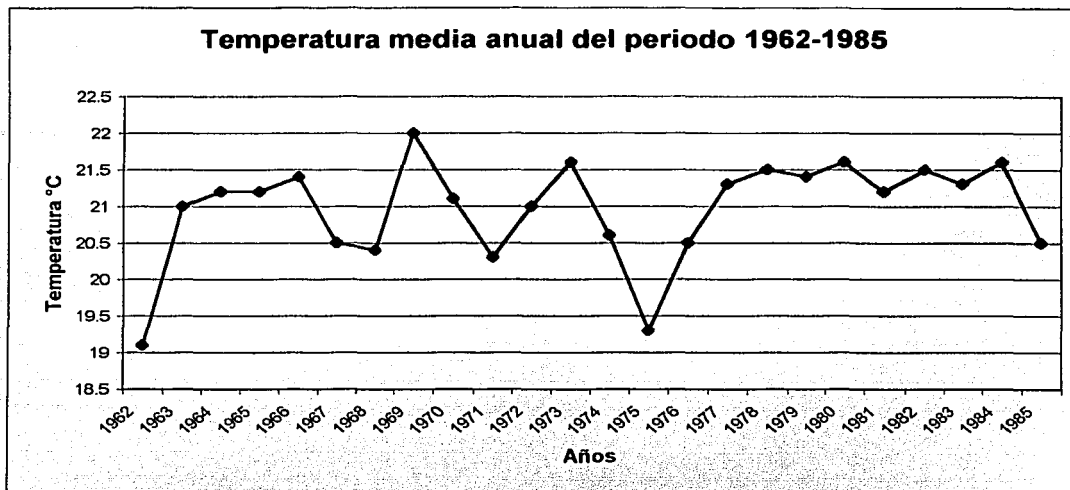
Estación: San Miquel Sola de Vega, Oaxaca. Clave de la Org. C.F.E: 20- 099
 Latitud 16°31' Longitud 96°58' Altitud 1398 m.s.n.m.

Elemento: Temperatura media anual y media mensual del periodo 1962–1985
 Unidad: °C

Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1962	17.0	20.6	22.1	22.4	23.4	22.9	22.5	22.4	21.9	20.8	18.6	18.0	19.1
1963	18.8	18.0	22.0	23.7	23.2	22.9	22.1	22.1	21.8	20.8	18.3	19.1	21.0
1964	18.4	20.6	22.4	23.6	23.7	22.3	21.8	21.9	21.9	20.4	19.4	17.3	21.2
1965	17.5	19.1	21.1	23.1	24.2	23.1	21.6	22.0	22.7	21.0	20.1	18.6	21.2
1966	17.9	19.5	20.6	23.7	24.0	23.5	22.7	22.6	22.6	20.9	19.7	19.0	21.4
1967	17.5	18.5	21.1	22.2	23.9	22.8	21.9	21.9	21.1	21.1	17.2	17.0	20.5
1968	17.5	17.2	19.4	23.1	23.0	22.6	21.5	21.6	22.0	20.4	18.6	18.3	20.4
1969	18.7	20.9	22.5	23.8	24.0	24.8	23.6	23.3	21.8	21.0	19.6	18.7	22.0
1970	18.1	19.3	21.7	24.1	23.6	22.3	22.0	21.3	21.4	21.4	19.5	18.2	21.1
1971	18.6	18.2	20.6	20.4	23.3	22.2	21.3	21.1	21.3	21.9	17.2	17.6	20.3
1972	18.3	18.4	21.1	23.0	24.3	22.1	21.9	21.5	22.0	21.4	19.7	18.6	21.0
1973	18.4	20.4	22.8	23.8	24.1	22.9	21.9	21.2	22.0	21.9	21.9	18.7	21.6
1974	18.6	18.6	21.3	23.1	23.0	22.9	20.7	21.3	21.3	20.7	19.5	16.9	20.6
1975	18.5	20.2	22.8	23.9	23.7	22.2	20.8	20.8	20.2	19.4	19.5	19.0	19.3
1976	16.4	17.3	21.9	22.9	22.7	22.2	21.8	21.2	22.2	20.7	19.6	16.7	20.5
1977	18.8	20.2	21.7	22.3	22.2	22.5	22.3	22.8	22.3	21.4	19.2	18.6	21.3
1978	18.6	19.8	21.2	23.8	23.8	22.6	22.0	22.3	22.0	22.0	20.0	19.4	21.5
1979	18.1	19.8	21.6	24.0	23.8	22.2	22.7	21.9	21.6	20.3	20.7	19.5	21.4
1980	18.6	19.2	22.7	23.6	24.3	23.4	22.7	22.2	21.7	21.3	19.9	19.2	21.6
1981	17.0	19.9	22.4	23.4	24.4	22.9	22.1	21.9	21.8	21.5	20.2	17.3	21.2
1982	18.4	20.3	21.8	24.9	24.3	23.6	21.8	22.3	22.6	21.1	18.6	18.7	21.5
1983	18.3	19.5	22.2	23.8	24.7	23.4	21.4	23.3	22.3	21.5	20.9	18.7	21.3
1984	18.3	19.5	22.2	23.8	24.7	23.4	21.4	23.3	22.3	21.5	20.9	18.7	21.6
1985	18.1	18.9	21.6	22.4	22.7	21.8	21.6	21.0	21.4	21.3	17.9	17.5	20.5
Promedio Mensual	18.1	19.3	21.7	23.3	23.7	22.8	21.9	21.9	21.8	21.0	19.4	18.3	

Elaborado con base en: SARH, Dirección General, Servicio Meteorológico Nacional.

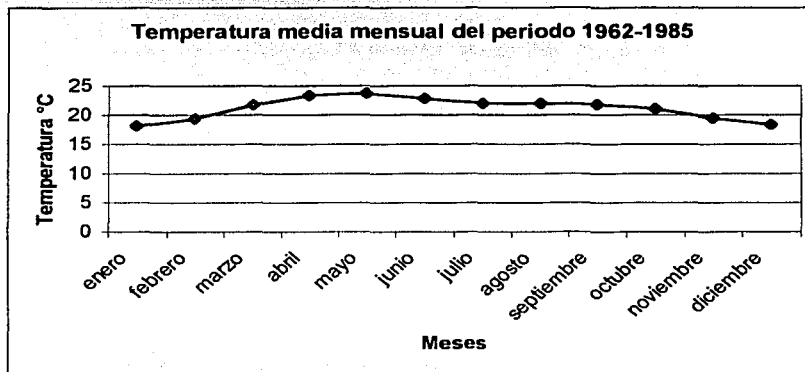
Gráfica 3.1



Las generalidades de la gráfica 3.1 hacen notar que en el periodo 1962–1985, la temperatura media anual presenta tres máximos y dos mínimos, con respecto a los demás valores que oscilan entre los 20 y 21.5°C. Se observan claramente tres subperiodos, el primero, de 1962 a 1968 con un mínimo de 19.1°C en el año de 1962 y un máximo de 21.4°C en 1966, su comportamiento es mantener temperaturas de 21°C en casi todo el subperiodo, después disminuye paulatinamente hasta llegar a 20.4°C en 1968, el segundo subperiodo; que va de 1969 a 1975, el cual tiene su mínimo en el año de 1975 con 19.3°C y su máxima con 22°C en 1969, el comportamiento es aumento de temperatura al inicio del subperiodo después una disminución a 20.3°C en el año 1971, después vuelve a subir en 1973 a 21.6°C, y de nuevo una disminución de temperatura al final de este, el tercer subperiodo es a partir de 1976 a 1985, en 1976 presenta un aumento pequeño de temperatura y sigue aumentando en los tres años consecutivos, presenta dos mínimas y dos máximas; la primera mínima se presenta en el año de 1976 y la segunda en 1985 con 20.5°C de temperatura son años extremos el primero es al inicio y el segundo al final del subperiodo, también muestra la presencia de dos máximas son en 1980 y 1984 con 21.6°C.

La gráfica 3.1 muestra que en los años 1969, 1973 y 1980, existen máximos de temperatura. En 1969 se presentó la temperatura más elevada dentro del periodo con 22°C y con diferencia de cuatro años con respecto al anterior 1973, presenta una temperatura de 21.6°C y por último 1980 con diferencia de siete años sobre el anterior presenta la misma temperatura. La gráfica también muestra que hicieron presencia dos años con valores mínimos, 1962 con 19.1°C y 1975 con 19.3°C, con una diferencia de trece años uno del otro.

Gráfica 3.2



En la gráfica 3.2 se observa que la temperatura media mensual del periodo antes mencionado presenta un comportamiento estable y con pocas variaciones en el aumento de temperatura. En marzo y abril comienza a elevarse la temperatura con respecto al mes de febrero hasta llegar a una máxima de 23.7 para el mes de mayo y vuelve a descender la temperatura en junio y los siguientes meses consecutivos. La temperatura media mensual mínima se presenta en el mes de enero con 18.1°C.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

3.2.2 Precipitación

Precipitación es el elemento del clima, de mayor significación para el balance hídrico de cualquier cuenca hidrológica, de manera general representa la principal fuente de alimentación de ésta. Se le denominan precipitaciones a cualquiera de las formas en que el agua cae sobre la superficie terrestre (nieve, granizo, escarcha, lluvia, rocío, etc).

Se elaboró una tabla y una gráfica con los datos obtenidos del Meteorológico Nacional correspondiente a la precipitación anual y mensual del periodo 1962-1985, estos datos son únicamente para la parte donde se encuentra la estación climática y sus alrededores.

La precipitación anual: es la suma de las precipitaciones mensuales durante todo el año, como la precipitación suele ser muy variable, es necesario tomar datos que abarquen más de 20 años.(García, 1989, p.100) En este caso se tomo un periodo de 23 años.

La precipitación media mensual: es el promedio de las precipitaciones de un periodo más o menos largo, para el caso de la cuenca se tomaron 23 años de registro.

Tabla 3.2

Estación: San Miguel Sola de Vega, Oaxaca. Clave de la Org. C.F.E: 20- 099

Latitud 16°31' Longitud 96°58' Altitud 1398 m.s.n.m.

Elemento: Precipitación anual y media mensual del periodo 1962–1985

Unidad: mm

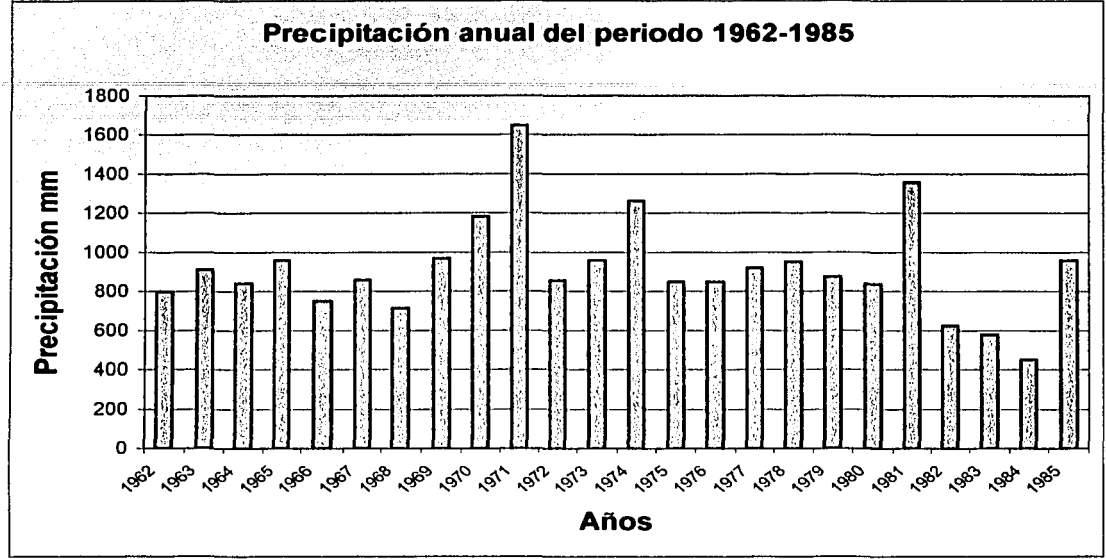
Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1962	0.2	1.1	0.4	28.5	116.9	97.8	92.4	176.0	126.0	56.6	0.8	1.0	797.7
1963	0.3	2.0	1.0	1.0	106.0	173.8	231.0	143.0	234.9	12.0	5.0	0.5	910.5
1964	0.3	0.6	1.0	2.0	165.3	195.2	82.7	180.0	183.0	4.5	21.0	5.0	840.6
1965	1.0	1.0	1.5	1.0	42.0	198.4	287.2	145.2	134.8	143.2	0.0	3.0	958.1
1966	1.05	1.8	17.5	61.5	97.0	61.6	182.7	107.8	169.6	46.3	1.5	1.0	749.8
1967	0.6	1.1	11.0	130.0	55.9	166.5	123.0	154.6	111.6	90.5	1.5	11.0	857.3
1968	26.0	12.5	0.0	28.4	88.0	183.3	79.0	95.0	116.0	57.5	8.0	20.0	713.7
1969	1.0	1.0	19.0	44.0	84.0	82.5	186.5	327.0	167.5	53.0	1.5	1.0	968.0
1970	0.5	11.8	0.0	137.0	242.5	175.0	172.0	182.5	228.0	30.0	1.5	1.0	1118.8
1971	0.8	5.6	45.5	22.6	37.5	344.5	705.0	167.5	226.5	91.0	1.0	0.0	1647.5
1972	1.1	0.6	23.5	95.0	42.0	190.0	201.5	97.0	90.0	62.5	51.0	0.5	854.7
1973	1.5	0.6	1.1	59.5	91.0	181.0	195.5	248.5	55.0	123.0	1.0	1.0	958.7
1974	0.8	0.0	84.5	21.5	144.5	496.0	138.5	117.5	251.0	8.2	0.0	0.5	1263.0
1975	31.0	4.5	1.5	0.1	96.5	168.0	187.5	132.0	172.5	32.5	20.0	2.0	848.1
1976	0.3	4.5	0.2	99.5	81.0	164.5	165.5	87.0	113.0	116.0	16.0	0.5	848.0
1977	10.5	0.0	0.0	3.5	184.5	231.0	81.5	135.5	169.0	43.5	31.0	30.5	920.5
1978	0.0	12.5	29.0	39.5	146.0	199.0	124.5	128.5	172.0	73.0	26.0	1.0	951.0
1979	6.0	23.5	0.8	45.0	182.5	99.5	155.0	150.5	161.5	36.0	13.5	0.8	874.6
1980	13.5	2.0	13.0	81.5	165.5	66.0	182.0	172.0	99.0	41.5	0.0	0.0	836.0
1981	1.0	4.5	54.0	100.0	88.5	299.5	281.5	258.5	236.0	93.5	1.1	1.8	1356.9
1982	1.1	33.0	13.0	12.0	127.5	93.0	117.0	30.0	115.5	80.3	1.1	0.5	624.0
1983	0.5	24.0	46.0	0.0	6.0	120.5	68.0	134.0	142.0	10.0	22.5	4.5	578.0
1984	6.0	33.0	1.1	0.3	7.3	95.3	70.5	83.5	100.1	51.3	1.0	1.0	450.4
1985	0.8	0.8	0.0	34.5	107.5	109.0	135.0	283.5	176.0	108.5	0.0	2.0	957.6
Promedio mensual	4.4	7.5	15.1	43.6	104.3	174.6	176.8	155.6	156.2	62.7	9.4	3.7	

Elaborado con base en: SARH, Dirección General, Servicio Meteorológico Nacional.

Con los datos de precipitación se elaboró la gráfica 3.3 en forma de barras; en el eje de las abscisas se indican los años del periodo 1962–1985, y en el de las ordenadas la cantidad de lluvia caída en cada año expresada en mm. Y para el caso de la gráfica 3.5 se indican los meses y la cantidad de lluvia expresada en mm.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Gráfica 3.3



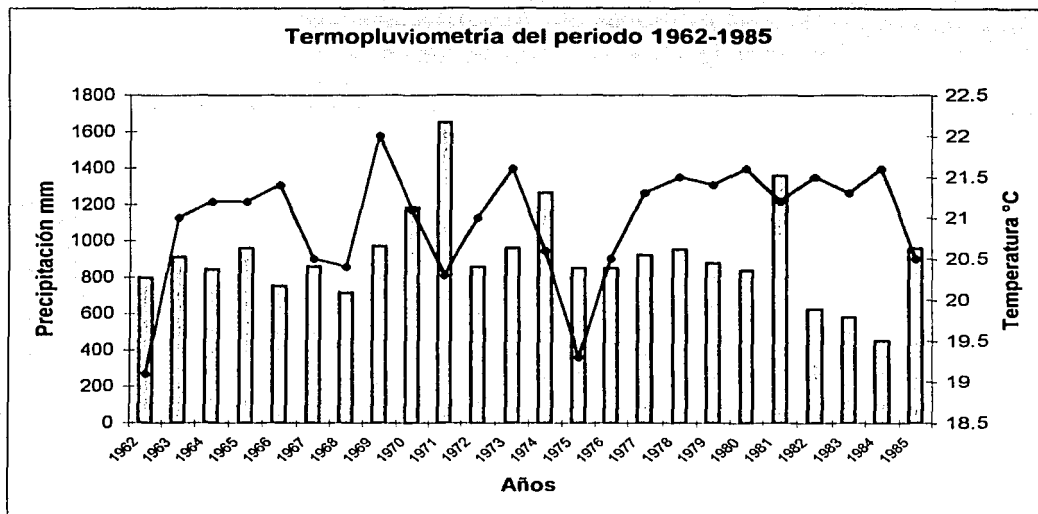
La gráfica muestra la cantidad y distribución de lluvia dentro del periodo de 23 años, resaltan a primera vista la cantidad de lluvia registrada para el año 1971, con 1647.5 mm y diez años después en 1981 de 1356.9 mm de lluvia, estos datos indican dos máximas de lluvia; pero también se presentan mínimas 1982 con 624 mm, es muy raro este valor ya que como se vio en 1981 se registro uno de los valores más altos dentro del periodo, en 1983 se registró 578 mm. y en 1984 450.4 mm estos tres años fueron consecutivos, con valores mínimos, los demás años se registraron lluvias mayores de 650 mm a 1263.0 mm valor que se registró en 1974.

La gráfica muestra que en un periodo de 23 años, se presentan tres subperiodos en los cuales el comportamiento de la precipitación sigue una misma tendencia; el primer subperiodo los cuales abarca siete años de registro de 1962 a 1968, muestra una mínima en el año de 1968 con 713.7 mm y una máxima en 1965 con 958.1 mm sólo tres años antes de que se presentara el valor mínimo de precipitación, este se

subperiodo se mantuvo estable con valores que oscilan entre 700 y 800 mm. El segundo con siete años de datos de 1969 a 1975, presenta menor estabilidad ya que el valor mínimo 848.1 mm en 1975 y el valor máximo se presentó en 1971 con 1647.5 mm, y el siguiente valor más alto es 1263 mm en el año de 1974 sus valores oscilan entre 800 y 1300 mm. El tercer subperiodo con 10 años de datos registrados de 1976 a 1985, presenta un poco más de estabilidad con respecto al anterior aunque el valor mínimo es de 450.4 mm en el año de 1984 sequía que dejó un muy mal recuerdo entre la población que habita en la cuenca y aguas abajo, y valor el máximo de precipitación con 1356.9 mm, en 1981 son muy notables estas variables, ya que la distancia entre la máxima y la mínima es de tres años, y en los años de 1975 a 1980 la gráfica y los datos muestran una estabilidad con datos que no bajan más de 800 mm, y no rebasan los 951 mm durante seis años. La mayor parte de las precipitaciones que se reciben en el territorio durante fines de verano y el otoño, se debe a los ciclones tropicales; pues aunque de hecho sólo afectan las costas del país, su influencia llega hasta el interior, los vientos alisios afectan con su precipitación principalmente en el verano, en la zona de la Sierra Madre oriental y en la región del sureste, justo donde se encuentra la cuenca en estudio; pero los efectos de estos vientos no son tan marcados como los de los de un huracán. El frente ecuatorial actúa al Sur de México durante el verano con el aporte de humedad de los vientos alisios tanto del Hemisferio Norte, del Golfo de México como las del Hemisferio Sur del Océano Pacífico y las perturbaciones de las latitudes medias que invaden el país en invierno, éstas influyen principalmente en el régimen pluviométrico del noroeste del territorio y aumenta la precipitación invernal de la porción norte del país, con ellas viajan masas de aire frío que descargan su humedad en las regiones de la altiplanicie mexicana y el Sureste. (Aranda, 1992, p.3-43). Se cree que estas variaciones se deben a que la intensidad de los ciclones tropicales, vientos alisios, varían de un año a otro y que no puede ser posible que siempre se mantengan con la misma fuerza o energía.

Para poder establecer una correlación entre temperatura media anual y la precipitación anual, se elaboró la siguiente gráfica.

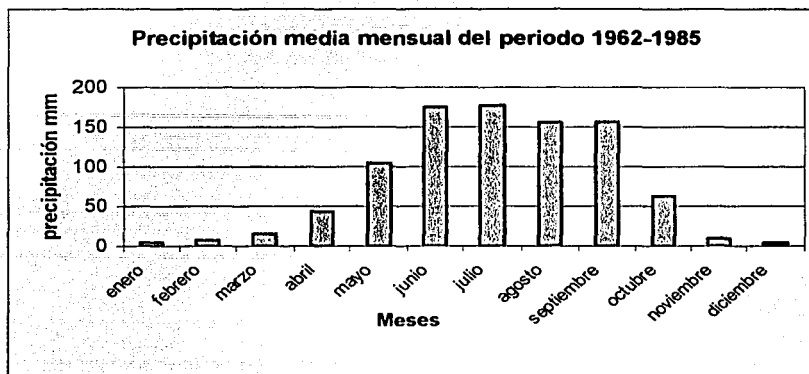
Gráfica 3.4



Se aprecia principalmente de manera general que cuando la temperatura presenta valores altos, la precipitación valores bajos, y así sucesivamente, excepto en el año de 1968 en el cual la temperatura es baja de 20.4°C y la precipitación también de 713.7 mm. Los años con mayor precipitación son en 1971 con 1647.5 mm y 1981 de 1356.9 mm diez años se interponen entre estos valores mientras que el valor más bajo se presentó fue de 450.4 mm. En relación con la temperatura se presentan los valores más altos en 1969 con 22°C y 1984 con 21.6°C, el valor más bajo es de 19.1°C en 1962.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Gráfica 3.5



La gráfica 3.5 muestra la distribución de la precipitación media mensual del periodo 1962-1985, en ella se observan la variación que existe entre unos meses y otros por ejemplo; en enero, febrero, marzo y abril el volumen de precipitación principalmente es bajo con tendencia a aumentar conforme llega el verano, que es el régimen de lluvia que se presenta en la cuenca. En mayo, junio, julio, agosto y septiembre se presentan los mayores volúmenes de lluvia, principalmente en el mes de julio con un 176.8 mm. Y para octubre, noviembre y diciembre vuelve a bajar la precipitación media mensual en el cual presenta la mínima cantidad de lluvia en diciembre con 3.7 mm.

La cubierta vegetal juega un papel muy importante con respecto a las precipitaciones, ya que influye en la cantidad de agua que hay en el suelo; además que regula su circulación superficial, limita su escorrentía superficial y favorece su retención e infiltración; por la sombra que proporciona, por su papel en la atenuación de las corrientes atmosféricas e incluso por su protección directa, mantiene elevada la humedad edáfica; evita la escorrentía torrencial, la erosión hídrica del suelo, las inundaciones, los asolvamientos de presas y tolvaneras.

La vegetación es uno de los factores más importantes que mantienen la humedad del suelo como consecuencia determina la precipitación de la zona.

3.2.3 Evapotranspiración

Conviene primeramente definir los siguientes conceptos, para comprender el tema más ampliamente.

Evaporación: Es el proceso, por el medio del cual el agua cambia del estado líquido al gaseoso y retorna directamente a la atmósfera en forma de vapor.

La evaporación desde la superficie del suelo: En las cuencas rurales, los volúmenes de agua (lagos, embalses, cauces, etc.) no abarcan, en general, más que una pequeña porción de la superficie total, excepto en las zonas en extremadamente húmedas o pantanosas. Debido a esto último, la evaporación desde el suelo y la transpiración de las plantas, son los sumandos más importantes de la evapotranspiración de una cuenca.

La transpiración es el proceso por el cual el agua de la vegetación pasa a la atmósfera en forma de vapor. Este concepto no incluye la evaporación desde el suelo.

Cuando se requiere determinar la pérdida de agua de una superficie cubierta de vegetación; resulta prácticamente imposible separar la transpiración de la evaporación. Ambos procesos físicos y biológicos; se encuentran íntimamente relacionados, por los que se les agrupa en el concepto de evapotranspiración. Este término refleja la pérdida de agua en forma de vapor a través de la vegetación y desde la superficie del suelo hacia la atmósfera. (Campos, 1992).

Evapotranspiración potencial: En el año de 1940 Thornthwaite propuso el concepto de evapotranspiración potencial. Esta se refiere como el agua que retorna a la atmósfera en forma de vapor a partir de un suelo completamente cubierto de vegetación y suponiendo que no existe limitación de humedad en el suelo, es decir en el que exista plena disponibilidad hídrica y es por lo tanto un límite superior de la evapotranspiración real.

La estimación de este proceso llamado evapotranspiración potencial resulta fundamentalmente para el conocimiento de las necesidades hídricas, por lo que es de gran utilidad en la planificación de recursos hídricos y en los regadío. En la agricultura la medida o cálculos de las necesidades de agua, determinan en gran parte la elección de los cultivos, que pueden crecer en áreas de escasa precipitación. Esta idea

igualmente aplicable al campo forestal; especialmente para la elección de especies en las repoblaciones y restauraciones hidrológicas. (Martínez y Navarro, 1996).

Los factores que influyen en la evapotranspiración:

Factores climáticos: Que abarcan principalmente la radiación solar y el poder evaporante de la atmósfera, además de la temperatura, viento, luminosidad etc.

Factores edáficos: Influyen principalmente al contenido de humedad del suelo y a la facilidad por parte de este para cederla, es decir la penetrabilidad del agua a la superficie evaporante (suelo y vegetación).

Factores Biológicos: Comprenden las etapas de desarrollo de la planta y su tipo de especie, así como características de la edad, tipo de follaje y profundidad radicular. Una de las características de la especie vegetal, que está influida por las condiciones ambientales, es el número de estomas por unidad de área foliar, repartido en una proporción de 3 a 1 entre la superficie inferior y superior de la hoja, otra particularidad estrechamente relacionada con el tipo y desarrollo del sistema radicular, es la manera de abastecerse de agua distinguiéndose de tres grupos, además de las plantas acuáticas o Hidrófitas, éstos son: Mesófitas; especies de las zonas templadas y Xerófitas; especies de los desiertos, las cuales toman el agua de la zona no saturada del suelo, es decir aprovechan el agua capilar y las Freatófitas que pueden abastecerse alternadamente, de la zona saturada y de la no saturada.

Evapotranspiración potencial

Thornthwaite en el concepto de evapotranspiración potencial (ETP) implica una doble hipótesis de un mantenimiento de humedad en el suelo próxima a su capacidad de campo y un desarrollo vegetal óptimo.

Una parte del agua que cae sobre la superficie del suelo es eliminada gradualmente por un doble proceso de secado; en primer lugar, una evaporación efectuada por el viento y en segundo lugar, la transpiración efectuada por las plantas.

La evapotranspiración potencial con el método de Thornthwaite se emplea para satisfacer necesidades de agua de un cultivo en clima templado; ya que ha dado valores bajos de evapotranspiración potencial en zonas de clima árido y semi-árido. El clima que existe en la cuenca alta del río Sola de Vega es templado, por lo tanto el método mencionado puede aplicarse en el cálculo del balance hídrico regional.

Para determinar los datos de evapotranspiración potencial Anual del periodo 1962-1985 se utilizó la siguiente fórmula del método de Thornthwaite.

$$ETP = 16 \left(\frac{10t}{i} \right)^a (f) \quad i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

$$a = 0.000000675(i)^3 - 0.0000771(i)^2 + 0.01792(i) + 0.49239$$

Donde: t = Temperatura °C

i = Índice de calor anual

a = Valor exponencial

f = Factor de corrección de acuerdo a la latitud

f = (12.3)

El método de Thornthwaite para determinar la evapotranspiración potencial considera la temperatura; la latitud y la insolación, los cálculos se pueden efectuar en cada uno de los meses del año, lo cual permite apreciar las variaciones de la evapotranspiración. (Íbidem).

Tabla 3.3

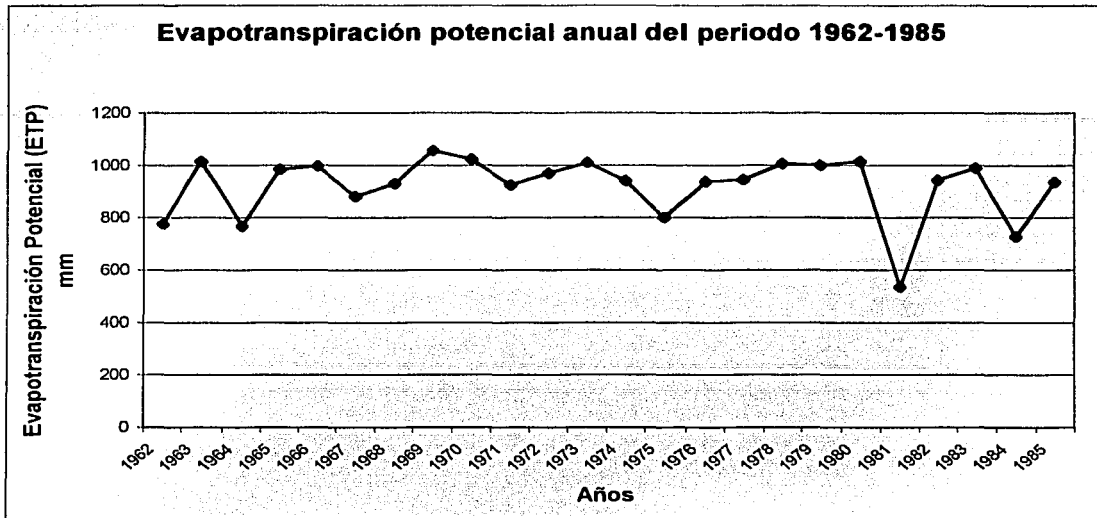
Elemento: Evapotranspiración potencial anual del periodo 1962-1985

Unidad: mm

Años	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
Anual	775.2	1013.9	767.5	983.6	997.6	881.0	930.4	1056.1	1023.2	924.0	968.6	1009.7
Años	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Anual	940.7	800.7	937.3	944.3	1006.8	999.6	1013.7	535.5	942.9	990.0	726.8	936.2

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Gráfica 3.6



La gráfica elaborada muestra los años del periodo, y los valores de ETP en Y, estos valores indican que en 1969 existió una evapotranspiración potencial: De manera general, se aprecian tres subperiodos en los cuales el primero abarca sólo tres años de 1962 a 1964 ya que señala en 1962 y 1964 dos bajas importantes en sus valores en el primer año 775.2 mm y en el segundo 767.5 mm y el valor que se interpone entre estos dos años es el máximo del subperiodo de 1013.9 mm. en el año de 1963. El segundo subperiodo abarca 16 años de 1965 a 1980, presenta una mayor estabilidad en cuanto al comportamiento de sus valores; en 1969 se presenta la máxima con 1056.1 mm de evapotranspiración potencial y el valor mínimo se presenta en 1975 con 800.7 mm. Y por último el tercer subperiodo el cual se compone de cinco años de 1981 a 1985, presenta el valor mínimo en 1981 mismo que también es el valor menor para el periodo de 23 años, este tiene 535.5 mm de evapotranspiración y el valor máximo de este subperiodo es en 1983 con 990.0 mm. En la gráfica de evapotranspiración potencial del periodo de 1962 a 1985 su correlación con otros datos indican que en 1969 existió una evapotranspiración potencial de 1056.1mm siendo el mayor del periodo este coincide con la temperatura más alta del mismo año 22°C y una

precipitación de 968.0 mm (ver gráfica 3.5) este valor es mayor a la evapotranspiración real 815.8 mm. Para la mínima presentada en este periodo de evapotranspiración potencial el valor correspondiente es 535.5 mm en 1981, aquí la precipitación es muy alta 1356.9 mm, la temperatura de 21.2°C un valor medio, y la evapotranspiración real es mucho mayor, 964.6 mm. Aquí se presenta una anomalía por que en la explicación de evapotranspiración potencial se dice que el valor de evapotranspiración real será menor o igual a evapotranspiración potencial lo cual aquí no es válido puede deberse a que la cantidad de agua que se precipitó no dio lugar a transpirarse por las plantas y existió un déficit de escurrimiento el cual permite que se evapore rápidamente la cantidad de agua que cayó elevando el valor de evapotranspiración real para el año 1981. En algunos casos, los valores de precipitación son ligeramente inferiores al valor de la evapotranspiración potencial anual, esto implica teóricamente que, de tomarse estos valores anuales como absolutos, sino, no habría agua disponible para el escurrimiento e infiltración.

