



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA**

**“CARACTERIZACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA MICROCUENCA
DE COLONIA SAN MARTÍN, ZAPOTITLÁN SALINAS, PUEBLA”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

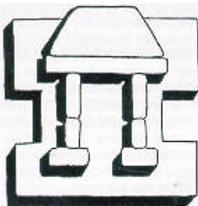
B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

FERNANDO AYALA NIÑO

DIRECTOR DE TESIS: M en C. FRANCISCO LÓPEZ GALINDO

LOS REYES IZTACALA, ESTADO DE MEXICO A DE ABRIL DEL 2007.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

***La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento,
sino también en la destreza de aplicar los
conocimientos en la práctica.***

Aristóteles.

DEDICATORIAS

A mis padres

María de la Luz Niño Contreras y Pablo M. Ayala Pérez

Por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida, por confiar en mí y por ser cómplices de todas las aventuras que he emprendido; por que gracias a ustedes he podido lograr este trabajo; y muchas cosas más, por ser unos excelentes padres y por que son un ejemplo de lucha incansable. Los quiero.

A mis hermanos Pablo y Carlos

Por apoyarme en esta etapa de mi vida, ya que sin ustedes no lo hubiera logrado, espero que ustedes también tengan metas en sus vidas y puedan llegar a cumplirlas. Los quiero.

A mis abuelos Gloria y Luis.

Con todo mi cariño y Respeto.

A mis tías: Patricia, Malena, Martha, Mercedes, Sandra, Ofelia y Patricia Margarita.

Que gracias a su apoyo he logrado una de las metas de mi vida, muchas gracias todas por su amistad y cariño.

A mis tíos: Luis, Pedro, Jorge, Sergio, Federico, Abel y Cesar.

Porque gracias a sus estímulos positivos por fin termine este trabajo, gracias por confiar y creer en mí sobre todas las cosas, muchas gracias por su amistad y cariño.

A mis primos: Jorge, Mitzi, Mariel, Sergio, Cesar, Rodrigo, Yudiel, Ilse, Rosario, Ingrid, Karen, Guadalupe, Miguel, Julián, Emilio, Jorge Emmanuel, Abdiel y Yaaziel.

A todos ustedes gracias por todas los momentos que hemos compartido.

A mi abuelita Josefina *in memoriam* †

AGRADECIMIENTOS

M. en C. Francisco López Galindo, por su apoyo incondicional y sobre todo por su invaluable amistad. Muchas Gracias Pancho.

M. en C. Daniel Muñoz, por enriquecer en este trabajo con sus importantes anotaciones y su amistad gracias Daniel.

M en C. Mayra Hernández Moreno, por las importantes observaciones para la corrección de este trabajo y su valiosísima amistad, muchas gracias.

Biól. Alfonso Soler Aburto, por sus comentarios alentadores y su invaluable amistad.

Biól. Arnulfo Reyes por sus valiosas revisiones y aportaciones, para el mejoramiento de este trabajo.

M. en C. José Luís Gama por enseñarme a escribir y transmitir las ideas correctamente, a través de este trabajo. Gracias

A mi amigo Marco Antonio Duarte por las aventuras que hemos compartido a lo largo de la carrera y principalmente en el laboratorio. Gracias

A todos mis amigos con los que compartí momentos inigualables en la universidad:

Fabián, Ricardo, Beto, Aída, Paola, Liliana, Karina, Verónica, Josué, Jesús, Irene, Laura Ibette, Adán, Vania, Fausto, Violeta, Hibraim, Nely, Adriana, Martín, Janina, Marquitos, Miguel, Andrés, Marcos, Ivonne, Rubí, Verónica Alba, Miyarai, Luisa, Rosa, Lolita, Mariana, Adlemy, Alí, Felipe, Bety, Mafer, Raquelita, Lalo, Paulina, Mariano, Fátima, Adriana, Violeta, Noe, Cinthia, Dydya, Daisy, América, Guaiipy, Joab, Edith, Abraham, Penélope, Arizbeth, El Neto, Grace, Nancy, Juan Carlos, Alma, Jessica, Ademar, Rubí, Saúl, Fabiola, Ivonne, Lalo Andovas, y todos los demás que aunque no estén aquí siempre estarán en mis recuerdos muchas gracias a todos.

CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. JUSTIFICACIÓN	5
3. OBJETIVOS Y METAS	7
3.1. Objetivo General.....	7
3.2. Objetivos Particulares.....	7
4. HIPOTESIS	8
5. ANTECEDENTES	9
6. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	13
7. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	25
7.1 Ubicación del Área de Estudio.....	25
7.2. Fisiografía y Regionalización Ecológica.....	26
7.3. Geología.....	26
7.4. Edafología.....	28
7.5. Clima.....	28
7.6. Hidrología... ..	28
7.7. Vegetación y uso de suelo.....	29
8. MATERIALES Y MÉTODOS	30
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
9.1 Generalidades de la Región Hidrológica (RH 28) Cuenca del Papaloapan...32	
9.2 Descripción Física Del Territorio De Zapotitlán Salinas... ..	36
9.2.1. Descripción climática... ..	36
9.2.2. Geología histórica... ..	38

9.2.3 Geomorfología...	39
9.3 Caracterización Hidrográfica del territorio de la Colonia San Martín...	43
9.4 Morfodinámica de la Colonia San Martín...	44
9.5 Descripción de las Microcuencas del territorio de la Colonia San Martín..	51
9.5.2 Microcuenca “Tempesquistle”...	52
9.5.3 Microcuenca “San Martín”...	58
9.5.4 Microcuenca “Pizarro”...	61
10. CONCLUSIONES ...	69
11. SUGERENCIAS	71
12. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	91

RESUMEN

El presente trabajo va dirigido a realizar una evaluación de las condiciones hidrográficas y geoambientales del territorio de la Colonia San Martín, con el fin de aportar información precisa para la elaboración de un plan de manejo de recursos naturales de la zona. El área de investigación forma parte de la Cuenca de Zapotitlán Salinas, ubicada en la porción occidental del Valle de Tehuacán, dentro de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Se delimitaron 3 microcuencas denominadas "Tempesquistle", "San Martín" y "Pizarro" respectivamente. Los parámetros morfométricos como: Densidad de Drenaje fluctúan entre 2.01, y 2.63 km/km²; se presenta una Red de drenaje de tipo dendrítica y paralela; el Índice de forma varía entre los 3.15, y 4.76; el Índice de Compacidad entre 1.34, y 1.43 y se muestra una Relación de elongación de 0.70 a 0.91. Encontrando que debido a la falta de precipitación y a la aridez dominante, la información obtenida sirve como punto de partida para el diseño de estrategias y tecnologías para la captación, aprovechamiento de agua de escurrimiento y uso racional de los recursos naturales del sitio.

1. INTRODUCCION

Las cuencas hidrográficas se definen como áreas naturales donde el agua de lluvia es captada y depositada en un almacenamiento natural, por un sistema de drenaje definido por medio de líneas divisorias topográficamente llamadas parteaguas (SARH, 1988). Esta se encuentra integrada por 3 unidades funcionales básicas: la cuenca alta o zona de producción, en donde el agua y los materiales disueltos fluyen desde las montañas hacia los canales o ríos, la zona de transferencia o transporte, integrada por los ríos y finalmente, la zona de almacenamiento (Toledo, 2003). De esta manera los recursos hidrológicos de la cuenca dependen directamente de la topografía, relieve, pendientes, dureza de la roca, estructura de la roca, textura del suelo, drenaje, vegetación y clima (Claver, 1982), Las cuencas presentan un interés como espacios multifuncionales en el que se desarrolla la vida y actividad del hombre, creando una compleja relación de entrada y salida de sustancias y energía, por lo que resulta muy apropiado tomarla como modelo de estudio para la implementación de proyectos productivos, de conservación y desarrollo entre otros.

México, a lo largo de su territorio tiene 314 cuencas hidrográficas definidas, agrupadas en 37 regiones Hidrológicas Sin embargo, la distribución natural del agua en el ámbito mundial y regional es desigual, mientras en algunas regiones es abundante, en otras es escasa o inexistente, la disponibilidad del líquido depende del ciclo hidrológico en el cual los procesos de evaporación, precipitación e infiltración dependen del clima, las características del suelo y la ubicación geográfica (CNA, 1994, *in*: INEGI, 2005)

Dentro del territorio nacional, se considera que las zonas áridas y semiáridas constituyen la mayor parte de los paisajes que dominan el escenario ambiental del país, ocupando cerca de 99 473 135 ha, lo que representa el 50% de la superficie total del país, en estos lugares no sólo se concentran los problemas en la escasez de agua, sino también en la calidad de la misma. Un ejemplo claro lo podemos encontrar en la parte central del territorio nacional, principalmente en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, que forma parte de la reserva de la Biosfera de Tehuacan–Cuicatlán, el cual es considerado como

un centro de megadiversidad y endemismo a nivel mundial por la *International Union for the Conservation of Nature* (IUCN) (Dávila, 1997). Esta región, con una extensión de 10,000 km², es reconocida como una de las zonas áridas con mayor diversidad de Norteamérica y con mayor cantidad de recursos vegetales del país (Casas *et al.*, 2001). Entre otras cosas, es un sitio que expone ejemplos vivos de la gran diversidad biótica de zonas secas, sus múltiples formas biológicas y variadas expresiones de estrategias de adaptación. En general, a sus asociaciones se les confiere un carácter de exclusividad y otorga una gran importancia biogeográfica, a tal grado de que existe gran cantidad de sus especies en *status* de endémicas (Valiente-Banuet *et al.*, 2001).

Durante la caracterización se llevan a cabo inventarios de recursos naturales y ambientales, pero sin duda es primordial reconocerlos para establecer su diagnóstico apropiadamente y su evaluación con fines de hacer recomendaciones de manejo y conservación de los mismos.

Para llevar a cabo esta evaluación del uso y cobertura del territorio es necesario contar con un mecanismo de regionalización, por lo que la definición de unidades espaciales apropiadas que sirvan como base territorial para evaluar la oferta ambiental y su manejo para efectos de planificación sectorial y espacial, deberán tener características singulares y homogéneas, que permitan cubrir tres objetivos de manera simultánea: El primero se refiere a la actualización de las bases de datos existentes; el segundo a la consecución de bases de datos disponibles de otros estudio o la elaboración de la propias; el tercero a un mecanismo conceptual-operativo de integración que permita desarrollar un esquema de regionalización ambiental coherente y compatible. (UACH, 2005).

El reto de comprender este hidrosistema en su continuidad y complejidad, plantea a científicos y planificadores la necesidad de un nuevo paradigma basado en un enfoque holístico, que permita conocer cómo funcionan y de qué naturaleza son las funciones ecológicas y los servicios ambientales que prestan, en conjunto, a la sostenibilidad del sistema terrestre y de las sociedades humanas (Costanza, 1991,1997, LOICZ-IGBP 1994; Folke, 1997).

Por lo tanto, la gran importancia que tiene la caracterización de cuencas hidrológicas, para el almacenamiento y uso del agua de las lluvias, principalmente para el uso agrícola y humano es uno de los principales

objetivos para las zonas áridas, y así poder elevar los niveles de producción y de vida de la comunidad, así como acercar la cartografía a escalas detalladas y no solo a nivel de reconocimiento.

En este sentido el presente proyecto va dirigido a realizar una evaluación de las condiciones hidrográficas y geoambientales del territorio de Colonia San Martín, Zapotitlán Salinas, con el fin de aportar información hidrogeográfica necesaria para el diseño del uso, conservación y manejo del recurso agua.

3. OBJETIVOS Y METAS

3.1 Objetivo general.

Realizar la caracterización hidrográfica del territorio de Colonia San Martín, ubicada en la cuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla.

3.2 Objetivos particulares.

- Hacer una regionalización hidrográfica e identificar las microcuencas que están dentro del territorio de Colonia San Martín
- Realizar la identificación de la red de avenamiento así como del parteaguas de cada microcuenca.
- Calcular los parámetros Morfométricos de cada microcuenca, para caracterizarlas.
- Elaborar cartografía a escala 1: 20 000, con ayuda del Sistema de Información Geográfica ArcView 3.2.
- Establecer propuestas de estrategias de manejo de agua viables para la zona.

3.3 Metas

Generar información a detalle de la Hidrografía presente en la zona, que contribuya a la realización de estudios ecológicos, y de ordenamiento del territorio local; así como, para poder establecer programas específicos de manejo, conservación y restauración de cuencas; para contribuir a disminuir el deterioro ambiental, la desertificación y la pobreza, de la Colonia San Martín, y sea extensivo a todo el Valle de Zapotitlán Salinas.