Evapotranspiración real

Evapotranspiración real: Como se ha indicado la evapotranspiración potencial es un límite superior de la cantidad de agua que realmente retorna a la atmósfera por evaporación y transpiración, de manera que para estimar la evapotranspiración real debe tomarse en cuenta la cantidad de agua que efectivamente existe en la zona para evapotranspirarse. El término también se conoce como déficit de escurrimiento

Se determino el valor de la evapotranspiración real (ETR) con el método de la fórmula empírica de Turc.

Turc después de analizar sus experiencias realizadas en más de 200 cuencas repartidas por todo el mundo, llega a la siguiente expresión. (Remenieras, 1971).

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Donde: ETR = es la evapotranspiración mm

P = Precipitación anual mm

L = Parámetro térmico $L = 300 + 25(t) + 0.05(t)^3$

t = Temperatura media anual °C

Esta fórmula se empleó para calcular la evapotranspiración real anual del periodo 1962-1985.

La evapotranspiración real fue calculada con la utilización de los datos de temperatura media anual y precipitación anual del periodo 1962-1985, de la estación climatológica San Miguel Sola de Vega, por lo que los resultados también son sólo representativos para la parte donde se encuentre la estación y sus alrededores.

Tabla 3.4

Elemento: Evapotranspiración real anual del periodo 1962-1985

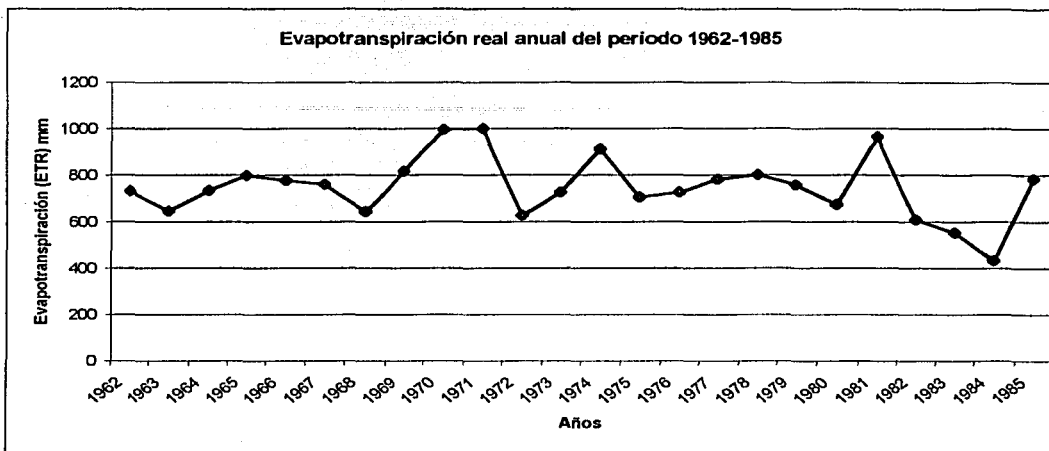
Unidad: mm

Años	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
Anual	734.0	645.1	733.3	799.0	776.6	759.9	642.4	815.9	995.3	1001.1	626.3	726.1
Años	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Anual	912.1	703.9	725.7	780.9	800.1	756.7	673.4	964.6	606.4	552.9	432.2	783.6

Los datos resultantes de Evapotranspiración real anual calculados, de acuerdo con la fórmula de Turc, sólo se pueden referir a un cálculo global de los años, con base en la temperatura media anual y la precipitación anual de periodo. Este no incluye una corrección por latitud, y presenta el inconveniente de que se desconocen las variaciones mensuales del proceso, sin embargo, el dato de evapotranspiración real anual permite su comparación con la lluvia anual y con los valores obtenidos por otros métodos de evapotranspiración potencial. (Martínez, 1980, p.26)

Los datos de evapotranspiración real anual del periodo 1962-1985 determinado por el método antes mencionado, son expresados la gráfica 3.7 en la cual se anotaron, los años de registro y los datos anuales de evapotranspiración real en mm.

Gráfica 3.7



En general se aprecia, en el periodo de 23 años tres subperiodos: uno de 1962 a 1968 en el cual, la mayor evapotranspiración se efectuó en 1965 con 799.0 mm, al inicio del subperiodo y la mínima en 1968 con 642.4 mm al final de éste, el segundo de 1969 a 1980, presentan dos máximas en el año de 1970 con 995.3 mm y 1971 con 1001.1 mm, su evapotranspiración mínima fue en 1972 con 626.3 mm. Y por último un subperiodo que muestra una máxima de 964.6 mm en el año de 1981 la cual, coincide con el año de mayor precipitación y la mínima de 432.2 mm, de evapotranspiración en el año de 1984 esto también coincide con el año de menor precipitación en el mismo subperiodo. En 1971 se presentó una evapotranspiración de 1001.1 mm y un año antes en 1970, se presenta el segundo valor más alto del periodo 995.2 mm.

Y el tercero de 1981 a 1985, 1981 se presenta el valor más alto 964.6 mm, en una correlación estos datos coinciden con los años de mayor precipitación del mismo periodo, en la gráfica también se aprecian los valores más bajos en evapotranspiración real en 1984 se presentó en mínimo de 432.2 mm y en 1983 un poco más alto que el anterior 552.7 mm coinciden estos valores con las mínimas de lluvia del mismo periodo 1962-1985.

Otra definición importante con relación a la evapotranspiración es el uso consuntivo; éste no fue cuantificado ni calculado para la cuenca tanto por la escasez de información y objetivo de la tesis. El uso consuntivo es la cantidad de agua gastada o consumida en un área dada, en unidad de tiempo, esto es para la evaporación del suelo y la transpiración vegetal, como para la formación de tejidos vegetales, dentro de las condiciones que fija el medio estudiado. Puesto que la cantidad empleada de agua para la formación de los tejidos vegetales es en realidad muy pequeña, si se le compara con los volúmenes gastados en la evapotranspiración, muchos autores relacionan directamente el concepto de uso consuntivo con el de evapotranspiración. (Luque, 1981).

3.2.4 Escurrimiento

El escurrimiento es la parte de la precipitación que fluye por gravedad por los cauces de los ríos. Otra definición más completa, indica que el escurrimiento es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes superficiales; sean estas, perennes, intermitentes o efímeras y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores. (Campos, 1992).

Los componentes del escurrimiento total son cuatro: precipitación en los cauces, escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo. Sin embargo, con fines prácticos el escurrimiento total se clasifica generalmente en escurrimiento directo y escurrimiento base; el primero integrado por la precipitación en los cauces, el escurrimiento superficial y el escurrimiento subsuperficial rápido, y el segundo constituido por el escurrimiento subterráneo y el subsuperficial de lento drenaje (Op. cit.)

Es un componente importantísimo del ciclo del agua y del balance hídrico, ya que desde el punto de vista del aprovechamiento de los recursos hidráulicos de una región o del país, el escurrimiento de una corriente, constituye la disponibilidad del agua para ser derivada y utilizada inmediatamente; en el riego y/o el abastecimiento de agua a las poblaciones, o bien para ser almacenada y empleada posteriormente en diversos fines como generación de energía eléctrica, o inclusive retenida para su control; con el objetivo de reducir los daños que causan su abundancia, ya los aguaceros torrenciales provocan las avenidas e inundaciones que generan los procesos erosivos tanto

superficiales como subterráneos y condicionan la composición química de las aguas. (ídem).

Existen factores que rigen el escurrimiento.

La escorrentía superficial íntimamente ligada con el suelo, la vegetación y con otros factores como la precipitación y la intensidad del aguacero influye en la generación de escorrentía superficial; siempre que dicha intensidad sea mayor que la velocidad de infiltración se estará produciendo lluvia neta es decir escurrimiento superficial.

La precipitación en la cuenca alta del río Sola de Vega es irregular ya que su orientación de Noroeste - Sureste y su ubicación en la vertiente del Pacífico, hace que el aire marítimo tropical la provee con sus precipitaciones; pero dada la forma elipsoide de la cuenca alta, la distribución y la intensidad de las lluvias sobre ella son diferentes en cada parte de la cuenca.

El suelo: El escurrimiento es menor en los suelos arenosos y mayor en los compactos; en realidad es inversamente proporcional a la capacidad de infiltración del terreno. La mayor parte de la cuenca alta del río sola de vega, está constituida por la unidad de suelo primario regosol el cual ya se explicaron sus características en el capítulo 1, y se menciona que es un suelo formado por material suelto, pero no aluvial, sino puede ser ceniza volcánica o arena.

La vegetación puede ser un factor que actúa positivamente reduciendo la escorrentía superficial, al frenar la velocidad de la lámina de agua, aumentando el tiempo de oportunidad de infiltración sobre todo en las montañas y laderas altas de la cuenca donde la vegetación es de bosque de pino y bosque pino-encino muy abundante. En un bosque maduro con una fauna y flora estables la escorrentía superficial puede representar alrededor del 5% de la precipitación.

3.2.5 Infiltración

Se llama infiltración al movimiento del agua de la superficie del suelo hacia su interior producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares. De la precipitación que llega al suelo una parte se filtra y otra escurre por la red de drenaje superficial del drenaje de la cuenca. Una primera fracción escapa de los procesos de evaporación y transpiración al moverse hacia el subsuelo, hacia las zonas más profundas hasta que termina de incorporarse a las capas freáticas y acuíferos. Esta

fracción que se destina entonces a la recarga de acuíferos y a proporcionar regularmente el caudal de los ríos a través de los flujos subterráneos es de gran importancia en la conformidad de los recursos hidráulicos de una zona, y por consiguiente resulta de gran interés conocer las leyes que o principios que regulan la entrada de las aguas en el interior del suelo.

De la parte infiltrada una fracción queda retenida en el suelo y pasará a ser evapotranspirada. El estudio de la infiltración es de vital importancia para la comprensión y cuantificación de la relación; precipitación—escurrimiento, ya que las cuencas de baja infiltración presentan un régimen de escurrimiento caracterizado por fuertes avenidas y gastos bajos o nulos en estiaje. En cuencas muy permeables y donde no hay estratos impermeables arriba del nivel freático; el escurrimiento será muy uniforme durante el año, esto sucede en la cuenca alta del río Sola de Vega, ya que tiende a mantener estable su cauce, aunque en época seca disminuye considerablemente su caudal; pero no se seca y lleva agua todo el año.

La importancia de la infiltración no se limita a su influencia en la relación precipitación — escurrimiento, sino que además, el agua infiltrada representa la mayor fuente de abastecimiento a los suelos, en particular donde hay plantas de cultivo.

Factores que rigen la infiltración

La precipitación, influye en cuanto a su duración e intensidad, cuando la intensidad de ésta es menor a la capacidad de infiltración, todo el agua que cae se introduce en el suelo, mientras que si es mayor el terreno no es capaz de absorber todo el agua, provocando escorrentía y encharcamiento.

Estado de la superficie del suelo: La pendiente del terreno influye en el tiempo de permanencia del escurrimiento sobre la superficie y en el espesor de la lamina del flujo sobre el terreno, mientras la pendiente sea abrupta menor es la capacidad de infiltración y si hay una pendiente suave la infiltración puede ser mayor. Labores de cultivos: Cuando un suelo está cubierto de cultivos esta protege al suelo del impacto de la lluvia frena la corriente del agua sobre la superficie, y el agua está más tiempo expuesta a infiltrarse además de que las prácticas agrícolas requeridas propician la infiltración. Suelos arcillosos: La disgregación y arrastre de materiales finos por el agua y la compactación de la superficie desnuda del suelo, por las gotas de lluvia evitan o

retardan la entrada del agua al terreno disminuyendo la infiltración. Así, un suelo con excelente drenaje puede presentar una capacidad de infiltración baja debido al sellado de la superficie y estratos superiores. Las pisadas del ganado: Favorecen la infiltración ya que crean fracturas y grietas por las cuales el agua se infiltra con facilidad. Otros factores de gran importancia que deben ser tomados en cuenta para estudios más específicos son aparte del tipo de suelo, el grado de humedad del suelo, temperatura del suelo, presencia de sustancias coloidales.

La vegetación; Las raíces de las plantas al penetrar en el suelo abren grietas que mejoran la incorporación del agua. Con respecto a lo anterior, la especie cultivada tendrá efectos en la infiltración, debido a su densidad de cobertura vegetal y de raíces. La implantación de vegetación en un terreno desnudo aumenta la infiltración, los efectos principales de la cobertura vegetal son:

- 1 Disminuye la velocidad de escorrentía superficial
- 2 Reduce y elimina el impacto de las gotas de lluvia
- 3 Aumenta la porosidad del suelo por los canales que crean las raíces
- 4 Mejora la estructura del suelo gracias al incremento de materia orgánica

Contenido de humedad y permeabilidad: La infiltración está condicionada por la mayor o menor facilidad con que el agua descienda a través del perfil edáfico. Como la capacidad de transmisión es distinta para cada horizonte, el descenso del agua se verá influenciado por el horizonte de más baja transmisibilidad, propiedad que depende de la permeabilidad y del contenido de humedad del suelo.

3.3 Balance hídrico local por franjas de lluvia de la cuenca alta del río Sola de Vega, estado de Oaxaca

El término balance hídrico fue utilizado en 1944 por el meteorólogo Thornthwaite, para referirse al balance o contabilidad entre las entradas de agua por precipitación y las salidas, éstas debidas, a la evapotranspiración, infiltración y escurrimiento. Y permite calcular un registro continuo de evapotranspiración, recarga del agua subterránea y escurrimiento a partir de un registro y una serie de observaciones sobre los suelos y la vegetación existente. (Campos, 1992).

El balance hídrico basado en el principio de que durante un cierto intervalo de tiempo el aporte de agua total a una cuenca, masa de agua o región geográfica debe

ser igual a la salida total de agua más la variación neta en el almacenamiento. (De La Lanza, 1999).

Todo balance hídrico se basa en la aplicación del principio de conservación de la masa, también conocido como ecuación de continuidad: la diferencia entre las entradas y salidas, está condicionada por la variación del volumen de agua almacenado. (Martínez y Navarro, 1996, p.245).

La fórmula para el balance hídrico es:

$$P = ET + R + I$$

Donde: P = precipitación

Volumen de la precipitación (P) = Se multiplica el área de la unidad o subunidad por la lámina de lluvia en mm

ET = Evapotranspiración

Volumen de evapotranspiración (ET) = Se multiplica el área de la unidad o subunidad por la lámina de evapotranspiración en mm

R = Escurrimiento

Volumen de escurrimiento (R) = Se multiplica el coeficiente de escurrimiento por el volumen de precipitación y se divide entre 100%.

I = Infiltración

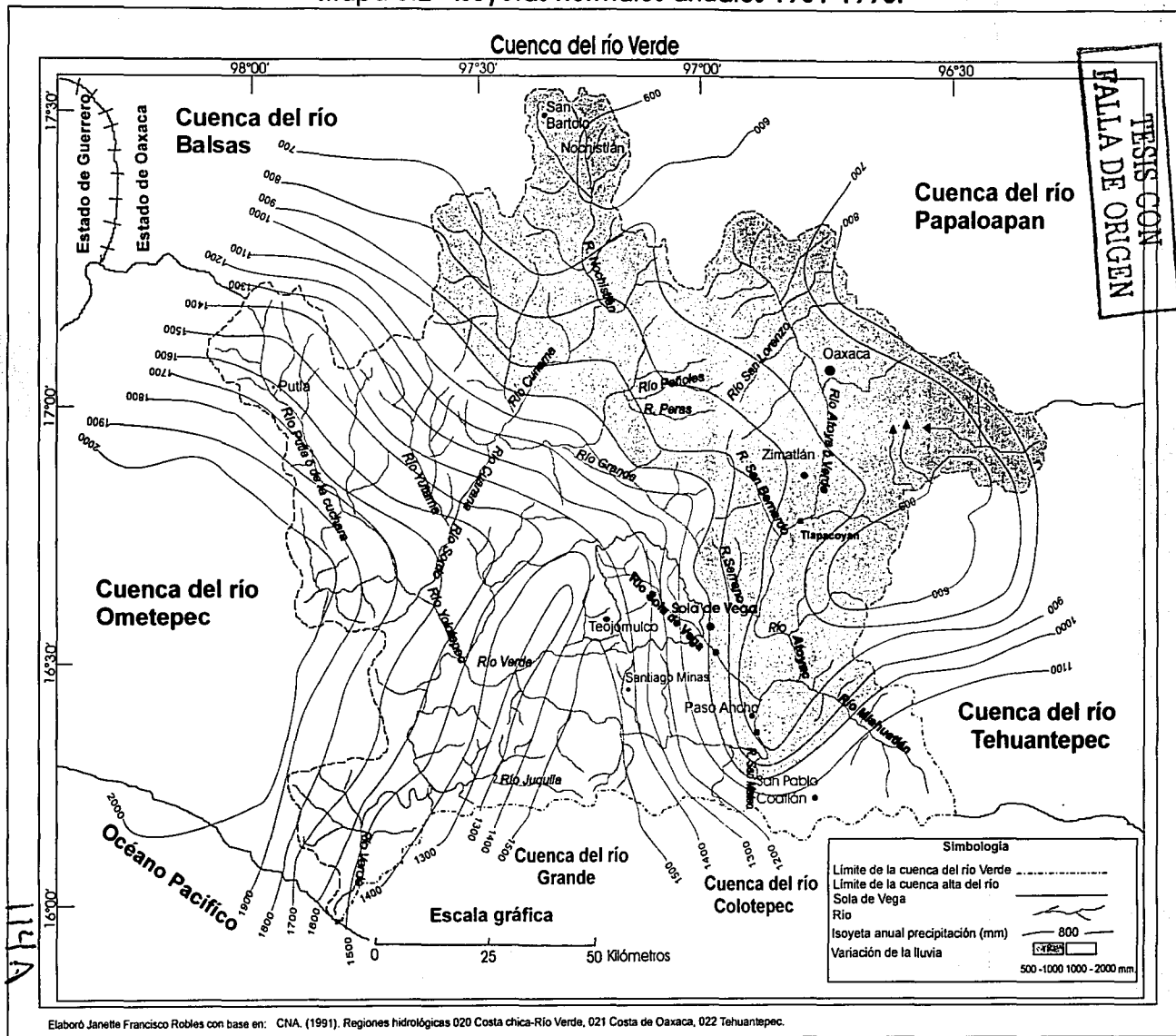
Volumen de infiltración (I) = Se multiplica el área de la unidad o subunidad por lámina de infiltración en mm

Métodos utilizados para los cálculos del balance hídrico local por franjas de lluvia y balance hídrico global de la cuenca.

3.3.1 Precipitación

Al comparar el resultado de las líneas isoyetas en los siguientes mapas se aprecian diversas variaciones en cada una de ellas, puede decirse que el mapa de Isoyetas normales anuales de la República Mexicana 1931-1990 de la Comisión Nacional del Agua (CNA), que comprende la región hidrológica número 20, Costa Chica-Río Verde (Mapa 3.2) presenta generalidades; su información es válida y permite tener una visión general de la cuenca y de sus áreas que la circundan. Las líneas isoyetas trazadas para el mapa de climas 1: 500 000, (Mapa 1.8), permite asociar directamente con las

Mapa 3.2 Isoyetas normales anuales 1931-1990.

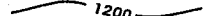




Mapa 3.5 Franjas de lluvia.

Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

SIMBOLOGÍA

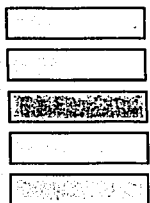
-  Curva de nivel
-  Ríos, arroyos
-  Limite de la cuenca

Franjas de lluvia

A
B
C
D
E



Unidades de escurrimiento superficial de la precipitación anual.

Coefficiente de escurrimiento (%)



- 0 - 5 %
- 5 - 10 %
- 11 - 20 %
- 21 - 30 %
- > 30 %

 900 \bar{P} Precipitación media anual

 20°
 1000

Isotermas
Temperaturas en °C
Isoyetas
Precipitación en mm.



Elaboró Janette Francisco Robles con base en:
INEGI. (1990) E14-12, Zaachila 1: 250 000

condiciones de temperatura y precipitación. La carta hidrológica de aguas superficiales muestra, supuestamente, los mejores trazos de isotermas e isoyetas, en función de la escala cartográfica. Al comparar estos mapas se nota que la distribución de la precipitación en el mapa de la CNA, y el de las franjas de lluvia, (Mapa 3.5) (hidrología de aguas superficiales muestran mayor similitud en cuanto al trazado de las líneas isoyetas, en cambio, el mapa de climas muestra una mayor variación en la orientación o trazado las isoyetas lo cual se debe a las generalizaciones que implica la climatología y por la base datos la cual, abarcó menos años.

En lo concerniente a la carta de efectos climáticos mayo—octubre (SPP),(INEGI),(1984). (Mapa 3.3) en el cual esta presente la época de lluvias, tiene un cierto parecido con el mapa de climas. Se incluye para mejor referencia la carta de efectos climáticos noviembre—abril (SPP),(INEGI),(1984). (Mapa 3.4). Estos mapas se elaboraron con fines de comparación entre sí.

Se considera que las diferencias que existen en las cartas se deben, además de la escala cartográfica, al número de años y/o periodos determinados, así como el número de estaciones del área y de la metodología empleada.

Con todos estas comparaciones se establece que la carta hidrológica de aguas superficiales, 1: 250 000, del INEGI es la más apropiada para realizar el balance hídrico, con base en las franjas de lluvia apoyada en sus líneas isoyetas del mapa a manera de regiones internas de la cuenca.

Una vez establecida la regionalización se determinaron los valores medios de agua precipitada por medio de las isoyetas preestablecidas en la carta, se obtuvieron y se determinaron cinco franjas de lluvia con las unidades A, B, C, D, E. (Mapa 3.5) se puede observar que estos valores medios de precipitación aumentan progresivamente del oriente al occidente de la cuenca.

Para obtener el volumen de agua de precipitación media que ingresa a cada franja se obtuvieron cálculos a partir de los valores límites entre cada dos isoyetas; se trazaron las isolíneas de precipitación media para cada franja. Con fines de interpretación, se calcularon porcentualmente los valores de lluvia y el área de cada franja para correlacionarse entre sí.

Para efectuar el balance hídrico de la cuenca alta del río Sola de Vega, es importante cuantificar los elementos del ciclo hidrológico que determinen la cantidad y distribución del agua total que ingresa a la cuenca; parte de la lluvia que es la única fuente de suministro; una vez conocido el volumen precipitado se pasará a los siguientes elementos.

Para obtener el volumen de precipitación (P). Se multiplica el área de la franja de lluvia o subunidad por la lámina de lluvia en mm.

Tabla 3.5. Datos de precipitación (P) por franja de lluvia

Franja de lluvia	Subunidad	Area en Km^2	Temperatura $^{\circ}C$	Lámina de precipitación media mm	Volumen de precipitación (P) $10^6 m^3$	% del área	% del volumen de precipitación(P)
A	A ₁	114.75	16.8	2000	229.499	24.3	31.4
	A ₂	12.51			24.999	2.65	3.4
Sub total A		127.26			254.498	27.0	34.8
B	B ₁	115.5	17.3	1750	201.599	24.4	27.5
	B ₂	14.7			25.821	3.1	3.5
	B ₃	6.0			10.4999	1.3	1.4
Sub total B		136.25			237.919	29.0	32.6
C	C ₁	72.0	17.6	1350	97.200	15.2	13.3
	C ₂	8.75			11.811	1.9	1.6
	C ₃	6.25			8.436	1.3	1.2
	C ₄	1.75			2.361	0.4	0.3
Sub total C		88.75			119.808	19.0	16.4
D	D ₁	28.0	19.2	1100	30.800	5.9	4.2
	D ₂	15.90			17.489	3.4	2.4
	D ₃	11.75			12.924	2.5	1.7
	D ₄	0.8			0.880	0.1	0.1
Sub total D		56.5			62.093	12.0	8.5
E	E ₁	38.4	19.7	900	34.560	8.0	4.7
	E ₂	14.75			13.277	3.0	1.8
	E ₃	9.5			8.550	2.0	1.1
Sub total E		62.70			56.387	13.0	7.7
TOTAL		471.46			730.705	100	100

La precipitación es el elemento más importante en el balance hídrico porque representa la entrada de agua a la cuenca, la mayor precipitación de la cuenca en estudio tiene lugar en la época del verano, Ésta varía notablemente en toda la cuenca, ya que las partes más altas son las de mayor precipitación, debido a la zona boscosa que existe registrando hasta 2000 mm anuales, mientras que en las partes bajas se registran valores como 900 mm anuales. Con los valores de lámina de precipitación y el área que ocupa se determina el volumen de agua que entra a la cuenca.

3.3.2 Evapotranspiración

Para calcular la lámina de evapotranspiración, correspondiente al balance hídrico de la cuenca, se utilizó también la fórmula empírica de Turc ya mencionada. (Remenieras, 1971).

$$ET = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Donde: ET = es la evapotranspiración mm

P = Precipitación Anual mm

L = Parámetro térmico $L = 300 + 25(t) + 0.05(t)^3$

t = Temperatura media anual °C

Utilizando los valores de precipitación media de la franja de lluvia y los valores de temperatura que resultaron de los ajustes realizados a las isotermas por medio del método de gradiente térmico.

Para obtener el volumen de la evapotranspiración (ET). Se multiplica el área de la franja de lluvia o subunidad por la lámina de evapotranspiración mm.

Tabla 3.6. Datos de evapotranspiración (ET) por franja de lluvia

Franja de lluvia	Subunidad	Area en Km ²	Temperatura °C	Lámina de precipitación media mm	% Parcial de la lámina de (ET)	Volumen de (ET) 10 ⁶ m ³	% del área	% del volumen de (ET)
A	A ₁	114.75	16.8	2000	18.9	43.570	24.3	18.7
	A ₂	12.51				4.746	2.65	2.1
Sub total A		127.26				48.316	27.0	20.8
B	B ₁	115.5	17.3	1750	24.9	50.192	24.4	21.6
	B ₂	14.7				6.426	3.1	2.7
	B ₃	6.0				2.614	1.3	1.1
Sub total B		136.25				59.341	29.0	25.5
C	C ₁	72.0	17.6	1350	37.4	36.324	15.2	15.6
	C ₂	8.75				4.414	1.9	1.9
	C ₃	6.25				3.153	1.3	1.4
	C ₄	1.75				0.882	0.4	0.4
Sub total C		88.75				44.773	19.0	19.3
D	D ₁	28.0	19.2	1100	54.3	16.731	5.9	7.2
	D ₂	15.90				9.500	3.4	4.1
	D ₃	11.75				7.020	2.5	3.0
	D ₄	0.8				0.478	0.1	0.2
Sub total D		56.5				33.729	12.0	14.5
E	E ₁	38.4	19.7	900	82.01	28.343	8.0	12.2
	E ₂	14.75				10.800	3.0	4.6
	E ₃	9.5				7.011	2.0	3.0
Sub total E		62.70				46.154	13.0	19.8
TOTAL		471.46				232.313	100	100

El volumen de evapotranspiración determina una salida o pérdida de agua de la cuenca causada por este fenómeno.

3.3.3 Escurrimiento

Hay que tomar en cuenta que si se quiere evaluar el volumen de agua de escurrimiento, la fuente más viable son las cartas hidrológicas de aguas superficiales del INEGI en escala 1:250 000 a cambio de no tener información en estaciones hidrométricas distribuidas en el interior de la cuenca. Una vez que se establecieron las franjas de lluvia con base en el las cartas mencionadas se establecieron los coeficientes de escurrimiento dentro de la cuenca (Mapa 3.6). El área que abarca ese coeficiente se cuantifica para obtener el volumen correspondiente a cada una de las franjas territoriales. Por medio de la lámina de escurrimiento R, se considera que la lamina de lluvia media anual correspondiente a cada una de las franjas que equivalen localmente al 100 % de ingreso. Con base en esto se determina cual es la lámina equivalente que corresponde al coeficiente porcentual del escurrimiento.

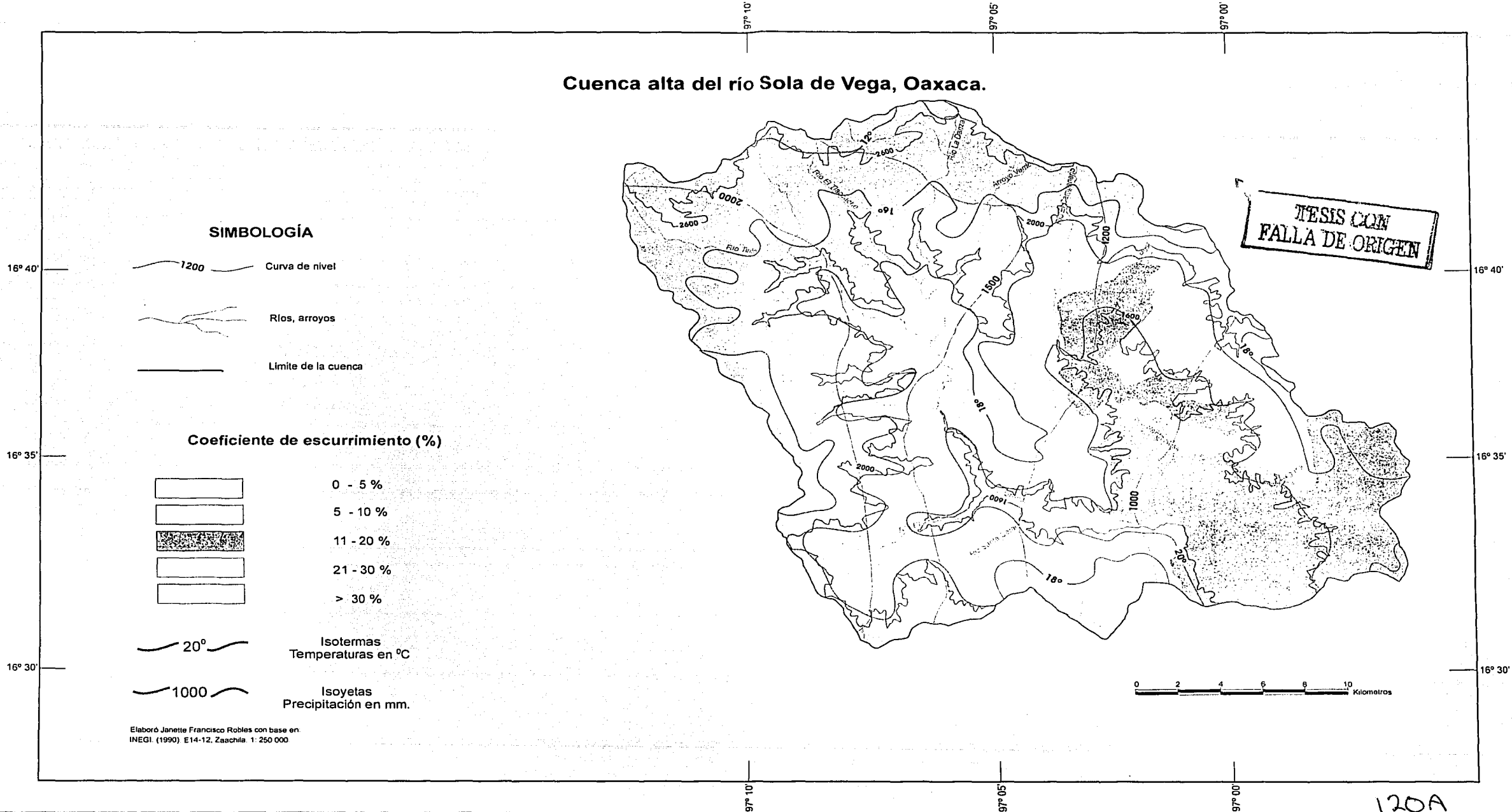
Para la cuenca alta del río Sola de Vega se puede decir que el escurrimiento en particular con base en análisis de mapas principalmente el de la densidad de drenaje y características físicas de la cuenca, es alto en las zonas de montañas y laderas altas ya que la vegetación boscosa retiene el agua precipitada retardando sólo un poco el escurrimiento, ya que el declive es pronunciado, y las precipitaciones son mayores en esta unidad de relieve conforme se avanza al centro de la cuenca se va concentrando el escurrimiento en los cauces principales. En la parte baja de la cuenca el escurrimiento tiene mayor capacidad de arrastre y es una zona de escurrimiento medio-bajo, con riesgos a desbordamientos ya que sus declives son muy suaves.