4. HIPÓTESIS

El buen aprovechamiento del recurso agua de escurrimiento en zonas áridas es un elemento de gran necesidad; sin embargo, el manejo sostenible de este requiere de bases científicas y técnicas bien determinadas. Es por eso que la evaluación hidrográfica de cuencas es el punto de partida para la determinación de las estrategias científicas y acciones tecnológicas que faciliten y hagan más eficiente el uso del agua, así como los recursos asociados en la zona de investigación

5. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Se han realizado trabajos correspondientes a caracterizaciones hidrológicas a lo largo del territorio nacional, de entre los cuales se encuentran los siguientes:

- López Guerrero (1992) realizó un estudio de escorrentías en 5 pequeñas cuencas en la selva baja caducifolia en Chamela, Jalisco, mediante la determinación de la relación lluvia-escurrimiento.
- Ortega Rodríguez (1996) realizó la caracterización de la cuenca del río Chiquito de Morelia Michoacán, usando los Sistemas de Información Geográfica, delimitando unidades de manejo y generando una base de datos geográficos automatizada para el área de estudio.
- Martínez Ménez y colaboradores (2001) realizaron una caracterización geográfica y escalamiento de cuencas en zonas de laderas en Oaxaca, utilizando información topográfica, modelos digitales de elevación y obtención de variables físicas como precipitación, temperatura, humedad y radiación solar.
- Ornelas Esquinca (2004) realizó un estudio de aprovechamiento de los recursos naturales en la bahía y micro cuenca del río Cacaluta, para la elaboración de un diagnóstico de los recursos naturales presentes en la zona, además de identificar zonas micro ecológicas importantes.
- Batllori-Sampedro y colaboradores (2005) realizaron una caracterización hidrológica de la región costera noroccidental del estado de Yucatán, que considera a la cuenca hidrogeológica de Chicxulub como unidad de planificación y desarrollo.
- La Universidad Autónoma de Chapingo (2005) realizó un ordenamiento ecológico de las cuencas hidrológicas de los ríos Necaxa y Laxaxalpan, delimitando así unidades de manejo y un mejor aprovechamiento de los recursos presentes en la zona.

Sin embargo, para las zonas áridas principalmente el Valle de Zapotitlán Salinas Puebla, los estudios hidrográficos son muy escasos, para lo cual sólo se encontró el siguiente trabajo:

- Neri (2000) quien realizó la caracterización Hidrológica de la subcuenca baja del río Zapotitlán, identificando los parteaguas y escurrimientos para la delimitación de microcuencas presentes en la zona.

Como ya se menciona anteriormente los estudios hidrográficos en las zonas áridas son escasos, pero son más escasos los trabajos que brindan propuestas de manejo en este tipo de ambientes.

Sin embargo el valle de Zapotitlán Salinas, ha sido estudiado desde hace muchos años por diferentes disciplinas, con relación a investigaciones geológicas y paleontológicas destacan por su importancia los trabajos de:

- Félix y Lenk (1891) y Villada (1905) acerca de la geología de Tehuacan.
- (Félix y Len,1891) realizaron estudios paleontológicos en esta región sobre los nerineidos.
- Aguilera (1906) pública una lista de invertebrados fósiles de la región de San Juan Raya.
- Muellieried (1934) registra las especies de nerineas descritas por Félix y Lenk en San Antonio Texcala y San Juan Raya.
- Alencáster (1956) realizó el estudio de los pelecípodos y gasterópodos de San Juan Raya.

- Calderón (1956) describe la parte de la estratigrafía y geología estructural de la zona, dando énfasis a las localidades fosilíferas de las Formaciones Zapotitlán y San Juan Raya
- Aguilera (1970) describió los suelos de Tehuacán.
- Buitrón y colaboradores (1970;1980), describen la diversidad de equinoides y de Nerineidos (*Mollusca-Gastropoda*) del Cretácico Inferior de la región de San Juan Raya, correspondientes a las Formaciones de Zapotitlán (Barremiano), Agua del Cordero (Barremiano y Aptiano), Agua del Burro y San Juan Raya (Aptiano).
- Barcelo (1978) describió la estratigrafía y petrografía detallada del área de Tehuacán y San Juan Raya.
- García (1991) quien llevó a cabo un análisis de las unidades del paisaje en la cuenca del río Zapotitlán y su relación con la vegetación.
- García (2001) que investigó los suelos de las terrazas aluviales de la cuenca.
- López *et al.* (2003) elaboraron un estudio de la influencia de la topografía en la diversidad y distribución de la vegetación de Zapotitlán.
- Rivas(2003) y Santillán (2003), caracterizaron los suelos de la parte norte y suroeste de la Cuenca, respectivamente.

Los estudios florísticos, fitogeográficos y de vegetación (Villaseñor, 1991; Dávila *et al.*, 1993, 1998; Ledezma, 1979; Zavala, 1980; García, 1991; Osorio, 1996; Valiente-Banuet y Arizmendi, 1998; Valiente-Banuet *et al.*, 2000) reflejan la gran diversidad florística y cantidad de endemismos. Las condiciones ambientales presentes han hecho que muchas especies hayan encontrado en Tehuacán un gran centro de dispersión (Valiente-Banuet y Arias, 1997).

La información disponible señala que el Valle de Tehuacán-Cuicatlán y en especial Zapotitlán, está constituido por un mosaico de comunidades vegetales cuya presencia está íntimamente ligada a diferencias tanto de clima como en afloramientos litológicos, así como a la distribución de geoformas asociadas a la evolución del paisaje y tipo de suelos (Osorio *et al.*, 1996; Pérez *et al.*, 1997. *In*: Valiente-Banuet *et al.*, 2000; López *et al.*, 2003).

Finalmente, por la elevada diversidad de especies de la zona, es de gran importancia analizar la distribución de las principales asociaciones vegetales, así como la diversidad de especies entre las comunidades, como una forma de evaluar el papel de la heterogeneidad ambiental en la explicación de tal diversidad (Valiente-Banuet *et al.*, 2000).