Para determinar el volumen de escurrimiento (R): Se sustituye la siguiente fórmula con los datos correspondientes.

$$\frac{(\text{Volumen de precipitación } 10^6 m^3) (\text{coeficiente de escurrimiento } \%) }{100 \%} = \text{Volumen de escurrimiento } 10^6 m^3$$

Mapa 3.6 Coeficientes de escurrimiento de las franjas de precipitación consideradas para efectuar el balance hídrico.

Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.



Elaboró Janette Francisco Robles con base en INEGI. (1990) E14-12, Zaachila 1: 250 000

120A

Tabla 3.7. Datos de escurrimiento (R) por franja de lluvia

Franja de lluvia	Subunidad	Área en Km ²	Coefficiente de (R) %	Lámina de precipitación media mm	Lámina (R) mm	Volumen de (R) 10 ⁶ m ³	% del área	% del volumen de (R)
A	A ₁	114.75	21	2000	420.0	48.195	24.3	32.7
	A ₂	12.51	30		600.0	7.500	2.65	5.1
Sub total A		127.26				55.695	27.0	37.8
B	B ₁	115.5	21	1750	367.5	42.446	24.4	28.7
	B ₂	14.7	30		525.0	7.717	3.1	5.3
	B ₃	6.0	10		175.0	1.050	1.3	0.7
Sub total B		136.25				51.129	29.0	34.7
C	C ₁	72.0	21	1350	283.5	20.412	15.2	13.9
	C ₂	8.75	20		270.0	2.362	1.9	1.6
	C ₃	6.25	10		135.0	0.843	1.3	0.6
	C ₄	1.75	5		67.5	0.118	0.4	0.08
Sub total C		88.75				23.735	19.0	16.1
D	D ₁	28.0	21	1100	231.0	6.468	5.9	4.4
	D ₂	15.90	20		220.0	3.498	3.4	2.4
	D ₃	11.75	5		55.0	0.646	2.5	0.4
	D ₄	0.8	10		110.0	0.088	0.1	0.05
Sub total D		56.5				10.700	12.0	7.3
E	E ₁	38.4	11	900	99.0	3.801	8.0	2.6
	E ₂	14.75	12		108.0	1.682	3.0	1.1
	E ₃	9.5	5		45.0	0.427	2.0	0.3
Sub total E		62.70				5.910	13.0	4.0
TOTAL		471.46				147.169	100	100

El escurrimiento es variable en toda la cuenca ya que se presentan los mayores volúmenes y porcentajes en las partes altas, debido a las lluvias orográficas y convectivas que se producen en esa zona va descendiendo del occidente hacia el oriente de la cuenca.

¹ Nota: Los valores del coeficiente de escurrimiento (R), se obtuvieron y fueron determinados a partir de la carta Hidrológica de aguas superficiales, 1: 250 000, del INEGI.

Las estaciones hidrométricas Tlapacoyan y Paso Ancho tiene registros hidrométricos de 1972 a 1981 que no pertenecen a la cuenca y ambas estaciones no corresponden al tema central de la tesis, pero se realizó un análisis datos y gráficas que incluyen volúmenes de escurrimientos medios mensuales y anuales de los caudales.

En cuanto a los datos de volumen de escurrimiento anual de cada una de las estaciones hidrométricas se elaboraron las siguientes tablas 3.8 y 3.9 cada uno con su respectiva gráficas 3.8, 3.9 para Tlapacoyan y 3.10, 3.11 para Paso Ancho.

Tabla 3.8

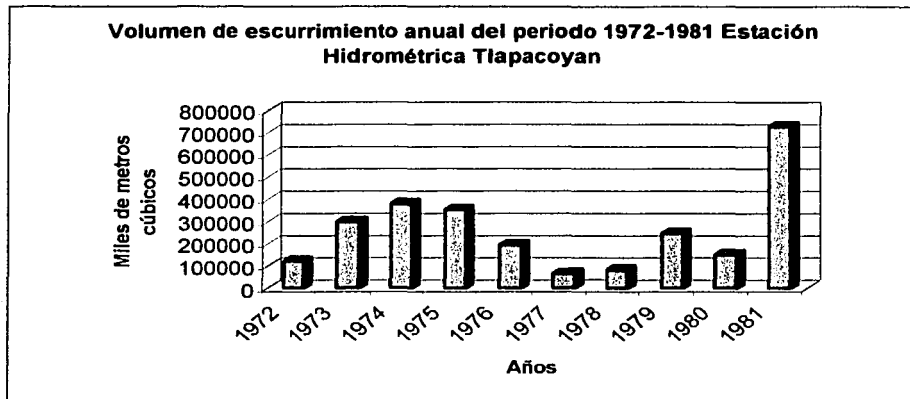
Estación Hidrométrica: Tlapacoyan. Clave: 20026
 Corriente: Río Atoyac. Región: 20 Costa Chica-Río Verde.
 Cuenca Atoyac o Río Verde. Estado: Oaxaca.
 Elemento: Volumen de escurrimiento anual y medio mensual del periodo 1972-1981
 Unidad: miles de metros cúbicos. ($10^3 m^3$)

Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1972	250	320	410	632	2244	67338	14784	19926	10391	1636	2894	516	121341
1973	243	220	192	1273	782	14487	33078	78611	134465	27699	4965	1737	297752
1974	889	385	1102	178	5343	105007	117773	14507	73746	48974	7335	3507	378746
1975	1725	2068	636	387	6474	28974	54568	18993	205486	24862	4735	2848	351756
1976	2251	1545	483	5986	8138	10696	133722	7311	10039	10503	1905	880	193459
1977	373	284	297	271	2819	16009	1647	4747	13805	22324	1888	325	64789
1978	199	173	486	186	1615	21893	6456	5282	26491	17788	970	306	81845
1979	226	174	135	2339	5219	2975	7017	15179	198563	9722	2777	786	245112
1980	537	174	361	134	3272	6080	3954	45588	62676	23149	2662	1042	149629
1981	443	244	206	142	4100	226880	154015	143014	119614	57591	13346	5215	724810
Media Mensual	713.6	558.7	430.8	1152.8	4000.6	50033.9	52701.4	35315.8	85527.6	24424.8	4347.7	1716.2	2609239

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Superficiales, Pacífico Sur.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

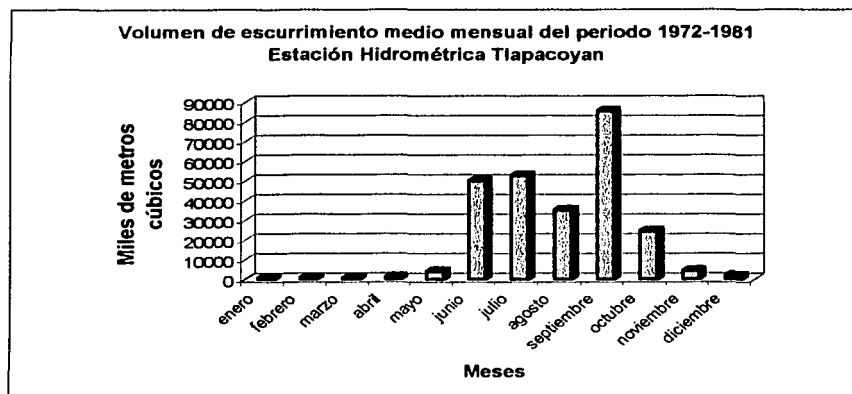
Gráfica 3.8



La gráfica muestra los valores de volumen de escurrimiento de la estación hidrométrica Tlapacoyan durante, los años del periodo los cuales son 10, e indican los volúmenes expresados en miles de metros cúbicos ($10^3 m^3$). La gráfica muestra de manera general dos subperiodos: Uno que abarca cinco años el cual va de 1972 a 1976 señala que el comportamiento de este subperiodo presenta al inicio el valor más bajo del subperiodo con un volumen medio anual de escurrimiento de $187268 \times 10^3 m^3$ en 1972, después los valores ascienden hasta alcanzar un máximo en 1974 con un volumen de $380347 \times 10^3 m^3$ y nuevamente desciende hasta $193458 \times 10^3 m^3$ de escurrimiento en 1976. El segundo subperiodo consta de cinco años desde 1977 a 1981, El valor más bajo del subperiodo incluso de todo el periodo en general se presenta en el año de 1977 con $44788 \times 10^3 m^3$ el valor asciende en los años de 1978 y 1979; pero en 1980 baja notoriamente y para el año 1981 se eleva drásticamente el volumen de escurrimiento siendo el valor más alto de todo el periodo con $724810 \times 10^3 m^3$. Particularmente la gráfica muestra que el año con mayor volumen medio anual de escurrimiento del periodo 1972-1981 es en 1981 efectivamente; con $724810 \times 10^3 m^3$ y el año con menor volumen de escurrimiento es en 1977; con tan sólo $44788 \times 10^3 m^3$. Los demás valores como se puede ver en la gráfica 3.8, están comprendidos dentro de estos dos polos, con valores que no son tan extremos a excepto del año 1978 que cuenta con un volumen medio anual de escurrimiento de

$81844 \times 10^3 m^3$. aproximándose al menor valor del periodo el cual se presenta un año antes.

Gráfica 3.9



En la gráfica 3.9 al analizar la información de escurrimiento medio mensual del periodo 1972-1981, de la estación Tiapacoyan se nota que los caudales mínimos se registran durante los meses de enero hasta abril y estos registros coinciden con la época seca del año, en marzo se presenta un volumen de $430800 \times 10^3 m^3$. El caudal empieza a aumentar a partir del mes de mayo, alcanzando los máximos escurrimientos durante los meses de junio, julio, agosto, y con el máximo volumen de escurrimiento medio mensual el mes de septiembre con $85527600 \times 10^3 m^3$ y para en el mes de octubre comienza a descender. También se pudo observar que los registros indican un aumento notable del caudal en el mes de julio y que hay una disminución en agosto y vuelve a aumentar en el mes de septiembre.

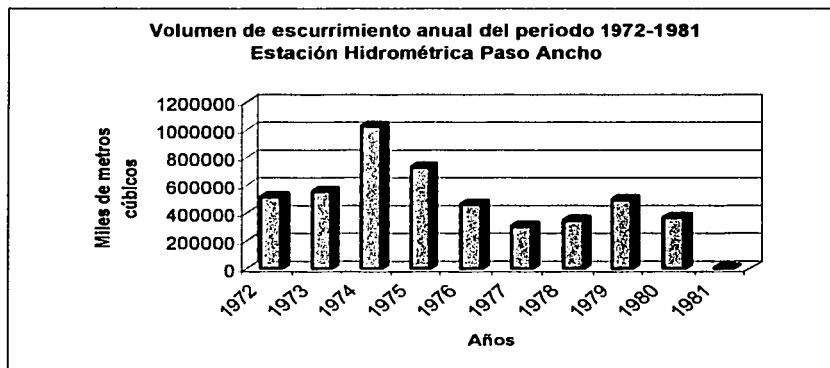
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.9
 Estación Hidrométrica: Paso Ancho. Clave: 20036
 Corriente: Río Atoyac. Región: 20 Costa Chica-Río Verde.
 Cuenca Atoyac o Río Verde. Estado: Oaxaca.
 Elemento: Volumen de escurrimiento anual y medio mensual del periodo 1972-1981
 Unidad: miles de metros cúbicos ($10^3 m^3$)

Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1972	13922	10631	8738	11711	15147	206758	87557	71183	54524	22044	228	12258	514701
1973	7849	4241	3538	5589	5607	35888	61243	203059	195369	7656	24309	1378	555726
1974	9378	5847	6596	5005	16558	394832	271444	86479	20097	124986	47863	34292	1023377
1975	17226	12228	8968	7206	40525	86965	128422	9242	363381	7025	26803	19398	727389
1976	13226	8605	7613	15859	23656	3402	239865	37571	33228	51902	16883	10025	461835
1977	6626	3855	3224	2624	20825	71648	23753	27923	72792	39686	21094	9703	303753
1978	5	3584	6337	2957	8722	57155	33433	38805	91813	74381	16758	12411	346361
1979	8074	5735	4327	7839	16705	15712	26928	58241	292267	35364	14269	10249	495710
1980	7151	4556	3018	4918	16031	10595	25658	110346	98158	63889	13617	7744	365681
1981	5	3	3	3	10	254	307	338	322	150	58	33	1486
Media Mensual	8346.2	5928.5	5236.2	6371.1	16378.6	88320.9	89861	64318.7	122195.1	42708.3	18188.2	11749.1	4796019

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Superficiales, Pacífico Sur.

Gráfica 3.10



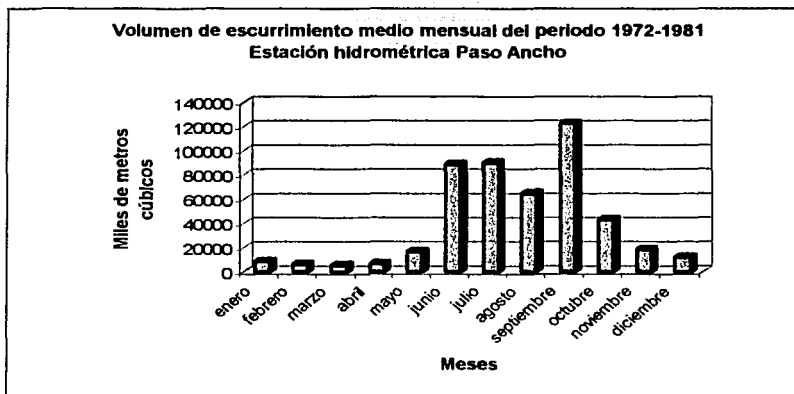
La gráfica que contiene los datos de volumen de escurrimiento de la estación hidrométrica Paso Ancho, muestra a simple vista dos subperiodos al igual que la gráfica 3.8; en ésta el primer subperiodo con cinco años que van de 1972 a 1976 este, contiene los valores más altos de volumen de escurrimiento anual, inclusive el mayor volumen se presenta en 1974. El segundo subperiodo se agrupa de igual manera cinco años que van de 1977 a 1981, este subperiodo tiende a mantenerse estable, pero en el

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

último año 1981 descendió el volumen de escurrimiento medio anual drásticamente a $1487 \times 10^3 m^3$. En particular la gráfica perteneciente al periodo 1972-1981 muestra que el año 1974 con un valor del volumen de escurrimiento anual de $1204250 \times 10^3 m^3$ es el más elevado a comparación de los demás años. Podría suponerse que es por la ubicación de la estación ya que ésta registra todo lo que la estación anterior ya registró, más lo que aporten los demás afluentes del río Atoyac que se localizan entre las dos estaciones hidrométricas, estas son: el río Serrano, Miahuatlán, Sola de Vega y otros más pequeños sin nombre. El presente periodo tiene un valor intermedio el cual se presenta en 1981 con $1487 \times 10^3 m^3$, en la gráfica anterior 3.10, en este mismo año fue el valor más alto. Y por último el valor más bajo del periodo se presenta en 1977; con $303753 \times 10^3 m^3$ de volumen de escurrimiento, coincidiendo con el volumen más bajo de la estación anterior.

Con la información hidrométrica y gráficas anteriores sobre todo las que registran el volumen de escurrimiento anual, se pueden comparar los datos de las dos estaciones, y se observa con claridad el aumento y disminución de una a otra en los mismos años, lo más raro que se observa es que en 1981, se presenta el volumen mínimo en Paso Ancho en la que debería presentarse un valor mayor a Tlapacoyan, esta es una anomalía que no se resolvió en la tesis y se sugiere que más adelante se realice un estudio para definir el problema en particular.

Gráfica 3.11



En la gráfica 3.11 al analizar la información de escurrimiento medio mensual del periodo 1972–1981, perteneciente a la estación Paso Ancho se distinguen dos subperiodos el seco y el húmedo al igual que se detecto para la estación Tlapacoyan en esta misma modalidad. Los valores de escurrimiento más bajos que se presentan se puede decir que pertenecen a la época seca del año y el escurrimiento mínimo que se registro en marzo es de $5236200 \times 10^3 m^3$. Los valores de escurrimientos máximos se presentan en la época húmeda. El caudal aumenta en los meses de junio hasta octubre y se alcanza una máxima en septiembre con $122195100 \times 10^3 m^3$ y para en el mes de octubre comienza a descender. También se pudo observar que los registros indican un aumento notable del caudal en el mes de junio y que hay una disminución en agosto y vuelve a aumentar en el mes de septiembre.

Con base en las observaciones anteriores puede afirmarse que los caudales del río Sola de Vega tiene un comportamiento similar en lo concerniente al tiempo. Además es necesario indicar que el escurrimiento de toda la cuenca del río Sola de Vega, como afluente del Atoyac, queda registrada en la estación Paso Ancho. Los registros hidrométricos de la estación Tlapacoyan son independientes de los caudales de la cuenca del río Sola de Vega. Cabe indicar, que el caudal del río Atoyac aumenta con el agua que aporta el río Sola de Vega, por lo tanto esto se registra en la estación Paso Ancho junto con las descargas mínimas de otros afluentes comprendidos entre la confluencia y la estación.

3.3.4 Infiltración

La infiltración de la cuenca alta del río Sola de Vega está condicionada como ya se indicó por una serie de características como la pendiente del terreno la cual es muy pronunciada en la unidad de relieve montañas y laderas altas aunque la vegetación boscosa retiene el escurrimiento y por tanto el tiempo de infiltración es mayor, y se considera una zona de recarga de acuíferos, además que los suelos que se encuentran ahí son de textura media lo cual indica que la velocidad de infiltración es moderada cuando los suelos están mojados. Son básicamente suelos arenosos. En la tabla 3.10 se presentan las mayores infiltraciones en las franjas A y B. En los lugares donde se encuentra la roca caliza al Este y Sur de la cuenca permite una mayor infiltración ya

que esta roca actúa como una esponja. En las partes bajas de la cuenca la infiltración es menor franjas D y E, dado que las sedimentos acumulados por el arrastre de material por el escurrimiento forma texturas finas en el suelo, lo cual indica, bajas velocidades de infiltración y los estratos de arcilla impiden el flujo del agua a pesar de que el declive es muy suave, las labores agrícolas que sólo se llevan acabo en las partes bajas de la cuenca ayudan poco a la infiltración ya que las prácticas agrícolas fracturan la tierra permite la introducción del agua al suelo. En los lugares donde las pisadas del ganado son frecuentes, la infiltración se complica ya que dichas pisadas compactan el suelo y tapan los poros por donde se infiltra el agua.

Para determinar la Infiltración mm (I):

$$I = P - (ET + R)$$

Para obtener el volumen de infiltración: Se multiplica el área de la franja de lluvia o subunidad por la lámina de infiltración en mm.

Tabla 3.10 Datos de infiltración (I) por franja de lluvia

Franja de lluvia	Sub unidad	Area en Km ²	Temperatura ° C	Lámina de precipitación media mm	Láminas de ET+R mm	Infiltración (I) mm P-(ET + R)	Volumen de infiltración (I)10 ⁶ m ³	% del área	% del volumen de infiltración (I)
A	A ₁	114.75	16.8	2000	799.7	1200.3	137.734	24.3	39.2
	A ₂	12.51			979.7	1020.3	12.753	2.65	3.6
Sub total A		127.26					150.487	27.0	42.8
B	B ₁	115.5	17.3	1750	803.2	946.8	109.071	24.4	31.0
	B ₂	14.7			960.7	790	11.642	3.1	3.3
	B ₃	6.0			610.7	1139.3	6.835	1.3	1.9
Sub total B		136.25					127.548	29.0	36.3
C	C ₁	72.0	17.6	1350	788	562	40.464	15.2	11.5
	C ₂	8.75			777.5	575.5	5.035	1.9	1.4
	C ₃	6.25			639.5	710.5	4.440	1.3	1.3
	C ₄	1.75			572	778	1.361	0.4	0.4
Sub total C		88.75					51.203	19.0	14.6
D	D ₁	28.0	19.2	1100	828.5	271.5	7.602	5.9	2.2
	D ₂	15.90			817.5	282.5	4.491	3.4	1.3
	D ₃	11.75			652.5	447.5	5.258	2.5	1.5
	D ₄	0.8			707.5	392.5	0.314	0.1	0.08
Sub total D		56.5					17.665	12.0	5.0
E	E ₁	38.4	19.7	900	837.1	62.9	2.415	8.0	0.7
	E ₂	14.75			846.1	53.9	0.795	3.0	0.2
	E ₃	9.5			783.1	116.9	1.110	2.0	0.3
Sub total E		62.70					4.32	13.0	1.2
TOTAL		471.46					351.223	100	100

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

El volumen de infiltración varía de acuerdo a las franjas, por lo que se observa en la tabla anterior disminuye conforme se va descendiendo de occidente a oriente de la cuenca.

A continuación se presentan tres tablas: 3.11, 3.12 y 3.13 con los datos de precipitación (P), evapotranspiración (ET), escurrimiento (R), e infiltración (I) una tabla con los datos de volumen expresados en millones de metros cúbicos ($10^6 m^3$) otra con los porcentajes (%) y por último la tabla que contiene las laminas totales de las mismas variables expresadas en mm.

Tabla 3.11 Volumen total de las variables que constituyen el balance hídrico local por franjas de lluvia

Franja de lluvia	Area en Km^2	Volumen de precipitación(P) $10^6 m^3$	Volumen de evapotranspiración(ET) $10^6 m^3$	Volumen de escurrimiento(R) $10^6 m^3$	Volumen de infiltración(I) $10^6 m^3$
A	127.26	254.498	48.316	55.695	150.487
B	136.25	237.919	59.341	51.129	127.548
C	88.75	119.808	44.773	23.735	52.203
D	56.5	62.093	33.729	10.700	17.665
E	62.70	56.387	46.154	5.910	4.320
TOTAL	471.46	730.705	232.313	147.169	351.223

Tabla 3.12. Porcentaje de las variables que constituyen el balance hídrico por franja de lluvia

Franja de lluvia	% del área	% del volumen de precipitación(P)	% del volumen de evapotranspiración(ET)	% del volumen de escurrimiento(R)	% del volumen de infiltración(I)
A	27.0	34.8	20.8	37.8	42.8
B	29.0	32.6	25.5	34.7	36.3
C	19.0	16.4	19.2	16.1	14.6
D	12.0	8.5	14.5	7.3	5.0
E	13.0	7.7	19.8	4.0	1.2
TOTAL	100	100	100	100	100

Tabla 3.13. Láminas totales de las variables que constituyen el balance hídrico local por franja de lluvia expresadas en mm

Franja de lluvia	Área en Km ²	Lámina de precipitación media (P) en mm	Lámina de evapotranspiración (ET) en mm	Lámina de escurrimiento(R) en mm	Lámina de infiltración(I) en mm
A	127.26	2000	379.7	1020.0	2220.6
B	136.25	1750	435.7	1067.5	2876.1
C	88.75	1350	504.5	756.0	2626.0
D	56.5	1100	597.5	616.0	1394.0
E	62.70	900	738.1	252.0	233.7
TOTAL	471.46				

En la tabla 3.11, correspondiente a los cálculos de volúmenes se puede observar que los valores más altos siempre se presentan en correlación directa con la columna de precipitación, le siguen la infiltración en la franja A, B y C. Esto representa una entrada de agua como fuente de abastecimiento a los acuíferos de la cuenca.

En la franja D, el volumen más alto es para la evapotranspiración allí se presenta una salida de agua a través de este proceso.

Para el caso de la franja E, se tiene presente que esta zona es propicia para la agricultura, ya que los suelos que constituyen el terreno son apropiados y muy fértiles, además la temperatura y la precipitación son factores que favorecen esta actividad. En ésta misma franja se ubica la mayoría de la población que existe en la cuenca, por lo tanto, los volúmenes de extracción de agua para diversos usos es alto. También puede decirse que existe un volumen notable de entrada de agua al territorio de esta franja; pero retorna a la atmósfera por la evapotranspiración local, misma que se presenta como el tercero más alto en volumen de esta franja E. Esto puede deberse a que el agua utilizada en esta zona es para la irrigación de cultivos lo cual, a su vez aumenta la evapotranspiración de esta franja. En tercer lugar, el valor del volumen de agua que escurre es un valor bajo ya que casi todo el volumen de agua que se precipita se evapotranspira. Y por último con un valor muy bajo comparado con las columnas anteriores pertenece a la infiltración ya que el volumen de escurrimiento es más alto y no permite que el agua se infiltre con rapidez.

En la tabla 3.12 se pueden apreciar los mismos elementos del balance sólo que, los datos se expresan en porcentaje. Todos los valores descienden conforme a las franjas,

en el (Mapa 3.5), pero esto se debe a que las franjas cambian y descienden sus valores conforme a las áreas. En el mapa se observa como están distribuidas, la franja de lluvia, A al extremo occidente de la cuenca y la franja E al extremo oriente y las demás entre estas dos. El porcentaje de infiltración en la franja A, con 42.8 %; este valor es mucho mayor que en cualquiera de las otras variables. El escurrimiento ocupa el segundo lugar con 37.8 %; cabe indicar que es una zona muy poco poblada y la extracción de agua es muy escasa. En tercer lugar esta la precipitación de 34.8 %, lo cual es más alta que la evapotranspiración, esta franja ocupa la mayor parte de las montañas y laderas altas de la cuenca.

Al igual que en la franja de lluvia B, que se localiza en la parte Oeste de la cuenca con una dirección Norte-Sur el porcentaje de infiltración es de 36.3 % y 34.7 % de escurrimiento, es también una zona con escasa población, esta no llega a los 200 habitantes y la demanda de agua en realidad es poca, de unos 30 litros por persona en este lugar, aunque los valores de escurrimiento del 34.7 % no son tan altos como en la franja anterior que llegan a 37.8 %. Luego le sigue la precipitación con 32.6 % y por último nuevamente la evapotranspiración con 25.5 %.

En la franja de lluvia C, ubicada en la porción centro de la cuenca, el porcentaje más alto, le corresponde a la evapotranspiración 19.2 %; esto se debe a que conforme disminuye la altitud aumenta la temperatura y mengua la lámina de precipitación y en cambio la lámina de la evapotranspiración aumenta propiciando altos índices referentes a este elemento. En segundo lugar la precipitación con 16.4 %, el escurrimiento es el tercero con 16.1 % y por último la infiltración con 14.6 %.

Para la franja de lluvia D, ubicada en la porción Este de la cuenca, el valor más alto también le corresponde a la evapotranspiración con 14.5 %, luego la precipitación con 8.5 %, el escurrimiento con 7.3 % y en último lugar la infiltración con 5.0 %.

Y por último la franja de lluvia E, localizada en la porción Sureste de la cuenca que se encuentra en una parte que abarca zona de lomeríos y valles fluviales en la parte baja de la cuenca y una parte del talud de transición. Aquí la evapotranspiración ocupa el porcentaje más alto, 19.8 %; luego la precipitación con 7.7 % y después el escurrimiento con 4.0 %. Esta es una zona muy poblada, y en donde se desarrolla la actividad agrícola ya que las condiciones físicas de este lugar favorece la agricultura y

el agua que extraen los habitantes es principalmente para uso doméstico, e irrigación agrícola por lo cual la demanda de agua es muy alta.

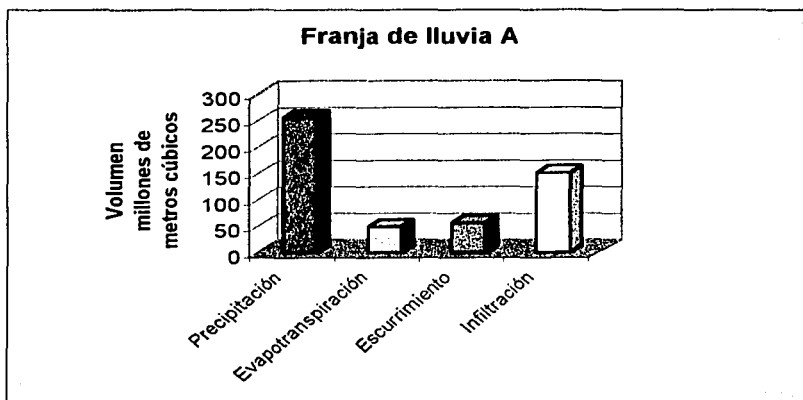
El riego hace que aumenten los valores de pérdidas de agua por evapotranspiración ya que aquí la temperatura es más elevada que en los otros lugares, a lo cual se suma la extracción de agua para uso doméstico, esto hace que disminuyan los valores de escurrimiento. Por último está, la infiltración, con 1.2 %.

Al analizar los datos y la ubicación de las franjas de lluvia junto con los tipos de vegetación predominante en cada zona, los datos son totalmente concordantes en las partes altas los valores mayores corresponden a la precipitación y a la infiltración esto se debe que en las partes altas la vegetación es boscosa, lo cual facilita la infiltración hacia el subsuelo constituido por toba volcánica y fracturamientos en los estratos rocosos. Los elementos con menor valor en el lugar antes mencionado son la evapotranspiración y el escurrimiento. En las partes más bajas la evapotranspiración y el escurrimiento ocupan los valores de porcentajes más altos esto se debe, que en las partes bajas hay vegetación escasa y poco frondosa que no retiene el escurrimiento además que la temperatura es más elevada en este lugar y el suelo es poco permeable ya que ahí se deposita todo el material de arrastre que trae consigo el escurrimiento superficial y la escorrentía tapando con arcillas las fracturas, grietas o poros del suelo. Con base en este balance inicial, de tipo general de la cuenca alta del río Sola de Vega, se determinó que el punto terminal del cauce principal, ubicado en la zona de lomeríos y valles fluviales, se intercepta aproximadamente un 4.0 % del escurrimiento que proviene de las partes altas de la cuenca.

En la tabla 3.13 se observan los valores de las láminas de cada una de las variables del balance hídrico por franja de lluvia, se observan valores diferentes ya que estos están expresados en milímetros, esto permite apreciar desde otro punto de vista como se presentan distribuidos estos valores en las franjas de lluvia aunque porcentualmente representen el mismo volumen.

Para una mejor visualización de los volúmenes, se graficó cada una de las franjas de lluvia, con gráfica de barras con el fin de establecer objetivamente comparaciones inmediatas.

Gráfica 3.12



En la gráfica 3.12, correspondiente a la franja de lluvia A, se observa que la entrada de agua en esta parte de la cuenca es de 254.498 millones de metros cúbicos de precipitación anual, y presenta una salida de agua, de las que comprende:

$$\text{Evapotranspiración} = 48.316 \times 10^6 \text{ m}^3$$

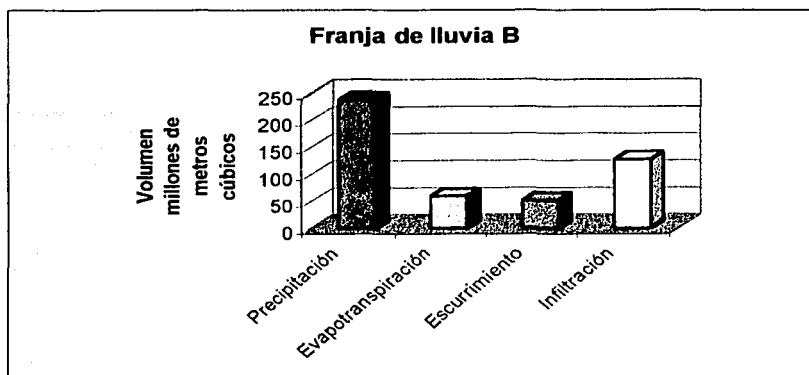
$$\text{Escurrimiento} = 55.695 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{infiltración} = 150.487 \times 10^6 \text{ m}^3$$

De las cuales el valor en volumen más alto corresponde a la infiltración.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Gráfica 3.13



En la gráfica 3.13, correspondiente a la franja de lluvia B, se observa que la entrada de agua en esta parte de la cuenca es de un volumen de precipitación de 237.919 millones de metros cúbicos anuales, menor a la cantidad que entra en la franja A. Presenta una salida de agua de la siguiente manera:

$$\text{Evapotranspiración} = 59.341 \times 10^6 \text{ m}^3$$

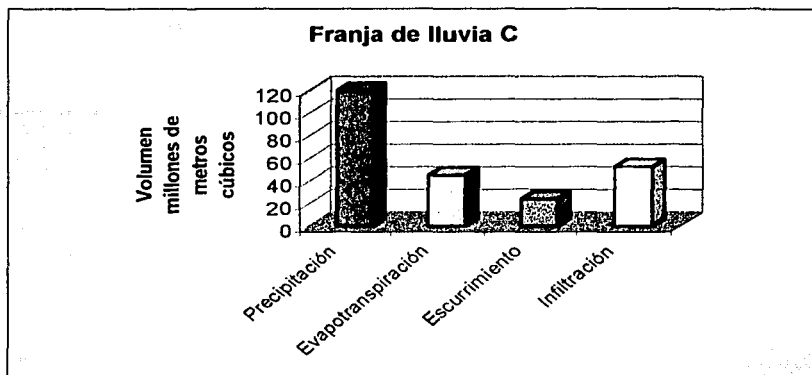
$$\text{Escurrimiento} = 51.129 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Infiltración} = 127.548 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Al igual que en la franja anterior el valor del volumen de infiltración es el más alto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Gráfica 3.14



En la gráfica 3.14, correspondiente a la franja de lluvia C, se observa que la entrada de agua es de un volumen de precipitación de 119.808 millones de metros cúbicos anuales, se nota que el volumen de la precipitación va descendiendo conforme a la altitud de la cuenca y al aumento de la temperatura. La salida de agua de la franja se presenta a través de:

$$\text{Evapotranspiración} = 44.773 \times 10^6 \text{ m}^3$$

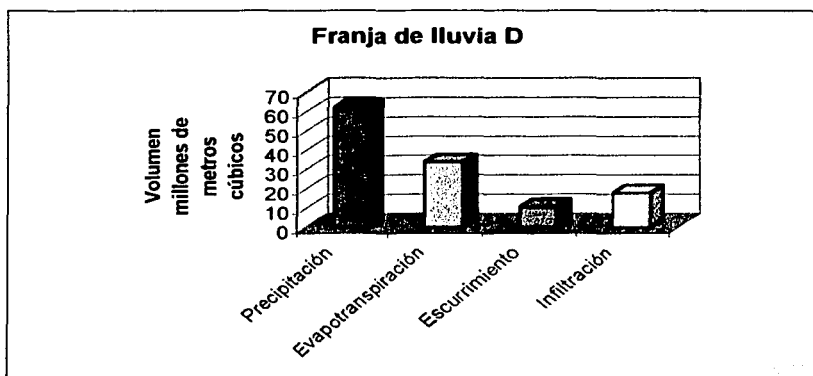
$$\text{Escurrimiento} = 23.735 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Infiltración} = 51.203 \times 10^6 \text{ m}^3$$

En la cual el valor más alto se presenta en la infiltración; pero con un volumen mucho menor a las dos franjas de lluvia anteriores A y B.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Gráfica 3.15



En la gráfica 3.15, muestra que el total de precipitación de la franja D, es de 62.093 millones de metros cúbicos anuales, y presenta una salida de agua de que comprende:

Evapotranspiración = $33.729 \times 10^6 m^3$

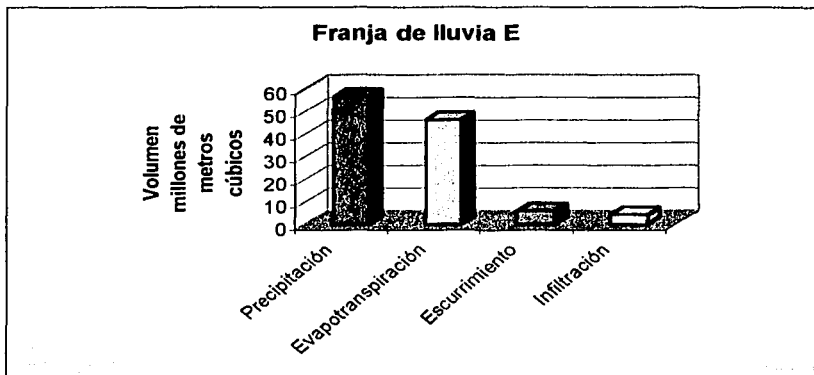
Escurrimiento = $10.700 \times 10^6 m^3$

Infiltración = $17.665 \times 10^6 m^3$

El valor más alto de volumen en pérdidas de agua de la franja, corresponde a la evapotranspiración, esto se debe a que es una zona baja en altitud y porque presenta una temperatura más elevada que la que se presenta en las anteriores franjas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Gráfica 3.16



En la gráfica 3.16, que corresponde a la franja de lluvia E, se observa que hay una entrada de agua por precipitación con un volumen de 56.387 millones de metros cúbicos anuales, de los cuales se pierde por:

$$\text{Evapotranspiración} = 46.154 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Escurrimiento} = 5.910 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Infiltración} = 4.320 \times 10^6 \text{ m}^3$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El valor más alto en cuanto a las pérdidas de agua de esta franja pertenece a la evapotranspiración.

3.4 Balance hídrico global de la cuenca

Una vez efectuados los balances parciales por franjas de lluvia, se continuará a conjuntar los valores precedentes para llegar a la obtención del balance hídrico global o general de la cuenca alta del río Sola de Vega.

El balance hídrico implica un resumen de los volúmenes de agua ganados o perdidos que se representan a través de las distintas etapas del ciclo hidrológico en la cuenca de un río, es decir, de cada uno de los elementos o variables que se presentaron anteriormente.

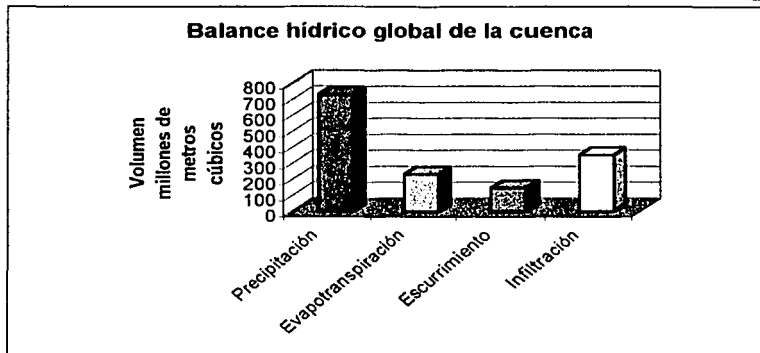
Fórmula: $P = ET + R + I$

Tabla 3.14 Resultados del balance hídrico global en la cuenca

	Precipitación (P)	Evapotranspiración (ET)	Escorrentamiento (R)	Infiltración (I)
Volumen $10^6 m^3$	730.705	232.313	147.169	351.223
Lámina mm	1549.9	492.2	312.2	744.9
Porcentaje %	100	31.79	20.14	48.06

Con los valores que se presentan en la tabla 3.13 se obtuvo el balance hídrico general de la cuenca. Y para apreciar mejor los resultados del balance hídrico se graficaron los volúmenes de entrada anual de agua a la cuenca representados por la precipitación y volúmenes de salidas totales anuales de agua representadas por evapotranspiración, escurrimiento e infiltración.

Gráfica 3.17



Como puede observarse en el balance hídrico global de la cuenca alta del río Sola de Vega indica que el volumen de la infiltración es notable, con 351.223 millones de metros cúbicos, equivalente al 48.06 % del ingreso total de agua por medio de la lluvia, esto implica que casi la mitad del agua que entra a la cuenca se almacena temporalmente por infiltración. Obviamente esto se justifica por las características geográficas de la superficie. La conjugación de los aspectos físicos como: litología y fracturas, suelos

poco profundos y con texturas medias favorecen a la infiltración, en este sentido puede afirmarse que la cuenca es un territorio apto para la recarga de los acuíferos.

La evapotranspiración ocupa el segundo lugar con volúmenes de 232.313 millones de metros cúbicos, equivalentes a 31.79 % casi un tercio del ingreso total de agua, que se consume por causa de este elemento, gracias a las características físicas de la cuenca como la cobertura vegetal, la temperatura y a las fuentes de abastecimiento como estanques para la irrigación de plantas y cultivos que favorecen la evapotranspiración.

Y por último el escurrimiento que presenta a nivel cuenca 147.169 millones de metros cúbicos equivalentes a 20.14 % del ingreso total de agua. Esto implica que la quinta parte de agua que entra a la cuenca transita por escurrimiento, el cual constituye la disponibilidad de agua que se utiliza inmediatamente por los habitantes, para el riego de sus cultivos y abastecimiento de agua para uso doméstico o bien para almacenarla en la época de lluvia y utilizarla después, en la época de secas. Esto que se menciona es muy cierto lo cual se percibió en el trabajo de campo. El agua de escurrimiento se extrae directamente por gravedad de los manantiales por medio de mangueras o de los ríos y arroyos con bombas de extracción para almacenar el agua en tanques o depósitos, ya sea cercanos a los cultivos de riego o a las poblaciones. Debido al alto volumen de infiltración, puede ser que se presente un escurrimiento subterráneo de lento drenaje lo que permita también que los manantiales u ojos de agua, donde brota el agua de los ríos permanezca siempre con agua.

En la gráfica 3.17, se observa que la entrada de agua a la cuenca del río Sola de Vega por precipitación corresponde a 730.705 millones de metros cúbicos anuales, equivalentes al 100 %.

Se tienen volúmenes del balance de agua por los procesos del ciclo hidrológico de la siguiente manera:

Evapotranspiración = 232.313 millones de metros cúbicos

Escurrimiento = 147.169 millones de metros cúbicos

Infiltración = 351.223 millones de metros cúbicos

Como puede observarse el valor más alto corresponde a la infiltración.

Capítulo 4. Características socioeconómicas de la cuenca alta del río Sola de Vega, estado de Oaxaca

La importancia del estudio socioeconómico y demográficos en la cuenca alta del río Sola de Vega, es principalmente, conocer la situación económica por la que atraviesa la cuenca en estudio, la cantidad de población que la habita y así correlacionarla directamente con el consumo del recurso agua.

Como objetivos particulares se pretende dar a conocer que región económica pertenece la cuenca y la situación en la que se encuentra actualmente.

Mostrar la población del censo 2000 de INEGI de los municipios y localidades vecinas a la cuenca.

Exhibir la dinámica que presenta la población de la cuenca durante los decenios 1990, 2000, la tasa de crecimiento y su perspectiva para el 2010, y el efecto que causa sobre el consumo del agua.

Exponer de acuerdo a la cantidad de habitantes de la cuenca, la demanda actual y futura del agua, su abastecimiento, uso y contaminación.

Desde tiempos remotos el agua superficial y del subsuelo ha sido vital para el desarrollo de las civilizaciones ya que éstas buscaban un río, lago o laguna para establecer su población, otro ejemplo, los mayas veneraban los cenotes. Actualmente la existencia de agua en abundancia tanto superficial como subterránea es factor de desarrollo para distintos sectores económicos y sociales.

Es pues el ambiente geográfico el que influye principalmente en los asentamientos humanos, y tal es el caso de la cuenca alta del río Sola de Vega ya que sus localidades principales se encuentran ubicadas en zonas de lomeríos y valles fluviales, otras en pequeñas planicies, esto hace posible la accesibilidad para abastecerse de agua y alimentos, en cambio en zonas de montaña hay lugares que son inaccesibles y la población es casi nula. Además los habitantes buscan zonas de confort y las planicies y los lomeríos con valles fluviales se las proporciona.

Los recursos naturales como el agua, su abastecimiento tanto para uso doméstico como para el cultivo de riego, el suelo que propicia las actividades agrícolas, forestales y otras vocaciones así como la vegetación son factores fundamentales para la población,

ya que el tener al alcance tan ricos recursos, son una condicionante para su permanencia en la cuenca.

La población causa también un impacto sobre los recursos naturales, en este caso sobre el agua, de manera negativa, ya que la extracción desmedida y su contaminación trae como consecuencia que el agua de los cauces u otras fuentes de abastecimiento se agoten rápidamente e impide su uso adecuadamente, y este impacto logra que sea más difícil cada vez satisfacer las necesidades que la población requiere en la actualidad y será mucho más difícil en un futuro.

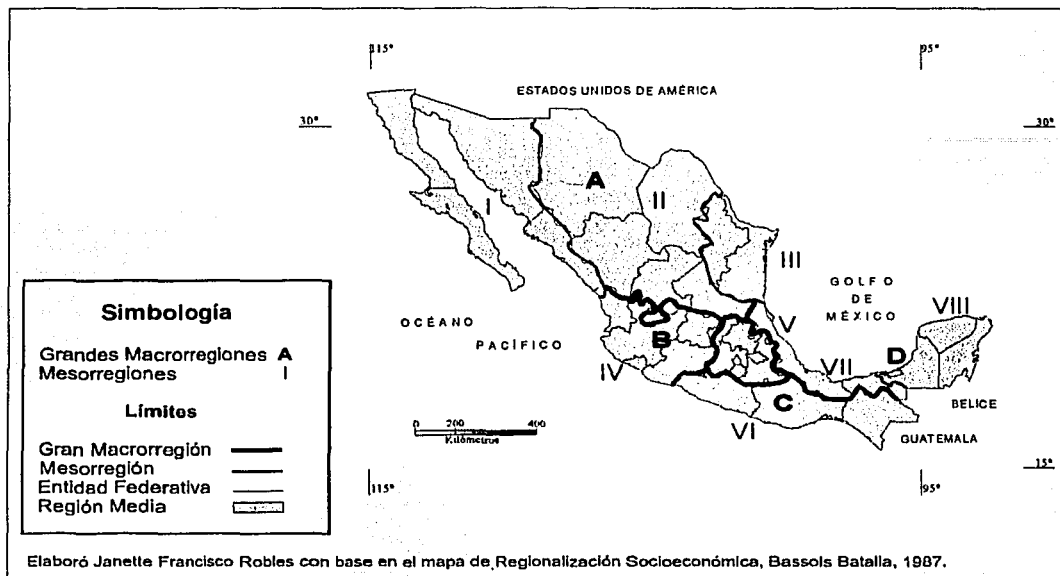
4.1 Región socioeconómica

La región socio-económica donde se ubica la cuenca en estudio es la llamada región Sur a la cual también se le denomina la región Sierra Sur de Oaxaca, localizada dentro de la mesorregión económica número VI, que ocupa Guerrero y Oaxaca, ésta comprende una vasta zona cuyo desarrollo económico desde hace mucho tiempo se encuentra, o bien estancado o en el lento progreso, sin embargo en contrapartida aparecen puntos como los extensos bosque de coníferas existentes en el territorio de la Sierra Madre del Sur y sus abundantes ríos caudalosos entre otras cosas.

Al expresar que el Pacífico Sur es menos desarrollado que el resto del país no se pretende inculcar la idea de que las otras zonas de la República sean más ricas en recursos o menos aun, que las zonas del Centro o del Norte que no tengan regiones de gran pobreza, sino que en esta zona suriana en general, se encuentra poco comunicada y posee regiones internas casi totalmente aisladas, no cuentan con grandes ciudades y tampoco con centros industriales poderosos; la agricultura es más primitiva, muchas veces de subsistencia y bajo rendimiento por hectárea, la población rural se agrupa en densidades aisladas principalmente en los valles. (Bassols, 1991). (Fig. 4.1)

Con respecto al distrito de desarrollo rural y distrito político-administrativo, la cuenca alta del río Sola de Vega pertenece a la región II denominada Valles Centrales, según la Delegación de la Secretaría y Desarrollo Rural en el estado de Oaxaca. (INEGI, 2001).

Fig. 4.1 Regionalización Socioeconómica



4.2 Población

La población es el punto de referencia desde el cual, otros elementos se analizan y/o se correlacionan ya sea de manera individual o colectiva, para obtener significación y sentido. En este capítulo se incluye la geografía de la población por medio de la cual se demuestra de que manera las variaciones espaciales en la distribución, la composición, las migraciones y el cambio en el crecimiento demográfico se relacionan con las variaciones espaciales de la naturaleza de cada uno de los lugares.

En diversas partes del territorio nacional en donde existen zonas agrícolas se forman pequeñas localidades debido generalmente al crecimiento del grupo familiar que vivió en una casa originariamente aislada, esto es conocido como el hábitat disperso, el cual se ha considerado generalmente como la forma óptima de relación entre la domiciliación de la familia campesina y sus tierras de explotación. La argumentación desarrollada se apoya en la posibilidad de supervivencia continua y de trabajo minucioso alrededor de la

casa. Esta forma de asociación supone un régimen de herencia que evita la dislocación, lo que explica la frecuencia de los casos de asociación del hábitat disperso, tal como se presenta en las localidades que constituyen la cuenca alta del río Sola de Vega. (George, 1979).

4.3 La población en la cuenca alta del río Sola de Vega

Las poblaciones que conforman las localidades de la cuenca alta, según los resultados definitivos del censo general de población y vivienda de INEGI, son muy pequeñas en total son 7512 habitantes para el año 2000 distribuidos en ella, El número de habitantes más alto se debe a la población del municipio Villa Sola de Vega, el cual se localiza casi afuera de la cuenca, cerca del punto terminal establecido en la parte baja de la cuenca. Por la poca cantidad de habitantes que se encuentran en la zona, por la carencia de servicios urbanos y el tipo de actividades económicas a las que se dedican se puede afirmar plenamente que el territorio de la cuenca del río Sola de Vega es una región eminentemente rural. Estas localidades no están influenciadas económicamente por ningún subsistema urbano a excepto de la cabecera de distrito Sola de Vega, la cual, si esta ligada directamente a la ciudad de Oaxaca, por su comunicación por medio de la carretera pavimentada hacia la ciudad de Oaxaca. (Fig. 1.4).

Las localidades de la cuenca se relacionan directamente con los municipios San Lorenzo Texmelucan, Santa María Lachixio, San Vicente Lachixio, San Francisco Sola, Santa María Sola, San Idelfonso Sola y Villa Sola de Vega, los cuatro últimos dentro de la cuenca alta, por su relativa cercanía y comunicación por carreteras de terracería, y uno que otro autobús rural que transporta a los habitantes de dichas localidades. Pero existen localidades que carecen de caminos de terracería y tiene que caminar por brechas para atravesar la sierra y/o transportarse, ya sea en burro o a caballo. Los poblado como El Tlacuache, El Manzano, El Arador y La Cañada, se encuentran a días de traslado caminando a las cabeceras municipales como Villa Sola de Vega, Santiago Textitlán, Santa María Lachixio y San Lorenzo Texmelucan.

Las localidades de la cuenca se comunican con las cabeceras municipales, y éstas con la cabecera distrital y ésta a su vez con la ciudad de Oaxaca. Esto permite hasta cierto punto, cubrir los déficits de equipamiento de salud, educativo, servicios, etc.

La población de los distritos se puede transportar por carretera hasta Oaxaca, en auto con un tiempo de una hora y en autobús durante un trayecto de dos horas y media.

4.3.1 Disminución de la población en la cuenca

La cuenca alta del río Sola de Vega, es una zona que puede clasificarse como pobre desde varios puntos de vista, ya que en algunas partes es muy difícil la accesibilidad a las comunidades o localidades más alejadas y carecen de carreteras o brechas, lo cual complica la comunicación y las posibilidades de transportar alimentos y productos que les sirven para mejorar el estado en el que se encuentran. En consecuencia, la búsqueda de otras oportunidades y un mejor nivel de vida para las personas jóvenes y adultas no se deja esperar lo cual provoca la disminución de la población en las diversas localidades. Sólo la población de la tercera edad y algunas mujeres permanecen en las localidades. En la actualidad (2003), con el gobierno del cambio existe un proyecto encaminado al apoyo de la mujer en las zonas pobres de Oaxaca una de ellas, la cuenca alta del río Sola de Vega y en algunas otras entidades, el programa denominado PROGRESA ha resuelto algunos de los problemas económicos de poblaciones pequeñas, pobres y marginadas incluyendo la zona en estudio.

4.3.2 Población de los municipios y localidades vecinas a la cuenca

Los municipios y localidades que rodean la cuenca alta del río Sola de Vega, se visualizan en el (Mapa 4.1), algunos se localizan relativamente cerca de la cuenca y otros están más alejados.

Mapa 4.1 Ubicación de la Cabecera de Distrito, Cabeceras Municipales, y Localidades.

Cuenca alta del río Sola de Vega, Oaxaca.

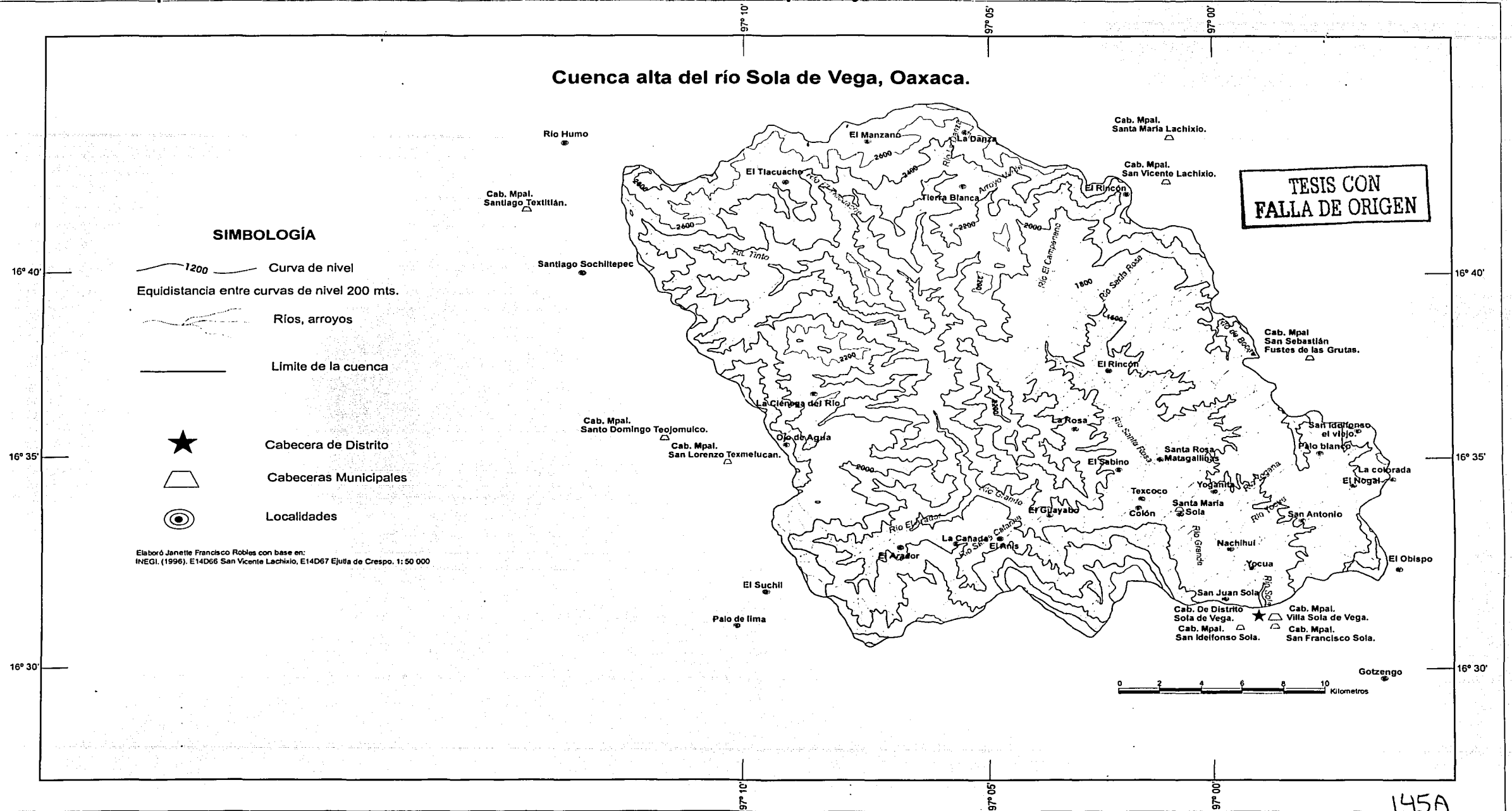


Tabla 4.1 Población de los municipios y localidades vecinos a la cuenca más importantes

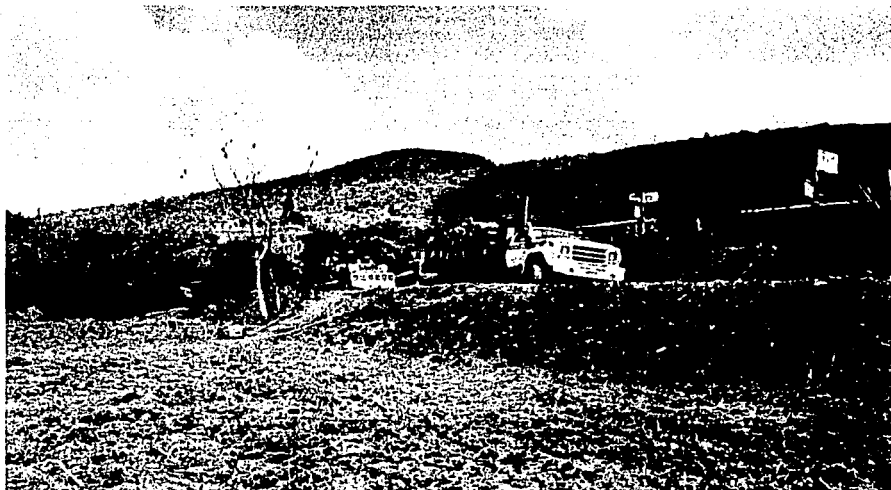
Municipio	Localidad	Población 2000
San Francisco Sola	San Francisco Sola	958
	Gotzengo	57
San Idelfonso Sola	San Idelfonso Sola	176
San Lorenzo Texmelucan	San Lorenzo Texmelucan	937
	El Suchil	371
	El palo de lima	392
Santo Domingo Teojomulco	Santo Domingo Teojomulco	1994
Santiago Textitlán	Santiago Textitlán	453
	Santiago Sochiltepec	510
	Río Humo	350
Santa María Lachixio	Santa María Lachixio	925
San Vicente Lachixio	San Vicente Lachixio	1252
Villa Sola de Vega	San Sebastián de las Grutas	962
	El polvorín	39
Total		9376

Fuente: Censo de población y vivienda 2000

En la tabla 4.1 se muestran la población de pequeñas localidades y los municipios a los que pertenecen. Al observar esta información, se nota que la cantidad total de población de estas localidades rebasa la suma total de población de las localidades y municipios que se encuentran dentro de la cuenca alta; estas localidades vecinas son menor en cuanto al número de localidades y mayor la cantidad de cabeceras municipales localizadas en el exterior de la cuenca. Los municipios y localidades vecinas tiene mayor población, algunas de estas localidades se dedican a la explotación forestal debido que se ubican a una altitud y la relativa abundancia de árboles maderables favorece dicha actividad. El poblado San Sebastián de los Fustes que se encuentra a 7 km después de la desviación de la carretera que va de Oaxaca-Sola de Vega este lugar se conoce como El Vado, esta beneficiado por la actividad forestal y el turismo que se detiene a contemplar y visitar las grutas de San Sebastián que se encuentran en dicho lugar, comunicado por una carretera de terracería. (Foto 4.1 y 4.2) Así es como se mantienen económicamente algunas localidades y municipios, las demás carecen de recursos y parte de sus habitantes emigran hacia las cabeceras municipales, distritales, incluso a otras ciudades lo cual contribuye a la disminución del número de habitantes de sus tierras natales y en cambio tiende a incrementarse la población de origen rural en las ciudades. También hay movimientos migratorios hacia los Estados Unidos como se indica más adelante.

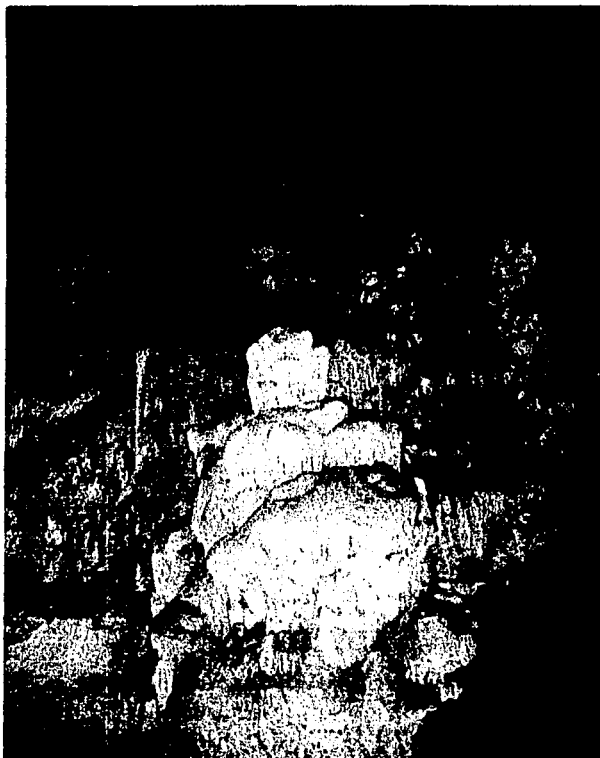
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Foto 4.1



Lugar: San Sebastián de los Fustes. Long.96°57'28" Lat.16°37'50" Alt.1700 m.s.n.m. Principalmente se observan camiones de carga con troncos de árboles que son talados en las áreas de bosque, durante el camino del vado hacia las grutas se encontraron 10 camiones, esto indica una gran actividad forestal en la zona, al fondo se observan cerros deforestados, con vegetación arbustiva.

Foto 4.2



Lugar: Grutas de San Sebastián. " Lat. 16°37'60" Long. 96°60'28 Alt. 1980 m.s.n.m. Se observa una cascada que se formó por el escurrimiento del agua sobre la roca caliza así como también se observaron concreciones formadas por el carbonato de calcio.