Más recientemente Castillo (2004) realiza un estudio de los procesos de fragmentación y evaluación de la degradación de tierras en el Valle Aluvial de Zapotitlán Salinas. Hinojosa (2004), elabora una clasificación de tierras por capacidad de uso agrícola, pecuaria y forestal para la Subcuenca Baja de Zapotitlán Salinas. Hernández (2005) hace una valoración de los procesos de degradación de tierras

Así mismo, es necesario evaluar los elementos físicos y geográficos, el proceso de degradación ambiental y capacidad de uso de la tierra con la finalidad de aportar información que permita entender los procesos de interrelación del ambiente físico con la riqueza y distribución de la vegetación y potencial productivos de la zona.

6. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Toda unidad de tierra por pequeña que sea y en el lugar dónde se encuentre, esta dentro de una cuenca hidrográfica y esta se define como el área surcada por un sistema de corrientes formadas por los escurrimientos producto de la precipitación que fluyen hacia un cauce común, obedeciendo a las variaciones topográficas del terreno.

La cuenca está delimitada por los puntos de mayor elevación altitudinal que constituyen fronteras entre cuencas y subcuencas contiguas. A la unión de dichos puntos se le conoce como parteaguas y reúne un punto de salida al drenaje de las aguas que pueden formar grandes ríos, arroyos o simples corrientes efímeras.

El parteaguas es la línea altimétrica de mayor elevación, que delimita orográficamente a cuencas vecinas. Este lindero real marca las variaciones de la conducción del drenaje superficial que por efectos de la pendiente confluyen hacia la parte baja de ambas vertientes.

Las vertientes son las áreas de captación y se constituyen como las zonas más estratégicas de la cuenca, dado que en ellas la susceptibilidad del fenómeno de la erosión es altamente significativo y el mantenimiento de una cubierta vegetal de calidad es definitivamente indispensable para el equilibrio de los valles.

El valle o cuenca baja, es la zona de menor altitud y dónde generalmente se encuentran los cultivos agrícolas y los asentamientos humanos, aquí la conjunción de las corrientes tributarias han formado un río o arroyo de regular caudal y divaga en las planicies de leve pendiente.

La red de drenaje es la disposición de los cauces y lechos por donde de manera superficial y aparente corre el agua excedente, producto de la precipitación hacia un depósito natural y/o artificial. (Sánchez-Vélez 1987)

La cuenca puede asimilarse a un organismo vivo que posee una serie de caracteres que pueden ser controlados o no por el hombre. Para facilitar el estudio de los caracteres o componentes de una cuenca se agrupan de la siguiente forma:

- Factores físicos.
- Factores biológicos.
- Factores humanos o socioeconómicos.
- Factores ambientales.

Los factores físicos son los que tienen que ver con el relieve de la corteza terrestre y los elementos naturales que la modifican, dentro de ellos tenemos:

- El relieve.
- La topografía.
- La hidrología.
- La hidrografía.
- La geología.
- La geomorfología.
- El clima.

El relieve, es la forma del terreno, sus elevaciones y desigualdades, tienen gran importancia cuando se refieren al manejo de cuencas hidrográficas, por estar íntimamente ligadas a la formación de los suelos, el drenaje superficial, el interno, la erosión, etc. y determina consecuentemente la clase de cultivo, uso pecuario o forestal que se le debe dar.

La topografía, estrechamente relacionada con el relieve está la topografía, ya que las diferencias de elevación y pendiente, aún cuando sean demasiado pequeñas, están estrictamente relacionadas con las diferencias de drenaje, que tienen influencia en la formación de los suelos y en los usos que de este deban hacerse. En una cuenca usualmente hay variaciones de terreno que comprenden desde plano hasta escarpado. La topografía determina una serie de unidades tales como los valles, las colinas, las mesetas, las montañas y demás, que definen en una forma más concreta el relieve y ello da un elemento más de juicio para el uso adecuado del área.

La hidrología. Este factor hace referencia al régimen de caudales o sea

al volumen de escorrentía, sedimentación y clasificación de corrientes.

La hidrografía. En este caso se refiere a las subcuencas que forman parte de la cuenca, sus sectores, la forma de la cuenca y en general el análisis morfométrico del área de captación de la cuenca y su red de drenaje.

La geología. Determina la red hidrológica y el tipo de roca y suelo que predominan en una región. Para realizar prácticas de conservación, rehabilitación o restauración de suelos, debe conocerse primordialmente el material de origen de los suelos y su edad.

La geomorfología. Esta trata de la forma que posee la corteza terrestre. La geomorfología se relaciona estrechamente con algunos factores formadores del suelo (clima, relieve, material parental, tiempo de formación del suelo), la geomorfología suministra especialmente datos de carácter práctico como condiciones de drenaje, peligro de erosión o derrumbamiento, presencia de materiales de construcción, etc.

El clima. Uno de los factores más importantes a tener en cuenta en el manejo de cuencas es este, porque condiciona los usos que se le pueden dar a una región determinada y es uno de los agentes que provoca la erosión y degradación de suelos. Hay que tener en cuenta: La precipitación, la temperatura, los vientos, la humedad relativa y la nubosidad. (Gómez-Tagle. 2000).

La cuenca como unidad hidrográfica debe ser estudiada desde diferentes aspectos, ya que no basta con especificar su delimitación topográfica, su extensión y forma, sino que es necesario efectuar una caracterización integral que permita definir lo que es posible realizar en ella, desde el punto de vista de las prácticas de uso del suelo para definir las prescripciones más adecuadas en la administración de los recursos naturales, para lo cual el agua es el elemento integrador del estudio.

Por lo anterior, todo esto conlleva a la necesidad de caracterización de una cuenca antes de iniciar otro tipo de actividades, tales como manejo, monitoreo, rehabilitación, recuperación, etc. Esta descripción permite, también, establecer relaciones de

comparación entre cuencas, para algunas de las propiedades básicas a cuantificar o medir, se usan ecuaciones empíricas.

Forma de la cuenca: Es un factor de gran significancia, dado que una cuenca pequeña y redondeada tenderá a concentrar con mayor rapidez sus escurrimientos, en contra de una alargada que tardará más tiempo en llevarlos a su punto de salida. Las cuencas pequeñas y redondas suelen ocasionar inundaciones sobre todo si se presentan fuertes pendientes que le imprimen gran velocidad a las aguas.

Área: Es la proyección ortogonal encerrada por el parteaguas, delimitada sobre un plano o fotos aéreas, entre los métodos más precisos y rápidos están los Sistemas de Información Geográfica que al procesar los datos por computadora calculan automáticamente áreas parciales y totales de los objetos de interés.

Elevación de la cuenca: Esta propiedad se determina por la lectura del mapa topográfico o bien por lectura con altímetro. Es de primera importancia para relacionarse tanto con el tipo de ecosistema establecido, como para determinar que tan rápido puede ser el drenaje. Otra propiedad relacionada es la elevación media que implica promediar por lo menos una cantidad de 100 lecturas homogéneamente repartidas en toda el área. De estas mediciones se deriva la relación área-elevación que es la curva hipsométrica, esta nos representa la repartición que tiene la cuenca de su superficie en función de la altitud.

Red de Avenamiento o de drenaje: El avenamiento indica la resistencia del suelo y del material rocoso, a la meteorización y erosión. El avenamiento regional está afectado por varios factores, entre los cuales se hallan: La pendiente inicial, topografía regional, diferencia de dureza de la roca, estructura del material parental, textura del suelo, vegetación, clima, frecuencia e intensidad de lluvia total. Si una cantidad excesiva de agua alcanza la superficie, más de la que puede evaporarse o infiltrarse, esta forma un charco, pero si tiene pendiente, el exceso de agua escurrirá por ella. En suelos permeables se forman menos canales de drenaje ya que una parte del agua puede infiltrarse, por lo contrario si los suelos son poco compactados pueden ser lavados para formar pendientes más fuertes, en cambio si el material superficial esta suficientemente

consolidado, el curso del río puede modificarse y cambiar hacia el suelo menos compactado.

Orden de corrientes: La red de drenaje se compone de una corriente o cauce principal y una serie de afluentes y para ordenar las corrientes, se efectúa una clasificación, la cual considera como corrientes de primer orden, aquellos que no tienen tributarios; de segundo orden aquellas corrientes con 2 o más tributarios de primer orden, de tercer orden aquellas corrientes que tienen dos o más tributarios de segundo orden.

Longitud de tributarios: Es la longitud de los arroyos o tributarios expresada en metros o kilómetros. Dependiendo de la geología, geomorfología y cobertura arbórea del área, los tributarios serán efímeros, intermitentes o permanentes (también llamados perennes).

Densidad de drenaje: Expresión que relaciona la cantidad de corrientes en función del área.

$$Dd = \frac{Lc}{A}$$

Dd: Densidad de drenaje.

Lc: Longitud total de las corrientes en Km.

A: Área de la cuenca

Densidad de corrientes: Eficiencia del drenaje que se ha establecido en la cuenca.

Índice de forma: Es la relación entre el área de la cuenca y la longitud axial de la misma, medida desde la salida hasta el límite extremo por medio de una línea recta.

$$If = \frac{A}{La^2}$$

If: Índice de forma.

A: Área de la cuenca en km².

La: Longitud axial de la cuenca en km

Cuando el valor recíproco del índice unitario es menor o igual a 5, la forma de la cuenca tenderá a un círculo y cuando sea mayor o igual que 6, la forma será alargada.

Índice de compacidad: Relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo que tenga la misma área de la cuenca. Este índice será mayor o igual a 1, de manera que entre más próximo a la unidad, la forma de la cuenca se aproximará más a la de un círculo. Es decir, si el índice de compacidad presenta valores mayores que la unidad, la cuenca será alargada y tendrá forma circular a medida que el índice de compacidad se aproxime a la unidad.

Las causas por las que se compara la forma de la cuenca con la de un círculo, es porque las cuencas con esta tendencia tienen mayor posibilidad a producir avenidas máximas o de mayor punto.

$$K = \frac{P}{P_e}$$

K: Índice de compacidad.

P: Perímetro de la cuenca en Km.

P_e: Perímetro de un círculo en Km.

Relación de Elongación: Es la relación entre el diámetro de un círculo de igual área que la cuenca y la máxima longitud de la cuenca. Esta característica define el relieve de la cuenca en función del círculo.

$$Re = \frac{0.318 P}{L_a}$$

Re: Relación de elongación.

P: Perímetro de la cuenca en Km.

L_a: Longitud Axial.

Es difícil distinguir una cuenca grande de una 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 las lluvias de alta intensidad y corta duración, y dónde 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 un límite que, para propósitos prácticos, Chow, consideró de 250 km² y mayor a esta área como grandes cuencas.

Relación de Forma: Es la relación que existe entre el área de un círculo que tiene el mismo perímetro de la cuenca.

$$Rf = \frac{A}{A_c}$$

Rf: Relación de forma adimensional.

A: Área de la cuenca en Km²

A_c: Área de un círculo que tenga el mismo perímetro de la cuenca en Km²

Es un hecho que las cuencas frecuentemente existen problemas relacionados con el mal aprovechamiento de las tierras y las aguas. De forma que, la cuenca constituye en un sistema interrelacionado, que debe ser entendido como una unidad de planificación susceptible de sujetarse a un proceso permanente de investigación y manejo, que tienda a regular el equilibrio ecológico y se traduzca en beneficios para sus habitantes.

La cuenca, como un sistema sometido a un proceso productivo, proporciona una serie de beneficios que se traducen fundamentalmente en el aporte de agua y en obtención de productos agrícolas, pecuarios y forestales.

Pero por otro lado, en la cuenca ocurren efectos indeseables como: deforestación, pérdida de la cobertura vegetal, desaparición de fauna silvestre, erosión, disminución de la productividad agrícola, alteración del régimen hidrológico y disminución del valor turístico de los paisajes que la circundan. Estos factores negativos impactan a los recursos naturales como a las poblaciones ubicadas en su entorno, disminuyendo consecuentemente la productividad benéfica del sistema creando daños económicos y

ambientales. Este desequilibrio que expresa la crisis del sistema productivo exige una intervención, que a partir del ordenamiento de las diversas variables y el manejo de las mismas, oriente y controle el desarrollo de esta unidad en beneficio para la sociedad.

Para efectuar el análisis y programas de manejo de una cuenca, se requiere identificar con suma precisión, los límites del terreno en la que toda la precipitación incidente se mueve hacia una salida en común. Esta visión hidrológica de las cuencas correcta pero limitada, ha sido y es actualmente la base para la justificación de numerosos proyectos de ordenamiento y manejo.