4.4 Población de los municipios y localidades de la cuenca alta del río Sola de Vega para los decenios 1990, 2000 y 2010

A continuación se muestra una tabla 4.2 y una gráfica 4.1 con los datos de población durante tres decenios 1990, 2000, su tasa de crecimiento y su proyección para el 2010 en el cual se observa perfectamente la disminución de población en las localidades pequeñas y el aumento en los municipios y en la cabecera distrital. Para comprenderlo mejor se realizó el cálculo de la tasa de crecimiento o decrecimiento y los resultados se exponen en el cuadro antes mencionado.

A nivel nacional, de manera general muy pocas ciudades presentan una disminución en la cantidad de sus habitantes. Sin embargo, en la cuenca alta del río Sola de Vega la mayoría de las localidades experimentan una disminución de su población. Para analizar el aumento o decremento en la población de la cuenca se calculó la tasa de crecimiento con la siguiente fórmula:

Tasa de crecimiento

$$Tc = \left(\sqrt[n]{\frac{Pf}{Pi}} - 1 \right) \times 100$$

La cual se utiliza en los anuales de demografía de las Naciones Unidas.

En donde: Pi = Es la población del principio del periodo o del periodo anterior

Pf = Es la población más reciente

n = La raíz, es el número de años

Los dos principales componentes o estimaciones de población, son proporcionados por el censo, así la tasa está sujeta a la calidad de tales datos. El cálculo de la tasa de crecimiento es útil y puede servir de ayuda para evaluar la exactitud de las características vitales de migraciones en la región de cada localidad o municipio.

El método que se utilizó para calcular la proyección de población para el año 2010 es:

$$Pob.2010 = Pob.2000 \left(\frac{Tc}{100} + 1 \right)^n$$

En donde: Población 2010 = Será la población estimada

Población 2000 = La población del último periodo

Tc = Tasa de crecimiento

n = Número de años que se deseen estimar

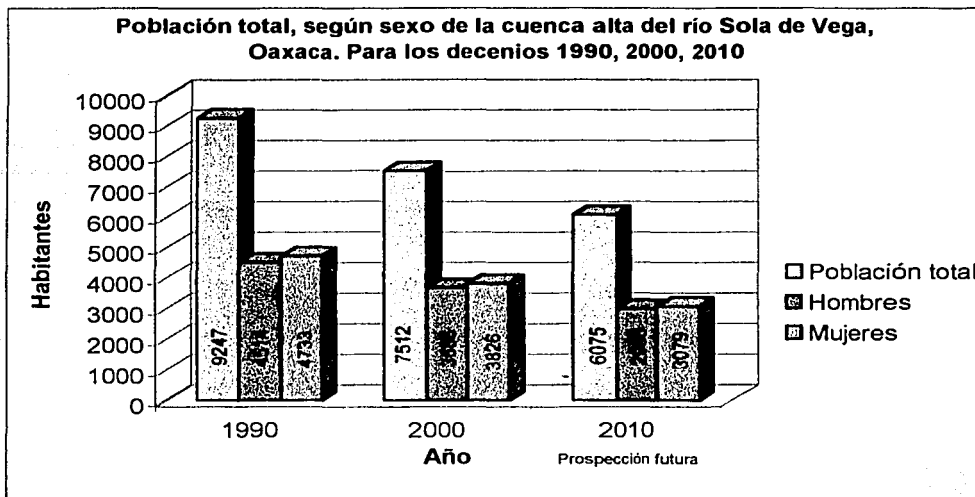
Tabla 4.2 Población total por localidad según sexo de los decenios 1990–2000 y población total por localidad según sexo para el 2010

<i>Municipio / Localidad</i>	Población 1990	H	M	Población 2000	H	M	Tasa de crecimiento	Población 2010	H	M
<i>San Francisco Sola</i>										
Obispo, El	31	13	18	26	14	12	-1.7	22	12	10
Cañada, La	106	56	50	22	12	10	-14.5	4	2	3
<i>San Lorenzo Texmelucan</i>										
Arador, El	846	407	439	1040	510	530	2.0	1267	500	767
Ciénega del Río	267	128	139	185	85	100	-3.6	128	60	68
Ojo de Agua	50	20	30	46	22	24	-0.8	42	20	22
<i>Santa María Lachixio</i>										
Llanos, Los	40	20	20	41	19	22	0.2	42	18	24
<i>San Vicente Lachixio</i>										
Rincón, El	1165	567	598	424	199	225	-9.6	155	66	84
<i>Santa María Sola</i>	647	311	336	566	284	282	-1.3	559	280	279
Santa Rosa Matagallinas	676	331	345	706	350	356	0.4	735	371	364
Texcoco	201	102	99	205	104	101	0.1	207	105	102
Sabino, El	54	29	25	18	11	7	-10.4	6	4	2
Tierra Blanca	17	9	8	28	14	14	5.1	46	23	23
Colón	109	55	54	101	49	52	-0.7	94	45	49
Rancho Viejo	-----	---	---	2	1	1	0.02	2	1	1
Rosa, La	22	9	11	49	22	27	8.3	108	52	56
<i>San Idelfonso Sola</i>										
San Idelfonso el Viejo	182	84	98	148	75	73	-2.0	121	62	59
Yocua	69	33	36	61	29	32	-1.2	54	25	29
Nogal, El	50	25	25	43	21	22	-1.4	37	17	20
Palo Blanco	18	10	8	26	14	12	3.7	37	19	18
San Antonio Sola	31	18	13	63	34	29	7.3	127	64	63
Goroza, La	21	13	8	20	12	8	-0.4	19	10	9
Colorada, La	9	4	5	14	8	6	4.5	21	12	9
<i>Sola de Vega</i>										
Villa Sola de Vega	1525	713	812	1722	772	950	1.2	1940	950	990
Anís, El	113	59	54	132	64	68	1.5	153	74	79
Nachihuí	194	109	85	138	80	58	-3.3	99	50	49
Santa Catarina, Cañada, La	38	18	20	38	21	17	0	38	21	17
Pitillos, Los	90	43	47	53	21	32	-5.1	22	10	12
Yerbasanta	81	41	40	95	53	42	1.6	111	56	55
Yoganita	185	84	101	261	119	142	-3.5	368	162	206
Tierra Colorada	45	22	23	115	61	54	9.8	292	148	144
Sabinos	118	84	101	261	119	142	8.2	252	125	127
Obispo, El	73	39	34	6	2	4	-22.1	4	2	2
Taragutín	9	4	5	17	10	7	6.5	32	18	14
Río Grande	19	9	10	12	6	6	-4.4	8	3	5
San Juan	148	71	77	3	2	1	-32.2	0	0	0
Ciénega de la Palma	45	28	17	143	78	65	12.2	452	229	223
Rancho de la "V"	90	45	45	23	13	10	-12.7	76	39	37
Rancho "Z"	49	24	25	166	77	89	12.9	558	275	283
Tierra Blanca	52	33	19	37	19	18	-0.2	36	19	17
Campanario, El	2	5	7	14	8	6	21.4	97	50	47
Garabato, El	38	19	19	37	19	18	-0.2	36	19	17
Portillo de Huajes	172	88	84	49	24	25	-11.8	14	6	8
Río de Boca	191	89	102	10	4	6	-15.1	2	1	1

Guayabo	135	69	66	187	96	91	3.3	258	130	128
Chiniguc Quebradora, La	17	10	7	13	5	8	-2.6	10	4	6
Barrio Arriba	21	10	11	19	10	9	-0.9	17	9	8
Portillo Tierra Blanca	10	4	6	12	7	5	1.8	14	6	8
Tlacuache. El	15	7	8	15	7	8	0	15	6	9
Total	9247	4514	4733	7512	3680	3826		6075	2996	3079

Fuente: INEGI. Oaxaca. Resultados definitivos. Datos por localidad Integración territorial, Censos generales de población y vivienda.

Gráfica 4.1



La población de la cuenca alta del río Sola de Vega era de 9247 habitantes en el año 1990. De acuerdo con los datos de INEGI (2000), la población de la cuenca es de 7512 y cuenta con una densidad de población teórica actual de 15 habitantes sobre km^2 . Esto implica claramente una disminución de la población como se mencionó anteriormente de 2235 habitantes en sólo diez años. De seguir esta tendencia se estima que para el año 2010, la población total será de 6075 habitantes, 23 % lo cual implica una disminución de casi la cuarta parte de la población.

La población en general de la cuenca, ha presentado un descenso constante a partir de que se iniciara la migración hacia los Estados Unidos y a la ciudad de México. Se dice por parte de algunas personas con las que se platicó que el predominio de población

hasta el año de 1970 era de gente joven, debido a que las familias eran numerosas, en promedio de 8 miembros. En la actualidad, la población que predomina es de adultos mayores y ancianos. En la tabla 4.2 no se incluyen grupos de edad de la población ya que no es tema de la tesis y también por que este tipo de información por localidad es muy extensa y no se obtiene fácilmente.

En la tabla anterior puede observarse que, la población que integra cada una de las localidades es muy baja, sólo una localidad y un municipio sobrepasa los 1000 habitantes, El Arador y Villa Sola de Vega, (Mapa 4.1). Es evidente que localmente destaca su número de habitantes ya que está comunicada por medio de una carretera pavimentada; incluso estos poblados son el paso obligatorio para viajar hacia Juquila o hacia Puerto Escondido, los cuales son lugares con un alto nivel económico. El paso obligatorio originó que las personas que viven cerca de la carretera hayan establecido sus negocios, restaurantes, hoteles, refaccionarías, tiendas y otros comercios, creando así un pequeño polo de desarrollo económico, el cual atrae a las personas que viven en lugares alejados y poco accesibles, incrementando paulatinamente su población. Las localidades más importantes dentro de la cuenca según su número de habitantes son: Villa Sola de Vega, la más importante de todas, se encuentra a una altitud de 1400 m.s.n.m. entre el cerro de San Juan y el cerro El Obispo, tiene 1722 habitantes la mayoría de ellos se dedica al comercio, en los tianguis, mercados o a la orilla de la carretera. Dentro del municipio Villa Sola de Vega, le sigue Yoganita, se localiza a una altitud de 1620 m.s.n.m. al noreste de Santa María Sola, con 261 habitantes, El Guayabo con una altitud de 1500 m.s.n.m., y con 187 habitantes, y por último Nachihuí se encuentra a 1460 m.s.n.m. de altitud, con 138 habitantes.

Otro poblado importante de la cuenca es El Arador, tiene 1040 habitantes, pertenece al municipio de San Lorenzo Texmelucan, se encuentra a una altitud de 2000 m.s.n.m. al Este del cerro El Arador.

Santa Rosa Matagallinas con 706 habitantes, pertenece al Santa María Sola y está ubicada a 1480 m.s.n.m. El nombre de esta localidad se corrigió, ya que en la carta topográfica 1: 50 000 E14D66, San Vicente Lachixio de INEGI, (1996), aparece como Santa Rosa Mataguillana, y en el trabajo de campo se constató el nombre correcto.

Del municipio San Vicente Lachixio, El Rincón tiene registrados 424 habitantes en el año 2000, pero cabe destacar que en 1990 contaba con 1165. Esta cantidad de personas era casi la mitad de la población total de su municipio, ahora se quedó con la tercera parte de la población que tuvo. Se encuentra a 1550 m.s.n.m. al Este del río Santa Rosa y al Noroeste del poblado Santa Rosa Matagallinas.

Las localidades mencionadas se distribuyen por toda la cuenca, la mayoría de sus pobladores se dedica al sector agropecuario y forestal, después venden sus productos en el municipio de Villa Sola de Vega, o lo autoconsumen; la mayoría de las familias poseen terrenos para cultivar. Tienen como prioridades los cultivos de maíz, frijol, tomate y chile; adicionalmente, disponen de algunos ejemplares de ganado ovino, bovino, caprino y aves de corral como gallinas, gallos y guajolotes, tanto para su autoconsumo como para su venta. También se dan los casos de que personas, procedentes de los lugares circunvecinos, se dediquen a la explotación forestal en las montañas y laderas altas de la cuenca del río Sola de Vega, en donde todavía hay bosques, los cuales permanecen sin un grado de alteración alto, y por tanto es una zona de recarga de acuíferos, lo cual es señal de que la infiltración aun no ha sido impactada por la acción negativa del hombre sobre los bosques. Esta información se basa de acuerdo con lo que se observó en el trabajo de campo. (Foto 4.1).

Las localidades restantes, con población más pequeña, están comunicadas a las cabeceras municipales más cercanas por medio de brechas, y otros por caminos de terracería poco accesibles. Su actividad principal es la agricultura.

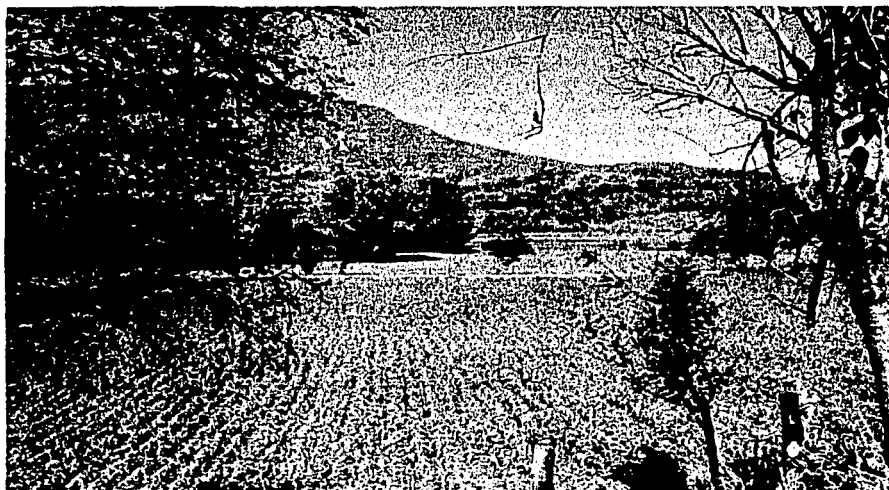
La escasa población y áreas no muy grandes de agricultura de riego y de temporal, indican que la cuenca alta del río Sola de Vega es una zona poco desarrollada. Por las características socioeconómicas que presenta la cuenca alta del río Sola de Vega se afirma que es una región eminentemente rural. (Foto 4.3).

Para considerar una población como rural, varios elementos deberán ser tomados por el geógrafo.

El primero es la densidad de población, El segundo elemento es la función o ocupación, El tercero es el uso de suelo y por último el cuarto elemento es la situación particularmente con centros urbanos, la cual tiene una considerable influencia sobre las poblaciones rurales.

Los distrito rurales comprenden tres tipos de población: agrícola-rural, rural y rural-semiurbana. Las poblaciones agrícolas rurales están usualmente localizadas en áreas menos accesibles donde los agricultores representan más de la mitad de la estructura ocupacional y donde la población es pequeña. Tal es el caso de la cuenca alta del río Sola de Vega.

Foto 4.3



Lugar: Los Cuajilotes, Nachihul Sola. Long.97°70'00" Lat.16°33'00" Alt. 1400 m.s.n.m. En primer plano se observa el campo de cultivo de maíz, esto indica actividad agrícola en la zona, se encuentra cercano al pueblo de Nachihul, Sola, a lo lejos se observan algunos sabinos, junto al cauce del río Sola, al fondo el imponente cerro San Juan.

En la gráfica 4.1 de población total de 1990, 2000, 2010 según sexo, al igual que la tabla 4.2 muestra que la población disminuye notablemente de 1990 al 2000, ésta disminución se presenta mayormente en las localidades más pequeñas y dispersas de la cuenca, la gráfica 4.1, también muestra que la población predominante según sexo, es la población femenina, y que la población, masculina va también en descenso, por las razones antes expuestas. En este caso no se pudo realizar una pirámide de edades con una composición por sexo y edad, ya que los datos que se obtuvieron no son los

suficientes, ni los adecuados para realizar un análisis de este tipo, por lo que se limitó, únicamente a realizar el cuadro y la gráfica de población total según sexo, de los años correspondientes.

Conocida la cantidad de habitantes y el sexo, tal como se muestra en la gráfica 4.1, se notan las proporciones de la cantidad de habitantes masculinos y femeninos con respecto a la población total, de cada decenio.

En la cuenca alta del río Sola de Vega se observan cambios considerables en la población ya que para el año de 1990 la población en algunas localidades era mayor que la del año 2000. Esto se debe a que la población que habita las localidades pequeñas va decreciendo debido a que las personas jóvenes como se mencionó anteriormente migran a los municipios y ciudades como Oaxaca para seguir estudiando, incluso llegan a la ciudad de México en busca de un mejor nivel de vida. La falta de servicios educativos y del sector salud condicionan estos movimientos de población; incluso en el Centro de Salud de Villa Sola de Vega no brindan atención a enfermos que requieren atención urgente. En estos casos tienen que llevarlos a San Pablo Coatlán cuyo traslado dura una hora y media. Con respecto a la población mayor, como los ancianos, se quedan arraigados por que no quieren abandonar sus tierras, éstos después mueren y contribuyen a la disminución de la población en las regiones rurales.

En resumen las localidades de la cuenca son muy pequeñas y totalmente rurales, en total hay 7512 habitantes (censo del año 2000) y se estima que para el año 2010 se reduzca a 6075 habitantes distribuidos en toda la cuenca. En general la densidad de población en la cuenca es de 15 habitantes por km^2 . Con el cálculo de la prospección que se realizó para el año 2010 se establece que existe un descenso en la tasa de crecimiento del -2.1 y se llegará a un total de sólo 6075 habitantes, lo cual disminuirá la densidad de población a 12 habitantes por km^2 . Por otra parte se puede inferir que, aumentará la población en las cabeceras municipales, ubicadas fuera de la cuenca y en la cabecera distrital Sola de Vega, el cual es el único poblado con desarrollo económico, comparado con los municipios y localidades que están cercanos a ésta y en el interior de la cuenca.

4.5 Demanda actual y potencial de agua

La demanda de agua es la cantidad necesaria que se requiere para una actividad. El consumo es el agua que se gasta realmente en el desarrollo de cualquier actividad, o bien que se contamina, se degrada e impide su utilización posterior. (Custodio, 1980).

Consumo humano: Las necesidades mínimas del hombre podrían ser del orden de uno 15 litros por cada día. Si el hombre lava y se lava, las necesidades pueden alcanzar hasta 40 litros por cada día, volumen que coincide de hecho con los consumos registrados en las zonas rurales pobres y tradicionales. A partir de estas cifras mínimas, los módulos de consumo crecen no solamente con el nivel de vida, sino también con la tasa de concentración urbana. (Rosas, 1996, p.30)

Para la cuenca alta del río Sola de Vega, las necesidades del consumo de agua son de 100 litros por día por persona aunque éstos no se bañan diariamente, pero estas necesidades se reparten entre otras actividades del hogar, e incluso para darles de beber a sus pocas cabezas de ganado que tienen en sus viviendas, éstas llegan a consumir de 80 a 100 litros de agua por día, la mayoría de las viviendas no cuenta con baño de inodoro, sólo con letrina y algunas, las que si tienen cuarto de baño con inodoro, también cuentan con otros servicios como luz eléctrica, aparatos electrodoméstico y antena parabólica. Anteriormente el agua que se consumía en las viviendas era; si contaban con un pozo la extraían directamente y sino la obtenían del río con algunas cubetas, ahora toda la extraen del río por medio de bombeo que la traslada a un depósito y de ahí se distribuye por gravedad a las casas. El uso del agua de los pozos ha disminuido, sólo la usan como reserva en época de estiaje, incluso cuando la llegan a consumir tiene que hervirla o desinfectarla por que ya no tiene tanta confianza que sea totalmente pura, al igual que el agua del río. La mayoría de las casas que se encuentran en la planicie de acumulación cuentan con pozos de agua.

Con el fin de conocer la cantidad de agua que es necesaria para los habitantes de la cuenca y las necesidades futuras de la población que habrá en los próximos diez años, se realizaron cálculos para conocer en primer lugar la tasa de crecimiento, la prospección para el año 2010 y su disponibilidad de agua. Se escogió un periodo de 10 años ya que la población del 2000 y de 1990 esta con un lapso de separación de 10

años y así se obtendrán mejores resultados que si se hubieran escogido de cada cinco o cada veinte años.

Primero se necesitó conocer la población existente en la zona en estudio, se localizaron con ayuda de la carta topográfica todas las localidades correspondientes a la cuenca, después con los censos de 1990 y 2000, se obtuvo la población de cada una de ellas y se realizó la tasa de crecimiento y por último la prospección para el año 2010.

4.5.1 Demanda actual y futura de agua en la cuenca alta del río Sola de Vega

La demanda actual se elaboró con los datos población del 2000 y la demanda futura del agua se determinó por medio del cálculo de la prospección de crecimiento de la población, para el año 2010.

Demanda actual

Tomando en cuenta que la población requiera exagerando 100 litros de agua diaria se tiene que:

La población 2000 = 7512

(7512 hab.) (100 litros que se consumen por persona) = 751,200 litros diarios dentro de la cuenca;

y en metros cúbicos;

$$\frac{751200}{1000} = 751.2m^3 \text{ diarios o}$$

(751.2) (365 días) = 274, 188 m³ anuales

Y su disponibilidad actual es de:

Si la cantidad de población es de 7512 habitantes

Y 147.169 10⁶ m³ de agua de escurrimiento (R)

(147.169) (1000000) = 147'169,000 metros cúbicos

$$\frac{147169000}{7512} = 19,591m^3$$

(19,591) (1000) = 19'591,000 litros/hab/año

$$\frac{19591000}{365} = 53,673 \text{ litros/hab/día}$$

En el anuario estadístico, 2001 del estado de Oaxaca, se encontró que Santa María Sola, es el único municipio que se encuentra en su totalidad dentro de la cuenca, cuenta con tres manantiales como fuente de abastecimiento de los cuales se extraen $0.311 \times 10^3 m^3$ al día y no se registra alguna otra fuente de abastecimiento.

Con la cantidad de habitantes que tiene la cuenca satisfacen sus necesidades con el agua de escurrimiento, aún que esta es escasa si los comparamos con los volúmenes de agua que se infiltran anualmente.

Y del agua infiltrada se tiene una disponibilidad total en la cuenca de $351.223 \times 10^6 m^3$.

Sólo falta que sea explotada y que existan los recursos, aunque no creo que sea necesario por la poca población que existe dentro de la cuenca, aunque para las poblaciones aguas abajo sí se requiera extraer agua del subsuelo.

Para obtener los cálculos para el año 2010 se necesito primero realizar la tasa de crecimiento para que de ese resultado se estime la población que existirá en el año que se requiera estudiar.

Para obtener la tasa de crecimiento se empleo la siguiente fórmula:

$$Tc = \left(\sqrt[n]{\frac{Pf}{Pi}} - 1 \right) \times 100$$

En donde:

Tc = Tasa de crecimiento

n = Número de años = 10 años

Pf = Población final 2000 = 7512

Pi = Población inicial 1990 = 9247

Sustituyendo:

$$Tc = \left(\sqrt[10]{\frac{7512}{9247}} - 1 \right) \times 100$$

$$Tc = \left(\sqrt[10]{0.81237158} - 1 \right) \times 100$$

$$Tc = (0.979434667 - 1) \times 100$$

$$Tc = -0.02056534 \times 100$$

$$Tc = -2.1$$

Lo que indica que la población de la cuenca alta del río Sola de Vega, tiene una tasa decreciente, la población está disminuyendo en sus localidades.

Para la proyección de la población se empleó la fórmula que a continuación se describe:

$$Población.N = Pf \left(\frac{Tc}{100} + 1 \right)^n$$

En donde:

N = Años de estimación

Pf = Población final

Tc = Tasa de crecimiento

n = Años que se desea proyectar la población

$$Pob.2010 = 2000 \left(\frac{-2.1}{100} + 1 \right)^{10}$$

$$Pob.2010 = 7512 \left(\frac{-2.1}{100} + 1 \right)^{10} = 7512(0.979)^{10}$$

$$Pob.2010 = 7512 \times 0.808773509 = 6075$$

$$Pob.2010 = 6075 hab$$

Para el año 2010 se calcula que existirá una población total en la cuenca de 6075 habitantes, lo cual muestra una disminución drástica.

Demanda futura de agua

De la misma manera que para el año 2000, se emplearan los cálculos para conocer el agua que requiere la población y la disponibilidad con la que contarán para ese año. (6075 hab.) (100 litros, supóngase que se sigan consumiendo los mismos litros que en el año 2000) = 607 500 litros diarios, esto es:

$$\frac{607500}{1000} = 607.5 m^3 \text{ diarios o}$$

$$(607.5 m^3) (365 \text{ días}) = 221, 737 m^3 \text{ anuales}$$

Con la población que tiende a disminuir y la baja demanda de agua en la cuenca por parte de los habitantes, en el interior de la cuenca para este año la demanda será

menor; mientras que aguas abajo la disponibilidad será mayor, ya que en esa parte tiende a crecer la población.

Esto significa que los habitantes de Sola de Vega contarán con mayor disponibilidad de agua conforme la población siga disminuyendo.

Tomando en cuenta que la población siga tomando el agua del escurrimiento superficial de los cauces de los ríos y no de los pozos como ocurría hace algunos años para abastecer sus necesidades, se realizó el siguiente cálculo tomando en cuenta el volumen de escurrimiento actual y así conocer la disponibilidad con estos valores:

La población 2010 = 6075 habitantes

Volumen de escurrimiento anual en millones de metros cúbicos = $147.16910^6 m^3$

$(147,169) (1000000) = 14769,000$ metros cúbicos

$$\frac{14769000}{6075} = 24.225m^3$$

$(24\ 225) (1000) = 24'225,000$ litros/hab/año

$24\ 225\ 000 \div 365$ días = 66,369 litros/hab/día

Estos resultados nos dan una idea, que para el año 2010 existirá agua suficiente para abastecer a la población que se encuentre establecida dentro de la cuenca y aguas abajo. Lo cual significa que las necesidades y demandas de la población para el decenio 2000 y 2010 estará completamente satisfecha, sólo en caso de que la población siga disminuyendo, de lo contrario podría llegar a no ser suficiente el abasto de agua en la región si se revirtiera el decrecimiento. El volumen de extracción de agua de la cuenca es muy bajo comparado con el volumen de agua que escurre y se infiltra según datos del balance hídrico, esto indica que la cuenca en general se encuentra en condiciones de abastecer por un buen periodo de tiempo a la población que en ella habita y a las demás poblaciones cercanas que se encuentren aguas abajo.

Por lo que el balance hídrico señala que en la cuenca de estudio la disponibilidad del recurso agua es de $351.223 \times 10^6 m^3$ anuales y la demanda de la población para el 2000 es de $274,188 m^3$ anuales y así mismo para el año 2010 se estimó la demanda futura de $221,737 m^3$ anuales, esto indica que el área está en condiciones de abastecer de agua por un tiempo considerable a la población que la habita

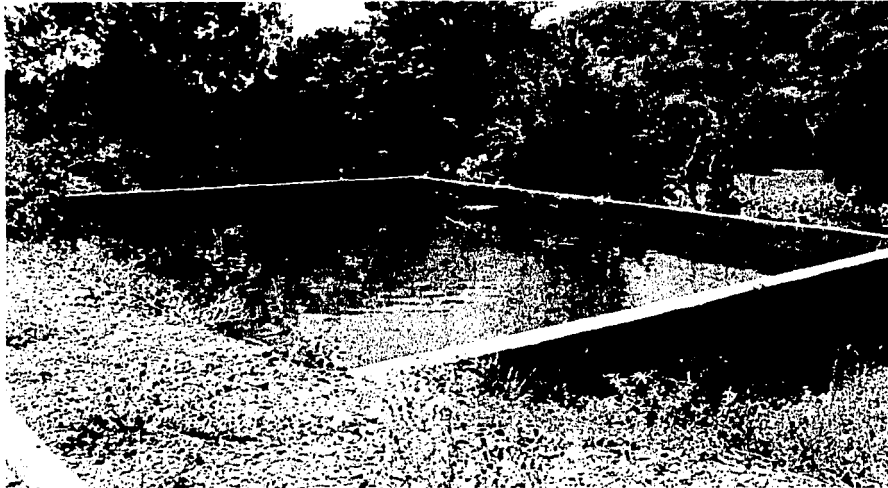
Los agricultores de la zona tratan de aprovechar el agua y conservarla, ellos se encuentran organizados por medio del tequio y comités de riego, estos construyen obras hidráulicas como pequeños diques o cortinas derivadoras para conducir el agua al canal de riego para los cultivos que se encuentran cercanos al río, existen 3 grandes canales de riego en Santa María Sola, Nachihuí, y Sola de Vega, (Foto 4.4 y 4.5). El agua que se almacena se sigue alimentando por los escurrimientos de la red fluvial del río Sola de Vega, río Grande y Santa Rosa, aunque esto trae consigo alteraciones a los escurrimientos y al estado natural del río.

Foto 4.4



Lugar: Los Cuajilotes, Nachihuí Sola. Long.97°70'00" Lat.16°33'00" Alt. 1400 m.s.n.m. Se observa un canal de riego a unos 30 metros paralelo al cauce del río Sola, fue construido por el tequio del pueblo de Nachihuí, Sola.

Foto 4.5



Lugar: Santa María Sola. Long.97°01'02" Lat.16°34'05" Alt.1460 m.s.n.m. Depósito con agua para los cultivos de riego por bombeo, junto al depósito se observan árboles frutales, a la derecha algunos campos de cultivo y el cauce del río Grande, al fondo el cerro Santa María.

4.6 El abastecimiento y uso del agua en la cuenca

En algunas localidades, municipios y en la cabecera distrital, el abastecimiento de agua actual para las poblaciones se efectúa directamente del escurrimiento superficial de las corrientes de los ríos que forman la cuenca alta, esto funciona así; cerca del río existen cortinas y una de sus funciones es recargar los pozos que absorben el agua del río (Foto 4.6 y 4.7), de ahí es bombeado a los depósitos que se encuentran en las partes altas de las zonas donde se encuentran dichas localidades o municipios, (Foto 4.6) después es distribuida por gravedad a través de tubos de dos pulgadas o mangueras resistentes, para uso doméstico, agricultura de riego o ganadería, ésta se almacena en piletas y depósitos de agua. A las personas se les cobra por el consumo de este líquido en los municipios y en la cabecera distrital Sola de Vega.