Recientemente, dentro de un contexto de desarrollo social, la cuenca se ha planteado como una unidad lógica para la comprensión y la realización de políticas públicas. Este redimensionamiento de la cuenca como una unidad de desarrollo, esta estrechamente relacionado con los aspectos económicos, pero también con los cambios en la tecnología y las demandas de los principales productos derivados de las aguas fluviales: energía, hidroeléctrica, agua, madera, animales domésticos, cosechas agrícolas, recreación, educación ambiental y diversiones. .(Granados-Sánchez, 2005)

De esta manera, para estudiar el comportamiento de una cuenca hidrográfica la (SARH, 1988) elaboró una metodología para el manejo integral de cuencas, esta se compone de dieciseis etapas ordenadas en una secuencia lógica de actividades que nos conducen desde la clasificación de cuencas hasta la ejecución, seguimiento y evaluación de las acciones específicas realizadas como la alternativa de solución más adecuada a los problemas detectados en las áreas seleccionadas como prioritarias.

1ra Etapa: Sistema de clasificación de cuencas.

Tiene como objetivo identificar dentro de la clasificación (Región Hidrológica, Cuenca, Subcuenca, Subcuenca Tributaria y Subcuenca Específica.) el nivel en el que debemos trabajar con la finalidad de utilizar el mismo lenguaje cuando nos refiramos a una cuenca o sus subdivisiones.

2da Etapa: Evaluación de tierras.

Realizar una identificación de los principales procesos de deterioro de los recursos, clasificando aquellos de mayor influencia en dicho deterioro, mediante la recopilación

de información básica, el reconocimiento terrestre del área en observación y el análisis de ambos.

3ra Etapa: Diagnóstico preliminar

La priorización y localización de los proceso de deterioro de los recursos, permite la selección de la subcuenca (s) tributaria (s) y/o específica (s) donde estos se localizan, definiendo los objetivos para el estudio detallado de los mismos.

4ta Etapa: Identificación del área de estudio.

Esta parte de la subcuenca específica y en ella se considera puede ser prioritaria por su propia identidad o bien por requerimientos externos, es decir, dada la problemática generada al interior de la misma o por la repercusión de la problemática interna en actividades externas al proceso productivo de la cuenca, lo que nos permite identificar el origen de la prioridad en las áreas de estudio.

5ta Etapa. Caracterización.

Identificada el área de estudios se precede a su descripción considerando los componentes ambiente y sistema humano.

Dentro del primero se definirán características de hidrología, geomorfología, clima, suelo y vegetación mientras que en el segundo se consideran características sociales, sistemas de producción, infraestructura y características económicas.

6ta Etapa: Análisis de la Información.

Con la información arrojada por la caracterización, los datos obtenidos por medio de métodos y modelos analíticos cuantitativos y comparativos podemos definir el uso del suelo, la disponibilidad del área, el proceso erosivo, la disponibilidad del recurso vegetal y las características de los aspectos socioeconómicos.

7ma Etapa: Diagnóstico de la situación actual.

Como resultado del análisis de la información podemos identificar, localizar y cuantificar el estado que guardan los recursos lo que nos permitirá definir las alternativas de acción para la resolución del problemática.

8a Etapa: Perspectivas de la problemática.

Considerando que la identificación, cuantificación y localización de los principales problemas presentes en la cuenca nos permiten conocer el estado actual que guardan los recursos, en esta etapa mediante el uso de modelos, efectuar proyecciones que nos permitan conocer el riesgo de degradación de los mismos, su avance o disminución en tiempo y espacio.

9a Etapa: Organización de Acciones.

La información obtenida en el punto anterior nos permite realizar a mayor detalle una selección y clasificación de áreas prioritarias para la ejecución de acciones al interior de la subcuenca, definiendo los criterios de ejecución de acuerdo a una secuencia de acciones, diferenciando de estas, las que resulten de la competencia de los diferentes sectores mediante una definición sectorial de acciones.

10a Etapa: Selección de alternativas de solución.

De las acciones a ejecutar al interior de la subcuenca de acuerdo al criterio de actuación y que resulten competencia del sector, se determinara el lugar y la práctica específica a desarrollar, incluyendo sus especificaciones y diseños tipo, así como un análisis de requerimientos financieros globales para la ejecución de las mismas

11ª Etapa: Formulación de proyectos.

Una vez detectada la práctica a realizar y el lugar específico donde se establecerá, en base a los diseños tipo, se formularán los proyectos específicos para cada una de las acciones a realizar, incluyendo la información que para cada caso marque el área normativa respectiva.

12ª Etapa: Presupuestación.

El proyecto o proyectos a realizar en la subcuenca específica deberán ser validados por las entidades responsables en el distrito, para ser considerados como proyectos ejecutables y elementos indispensables para solicitar los presupuestos necesarios para la ejecución de las acciones.

13ª Etapa: Integración de proyectos.

En esta se realiza la integración de los proyectos tanto del sector como de otros sectores que hayan resultado involucrados para lograr el objetivo de preservar el potencial productivo de los recursos de la cuenca.

14ª Etapa: Ejecución de acciones.

De acuerdo a los proyectos elaborados y a la secuencia en que deben realizarse, según se determino en la organización de acciones, se llevará a cabo estas de acuerdo a los lineamientos establecidos.

15ª Etapa: Seguimiento.

Dado el efecto multiplicador que se espera obtener con la ejecución de actividades a nivel de cuenca, una vez efectuadas aquellas acciones que fueron recomendadas, se requiere realizar un seguimiento a las mismas a fin de contar con el registro de su evolución y así poder efectuar su evaluación.

16ª Etapa: Evaluación.

El análisis de la información que el seguimiento nos proporciona sobre las acciones ejecutadas para la solución de la problemática en la cuenca específica nos permite en este punto conocer en forma cuantitativa y cualitativa la magnitud de los efectos que se obtuvieron en los recursos de la cuenca como resultado de los programas emprendidos, nos permite detectar además las posibles fallas o elementos con posibilidad de mejorarse en nuevas acciones de tal forma que el resultado de esta evaluación representa una retroalimentación de las experiencias generadas.

Al mismo tiempo, es importante darse cuenta de que los problemas de las tierras en las cuencas no se deriven de las limitantes físicas ni de la falta de conocimientos técnicos. Las acotaciones en el aprovechamiento, en la producción y en la distribución, se encuentran en las estructuras económicas, políticas y sociales existentes.

El manejo de la cuenca, con el fin de alcanzar los objetivos mencionados deberá sustentarse en : aumentar las cantidades de agua, proveer un suministro de agua seguro para su uso en las partes bajas de la cuenca, mejorar la producción del bosque, el campo y las pequeñas explotaciones agropecuarias, mantener un determinado nivel en la cantidad de agua, reducir, los peligros de erosión, de inundación, aumentar los medios de recreación y la fauna silvestre, hasta constituirse en un proceso que podría incluir la selección de los más apropiados tipos de cubiertas vegetales, los métodos de cosecha adecuados, los tipos de plantas y sistemas de manejo, de recolección, pero también la incorporación activa y participante de los integrantes de las comunidades.

Con el fin de eficientar el estudio y la proposición de soluciones a la problemática de las unidades espaciales, este trabajo presenta una metodología para la planeación y manejo del recurso natural agua, en el ámbito de cuencas hidrográficas para la integración de proyectos de acción que sean ejecutados para la solución a los problemas detectados.

7. AREA DE ESTUDIO

7.1 Ubicación del área de estudio

El territorio de Colonia San Martín, que forma parte de la subcuenca baja de Zapotitlán Salinas, Puebla, se encuentra ubicado en la porción occidental del valle de Tehuacan, dentro de la Reserva de la Biosfera Tehuacan-Cuicatlán, localizada al sureste del Estado de Puebla y zonas adyacentes al Estado de Oaxaca. Esta se encuentra entre los $18^{\circ} 14' 5''$ y $18^{\circ} 20' 12''$ de Latitud Norte y entre los $97^{\circ} 36' 17''$ y $97^{\circ} 30' 34''$ de Longitud oeste, con un rango altitudinal de 1,460 a 2,600 msnm (INEGI, 1984a, 1984b). (Figura 1)

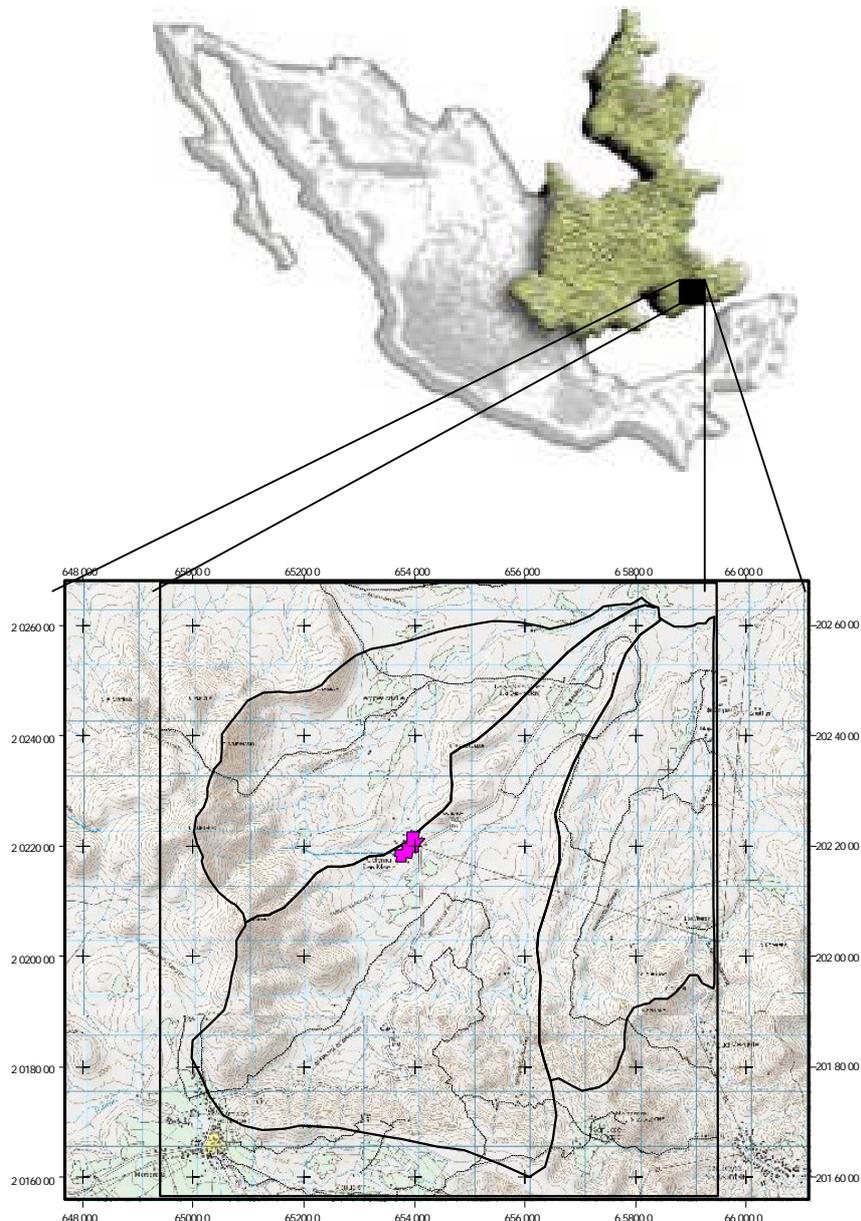


Fig.1. Ubicación del área de estudio

7.2 Fisiog

El territorio de la Colonia San Martín, se encuentra dentro de la subcuenca baja de Zapotitlán este pertenece a la zona árida de la Provincia de la Alta Mixteca y al Sistema Ecogeográfico Sierra de Zapotitlán. Posee un relieve irregular con múltiples formas como cerros, laderas, escarpes, lomeríos, barrancas y terrazas aluviales que tienen la ubicación más baja en cuanto a altitud. La topografía es muy variable, existen regiones en donde la forma es casi plana denominado valle aluvial; así como lomas o zonas de lomeríos, taludes en las partes altas de algunos cerros y barrancas. Barrera (2001) señala que las clases de pendientes más representativas de toda la cuenca son las que van de los 22 a los 27 grados y que representan el 22 % de la superficie total. La Cuenca adquirió la mayor parte de sus rasgos estructurales debido a diversos procesos tectónicos, destacándose la existencia de dos periodos de plegamientos, el primero ocurrió a fines del Paleozoico dando lugar a la formación de esquistos y el segundo, a finales del Cretácico, es quizá el más importante ya que le dio la configuración actual.

López *et al.* (2003) reconocen nueve Sistemas Terrestres, de las cuales, los sistemas Zapotitlán y Metzontla abarcan la mayor superficie, donde la mayoría es de origen endógeno producto de la acción de fuerzas tectónicas.