Algunas localidades que no cuentan con estas bombas y depósitos, obtienen el agua por gravedad debido a la cercanía que se encuentra entre sus viviendas y los manantiales, (Foto 4.7) por eso es innecesario un sistema de bombeo para estas

zonas. Hay otros casos de viviendas que no cuentan con luz eléctrica entonces aunque quisieran este sistema no se puede aplicar, y recurren en algunos casos a la obtención de agua por gravedad, la cual se almacenan en depósitos cercanos a las viviendas que conforman estas localidades. El volumen de uso de agua en la cuenca es muy poco comparado con el volumen de agua que escurre y se infiltra según datos del balance hídrico, esto indica que la cuenca se encuentra en condiciones de abastecer por un buen periodo de tiempo a la población que en ella habita siempre y cuando se trate de conservar su estado natural al máximo. Además se puede abastecer a las poblaciones cercanas con agua de buena calidad ya que en esta parte la cuenca alta conserva algunas de sus características naturales y la alteración de su caudal es mínima, donde el colector presenta un desarrollo normal y con alteraciones poco notables a nivel general, entre la cuenca alta y la cuenca baja del río Sola de Vega. El abastecimiento de agua también abarca poblaciones que se encuentren aguas abajo, lamentablemente pasando el punto terminal de la cuenca en estudio, las alteraciones en comparación con la cuenca alta son demasiado notables ya que las condiciones de conservación cambian repentinamente atravesando dicho punto que delimita la cuenca alta del río Sola de Vega, en donde se encuentra la mayor parte de la cabecera distrital y se concentra la mayoría de la población, y digo lamentablemente por que esto significa una mayor demanda de agua, mayor contaminación, por lo tanto, pasando este punto el agua que se encuentra en la cuenca baja del río Sola de Vega, está sumamente contaminada, existen alteraciones causadas por la construcción de vías de comunicación y otra serie de factores como descargas del drenaje en el cauce y desechos sólidos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

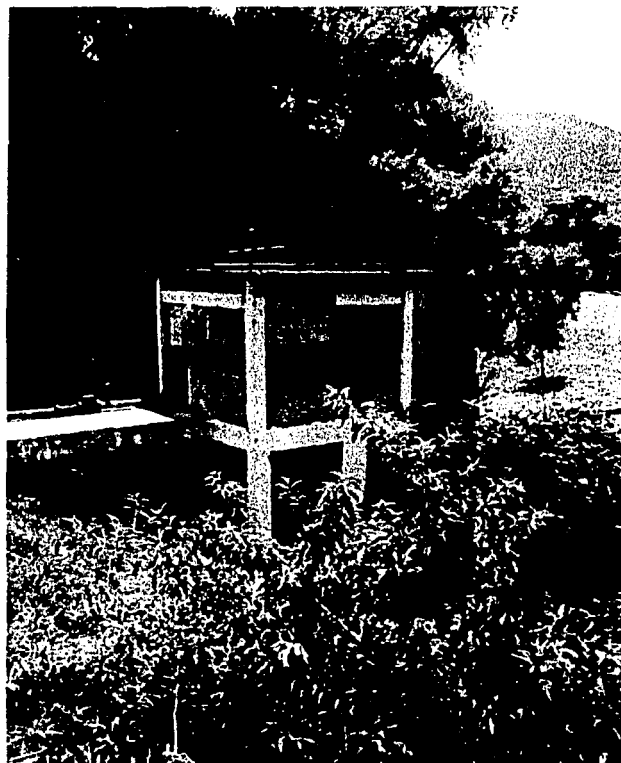
Foto 4.6



Lugar: San Miguel Sola de Vega. Long.96°58'40" Lat.16°30'53" Alt.1400 m.s.n.m. Río Sola, cortina para contener el agua y recargar los pozos profundos laterales para su extracción por medio de bombeo. Esta cortina también se utiliza como desarenadora, al fondo en el centro se logra apreciar una caseta de recarga y bombeo, a la derecha campos de riego.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Foto 4.7



Lugar: San Miguel Sola de Vega. Long.96°58'40" Lat.16°30'53" Alt.1400 m.s.n.m. Río Sola, caseta de recarga y bombeo de agua, en primer plano una planta llamada "Chamizo" en la parte inferior de la caseta el cauce del río Sola, al fondo vegetación de sabinos, a la derecha pastizal inducido.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Foto 4.8



Lugar: Pueblo Nuevo, Nachihuí Sola. Long.96°59'25" Lat.16°33'00" Alt. 1460 m.s.n.m. Al amanecer, depósito construido para el almacenamiento de agua, posteriormente es distribuida por gravedad a las viviendas ubicadas en las faldas y en las partes bajas de la loma de Nachihuí. Al fondo se observa el cerro San Juan.

Foto 4.9



Lugar: El Guayabo, Sola de Vega. Long. 97°03'30" Lat. 16°33'47" Alt. 1500 m.s.n.m. Nótese las mangueras que se utilizan para extraer agua de los manantiales, ésta es extraída por gravedad con mangueras de varios metros de largo.

Para poder complementar esta información, en la realización del trabajo de campo se elaboró una serie de encuestas que vertieron diversas opiniones de aproximadamente 25 habitantes de la cuenca de lugares diferentes, y con una edad que oscila entre los 45 y 70 años. Esto aporta en términos generales diferentes puntos de vista, con los cuales se podrán establecer, algunas conclusiones. (Anexo II).

Se formuló la primera pregunta que dice: ¿Usted cree que han aumentado o disminuido las lluvias en esta región? La mayoría de las respuestas coinciden con que

si han disminuido un 50 % , y la minoría, en que ha llovido lo mismo; pero que la distribución de las lluvias es la que a cambiado.

La segunda pregunta es: ¿Se acuerda en que año ha llovido más en la temporada de lluvias? Y todos coinciden que en 1971 y 1974 sobre todo en el mes de septiembre.

La pregunta siguiente: ¿Se acuerda en que años han escaseado las lluvias? Sólo como cinco coincidieron que hace como 12 años en 1990 se presentó una fuerte sequía que duró dos años consecutivos, otros dicen que fue en el año de 1984, otras personas dicen que no se acuerdan.

La pregunta numero cuatro: ¿Usted ha observado que el nivel del río ha disminuido o aumentado en los últimos años? Todos coinciden con que si ha disminuido y bastante, ellos creen que se debe a que existen muchas mangueras que desvían el agua a las casas, y no dejan bajar el agua completamente al río.

La pregunta cinco dice: Cuando ha llovido abundantemente, o cuando no llueve mucho, ¿hasta donde llega el nivel del río? La respuesta son variadas puesto que, como se realizó la encuesta en diferentes lugares los puntos de referencia cambian. En Santa María Sola los habitantes respondieron que cuando subió el nivel del río llego hasta la capilla del pueblo, como 55 metros fuera del cauce, ahí mismo otras personas mencionaron que en el año 2001 llegó hasta el camino de terracería, como a 30 metros de distancia entre el río y el camino. En la segunda parte de la respuesta todos coincidieron que, cuando no llueve, el nivel del río llega al ras del cauce; pero no se ha secado nunca. En Nachihuí Sola, contestaron que cuando llueve mucho el agua llega hasta la Sabinada, sitio próximo al cauce del río, incluso se llevó un puente colgante que se encontraba en ese lugar y un automóvil sedan que se encontraba estacionado, lo encontraron hasta Sola de Vega. El nivel más bajo que ha presentado es un arroyito de agua que se cruza de un brinco, pero que tampoco se ha secado. En Sola de Vega, lo más alto que ha crecido son tres metros más arriba de su nivel actual. Y lo más bajo hasta el ras del suelo.

¿En qué años ha notado usted que el nivel del río a crecido o disminuido? Algunos dicen que en los cincuentas y sesentas el nivel del río era muy abundante y que actualmente, ya no se parece en nada, otros mencionaron, que en los años de 1964 y 1974, algunos otros que el río crece cada seis o siete años, y uno mencionó que en

1995. En cuanto a los años de poca abundancia del agua de río o mas bien que llevaba poco agua muy pocos dicen que en 1990 y otro no se acuerdan.

¿Cuál es el uso que le da al agua de río? Todos coinciden que es para el uso de riego y cultivos de maíz, frijón, tomate y forrajes y para uso doméstico.

¿Algunas vez se ha enterado que realicen análisis físicos y químicos del agua de río? Muchas de las personas que viven en las localidades alejadas de los municipios dicen que hasta la fecha nunca se han enterado de dichos análisis y los que viven en los municipios mencionan que a los pozos y al agua entubada que traen del río si lo analizan y que el agua es casi potable, otros dicen que sólo lo analizan para ver los parásitos que contiene y clorarla.

La siguiente pregunta dice: ¿De donde se abastece de agua usted o el pueblo? Las personas de algunas localidades pertenecientes al municipio de Santa María Sola mencionan que, se abastecen con mangueras de un manantial llamado el Palmar, que se encuentra a 1500 metros en línea recta de su casa, otros se surten del arroyo el Guisubichi, en Nachihuí se abastecen del agua de río, con bombas que llevan el agua a un depósito y por gravedad, baja a las viviendas. Este mismo sistema es empleado para abastecer el municipio de Sola de Vega, el más grande de la región.

¿Cuenta con algún pozo de agua en su casa? La mayoría dijeron que sí. ¿El agua se puede beber directamente sin tomar ninguna medida de seguridad? Todos contestaron que sí, con excepción de los que viven en el municipio de Sola de Vega, donde el agua de los pozos no se puede beber directamente, se tiene que hervir por seguridad, aunque nadie les ha dicho que tomen este tipo de medidas ellos lo hacen por sí las dudas, y para no enfermarse por si contiene parásitos. Algunos comentan que el agua dentro del pozo presenta una especie de sarro blanco, ellos creen que es por que contiene zinc, y que cuando la sacan los recipientes donde la vierten también se queda con residuos de este material blanquecino, al parecer esto se debe a la presencia de roca caliza en la zona.

¿Ha disminuido la población y desde que años ha comenzado a irse la gente? Las personas de las localidades y municipios pequeños dentro de la cuenca, coinciden que la población va en descenso y que ha disminuido un 50%, desde 1945, cuando comenzó la migración a Estados Unidos, otros dicen que la migración se presentó más

en 1992, los habitantes del municipio de Sola de Vega, dicen que la población se ha mantenido estable siempre por lo menos en ese lugar.

¿A qué cree usted que se deba que la gente se vaya a otros lugares? Principalmente por la falta de trabajo, para buscar mejor calidad de vida y mejores fuentes de ingresos. Todos concedieron con este tipo de respuestas.

Se concluye que la elaboración de la encuesta, para el trabajo de campo fue muy útil ya que se pueden conocer diferentes puntos de vista de una manera más amplia, con respecto a la abundancia o escasez del agua, conocer el uso, su abastecimiento, calidad, y el comportamiento del río, según la temporada de lluvias.

Con los resultados de la encuesta se pudo constatar que el nivel del río es constante y que muy esporádicamente, presenta anomalías, por lo que se puede decir que es un río que nunca se ha secado; pero que ha llegado a comportarse drásticamente, tanto con niveles muy bajos como niveles muy altos en su caudal, el río responde al comportamiento de las precipitaciones en la región.

Se corrobora que el principal uso del agua en la cuenca básicamente es para riego y uso doméstico por lo que, se demuestra que la actividad prioritaria para estos pobladores es la agrícola, sobre todo de la población de las partes medias y bajas de la cuenca.

El uso de la encuesta favoreció muchísimo, ya que ahora se conoce de donde y como se abastece de agua la mayoría de la población en la cuenca alta del río Sola de Vega.

Se puede decir que la calidad del agua en general aún es buena ya que algunos estudios, pocos en realidad, muestran que el agua es casi potable; aunque no se pueden dejar a un lado las medidas de seguridad para evitar enfermedades causadas por el consumo de agua del río; pero esto sólo se dice, para el agua que escurre de las partes altas a las partes medias de la cuenca, donde no se presentan alteraciones como: contaminación por detergentes, fertilizantes, pesticidas y por los aguas negras de los drenajes que desembocan en el cauce del río, como lo que ocurre en las partes donde el río llega a su punto terminal de la cuenca alta, principalmente en el municipio y cabecera distrital Sola de Vega, las medidas que se toman en este lugar son más drásticas.

La mayoría de la población cuenta con pozos de agua, a excepción de los que viven en el municipio de Sola de Vega, obviamente por las deferentes condiciones en las que se han encontrado siempre, ya que estos si han contado con el servicio de abastecimiento de agua, y no es necesario recurrir a la excavación de pozos, ya que el lugar no es propicio para ello, pues el municipio se encuentra asentado en la parte alta de una loma.

Y por último lo concerniente a la población, se corrobora que los resultados obtenidos de los censos de población, y los que se obtuvieron en la encuesta, coinciden y demuestran efectivamente que la población va en descenso sobre todo en las localidades y poblaciones dispersas del interior de la cuenca, puesto que estos habitantes buscan de mejores oportunidades en el trabajo con el fin de mejorar sus ingresos y su calidad de vida, en cambio en los municipio Santa María Sola y en el de Sola de Vega la población manifiesta un comportamiento estable.

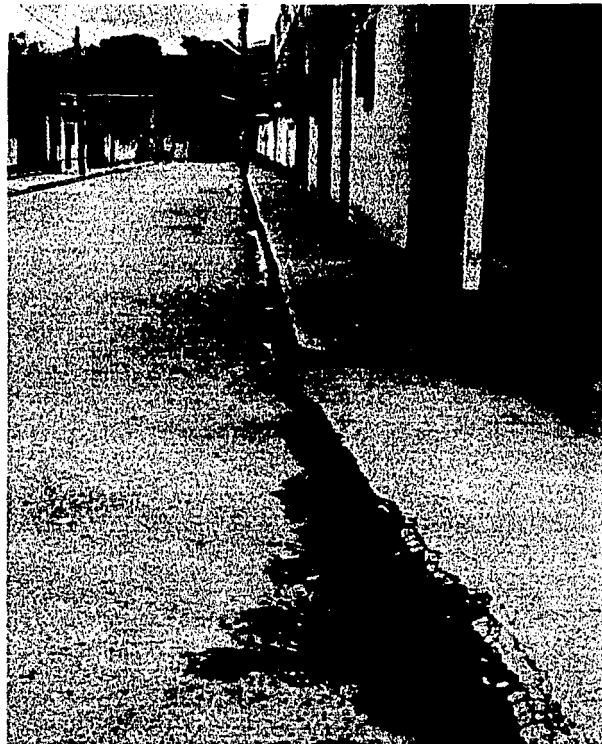
Se puede observar que el crecimiento económico, está ligado al aumento de la población, el cual aumenta el consumo de recursos hídricos y de ser así algunos expertos predicen que se acerca el momento en que el hombre no podrá obtener un abastecimiento de agua suficiente de los ríos y corrientes subterráneas, fuentes que han sido utilizadas a través de los años, y que por consiguiente habrá que buscar otras, en caso de incremento en la demanda. El hombre ha cometido errores respecto a la utilización y conservación del agua, así como la explotación desmedida de agua subterráneas y corrientes superficiales, y el más grave de ellos la contaminación de los ríos y aguas subterráneas, siendo que el mayor peligro de agotamiento de este recurso proviene de la contaminación y mal uso del mismo, pues cada metro cúbico de aguas residuales que se vierten a un río o acuífero contamina cientos de metros cúbicos de agua pura.

4.7 Contaminación municipal y distrital del agua

En los grandes municipios y en la cabecera distrital Sola de Vega, cuentan con el servicio de abastecimiento de agua por medio de bombeo y depósitos que distribuyen el vital líquido a las viviendas; pero no cuentan con el servicio de alcantarillado, por lo que se vierten las aguas residuales sobre el cauce del río, calles y barrancas. (Foto 4.10), algunas personas aún lavan su ropa cerca de los manantiales con

detergentes que no son biodegradables (Foto 4.11). Lógico es que esto propicie la contaminación de escurrimientos superficiales que eventualmente pueden infiltrarse, y en parte purificarse; pero aun así no deja de deteriorar la calidad del agua subterránea, provocando daños en la salud de la población que vive alrededor de los cuerpos receptores contaminados, así como también la existencia de las fosas sépticas tanto en los municipios como en las localidades cercanas a los cauces de los ríos contribuyen a esta contaminación. En la cabecera distrital Sola de Vega, ya se tiene pensado en un proyecto para ubicar y establecer una planta de tratamiento de aguas residuales, para los siguientes dos años.

Foto 4.10



Lugar: San Miguel Sola de Vega. Long. 96°58'40" Lat. 16°30'53" Alt. 1400 m.s.n.m. Obsérvese que el fluido que se ve en la calle es agua residual que sale de las casas y se va directamente al cauce del río Sola.

Foto 4.11



Lugar: Ojo de Agua, Los Reyes Sola. Long.96°58'55"Lat.16°29'31" Alt.1580 m.s.n.m. Personas que realizan sus actividades cotidianas, lavan su ropa a unos 5 metros de donde nace el manantial "Los Reyes".

4.7.1 La contaminación agrícola

Se ha constatado a través del trabajo de campo que en la cuenca alta del río Sola de Vega, la mayoría de las actividades agrícolas se llevan a cabo a un costado de la línea del cauce de los ríos que forman dicha cuenca. En lo que concierne a las tierras de cultivo de temporal y de riego, se puede decir que el uso de insecticidas, plaguicidas y la utilización excesiva de fertilizantes y abonos, originan una contaminación peligrosa para las aguas superficiales y principalmente subterráneas, provocando un impacto ambiental (repercusión de tipo negativo que la acción del hombre causa sobre la naturaleza en este caso el agua de los ríos y manantiales). El escurrimiento en la cuenca suministra volúmenes de agua que son demandados, en especial en las áreas propuestas para la realización de actividades agrícolas de riego.

El aprovechamiento del agua que se propone debe ser el adecuado, al nivel de las localidades, municipios y comunidades en desarrollo económico actual como se

presenta en la cabecera distrital Sola de Vega, y sus potenciales a largo plazo, destacando los usos para actividades agrícolas y para uso doméstico.

Capítulo 5. Sinopsis geográfica e interpretación de la cuenca alta del río Sola de Vega, estado de Oaxaca

5.1 Sinopsis geográfica

A fin de tener un panorama general y global de las características geográficas de la cuenca alta del río Sola de Vega y tener a primera vista los principales aspectos que se relacionan con los procesos del ciclo hidrológico y su balance correspondiente se elaboró una tabla sinóptica, en la que se muestran los aspectos más relevantes.

La tabla, sinopsis de las características geográfico-físicas de la cuenca alta del río Sola de Vega, se elaboró con un carácter general, en el cual se relacionan los criterios geomorfológicos e hidrogeográficos, se incluyen algunos aspectos de la población, como parte importante del territorio de la cuenca. En ésta se consideran las unidades básicas del relieve como subregiones principales que conforman la cuenca alta del río Sola de Vega.

En esta tabla se incluyen en primer lugar las características del relieve, su localización, altitud, declive de las laderas, estructura geológica, las grandes unidades de suelo, los cambios de la vegetación. En segundo lugar lo referente a la hidrografía, los patrones de drenaje [ya que sus características particulares contribuyen al escurrimiento y a la formación del cauce principal y sus respectivos caudales], así como la distribución geográfica de frecuencia de cauces y densidad de drenaje en la cuenca de estudio, el comportamiento de la temperatura, la precipitación y las variaciones climáticas de la cuenca; este criterio permite visualizar más ampliamente donde se presentan los hechos y como se distribuyen dentro de la cuenca así como las causas que los provocan. Estos aspectos se correlacionan con el criterio hidrográfico, que también permite conocer las cantidades de agua aportadas desde las partes altas de la cuenca hasta las proximidades de su punto terminal. La población, aparte de conocer su distribución dentro de la cuenca se conoce la relación que tienen con las alteraciones que ha sufrido la cuenca, y en la explotación del agua de los escurrimientos superficiales así como su contaminación, el comportamiento de estas características se manifiesta en los balances hídricos parciales. Este tipo de sinopsis puede servir de base para trabajos posteriores.

Tabla 5.1 Sinopsis Geográfica por unidad de relieve de la cuenca alta del río Sola de Vega, estado de Oaxaca

Unidades de relieve	Localización	Altitudes m.s.n.m.	Declives por rangos	Geología	Edafología	Vegetación y uso de suelo
Montañas y laderas altas	Norte, Occidente, Sur, Sureste	De 2865 -2200	Predominan declives de > 45° de 45°-24° de 24° a 12°. categorías de muy escarpado a algo escarpado. Escurrimiento superficial y en caudales. Rápido.	Predominio de toba ácida del T, lutita-arenisca del Ks. granito del paleozoico, caliza Ki. gneis del pE. Faborecen la infiltración.	Predomina el tipo de suelo, Regosol+Luvisol-crómico+Litosol con textura media en fase lítica. Faborece la infiltración.	Bosque de pino, bosque de pino con vegetación arborea, pino - encino, bosque de encino. Retiene el agua de escurrimiento y no faborece la ET.
Montañas secundarias internas	Centro Occidental, Centro.	De 2200 -2000	Predominan declives de > 45° de 45°-24° de 24° a 12°. categorías de muy escarpado a escarpado. Escurrimiento superficial y en caudales. Rápido	Toba ácida del T. Faborecen la infiltración.	Predomina el tipo de suelo, Regosol+Luvisol-crómico+Litosol con textura media en fase lítica. Faborece la infiltración.	Bosque de pino con vegetación secundaria arborea, bosque de pino. Retiene el agua de escurrimiento y no faborece la ET.
Talud de transición	Cubre de Oeste a Este formando un arco en la parte media de la cuenca, con su concavidad hacia el Sur, su mayor área se encuentra en la porción Oeste.	De 2200 -1600	Predominan declives de 45°-24° de 24° de 12° a 6° de escarpado a moderadamente inclinado. Escurrimiento moderado en caudales y escorrentía.	Prodominio de toba ácida del terciario, lutita - arenisca del Ks. caliza Ki. gneis del pE, limolita - arenisca del Ti. Infiltración media.	Predomina el tipo de suelo, Regosol+Luvisol-crómico+Litosol con textura media en fase lítica. Y en menor proporción litosol+trendzina de textura fina. Infiltración media.	Bosque de pino con vegetación secundaria arborea, bosque de pino -encino, bosque de pino -encino con vegetación secundaria arborea, Pastizal inducido, Selva baja caducifolia y agricultura de temporal. ET, media y el escurrimiento de medio a bajo.
Laderas bajas y cañadas	Norte, Centro Sur, Sureste y Suroeste de la cuenca.	De 1800 -1600	Predominan declives de 45°-24° de 24° de 12° a 6° 6° a 3° de 3° 1° 30' de escarpado a suave. Escurrimiento más lento en caudales.	Predominio de toba ácida del T, lutita - arenisca del Ks. Limolita - arenisca del Ti. Infiltración media.	Predomina el tipo de suelo, Regosol+Luvisol-crómico+Litosol con textura media en fase lítica. Infiltración media.	Bosque de pino con vegetación secundaria arborea, bosque de pino - encino, selva baja caducifolia. ET, media y el escurrimiento superficial medio.
Lomeríos y valles fluviales	Oriente de la cuenca.	De 1800 -1375	Predominan declives de 12° a 6° de 6° a 3° y de 3° a 1° 30' <1° 30' muy inclinado a muy suave. Velocidad del escurrimiento de media a baja.	Predominio de toba ácida del T, lutita - arenisca del Ks. Limolita - arenisca Ti. caliza del Ki. Infiltración de media a baja.	Suelo dominante litosol+feozem háplico con textura media en fase lítica. Infiltración de media a baja.	Bosque de encino, pastizal inducido, selva baja caducifolia, agricultura de riego y de temporal. Zona muy erosionada. Faborece la ET, y el R, superficial.

Tabla 5.2 Sinopsis Geográfica por unidad de relieve de la cuenca alta del río Sola de Vega, estado de Oaxaca

Unidades de relieve	Patrones de drenaje	Frecuencia de cauces $F_c = \frac{N_c}{Km^2}$	Densidad de drenaje $Dd = \frac{Km}{Km^2}$	Temperatura media anual TMA en °C	Precipitación media anual PMA en mm	Clima
Montañas y laderas altas	Con mayor predominio el patrón A. Dendrítico. Y en menor proporción la B. Rectangular. Mayor abundancia de cauces, y volumen de agua de escurrimiento referente al tipo de drenaje.	Predomina la frecuencia de cauce media de 4 - 3 segmentos de cauce, secundariamente la frecuencia baja de 2 - 1 y por último la de menor presencia es la alta de 6- 5 segmentos de cauce. Alta infiltración por la disección de cauces.	La densidad que predomina más es la baja de 1.14 a 0.25. Le sigue, la densidad media 2.32 a 1.15, y por último la densidad alta que va de 3.50 - 2.33. Alta erosión hídrica. Escurrimiento en cauces alto - medio	Temperatura anual entre 12 -18°C es relativamente baja. Evapotranspiración baja.	De 1200 - 2000mm. precipitación local alta.	Clima templado con abundantes lluvias en verano, C (wz)(i)g El más húmedo de los templados subhúmedos.
Montañas secundarias internas	Predomina el B. Rectangular, y en menor proporción la C. Radial centrífuga. Escurrimiento medio en los cauces.	Predomina la frecuencia de cauce media de 4 - 3 segmentos de cauce, le sigue la frecuencia baja, que va de 2 - 1 segmentos de cauce. Infiltración alta-moderada por disección de cauces.	Predomina la densidad media 2.32 - 1.15. Alta erosión hídrica. Escurrimiento en cauces alto - medio	Temperatura anual entre 12 -18°C es relativamente baja. Evapotranspiración baja.	De 1200 - 2000mm. precipitación local alta.	Clima templado con abundantes lluvias en verano, C (wz)(i)g El más húmedo de los templados subhúmedos.
Talud de transición	Predomina la A. Dendrítico. Y en segundo lugar la A1. Asimétrico, y por último la C. Radial centrífuga. Concentración de cauces y agua de escurrimiento, medio.	Predomina la frecuencia de cauce media de 4 - 3 segmentos de cauce, después la alta de 6- 5 segmentos de cauce. Le sigue la muy alta de 8 - 7 con menor predominancia. Y por último una frecuencia muy escasa en la cuenca, la nula sin cauces. Alta disección de cauces.	Predomina la densidad media 2.32 - 1.15. Le sigue la alta con 3.50 - 2.33. La siguiente presenta densidad baja de 1.14 - 0.25. Y en último lugar la categoría nula sin cauces. Moderada erosión hídrica. Escurrimiento en cauces medio.	Predomina la temperatura de 12° a 18° C y abarcando un área en la cuenca de >18°C alta. Evapotranspiración baja a media.	De 1200 -2000 mm y de 1200 -800 mm precipitación local alta a media.	Clima templado con abundantes lluvias en verano, C (wz)(i)g El más húmedo de los templados subhúmedos. Y en menor proporción el clima templado semicálido con lluvias en verano (A) C (w ₀). El más seco de los semicálidos subhúmedos.
Laderas bajas y cañadas	Predomina el patrón de drenaje A. Dendrítico. Alta concentración de agua de escurrimiento.	Predomina la frecuencia de cauce media de 4 - 3 segmentos de cauce. Después le sigue la frecuencia alta de 6- 5 segmentos de cauce. Alta disección de cauces.	Predomina la densidad media 2.32 - 1.15. Le sigue la alta con 3.50 - 2.33. La siguiente presenta densidad baja de 1.14 - 0.25. Baja erosión hídrica. Escurrimiento en cauces medio.	Predomina la temperatura de 12° a 18° C y abarcando un área en la cuenca de >18°C alta. Evapotranspiración baja - media y alta.	De 1200 -2000 mm y de 1200 -800 mm precipitación local alta a media.	Clima templado con abundantes lluvias en verano, C (wz)(i)g. El más húmedo de los templados subhúmedos. Y en menor proporción el clima templado semicálido con lluvias en verano (A) C (w ₀). El más seco de los semicálidos subhúmedos.

Continuación...

Unidades de relieve	Patrones de drenaje	Frecuencia de cauces $F_c = \frac{Nc}{Km^2}$	Densidad de drenaje $Dd = \frac{Km}{Km^2}$	Temperatura media anual TMA en °C	Precipitación media anual PMA en mm	Clima
Lomeríos y valles fluviales	Predomina el patron de drenaje C. Radial Centrífu- ga, después la A. Dendrítico, y por último la A1. Asi- métrico. Alta concentración de agua de escurri- miento.	Predomina la frecuencia de cauces alta de 6 -5 cauces, le sigue la fc: media con 4 -3, después la baja de 2 - 1 cauces, y por último la frecuencia muy alta con 8 a 7 seg--- mentos de cauce. Alta disección de cauces. y alto vol. De agua de R.	Predomina la densidad media 2.32 - 1.15. Le sigue la dd: alta con 3.50 - 2.33. La siguiente presenta densidad baja de 1.14 - 0.25. Escurrimiento en cauces medio.	Temperatura anual > 18°C. alta. Evapotranspiración alta.	De 1200 - 800 mm. precipitación local media a baja.	Unica presencia el clima templado semicálido con lluvias en verano (A) C (w). El más seco de los semicálidos subhúmedos.

175C

Tabla 5.3 Sinopsis Geográfica por unidad de relieve de la cuenca alta del río Sola de Vega, estado de Oaxaca

Unidades de relieve	Evapotranspiración ET en mm	Coefficiente de escurrimiento R en %	Infiltración I en mm	Poblamiento actual y actividad predominante	Alteración: V: vegetación, S: suelo y A: agua.
Montañas y laderas altas	Variable entre 379.7 a 597.5. equivalentes a 18.9 a 54.3 % parcial de la lámina de P. ET local: Baja.	Predomina un coeficiente de 20 - 30 %. R: Alto. le sigue con baja predeominancia de 5 - 10 %. R: Bajo. y el que se presenta en mucho menor proporción de 0 - 5 %. R: Muy bajo.	Variable de 652.5 a 1200.3 mm. y con un porcentaje que varia entre los 29.7 a los 91.5 % de la lámina de P. I: Alta.	Casi despoblado. Actividad forestal y un sitio con piscicultura.	V: Alteración Muy notable por la deforestación, tala. S: Se encuentra en proceso de erosión de tipo hidrica, formación de pequeñas cárcavas. A: Cauces de primero, segundo y tercer orden sin alteración.
Montañas secundarias internas	Variable entre 435.7 a 504.5. equivalentes a 10.8 a 9.8 % de la lámina de P. ET: Baja.	Unica presencia de 20 a 30 %. R: Alto.	De 271.5 a 575.5 y que equivalen a 60.4 a 9.8 % de la lámina de P. I: Media.	Poca población. Muy poca actividad forestal.	V: Alteración poco notable. S: En proceso de erosión. A: Cauces de primer orden con contaminación orgánica natural
Talud de transición	De 379.7 a 738.1. equivalentes en porcentaje de 90.11 a 15.2 de la lámina de P. ET: Media.	Variable entre >30 % R: Muy alto, 30 - 20 % en menor proporción, 10 - 20 R: Medio y 0 - 5 % tiene poca presencia. R: Muy bajo.	De 116.9 a 1139.3 que van de 25.6 a 5.3% parcialmente. I: Media.	Escasamente poblado. Algo de agricultura y poca actividad forestal.	V: Alteración media causada por la agricultura y act. forestal S: Pocos cambios de uso de S, para la agricultura. A: Del 1o al 5o, orden alteración media.
Laderas bajas y cañadas	De 379.7 a 738.1. equivalentes en porcentaje de 90.11 a 15.2 de la lámina de P. ET: Media.	De 20 - 30 %. R: Alto.	De 790.0 a 946.8 mm. y que equivalen de 85.5 a 9.1% I: Media.	Poblado. Agricultura y pastoreo.	V y S: Alteración alta por cambios de uso de suelo para fines agropecuarios. A: Del 1o al 5o. orden con alteración alta por contaminación.
Lomeríos y valles fluviales	De 504.5 a 738.1. esto es en porcentaje parcial de las láminas de P. 1.4 a 81.3 ET: Alta.	Predominantemente el coeficiente de escurrimiento de 10 - 20 % R: medio. Después la de 0 - 5% poco presente R: Muy bajo y por último con menor presencia de 20 - 30 %. R: Alto.	De 116.9 a 271.5 mm. y que equivalen a 25.6 a 43.0% parcial de la lámina de P. I: Baja.	Muy poblado, se concentra la población en esta unidad de relieve, es apta para el poblamiento. Diversas actividades agropecuarias, comercio.	V y S: Muy alterada por cambios de uso de suelo variados, A: Cauces del 1o al 6o. Muy alterados, por contaminación, descarga de drenaje, basureros residuos domésticos, fertilizantes y pesticidas.

1950

Tablas 5.1, 5.2 y 5.3 Sinopsis geográfica

En las tablas de la sinopsis geográfica, se aprecian en conjunto los factores físico – geográficos que influyen y/o condicionan el comportamiento fluvial y en el balance hídrico de la cuenca.

A fin de evitar algunas repeticiones de los aspectos descritos en el texto y en la tabla de la sinopsis geográfica, únicamente se hacen descripciones referentes a las características que influyen más directamente en el ciclo hidrológico local.

5.2 Interpretación de la sinopsis geográfica de la cuenca

En las montañas y laderas altas al igual que en las montañas secundarias internas, el comportamiento de la temperatura y la precipitación se condiciona principalmente por la altitud. La precipitación en la cuenca es un factor primordial, ya que constituye la fuente de alimentación de los flujos y almacenamientos de las aguas, los cuales pueden ser evaluados y explotados por el hombre ya que conforman los recursos hídricos que emplea para su beneficio. Las precipitaciones tienen variaciones temporales, areales y volumétricas, están combinadas armónicamente con otros componentes del medio natural y conforman diferentes paisajes en el territorio que de la cuenca alta del río Sola de Vega.

En esta unidad de relieve la temperatura predominante es de 12° a 18° C y la precipitación de 1200 a 2000 mm. De acuerdo con lo expuesto puede decirse que la precipitación está determinada por la altitud de las montañas > 2000 m.s.n.m., éstas se forman gracias a los vientos húmedos de aire marítimo tropical procedentes del Océano Pacífico; estas lluvias son de tipo orográfico y disminuyen paulatinamente con la altitud. El tipo de vegetación también influye favorablemente a las precipitaciones ya que los bosques frenan la velocidad de los vientos (efecto fricción). Debido al rozamiento, o mejor dicho, a la rugosidad de las masas boscosas se produce un movimiento ascensional lento del aire lo cual favorece las precipitaciones.

Los valores de evapotranspiración son bajos en las laderas y montañas altas ya que este proceso del ciclo hidrológico está condicionado por la temperatura baja y por esto disminuyen la evaporación desde el suelo y la transpiración vegetal. La vegetación, que predomina principalmente es de bosques de pino, pino-encino y se sabe que el tipo de

hojas de estos árboles transpiran poco por lo que no se favorece este proceso del ciclo hidrológico.

El escurrimiento se condiciona por los declives de las laderas cuyos valores oscilan de $>45^\circ$, de 45° a 24° y de 24° a 12° , distribuidos en el territorio de ésta unidad de relieve. Debido a lo escarpado del terreno, la velocidad de escurrimiento es alta. El tipo de roca predominante que constituye el terreno, es la toba ácida, en menor proporción la lutita-arenisca y la caliza, estas rocas se comportan de acuerdo a las condiciones de erosión que tengan; por ejemplo la toba y las calizas se meteorizan y se desintegra fácilmente en climas húmedos. Tal es el caso de esta región, ya que el clima predominante es templado por temperatura; pero es el más húmedo de los templados subhúmedos. Esto significa que el escurrimiento lleva consigo materiales sólidos en suspensión, y arrastra otros de mayor peso; ambos se acumulan en las parte bajas de la cuenca. La textura que constituye el suelo es media, esto se refiere a texturas francas o limosas con retención moderada de agua, y deja que se presente un coeficiente de escurrimiento que va de alto a medio. El escurrimiento se refleja en la distribución de frecuencia de los cauces ya que la erosión y otros factores, forman los cauces por donde circula el agua, a la vez que las estructuras geológicas dan origen junto con los escurrimientos a los patrones de drenaje, esto indica que a lo largo de los cauces siempre existirá un escurrimiento de agua superficial. La densidad de drenaje que predomina en ésta zona es media. Otro aspecto son las precipitaciones muy intensas en la zona. Esto propicia junto con el declive que el agua escurra más rápidamente, lo cual puede variar según la estación del año; en la temporada de lluvias, que se presenta en verano se registran valores altos de escurrimiento superficial en las laderas y a lo largo de los cauces principales de esta unidad de relieve.

Sin embargo, hay que considerar que la vegetación es un factor que actúa positivamente, reduciendo la escorrentía superficial, al frenar la velocidad de la lamina de agua aumentando el tiempo de oportunidad de infiltración. En general, la cubierta arbórea con tapiz natural mantiene tasas de infiltración notables; la infiltración en el suelo forestal puede llegar a ser 50 veces superior a la de otro terreno similar (Martínez y Navarro, 1996); pero sometido a usos agrícolas, se puede afirmar que la capacidad de infiltración de un terreno es máxima si se sustenta una cubierta vegetal. La escasa

población que habita en la región se dedica a la explotación forestal, incluso hay un aserradero cerca del nacimiento del río El Tlacuache y un lugar donde se practica la piscicultura y otra pequeña parte de la población practica la agricultura en las partes bajas de la cuenca. Los diversos declives son otro factor importante que determinan e influyen en el escurrimiento e infiltración. A mayor pendiente el agua tiene menos tiempo para poder infiltrarse, pues permanece en contacto con la superficie un intervalo de tiempo menor; en esta zona, aunque el declive predominante es muy abrupto, existen algunas rocas que presentan fracturamientos y grietas, las texturas del suelo presentan grados de compactación bajas, se encuentran en la fase física lítica lo cual significa que la roca se encuentra a menos de 50 cm. de profundidad, su textura es media de limo y con un drenaje interno eficiente y de fácil manejo, lo cual indica que las posibilidades de infiltración alta son muy grandes. Esta región de la cuenca constituye la porción territorial de mayor recarga de los acuíferos y esto permite que los cauces de los ríos principales presenten agua todo el año y que no existan escurrimientos o avenidas que puedan causar desastres a lo largo de los cauces. Estos lugares se caracterizan por estar casi despoblados; pero algo conflictiva socio-económicamente hablando, ya que los habitantes de otras poblaciones se dedican a la actividad forestal, y talan los árboles clandestinamente, esto causa conflictos y alteraciones muy notables en la vegetación que provocaran efectos negativos en el comportamiento del ciclo hidrológico, en cuanto a la alteración del suelo éste se encuentra en proceso de erosión de tipo hídrico y con formación de pequeñas cárcavas, en cuanto al agua no presente ninguna alteración notable, sólo los cauces de primero, segundo y tercer orden presentan contaminación orgánica natural esto significa que es causada por sólidos en suspensión, hojas, ramas y pequeños troncos de los árboles, fauna silvestre etc. A diferencia de la montañas y laderas altas, las montañas secundarias internas; muestran una alteración poco notable en su vegetación ya que existe poca actividad forestal.

En el talud de transición; la temperatura es $>18^{\circ}\text{C}$ y la precipitación de los 800 a 1200 mm, condicionados por la altitud, algunas precipitaciones de tipo orográfico descarga sus aguas en esta zona de transición.

La evapotranspiración se presenta con láminas de 379.7 a 738.1 mm, son valores relativamente altos que son condicionados por la vegetación y el uso de suelo, como es

una zona de transición la vegetación varía y cuenta con bosques, selva baja caducifolia, pastizal inducido, agricultura de temporal y de riego favoreciendo la evapotranspiración y a su vez otros elementos del ciclo hidrológico.

El escurrimiento en esta unidad de relieve, debido a sus declives que van de 45° a 3° permite diversas variaciones que pueden presentar valores de escurrimiento muy alto, alto y bajo, predominan suelos con texturas medias y finas lo que facilita el escurrimiento. La vegetación escasa como pastizales y matorrales permiten la escorrentía superficial en laderas. Aquí la distribución de la frecuencia de cauces y la densidad de drenaje va de baja, media, alta, muy alta incluso existen kilómetros cuadrados, sin cauces. El patrón de drenaje que ocupa la mayoría del área de esta unidad es el dendrítico, después el asimétrico y por último la radial centrífuga, ésta se forma principalmente por el cerro Portillo de la Rosa una elevación secundaria interna muy prominente con una altitud de 2400 m.s.n.m. aproximadamente, esto aunado a los procesos de erosión causados por la lluvia, dan origen a este tipo de drenaje.

La infiltración media que se presenta en el talud de transición, es condicionada por la lluvia, ya que su duración e intensidad ayudan a este proceso. Cuando la intensidad de la lluvia es menor que la capacidad de infiltración toda el agua que cae se introduce en el suelo. La pendiente es otro factor que puede beneficiar el escurrimiento y la infiltración, en algunas zonas más que en otras por la variación de declives en esta unidad. El tipo de roca como la caliza y la textura del suelo media y fina con retención de agua baja o alta según el tipo de arcilla, permite fácilmente la infiltración del agua al subsuelo. La vegetación varía desde bosque hasta agricultura por lo que está sujeto a variaciones de infiltración ya que el bosque abundante disminuye la escorrentía aumentando el tiempo de infiltración, en contraste, la vegetación escasa constituida por pastizales y matorrales, dejan fluir el escurrimiento e interrumpen la infiltración. Es una zona escasamente poblada, ya que el acceso es muy difícil, y las personas, para poder sobrevivir, se dedican a las actividades agrícolas de autoconsumo y poco a la actividad forestal. La alteración en la vegetación es media causada por agricultura y tala. Los suelos presentan alteración, debido a los pocos cambios de uso del suelo para la agricultura. En cuanto al agua, los cauces de primero, segundo, tercero, cuarto y quinto orden están

medianamente alterados, por la acción del hombre ya que los pocos fertilizantes y pesticidas que se utilizan dañan el agua y contaminan los cauces.

En las laderas bajas y cañadas algunas características son semejantes al talud de transición ya que se encuentran dentro de ella. Su altitud va de 1600 a 1800 m.s.n.m., dónde predominan declives de 45° a 1°30', y rocas como la toba, lutita-arenisca y la limolita-arenisca, éstas constituyen la geología de la zona, este tipo de rocas son susceptibles a la humedad, y se erosionan fácilmente ya que están formadas de granos finos y de texturas medias, su composición mineral es de arcilla y limo. La temperatura que se presenta es >18°C y la precipitación de 800–1200 mm. La evapotranspiración presenta valores medios, cuenta con un coeficiente de escurrimiento alto de 30 a 20 % y una variable de infiltración de media a alta, estos resultados son debido a las condiciones antes mencionadas y que se aprecian en la tabla, estos propician la presencia de valores medios en los elementos del ciclo hidrológico. Con respecto a la frecuencia de cauces y densidad de drenaje predomina, de la media a la alta, su patrón de drenaje es dendrítico en toda la zona. Es una zona poblada, con alteración en su vegetación y suelos alta por cambios constantes de uso del suelo para fines agropecuarios, deteriorando el estado natural del territorio de la cuenca además de que la población existente abre caminos para acceder a sus terrenos de cultivos destruyendo la vegetación natural y ahuyentando a la poca fauna que habita en estas regiones. El agua de los cauces, desde el primer orden hasta el quinto, presenta alteración alta debido a la contaminación por pesticidas, fertilizantes, desechos sólidos y por la construcción de obras como las pequeñas cortinas que se presentan a partir de esta unidad de relieve.

En los lomeríos y valles fluviales la temperatura es alta >18°C y la precipitación es baja de 1200–800 mm, con respecto a las anteriores. La altitud varía entre los 1375 y 1800 m.s.n.m., en esta unidad de relieve el comportamiento de estos elementos tiene mucho que ver con la altitud. Se registra una evapotranspiración alta, ya que la temperatura es alta y la precipitación registra bajos volúmenes. La escasa vegetación como pastizales, selva baja caducifolia y la agricultura de temporal y de riego favorece más la evapotranspiración. El suelo con textura media que aquí predomina y con su fase física lítica, favorece la entrada de agua a la cuenca por precipitación y escurrimiento;

pero también la pérdida de agua por evapotranspiración puesto que la evaporación desde el suelo registra altos índices.

El escurrimiento es alto, favorecido por los declives que varían de 1°30' a los 12°. El suelo que compone los lomeríos y los valles fluviales, están constituido por material aluvial en su mayoría en las zonas cercanas a los cauces de los ríos y arroyos, ya que todo se acumula en esta zona e impide que el agua se infiltre con facilidad, aunado a esto la escasa vegetación propicia a dar un alto porcentaje en el coeficiente de escurrimiento en esta zona. La frecuencia de cauces y la densidad de drenaje que predomina es alta, media y en menor proporción la baja. En cuanto al patrón de drenaje es de tipo dendrítico y asimétrico lo que hace que los escurrimientos sean de altos a medios. Es una zona muy erosionada.

Su infiltración es baja, aunque existen factores que la favorecen como la presencia de roca caliza, la vegetación es escasa y no retiene agua para su infiltración, las pisadas de la poca ganadería que se práctica o el movimiento de maquinaria en las actividades agrarias producen compactaciones en el suelo y los poros del suelo quedan sellados, aunque algunas labores de cultivo favorecen la infiltración, al barbechar la tierra se rompen las costras del suelo y favorece a la penetración del agua en el substrato y la adquisición de humedad del suelo que permite la realización de otras labores. Es una región muy poblada con predominio de uso del suelo para la agricultura de riego y de temporal, las zonas agrícolas se encuentran ubicadas en su mayoría próximas al río Sola de Vega, por lo tanto es una zona con una alteración muy alta tanto en su vegetación como en el suelo, ya que la población práctica el rosa, tumba y quema sobre la vegetación natural de las lomas y de algunos valles para establecer la agricultura, y/o para que retoñe y sirva de alimento al ganado (Foto 5.1); en segundo lugar en las partes bajas de la cuenca, la contaminación y los grandes volúmenes de extracción de agua de los escurrimientos superficiales y subterráneos, para abastecer los principales municipios que se encuentran después del punto terminal y aguas abajo de la cuenca alta del río Sola de Vega y por último las vías de comunicación establecidas permite el flujo continuo de transportes y visitantes a la zona. En general, los cauces de primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto orden, el cual, este último es el cauce principal de la cuenca, presenta una alteración muy alta, a causa de la contaminación que se genera,

debido a que se descargan los drenajes, residuos sólidos y existen basureros en la orilla del río, las actividades agrícolas que se practican en esta región requiere del uso de fertilizantes y de pesticidas que provocan la contaminación del agua por infiltración, al igual que las letrinas que se encuentran cerca de los cauces.

Foto 5.1



Lugar: La loma del Obispo, Sola de Vega. Long.96°55'50" Lat.16°33'35" Alt.1700 m.s.n.m. Se observa como fue quemada la vegetación natural, con la finalidad de cambiar el uso del suelo para actividades agrícolas o ganaderas.

5.3 Resultados

Los resultados más relevantes de la investigación son los siguientes: Por altitud de relieve se nota que predominan en la cuenca, las altitudes entre 1600 a 2200 m.s.n.m. Esta franja de 600 m de altura cubre el 64 % del área total de la cuenca. Destacan entre estas altitudes, montañas secundarias internas, el talud de transición y laderas bajas y cañadas. Los declives dominantes corresponden a la mayor inclinación, aunque hay porciones de menor declive. Los bosques de pino—encino con vegetación secundaria arbustiva, bosque de pino—encino, bosque de pino con vegetación secundaria arbórea, pastizal inducido, selva baja caducifolia, agricultura de temporal y de riego. En cuanto a

las rocas y suelo que lo constituyen son con mayor predominio toba ácida, del terciario, lutita–arenisca del cretácico superior, caliza del cretácico superior, gneis del precámbrico y limolita–arenisca del terciario inferior. Los suelos de estas zonas se componen por regosol eutríco, luvisol crómico, y litosol con textura media en fase lítica en menor proporción sobre el talud de transición litosol y rendzina con textura fina. En las montañas secundarias internas se identificó que destacan principalmente los patrones de drenaje rectangular y radial centrífuga; en el talud de transición, destaca el patrón de drenaje dendrítico y asimétrico, en las laderas bajas y cañadas existe la presencia del patrón de drenaje dendrítico.

Entre las altitudes de 2200 m.s.n.m. y hasta el punto más alto 2865 m.s.n.m., ocupa el 22 % del área total de la cuenca, ahí se localizan las montañas y laderas altas. Predomina en esta unidad de relieve los declives de muy escarpado a algo escarpado. Los bosque de pino, pino con vegetación secundaria arbórea, bosque de encino y de pino–encino predominan en esta zona. Su litología está constituida por toba ácida, lutita–arenisca, granito, caliza y gneis. El suelo de esta unidad de relieve se compone de regosol eutríco, luvisol crómico y litosol con textura media en fase lítica. En las montañas y laderas altas, predomina el patrón de drenaje dendrítico y rectangular.

Entre las altitudes 1375 hasta 1600 m.s.n.m. y con el menor porcentaje 14 % del área total de la cuenca. Se encuentran los lomeríos y valles fluviales. Los declives dominantes en esta zona son de muy inclinado a muy suave. La agricultura de temporal, de riego, la selva baja caducifolia, pastizal inducido, y bosque de encino, se localiza en esta zona. Las rocas que ahí existen son toba ácida, lutita–arenisca, limolita–arenisca, y caliza. Los suelos se constituyen por litosol, feozem háplico con textura media en fase lítica. Predomina el patrón de drenaje radial centrífuga, dendrítico y el asimétrico en menor proporción.

Se considera que la cuenca se encuentra en un alto proceso de erosión y desertización, debido a los cambios tan abruptos de uso del suelo y a la pérdida de vegetación natural por desmonte y deforestación por tala excesiva de árboles principalmente de los bosques de pino, pino–encino y encino.

La cuenca alta del río Sola de Vega, cuenta con tres principales subcuencas; la subcuenca del río Grande, la subcuenca del río Santa Rosa y la del río Sola.

Se tienen en total 566 cauces, la frecuencia absoluta de cauces es media de 1.20 cauces sobre km^2 el análisis particular de la distribución de frecuencia de cauces en la cuenca también indica el predominio de la frecuencia media. En cuanto a la densidad de drenaje que va ligado a la frecuencia de cauces se obtuvo un valor de 2.17 km sobre km^2 esto indica que tiene una densidad de drenaje baja, en el análisis de la densidad de drenaje en toda la cuenca se muestra la que más predomina en este caso es la densidad media.

En teoría el declive absoluto de la cuenca desde la cumbre más alta hasta el punto terminal y en línea recta es suave $2^\circ 37'$. Sin embargo en el análisis particular destacan los declives de 6° a 12° y de 12° a 24° con la categoría, algo escarpado a muy inclinado por los que en las zonas donde predominan estos declives no son aptas para el desarrollo de las actividades agrícolas las cuales requieren de rangos de declive de 6° a $1^\circ 30'$ y menores, esto sólo se presentan en las zonas de laderas bajas, lomeríos y valles fluviales.

Los climas de la cuenca son dos principalmente; el clima templado subhúmedo con lluvias en verano con temperatura media anual de 12 a 18°C , con una precipitación entre 1000 y 2000 mm localizado de la parte media a la parte alta de la cuenca; y el clima templado semicálido subhúmedo con lluvias en verano con temperatura media anual $>18^\circ\text{C}$, con una precipitación entre 800 y 1000 mm localizado de la parte media a la parte baja de la cuenca.

En el mapa de hidrología de aguas subterráneas de la cuenca alta del río Sola de Vega, se presenta una unidad geohidrológica que ocupa toda el área de la cuenca. Esta unidad es de material consolidado con posibilidades bajas. Esto significa que hay bajas posibilidades de contener acuíferos de agua dulce, y no son aptos para contener agua económicamente explotable.

De acuerdo con los resultados del balance hídrico, destaca la infiltración con 351.223 millones de metros cúbicos, equivalente al 48.06 % del ingreso total de agua por medio de la lluvia. Esto se justifica por alguna de las características geográficas analizadas de la superficie. La conjugación de ciertos aspectos físicos y bióticos como: Vegetación, litología y fracturas, suelos poco profundos y con texturas medias que favorecen a la infiltración, en este sentido puede afirmarse que la cuenca es un territorio apto para la

recarga de los acuíferos y estos constituyen la reserva de agua para el abasto de la población.

La cuenca en general está poco poblada con un total de 7512 habitantes y una densidad teórica de 15 habitantes por km². Población distribuida en pequeñas localidades rurales. La mayor población se concentra hacia la parte Sur y Sureste de la cuenca. El municipio principal Villa Sola de Vega que a su vez funge como cabecera distrital está enlazada a través de la carretera pavimentada de Oaxaca–Puerto Escondido. En general la alteración de la cuenca es media ya que todavía conserva algo de su estado natural. En cuanto a la vegetación arbórea, ésta se exterminará a mediano plazo de seguir la tala excesiva. Los suelos en general tiene la posibilidad de conservarse si se evita el constante cambio de uso del suelo y en particular en la parte de las montañas y laderas altas, así como en las montañas secundarias internas se encuentra en proceso de erosión de tipo hídrico.

Los cauces del primero al quinto orden que se encuentran en la parte media y alta de la cuenca casi no presentan alteración causada por el hombre, sólo por contaminación orgánica natural. En la parte media y baja de la cuenca, incluyendo aguas abajo en contraste, se concentran más, los cauces y por tanto la población, el colector principal y manantiales están muy alterados y contaminados ya que cada vez más existen personas que lavan su ropa exactamente en el brote del manantial y los drenajes de algunos municipios y de la cabecera distrital descarga sus aguas negras y desechos sólidos en las calles y en el cauce del río Sola de Vega, en donde éste además, presenta contaminación por fertilizantes, plaguicidas, pesticidas y otras sustancias químicas que alteran su composición.

5.4 Discusión de Resultados

Debido a que el presente estudio se integró con base en información bibliográfica, cartografía temática preexistente y con varios mapas originales elaborados expofeso, entonces se puede decir que se logró cumplir con los objetivos planteados en la introducción de la tesis y se puede conocer de que manera y en que medida los factores geográfico-físicos y antropogeográficos analizados rigen el comportamiento fluvial y el balance hídrico de la cuenca alta del río Sola de Vega. Obviamente este resultado general es producto de la integración y correlación de las características particulares de

cada aspecto geográfico analizado. Esto permite establecer una serie de resultados como producto de la medición y procesamiento de la información, de ello se obtuvieron un conjunto de conclusiones derivadas del análisis e interpretación de datos y mapas.

Respecto a los objetivos particulares se puede decir que se cumplieron parcialmente, puesto que la carencia de información y la difícil actualización de la misma, limita el avance continuo y le resta exactitud. Los resultados obtenidos son confiables en buen grado y muestran una tendencia general del comportamiento del balance hídrico en la cuenca.

En lo referente a la hipótesis, un resultado interesante es que se pudo realizar un balance hídrico sin la necesidad de utilizar datos de registros hidrométricos, sólo se utilizó información promedio de cartografía temática, y de acuerdo a la información que se encontró, sí fue factible aunque con ciertas limitaciones, realmente se considera que algunos resultados son en promedio aproximados, como el balance que presenta datos de las condiciones medias del lugar.

En términos generales la metodología empleada para la elaboración de la tesis se considera la adecuada como punto común de partida, ya que permitió realizar e interrelacionar los factores que condicionan el comportamiento fluvial en la cuenca de acuerdo a algunas de sus características, físicas, bióticas y sociales analizadas. Esto permite la explicación de algunos fenómenos geográficos dentro de la cuenca.

Se observó a partir de una búsqueda bibliográfica y cartográfica de la cuenca alta del río Sola de Vega, que existe la carencia de estudios particulares referentes a los aspectos físicos y principalmente de la hidrografía.

Después de haber elaborado la tesis en lo personal puedo considerar que se obtuvieron resultados satisfactorios: Primero; el conocer en gabinete algunas de las características geográficas, de las cuales se corroboraron en el campo, algunos aspectos físicos y sociales así como la ubicación de ellos en la realidad. Segundo; se efectuó el conteo, cuantificación, medición y elaboración de elementos primordiales que conforman la tesis, algunos de ellos son los parámetros morfométricos de la cuenca como: área y forma de la cuenca, perímetro, ancho y largo promedio, coeficiente de compacidad, entre otros. Se realizaron gráficas como: histograma de frecuencias altimétricas, curva hipsográfica, curva integral hipsométrica, termopluiometría, gráficas de temperatura,

precipitación, evapotranspiración, escurrimiento, balances hídricos parciales, del balance global y de la población entre otras. Tercero; se midieron áreas y magnitudes de los factores geográfico-físicos que existen en la cuenca alta, algunos de ellos son: altimetría, geología, edafología, vegetación y uso de suelo, climas etc., también se midieron y cuantificaron los cauces que constituyen el sistema fluvioigráfico, los cuales se clasificaron de acuerdo a la metodología aplicada.

Gracias al traslado de escala cartográfica 1: 250 000 a 1: 50 000, se pudo procesar la información para elaborar mapas inéditos como el de las unidades básicas del relieve, declives, patrones de drenaje, también se establecieron coeficientes para la realización de los mapas de distribución de frecuencia de cauces y densidad de drenaje, algunos de los aspectos antes mencionados son condicionantes sobre el comportamiento fluvial y el balance hídrico de la cuenca alta del río Sola de Vega.

En la elaboración de los mapas se procuró tener la máxima coincidencia entre la información presentada a una escala y la información que se transfirió a la escala adecuada para el procesamiento de datos en este caso 1: 50 000, se obtuvo como resultado mapas de buena calidad, al igual que la precisión y calidad con la que se elaboraron las tablas, gráficas y figuras de la tesis, puesto que estos datos se correlacionaron, analizaron, interpretaron y describieron para inferir una serie de conclusiones y sugerencias.

Los datos obtenidos del balance hídrico son congruentes y de carácter general, con el se pretende alcanzar un nivel de veracidad bueno dado que los resultados son próximos a la realidad entre un 60 y 70 %, ya que los datos climáticos no corresponden a periodos completos y su información no está actualizada, o peor aún no existe. El balance hídrico ayudó a deducir el volumen de agua con la que dispondrá la población en los próximos siete años.

Con base en los estudios físicos se determinó cuales son las condicionantes y la distribución de la precipitación en la cuenca del río Verde y de ahí en forma particular en la cuenca alta del río Sola de Vega, el resultado de conocer esta ubicación fue la elaboración de un mapa de regionalización pluvial.

Al efectuar los cálculos numéricos del balance hídrico por franjas, se lograron resultados que pueden considerarse adecuados, con respecto a la información y el

material cartográfico consultado, y por las observaciones hechas en campo. Únicamente en la porción Sureste de la cuenca, en la franja E, y subunidad E₂, hubo necesidad de hacer un ajuste en el coeficiente de escurrimiento. El mapa que muestra las unidades de escurrimiento de la precipitación anual (ver mapa 3.5), indica que en esa zona el porcentaje del escurrimiento es mayor de 30 % con base en esta información aparentemente no existiría agua para infiltrarse lo cual, a su vez contradice la información que existe en el mapa geológico y el de declives, en donde se señala la presencia de rocas sedimentarias en general constituidas por caliza y lutitas-areniscas, además registra muchos fracturamientos, por lo tanto el agua se infiltra fácilmente. Cuando se efectuó el trabajo de campo se observó que en esta región la vegetación está constituida por selva baja caducifolia con cierto predominio de matorrales espinosos, cactáceas con una densidad notable. Con base en estas observaciones se concluye que el valor porcentual del coeficiente de escurrimiento en esta zona es muy alto, motivo por el cual se ajustó a 12%, este ajuste fue pensado principalmente por la cantidad de infiltración que se presenta en toda la cuenca y particularmente en dicha franja.

En el año 2002 y 2003 con el estudio de la cuenca alta del río Sola de Vega, se detectaron áreas críticas con aspectos relacionados con el comportamiento del ciclo del agua local, estos corren el riesgo de afectar de manera drástica los elementos que lo constituyen incluyendo el comportamiento fluvial de la cuenca.

El comportamiento de escurrimiento en la temporada de secas es escaso a lo largo de los cauces.

En el trabajo de campo se descubrió que el número de manantiales que se encuentran en la cuenca es alto; lamentablemente no se pudieron localizar con precisión, pero la presencia de estos manantiales proporciona una visión amplia, de donde y cómo se abastece la población dispersa que habita en la cuenca.

Se logra conocer por medio de la encuesta que se realizó en trabajo de campo de donde y como se abastece de agua la mayoría de la población en la cuenca alta del río Sola de Vega. También gracias a las encuestas puede decirse que la calidad del agua en general aún es buena ya que algunos estudios, pocos en realidad muestran que el agua es casi potable esto lo mencionan algunas personas de las localidades cercanas

al río, no obstante hay que clorar los depósitos para evitar enfermedades de tipo gastrointestinal; esto sólo se dice, para el agua que escurre de las partes altas a las partes medias de la cuenca, donde no se presentan alteraciones. En la parte baja de la cuenca, en contraste se presentan alteraciones como: contaminación por detergentes, fertilizantes, pesticidas y por los aguas negras de los drenajes que desembocan en el cauce del río, por eso en el municipio y cabecera distrital Sola de Vega, se aplican medidas de seguridad para evitar enfermedades causadas por el agua y algunas medidas de saneamiento como son: clorar el agua cada determinado día, hervirla o desinfectarla; cabe indicar que se recomienda que las personas deben desparasitarse por lo menos cada seis meses. Por otra parte en el Centro de Salud del municipio no se tiene registro alguno de las enfermedades causadas por consumo del agua sin desinfectar, por lo tanto se desconoce la magnitud o extensión de morbilidad hídrica.

En el trabajo de campo también se detectó que la mayoría de la población cuenta con pozos de agua, y cuando llegan a consumir este líquido lo hierven previamente, para evitar cualquier tipo de enfermedad. Los habitantes que viven en el municipio de Sola de Vega, a diferencia de los demás en la cuenca, obviamente por las mejores condiciones socio-económicas, por ser municipio y cabecera distrital, han contado con el servicio de abastecimiento de agua, y no es necesario recurrir a la excavación de pozos, además, que el lugar no es propicio para ello, pues la cabecera municipal se encuentra asentada en la parte alta de una loma.

Por último -y no por eso el menos importante- en lo concerniente a la población, se corroboró que los resultados obtenidos de los censos de población, y los que se obtuvieron en la encuesta, coinciden y demuestran efectivamente que la población va en descenso sobre todo en las localidades y poblaciones dispersas del interior de la cuenca, puesto que estos habitantes buscan mejores oportunidades en el trabajo con el fin de mejorar sus ingresos y su calidad de vida, en cambio en los municipios Santa María Sola y en el de Sola de Vega la población manifiesta un comportamiento estable.

Se estimó la demanda actual de agua de la población y la demanda futura, y se establece que: sí se evita la deforestación en las partes altas y algunas otras alteraciones que modifique el ciclo hidrológico, así como la disminución de la población de algunas localidades, aunque esta última no representa una amenaza, ya que actualmente son

muy pocos los habitantes que se encuentran dentro de la cuenca, se considera de modo empírico que en los próximos años el volumen de agua de los acuíferos que existan en la cuenca y la que constituyen los escurrimientos, podrán abastecer satisfactoriamente las necesidades de la población en un futuro, sobre todo aguas abajo en donde la población es más estable y tiende a crecer más, en comparación con el interior de la cuenca donde la población disminuye.

El estudio que se realizó puede servir de base para otros estudios enfocados a problemas específicos, por ejemplo: para la conservación ecológica, conservación del suelo y del agua, ordenamiento ecológico y estudios para fines agropecuarios.

5.5 Conclusiones

Se concluye que el comportamiento hidrológico de la cuenca alta del río Sola de Vega, es complejo, debido a la gran variedad de características geográfico-físicas que se encuentran dentro de ella.

La morfometría de la cuenca determina las condiciones del terreno en donde los escurrimientos principalmente en la parte alta de la cuenca y por su pendiente tan pronunciada desaloja rápidamente el agua que se capta en esa zona, por lo tanto estos lugares presentan el riesgo de ser fuertemente erosionados por dichos escurrimientos, si se lleva a cabo la deforestación. No obstante, la geología de las partes altas de la cuenca está constituida por tobas ácidas fracturadas (arenas, grava), en el cual es muy significativo el alto índice de infiltración que estos materiales presentan, por lo que, representa un área de gran recarga de los mantos acuíferos, cuya agua posteriormente aflora en forma de manantiales que alimentan el cauce del río.

La geología de la cuenca incluye características muy variadas; aunque $\frac{3}{4}$ partes de la porción alta es uniforme, el suelo al igual que la geología es uniforme en algunas partes; pero presenta zonas con una mayor problemática para el escurrimiento en las porciones bajas de la cuenca por la variabilidad de estrato rocoso, presencia de calizas, falta de cubierta vegetal lo cual, propicia volúmenes altos a favor de la evapotranspiración e infiltración.

Se considera que el balance hídrico realizado para la cuenca alta del río Sola de Vega tiene una estimación general, sin embargo se le juzga como un trabajo original ya que contribuye a los conocimientos hidrográficos del estado de Oaxaca y de la cuenca del río

Verde, además de que no existe un trabajo al nivel de precisión en cuanto a estudios geográfico-físico e hidrológico de esta zona de Oaxaca.

La carencia de información climática e hidrométrica pone de manifiesto la necesidad de que se establezcan estaciones climáticas distribuidas en las confluencias de los principales afluentes de la cuenca alta y que pongan a funcionar la que ya existe en el poblado de San Miguel Sola, ya que el análisis de los climas y la distribución espacial de la precipitación y temperatura permite comprender los resultados del balance hídrico.

La elaboración del mapa de regionalización pluvial, conduce a una conclusión; que las franjas de lluvia o regiones siguen una forma similar, se reconoce la ubicación de mayor y menor precipitación, cómo se produce, por qué se produce, su extensión y magnitud pluvial. Se presentan tres regiones de precipitación que varían desde los 2000 mm. a 1000 mm., con lluvia abundante, moderada y media. Desde el punto de vista climático el agua no es escasa, es una zona húmeda puesto que, entran 2000 mm de agua de lluvia en las partes de montañas y laderas altas y en las partes de lomeríos y valles fluviales 1000 mm, en esta zona principalmente por paisaje aparenta ser un lugar seco; pero esto se debe a que el agua que cae se infiltra por ser una zona rocas sedimentarias como calizas y lutitas-areniscas.

Anteriormente la cuenca alta del río Sola de Vega en cuestión de conservación debe haber sido una zona con alteraciones mínimas en la cobertura vegetal y con un equilibrio entre los elementos del ciclo hidrológico local, se infiere que existía un menor índice de evapotranspiración y la probabilidad de presentarse escurrimientos torrenciales eran muy bajas, esto provocaba una infiltración mayor, con una recarga de acuíferos satisfactoria.

Al detectar áreas problemáticas o críticas se observan perfectamente cuales son las causas que pueden afectar mayormente el ciclo hidrológico local, entre las principales causas: explotación forestal excesiva en las montañas y laderas altas, esto causa disminución de la cubierta vegetal arbórea que propicia se presenten altos índices de evapotranspiración, lo cual, ya está en aumento.

El escurrimiento actual es poco abundante; pero constante todo el año, su comportamiento es normal según la época del año en la que se encuentre por ejemplo; en temporada de lluvias aumenta el caudal y mantiene un buen nivel hasta que inicia la

temporada de secas, ahí es cuando tiende a disminuir. En cuanto a los manantiales éstos tienen agua todo el año y es una fuente principal de abastecimiento para la población. La presencia del agua en los manantiales significa que la infiltración no tiene actualmente una alteración significativa. La evapotranspiración aún sigue siendo benéfica, porque crea un ambiente de confort y bienestar óptimo para la presencia de asentamientos humanos.

De seguir la tala excesiva de árboles en partes altas y medias de la cuenca, la práctica de rosa, tumba y quema, el cambio de uso de suelo de agrícola a ganadero en las partes medias y bajas, un crecimiento de población principalmente en las partes bajas de la cuenca y aguas abajo, el incremento de la contaminación e impactos ambientales y la construcción de carreteras, se espera que exista un desequilibrio tanto climático y del ciclo hidrológico local, puesto que la desaparición de la cubierta vegetal y otros elementos naturales de la cuenca provocarían la disminución en la retención de agua, lo cual reduce la infiltración en las zonas de recarga de acuíferos. Se desarrollarán escurrimientos torrenciales, implícitamente, esto conlleva a que se presenten desastres en las partes bajas como los desbordamientos e inundaciones en la época de lluvias, estos escurrimientos torrenciales causan pérdida de suelo y alteraciones en la calidad del agua por los materiales de arrastre y en suspensión que se acumulan aguas abajo, dando pie a la formación de sedimentos terrígenos, este proceso tapa los poros y fracturas del suelo evitando la infiltración natural del agua.

Los procesos erosivos se consideran como un fenómeno que deteriora el ambiente y que perjudica a mediano y largo plazo las partes bajas de la cuenca, las alteraciones producidas por las causas antes mencionadas también traen como consecuencia; que la evapotranspiración se modifique una vez que el suelo quede al descubierto la evaporación desde el suelo aumentará y la transpiración vegetal por el cambio de uso de suelo de bosques a pastizales o matorrales disminuirá. Respecto a la infiltración ésta disminuirá y no habrá recarga de acuíferos, existe el riesgo que disminuyan los manantiales o dejen de existir, los ríos se vuelvan efímeros e intermitentes. Con la erosión disminuye la capa fértil del suelo incluso puede desaparecer y la presencia de un riesgo ecológico, impacto ambiental y obviamente un impacto sobre la sociedad, ya

que la falta del recurso agua y suelo afectará las actividades de las poblaciones como la agricultura y ganadería de autoconsumo.

El comportamiento de los valores del balance hídrico para años húmedos tienden a elevarse en las mismas proporciones de acuerdo a los porcentajes que se calcularon actualmente. Para años lluviosos consecutivos es muy posible que los procesos se conserven en términos generales; pero tienen también la tendencia que disminuya la temperatura y por ende disminuya la evapotranspiración, es posible que aumente el escurrimiento y la infiltración. En cuanto a los años secos disminuirán los valores en la misma proporción, pero los elementos del ciclo hidrológico serán a la inversa que en los años lluviosos.

Desde el punto de vista concerniente a las características socio-económicas en la parte alta de la cuenca se originan conflictos, ya que la gente de otras cuencas vecinas, están alterando esa zona pues se dedican a la tala forestal clandestina y se quieren adueñar de tierras que no les corresponden, estos conflictos han traído consecuencias muy graves, a tal grado que han cobrado un sin número de vidas sobretodo al Noroeste de la cuenca. Inversamente, hacia las partes bajas de la cuenca, la problemática es que el incremento de la población causa una mayor demanda de agua y suelo, que ocasiona un aumento de la contaminación de los mismos, así como su continua degradación.

En lo referente a población de la cuenca alta del río Sola de Vega se presenta una disminución en la tasa de crecimiento y contrastantemente un aumento dentro de las cabeceras municipales, podría decirse que es estable en la población de las partes bajas de la cuenca, al igual que en las poblaciones que se encuentran después de el punto terminal que limita la cuenca alta de la cuenca baja, principalmente en la gran parte de la cabecera distrital Sola de Vega, de lo cual se puede decir que al disminuir la población en las localidades y poblaciones dispersas dentro de la cuenca, la demanda y extracción de los depósitos naturales, como manantiales, y de algunos escurrimientos superficiales y algunos pozos, disminuirá al mismo tiempo que la población y en el caso donde el número de habitantes tiende a crecer más, en este caso las poblaciones que se encuentran en el límite y dentro de la cuenca baja, se incrementará la demanda de agua.

El abastecimiento de agua a las poblaciones en general es buena; pero existen zonas de población dispersa que se abastece directamente de los manantiales de agua pura,

no se tiene un registro de cuantos manantiales existen en la cuenca, ni de cuantas personas se abastecen de cada uno de ellos, y se desconoce también la calidad de agua que llega a dichos manantiales.

También se concluye que la elaboración y el empleo de la encuesta, para el trabajo de campo fue muy útil ya que se pueden conocer diferentes puntos de vista de una manera más amplia, con respecto a la abundancia o escasez del agua, conocer el uso, su abastecimiento, calidad, y el comportamiento del río, según la temporada de lluvias, se pudo corroborar el comportamiento de la población dentro de la cuenca y aguas abajo, se puede decir también que de cada 25 habitantes 18 cuenta con pozo de agua potable, pero actualmente ya no se explota tanto como antes pues ahora utilizan sólo el agua de río por medio de sistemas explicados anteriormente.

Con los resultados de la encuesta se pudo constatar que el nivel del colector principal del río es constante y que, sólo esporádicamente, presenta algunas anomalías, por lo tanto se puede decir que el caudal del río siempre tiene agua, aunque ha llegado a comportarse drásticamente, tanto con niveles muy bajos como muy altos. Puede afirmarse que el río responde al comportamiento de las precipitaciones en la región.

Se corrobora que el principal uso del agua en la cuenca básicamente es para riego y para uso doméstico por lo que, se demuestra que la actividad prioritaria para estos pobladores es la agrícola, sobre todo de la población de las partes medias y bajas de la cuenca.

5.6 Sugerencias

Con base en los resultados y conclusiones que se obtuvieron se consideró conveniente emitir algunas sugerencias y opiniones que puedan ser de utilidad para el mejor aprovechamiento y conservación del agua, en la cuenca del río Sola de Vega.

A fin de conocer más detalladamente las características físicas de la cuenca, se recomienda, elaborar cartografía con apoyo de imágenes de satélite o fotografías aéreas; pero se sugiere que la escala de esta nueva cartografía sea de 1: 50 000, con el fin de compararla con la información que se empleó y detallar la información para un estudio posterior.

De igual manera que se estudien todas las cabeceras de las subcuencas del río Verde de una forma similar a la que se utilizó para la cuenca alta del río Sola de Vega; también es posible que este tipo de estudios con métodos similares sean extensibles a cuencas vecinas o próximas a la cuenca del río Atoyac para realizar a gran escala un plan de conservación del agua, ordenamiento ecológico y reconocer áreas críticas en toda la cuenca del río Atoyac y río Verde.

Se requiere que la Comisión Federal de Electricidad a través del Servicio Meteorológico Nacional, ponga de nuevo en funcionamiento la estación climática Sola de Vega, se sugiere también la instalación de otras estaciones climáticas sean en las montañas y laderas altas y que incluyan registros de evaporación, que se establezcan estaciones hidrométricas en los puntos de confluencia de los ríos Grande, Santa Rosa y Santa Catarina con el río Sola de Vega, y por último otra en la confluencia del río Sola de Vega con el río Atoyac, pueden incluir en las investigaciones hidrométricas un lisímetro para medir la capacidad de infiltración del suelo, aparte que éstas permitirán tener conocimiento del volumen total de escurrimientos en los puntos de máxima concentración de los mismos, y no deducirlos tan sólo de datos extraídos de una carta climática o de hidrología de aguas superficiales. Los resultados que se obtengan de dichos registros pueden dar lugar a, la iniciación de estudios de factibilidad para la localización de el lugar en donde construir una presa ó cortina, para captar la mayor cantidad de agua, a fin de contra restar el déficit de agua en época de secas en las partes bajas.

Sería ideal que la Dirección General de Geografía iniciara un estudio de aguas subterráneas en la unidad geohidrológica localizada en la cuenca alta. Esto permitirá cuantificar los volúmenes de agua de los acuíferos, óptimos para su aprovechamiento.

También es necesario que instalen aparatos en las estaciones hidrométricas que registren la altura de los caudales y la cantidad de sólidos en suspensión y materiales de arrastre. De ser registrada una cantidad elevada de estos materiales, se requiere de la construcción de cortinas o gaviones de azolve que retengan los sedimentos, ya que son materiales aluviales, que se caracterizan por ser muy fértiles y se pueden utilizar para las labores de cultivo.

La áreas críticas con respecto al balance hídrico sobre todo en las partes bajas de la cuenca donde el constante cambio de uso de suelo de agrícola a ganadero y viceversa, la tala de árboles en las partes altas de la cuenca y la construcción de carreteras alteran, el buen funcionamiento del ciclo hidrológico, por lo cual debe hacerse un estudio particular al respecto.

En cuanto a la precipitación, evapotranspiración, escurrimiento e infiltración en esta cuenca también merecen estudios particulares, con cartografía de mayor detalle, fotos aéreas, trabajos de campo, realizar inventarios forestales, de uso de suelo y parcelas, ya que se tiene las características físicas, se realizan estudios socioeconómicos. Se pueden hacer diagnósticos económicos, estudios más amplios sobre la migración, se sugiere realizar estudios sobre la tenencia de la tierra para detectar latifundios improductivos, uso potencial del suelo y orden territorial, hechos por dependencias gubernamentales.

En los aspectos educativos con respecto al uso del agua, se debe de crear una conciencia para aprovechar el agua sin desperdiciarla. De acuerdo a las características locales se debe enseñar a potabilizar su propia agua y los métodos de filtración esto lo puede realizar la Secretaría de Educación Pública.

Se sugiere a la Comisión Nacional del Agua elaborar un mapa que contenga un inventario concerniente a la localización de manantiales, la evaluación de sus gastos, temporalidad del caudal, variaciones de aportes y permanencia de agua, así como de las personas que se abastecen de ellos, y la calidad, para esto se necesita un estudio detallado de la calidad y química del agua, y poder conocer que tan pura es el agua de la que dispone la población dispersa, ya que con ella satisface sus principales necesidades.

También se recomienda que por medio de la Comisión Nacional del Agua y la Secretaría de Salud realicen análisis físicos, químicos del agua en los pozos ya que, algunas letrinas están muy cerca de ellos y puede contaminar el agua que contiene, otra sugerencia sería que establecieran las llamadas letrinas secas.

Se recomienda a la Secretaría de Agricultura, el incremento de unidades de agricultura de temporal y de ganadería que sean colocadas en zonas específicas, a fin de evitar el incremento de áreas perturbadas por cambios de uso de suelo, ya que en la región se producen incendios constantemente en diferentes lugares, sobretodo

forestales, para introducir agricultura, para que reverdezca la hierba y esos retoños dárseles como alimento al ganado.

Se recomienda a la Comisión Nacional del Agua una planificación con respecto a los recursos hídricos, sobre todo para el cultivo de riego, ya que se tiene un valor alto de evapotranspiración por esta actividad, el tipo de cultivo y las necesidades de absorber agua de estos, puede afectarlos a su crecimiento y a su calidad.

A SEMARNAT, se sugiere que exista una mayor vigilancia forestal que proteja los bosques de pino, encino, pino-encino de las áreas de montañas altas y de montañas secundarias internas, como la vegetación de laderas bajas y cañadas, considerándolas como reserva, con el fin de compensar las pérdidas de bosques y de selva baja caducifolia en la cuenca, este cuidado es indispensable para facilitar la recarga de acuíferos de la zona y poder mantener un equilibrio ecológico y un equilibrio en el comportamiento del ciclo hidrológico.

Se desconoce que en los aserraderos y en otras áreas de la cuenca estén haciendo labores de reforestación. En el trabajo de campo se preguntó a manera de comentario y algunas personas coinciden en que no saben, y otras afirman que no. Por lo que otra buena sugerencia a SEMARNAT es la de establecer viveros, que favorezcan la reforestación, también se pueden cultivar árboles frutales en mayor número. Se recomienda el uso de estufas de petróleo diáfano refinado, para sustituir el uso de la leña y ayudar a la conservación de los bosques.

En vista que la población de la cuenca tiende a disminuir y la población que habita en la cuenca baja tiende a aumentar, se le sugiere a las autoridades del municipio que a la vez funge como cabecera distrital y/o a quien corresponda de las autoridades en dependencias federales, como puede ser la Comisión Nacional del Agua o la Secretaría de Salud, que dentro de sus principales prioridades; ponga a funcionar cuanto antes una planta de tratamiento de aguas residuales y otro tipo de obras que ayuden a la conservación, para sustentar a largo plazo el agua de los escurrimientos naturales tanto superficiales como subterráneos, ya que la probable sobre explotación de este recurso, implique la necesidad de la aplicación de políticas de planeación a mediano y a largo plazo. Por eso es necesario que se implemente el uso también de canaletas para captar el agua de los tejados y conducirla a depósitos, ésta puede ser empleada para los

cultivos de riego y algunas labores domésticas, así se aprovechará al máximo el agua de las precipitaciones.

Con los resultados obtenidos del estudio sobre el número de habitantes que han disminuido y seguirán en disminución en la cuenca en lapsos de diez años, se considera, que de seguir así, puede recobrase la región y crear una zona de reserva ecológica.

Se requiere involucrar a la Comisión Nacional del Agua, Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales y al Instituto Nacional de Ecología, para que realicen estudios eco-geográficos. Se pueden realizar muchas investigaciones que abarquen un estudio ad hoc, para la región, en muchos otros lugares de la República Mexicana que se encuentren en la misma situación.

A partir de este estudio se puede contribuir a sentar las bases para principiar de un ordenamiento territorial.

Se sugiere a las entidades federativas que tomen cartas en el asunto, por lo cual pienso remitir los resultados del estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA, Nicolás. (1989). *Tratado de edafología de México tomo 1*. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- ARAGÓN GÓMEZ, Juan H. (1979). *Informe hidrológico preliminar del valle de Miahuatlán Municipio del estado de Oaxaca*. Tesis Ingeniero Geólogo. ESIA. Instituto Politécnico Nacional.
- BALLESTEROS ESCAMILLA, María; y RESENDIS PACHECO, Oscar. (1991). *Estudio hidrogeográfico de la subcuenca "Río San Buenaventura". D.F.* Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. México: UNAM.
- BARAHONA, Abel; y BARAHONA, Francisco. (1984). *Metodología de Trabajos Científicos*. Bogotá: IPLER.
- BARRERA, Tomás. (1946). *Guía geológica de Oaxaca*. Instituto de Geología. México: UNAM.
- BASSOLS BATALLA, Ángel. (1981). *Recursos naturales de México: Teoría, conocimiento y uso*. México: Nuestro tiempo.
- BRIAN, Bayly. (1972). *Introducción a la petrología*. Madrid, España.
- CAMPOS ARANDA, D.F. (1992). *Proceso del ciclo hidrológico*. México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México.
- CAMPOS VILLA, Álvaro. (1992). *Plantas y flores de Oaxaca*. Inventario florístico. México: Instituto de biología. UNAM.
- CERVANTES RAMÍREZ, Martha. (1987). *Análisis geográfico de recursos vegetales y faunísticos de México*. Tesis de Doctorado en Geografía. México: Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. (CNA). *Registros hidrométricos mensuales 1957-1989 de la estación hidrométrica Paso Ancho y Tlapacoyan, Estado de Oaxaca*. Oaxaca de Juárez, Subdirección técnica. Gerencia regional de aguas superficiales e ingeniería de ríos. Gerencia Regional Pacífico Sur. México: CNA.
- CUSTODIO, Emilio; y LLAMAS MADURGA, Manuel. (1983). *Hidrología Subterránea (vols. 1-2)*. Barcelona: Omega.
- CHOW, V.T. (1964). *Handbook of applied hidrology*. New York: McGraw Hill.

-
- ENCISO DE LA VEGA, Salvador. (1990). *Índice bibliográfico Mexicano de tesis profesionales en Geología*. México: Instituto de Geología, UNAM.
- FERRER ROSALES, Manuel; y PELÁEZ LÓPEZ, Antonio. (1997). *Población y poblamiento*. España: EUNSA.
- GARCÍA COLÍN, Leopoldo; y BAVERE PHRUSSI, Mariano. (1996). *Energía, ambiente y desarrollo sustentable; el caso de México*. México: El Colegio Nacional; Programa Universitario de Energía. UNAM.
- GARCÍA MIRANDA, Enriqueta. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México: Offset Larios.
- _____. (1989). *Apuntes de climatología*. México: Offset Larios.
- GOMEZ DE SILVA, Guido. (1997). *Diccionario geográfico universal*. México: Academia Mexicana; Fondo de Cultura Económica. México.
- GONZÁLEZ PIEDRA, Julio Iván. (1984). *Hidrología general*. La Habana: Pueblo y Educación.
- _____. (1988). *Hidrología práctica*. La Habana: Pueblo y Educación.
- GUERRA PEÑA, Felipe. (1980). *Fotogeología*. México: UNAM.
- HORACIO, BOEGE, Eckart. (1996). *El acceso a los recursos naturales y el desarrollo sustentable*. México: INAH; UAM, Unidad Azcapotzalco.
- HORMIGA SÁNCHEZ, Martha Yaneth. (1999). *Estudio hidrogeográfico de la cuenca alta del río Tepejí, Estado de México: Las subcuencas vertientes a la presa Taximay*. Tesis de maestría en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. México: UNAM.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. (INEGI). (1989). *Guías para la interpretación de cartografía: Geología*. México.
- _____. (1989). *Guías para la interpretación de cartografía: Hidrología*. México.
- _____. (1990). *Guías para la interpretación de cartografía: Edafología*. México.
- _____. (1990). *Guías para la interpretación de cartografía: Climatología*. México.
- _____. (1998). *Diccionario de datos Hidrológicos de aguas subterráneas: Vectorial escala 1: 250 000*. México.

-
- _____. (1998). *Diccionario de datos Topográficos: Vectorial escala 1: 50 000*. México.
- _____. (1999). *Diccionario de datos Edafológicos: Vectorial escala 1: 250 000*. México.
- _____. (1990). *Diccionario de datos Geológicos: Vectorial escala 1: 250 000*. México.
- _____. (2001). *Diccionario de datos Climáticos: Vectorial escala 1: 250 000 y 1: 1 000 000*. México.
- _____. (2001). *Diccionario de datos de Hidrología de aguas superficiales: (Alfanuméricos)*. México.
- _____. (1990). *Diccionario de datos de uso de suelo y vegetación: (Alfanuméricos)*. México.
- _____. (1990). *XI Censo General de Población y Vivienda: Resultados Definitivos, Tabulados Básicos*, Estado de Oaxaca. México.
- _____. (1980). *X Censo de Población y Vivienda*. Estado de Oaxaca. México.
- _____. (1990). *XI Censo Distribución General de Población y Vivienda: Perfil Sociodemográfico, Región sierra sur Oaxaca, por localidad*. Estado de Oaxaca. México.
- _____. (1997). *Oaxaca por distrito: Resultados Definitivos, Tabulados Básicos*, Estado de Oaxaca. (Tomo I). México.
- _____. (1995). *Oaxaca: Resultados Definitivos, Tabulados Básicos*, Estado de Oaxaca, (Tomo I). México.
- JIMÉNEZ ROMAN, Arturo. (1981). *Estudio geográfico del agua de escurrimiento de la cuenca del río Huicicila, Nayarit*. Tesis de maestría en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. México: UNAM.
- LANZA, Guadalupe de la; y otros. (1999). *Diccionario de hidrología y ciencia afines*. México: Plaza y Valdez.
- LINSLEY, KOLHER, PAULHUS. (1988). *Hidrología para ingenieros*. México: McGraw Hill.
- LLAMAS, José. (1989). *Hidrología general: Principios y aplicaciones*. Toluca, México: Universidad Autónoma del Estado de México.

- LÓPEZ BLANCO, Jorge. (1987). *Morfometría zonificada interna y su relación con el medio físico, cuenca del río Pitahayo arroyo grande, estado de Jalisco*. Tesis de Maestría en Geografía; Facultad de Filosofía y Letras. México: UNAM.
- LÓPEZ RAMOS, Ernesto. (1981). *Geología de México. Tomo III*. México: Trillas.
- _____. (1983). *Geología general y de México. Tomo I*. México: Trillas.
- LOUIS, H. (1976). *Demografía*. Barcelona, Omega.
- LUGO HUBP, José. (1989). *Diccionario geomorfológico*. México: UNAM .
- LUQUE, Jorge Alfredo. (1981). *Hidrología agrícola aplicada*. Buenos Aires: Hemisferio Sur.
- MADEREY RASCÓN, Laura Elena. (1965). *Estudio preliminar sobre las aguas subterráneas en México*. Tesis de Licenciatura en Geografía Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- _____. (1971). *Balace hidrológico de la cuenca del río Tizar, durante el período 1967-1968*. Tesis de Doctorado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. México: UNAM.
- MARTÍNEZ LUNA, Víctor Manuel. (1980). *Los factores geomorfológicos que rigen el comportamiento de la presa "Ignacio Allende", Guanajuato*. México: UNAM.
- MARTÍNEZ, Andrés; y NAVARRO, Joaquín. (1996). *Hidrología Forestal, El ciclo del agua*. Valladolid, España: Universidad de Valladolid.
- MARTÍNEZ, Maximino. (1994). *Catalogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- MELÉNDEZ BERMUDO, José. (1981). *Geología*. Madrid: Paraninfo.
- MELÉNDEZ DE LA CRUZ, Juan. (1999). *Hidrogeografía del la cuenca del río Cuitzamala, Jalisco*. Tesis de maestría en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. México: UNAM.
- MENDIETA ALATORRE, Ángeles. (1985). *Tesis profesionales*. México: Porrúa.
- MILLER A., Austin. (1970). *La piel de la Tierra*. Madrid: Alhambra.
- MURPHY A. (1991). *Social inequality in Oaxaca, a history of resistance y change*. USA: Universidad de Philadelphia.
- PIERRE, George. (1979). *Población y poblamiento*. París: Universidad de París.

- RODRIGUEZ TORRES, Rafael. (1970). *Guías de excursiones, México-Oaxaca*. Sociedad Geológica Mexicana. México: UNAM.
- ROSAS DÍAZ, Juan. (1996). *Demanda actual y potencial de agua para uso doméstico de la cuenca del río Tejalpa, estado de México*. Tesis de Licenciatura en Geografía. Toluca, México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- RZEDOWSKI, Jerzy. (1988). *Vegetación de México*. México: Limusa.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS. (SARH). DIRECCIÓN GENERAL, SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. *Datos climatológicos de la estación San Miguel Sola de Vega, Oaxaca. Del periodo 1962-1985*. México: D.F.
- SECRETARIA DE PROGRAMACIÓN Y PRESUPUESTO. (SPP). (1981). *Guía para la interpretación de cartografía: Edafología con fines de Ingeniería Civil*. México.
- SECRETARIA DE PROGRAMACIÓN Y PRESUPUESTO. (SPP)., INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. (INEGI). (1981). *Guías para la interpretación de cartografía: Topografía*. México.
- SECRETARIA DE RECURSOS HIDRÁULICOS. (1970). Boletín hidrológico Núm. 31. Tomo II; *Regiones hidrológicas Números 19-22, zonas de la costa de Guerrero y Oaxaca*. Jefatura de irrigación de ríos. México: SRH.
- SPRINGALL G.,R. (1970). *Hidrología. primera parte*. Instituto de Ingeniería. UNAM.
- STRAHLER, Arthur. (1990). *Geografía física*. Barcelona: Omega.
- TAMAYO, Jorge L. (1962). *Geografía general de México: Geografía Física. Tomo II*. México: Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas.
- _____. (1971). *El aprovechamiento del agua y su abastecimiento futuro*. Sociedad Mexicana de Historia Natural, Boletín de divulgación Núm. 3. México.
- _____. (1980). *Geografía moderna de México*. México: Trillas.
- TAMAYO Y TAMAYO, Mario. (1991). *El proceso de la investigación científica: Fundamentos de información con manual de evaluación de proyectos*. México: Limusa.
- TORRES RUATA, Cuauhtémoc Jesús. (1985). *Estudio hidrogeográfico de la cuenca alta del río Sinaloa, Elementos climatológicos que condicionan su régimen hidrológico*. Tesis de maestría en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. México: UNAM.

- TROMBE, Félix. (1978). *Las aguas subterráneas*. Barcelona: Oikos-tau.
- VÁZQUEZ MAURE, Francisco. (1995). *Lectura de mapas*. Madrid: Fundación general de la U. P. M.
- WALTERT, Huang. (1992). *Petrología*. La Habana: Instituto Cubano del libro.
- WHITTOW, John. B. (1988). *Diccionario de geografía física*. Madrid: Alianza editorial.

Cartografía

- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. (CNA). (1991). *Carta de Isoyetas Normales Anuales de la República Mexicana periodo 1931-1990, Regiones Hidrológicas-020 Costa Chica- Río Verde, 021 Costa Oaxaca (Puerto Ángel), 022 Tehuantepec. Lamina X*. México.
- DIRECCIÓN DE ESTUDIOS DEL TERRITORIO NACIONAL. (DETENAL). (1973). *Carta Topográfica, escala 1: 250 000 Zaachila, NE14-12*. Oaxaca, México.
- INSTITUTO DE GEOGRAFÍA. (IG). (1990). *Atlas Nacional de México*. México: UNAM.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. (INEGI). (1996). *Carta Topográfica, escala 1: 50 000 San Vicente Lachixio E14 D66*. Oaxaca, México.
- _____. (1996). *Carta Topográfica, escala 1: 50 000 Ejutla de Crespo E14 D67*. Oaxaca, México.
- _____. (1999). *Carta Geológica, escala 1: 250 000 Zaachila, E14-12*. Oaxaca, México.
- _____. (1999). *Carta Uso de Suelo y Vegetación, escala 1: 250 000 Zaachila, E14-12*. Oaxaca, México.
- _____. (1988). *Carta Hidrología de Aguas Superficiales, escala 1: 250 000 Zaachila, E14-12*. Oaxaca, México.
- _____. (1988). *Carta Hidrología de Aguas Subterráneas, escala 1: 250 000 Zaachila, E14-12*. Oaxaca, México.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS. (SARH). (1987). *Carta hidrográfica: Regiones hidrológicas 19-22 de la República Mexicana. Hoja 1/1, escala 1: 1000 000*. México.

SECRETARIA DE LA PRESIDENCIA. (SP)., COMISIÓN DE ESTUDIOS DEL TERRITORIO NACIONAL Y PLANEACIÓN. (CETENAP)., Instituto de Geografía (IG). UNAM. (1970). *Carta de Climas, escala 1: 500 000 San Pedro Pochutla 14Q-VIII*. México.

SECRETARIA DE PROGRAMACIÓN Y PRESUPUESTO. (SPP)., INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. (INEGI). (1984). *Carta de Efectos Climáticos Regionales Mayo-Octubre, escala 1: 250 000 Zaachila, E14-12*. Oaxaca, México.

_____. (1984). *Carta de Efectos Climáticos Regionales Noviembre-Abril, escala 1: 250 000 Zaachila, E14-12*. Oaxaca, México.

_____. (1981). *Carta Edafológica, México, escala 1: 1000 000*. México.

Dirección de Internet.

1. www.mud.cl/-huero/temperatura.ppt



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

ANEXO I

TIPOS O CONFIGURACIONES DE DRENAJE

TIPOS O CONFIGURACIONES DE DRENAJE

I. Configuraciones naturales del drenaje	1. Ordenada o Regular	<ul style="list-style-type: none"> A.- Dendrítica B.- Enrejada C.- Paralela D.- Radial E.- Anular F.- Trenzada G.- Kárstica 	<ul style="list-style-type: none"> A1. Asimétrica A2. Subdendrítica A3. Pinada B1. Rectángular B2. Angular C1. Subparalela C2. Colinear D1. Centrifuga D2. Centripeta D3. Dicotómica D4. Distributaria
	2. Desordenada o Irregular	<ul style="list-style-type: none"> A.- Anastomosada B.- Reticular C.- Retorcida D.- Lagunar E.- Errática F.- Compleja G.- Anómala H.- Fantasma 	
II. Configuraciones artificiales del drenaje	3. Tipos especiales	<ul style="list-style-type: none"> A.- Yazo B.- Cubeta glaciárica C.- Termokárstica D.- Espoloneada E.- Eliptica A.- Rectilínea B.- Ilusoria 	

ANEXO II**Modelo de la encuesta que se realizo en el trabajo de campo a la cuenca alta del río Sola de Vega en el estado de Oaxaca****Nombre de la localidad, pueblo o municipio _____.**

- 1 ¿Usted cree que han aumentado o disminuido las lluvias en esta región?
- 2 ¿Se acuerda en que año ha llovido más en la temporada de lluvias?
- 3 ¿Se acuerda en que años han escaseado las lluvias?
- 4 ¿Usted ha observado que el nivel del río ha disminuido ó aumentado en los últimos años?
- 5 ¿Cuándo ha llovido abundantemente, o cuando no llueve mucho, hasta donde llega el nivel del río?
- 6 ¿En que años ha notado usted que el nivel del río a crecido o disminuido?
- 7 ¿Cuál es el uso que le da al agua de río?
- 8 ¿Algunas vez se ha enterado que realicen análisis físicos y químicos del agua de río?
- 9 ¿De dónde se abastece de agua usted ó su comunidad?
- 10 ¿Cuenta con algún pozo de agua en su casa? Si la respuesta es sí, ¿El agua se puede beber directamente sin alguna medida de seguridad ó control sanitario?
- 11 ¿Ha disminuido la población en donde usted vive y desde que año comenzó a irse la gente?
- 12 ¿A qué cree usted que se deba que la gente se vaya a otros lugares?