7.3 Geología

La historia geológica del área muestra que hubo alternancias de condiciones marinas y terrestres asociadas a intrusiones de magma y periodos de movimientos tectónicos intensos.

La gran heterogeneidad geológica, es el resultado de los distintos eventos geológicos y geomorfológicos que se dieron en la región, particularmente los procesos erosivos y de depositación durante el Cuaternario constituyen uno de los eventos más importantes que le dieron la fisonomía actual a la zona de estudio (Osorio, 1996). El Valle Aluvial está formado por una secuencia de sedimentos clásticos no consolidados de gravas, arenas, limos y arcillas de

origen aluvial y lacustres, o como producto de depósitos formados por procesos activos de erosión, conformando un conjunto de rocas muy fragmentadas de areniscas, conglomerados y lodolitas del Cuaternario (López *et al.*, 2003).

Los materiales presentes descansan de forma discordante con las rocas de la Formación Zapotitlán, que consiste en una secuencia alternante de lutitas, areniscas y margas; hacia la parte basal, predominan las margas intercaladas con lutitas y lutitas calcáreas; en el resto de la secuencia, las margas disminuyen en abundancia y en ocasiones llegan a desaparecer. El espesor total se estima en unos 1,200 m. esta formación descansa discordantemente sobre las Formaciones: Mapache, Agua del Cordero y Agua del Burro; también, aparecen intercalaciones de otras Formaciones como San Juan Raya y Miahuatepec. En forma discordante, aparecen también las Formaciones: Cipiapa, Tehuacán y Acatepec, así como rocas volcánicas Terciarias y depósitos de aluvión. La edad de la Formación Zapotitlán corresponde al Barremiano temprano y parte del tardío (Calderón-García, 1956), esta Formación junto con las de San Juan Raya y Miahuatepec son las unidades que integran el llamado Grupo Puebla, propuesto por Calderón 1956, que consiste en una secuencia sedimentaria de más de 2,500 m, correspondientes al Cretácico Inferior.

El nombre de la Formación Zapotitlán fue propuesto por (Aguilera, 1906) para designar a la serie de lutitas fosilíferas que se encuentran en los alrededores de Zapotitlán, pero no señaló una localidad tipo precisa y tampoco midió el espesor de la formación. Calderón 1956, considera que la Formación Zapotitlán aflora desde el Norte de San Antonio Texcala, hasta la Sierra de Santa Rosa y proporciona el espesor de una sección compuesta que mide 1,287 m. la formación consiste en lutitas calcáreas grises y margas y de algunos conglomerados gruesos. Desde San Antonio Texcala a Zapotitlán Salinas hasta el paso del Agua de Burro se extiende una serie constituida de lutitas calcáreas, que contienen intercalados gruesos lentes de calizas fosilíferas. Las calizas intercaladas en estas margas, forman una serie de cuevas, las cuales se deben a una serie de fallas, que atraviesan unos 3 km al suroeste del paso

de Agua del Cordero y al Noroeste hasta la vecindad del Cerro de Pajaritos y el paso Agua del Burro.

7.4 Suelos

Desde el punto de vista edáfico, los suelos son someros y pedregosos en la mayor parte del área, con diferentes niveles de alcalinidad y salinidad producto de la influencia de los diferentes substratos geológicos presentes en el sitio. Las principales unidades de suelos reportadas son: litosoles, cambisoles cálcicos y xerosoles cálcicos derivados de evaporitas del Cretácico Inferior y Medio (Dávila, 1997); García-Martínez (2002) determinó regosoles y fluvisoles calcáricos formados por materiales transportados derivados de sedimentos aluviales.

7.5 Clima

La clasificación del clima de acuerdo con el sistema de Köppen modificado por García (1973) es seco semicálido, con lluvias de verano (BSohw), con poca oscilación térmica que varía entre 5 y 7 °C, y la temperatura media fluctúa entre 17.6 y 23.7 °C. El mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano, con régimen de lluvias de verano, presencia de una canícula a mitad del período de lluvias y con una precipitación media anual de 412.4 mm.

7.6 Hidrología

La cuenca de Zapotitlán pertenece a la Región Hidrológica (Rh 28) de la cuenca del Río Papaloapan, particularmente a la subcuenca fluvial del Río Salado. El Río Zapotitlán se forma hacia el Oeste de la subcuenca alta de Zapotitlán, viaja a la subcuenca baja en dirección Este, pasando por el poblado de Zapotitlán Salinas y al salir de la subcuenca se une al Río Tehuacán en el Valle del mismo nombre, para formar el Río Salado, uno de los principales afluentes del Río Papaloapan (Secretaría de Gobernación, 1988; INE, 2004). El río Zapotitlán, da origen al Río Salado, ambos de aguas superficiales y los manantiales: Salinas la Barranca, Salinas San Pedro, Las Ventas. Las principales características del agua son: alcalinas-salinas, aguas agresivas (con altas cantidades de carbonatos). Neri (2000). La cuenca de Zapotitlán

Salinas, se divide en dos subcuencas: Santa Ana y Zapotitlán, a su vez en quince microcuencas, tres para la primera: Santa Ana, San Lucas y San Juan Raya; y doce, en la segunda: Mihuatepec, Cuthac, El Panteón, La Calera, Agua el Temolote, Grande, San Martín, Chuchuca, Coahuino, Metzontla, Salinas y El Castillo.

7.7 Vegetación y Uso del Suelo

La comunidad vegetal dominante en la zona es el matorral xerófilo, en el que predominan las tetecheras por la presencia de *Neobuxbaumia tetetzo* (tetecho), complementado con otros elementos florísticos importantes tales como: *Prosopis laevigata* (mezquite), *Fouquieria formosa* (ocotillo), *Parkinsonia praecox* (palo verde) y *Beaucarnea gracilis* (sotolín) (Valiente-Banuet y Arizmendi, 1998).

8. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación comprendió varias etapas, las cuales se describen a continuación:

Primera etapa de Gabinete.

Esta etapa del trabajo incluyó la búsqueda exhaustiva de bibliografía y cartografía; con el objetivo de encontrar la mayor cantidad de información para la zona, la caracterización del medio físico se inició con la delimitación de la cuenca a través del reconocimiento del parteaguas y el trazo de la red fluvial (Claver, 1982; FAO, 1992); auxiliándose con la carta topográfica, esc. 1:50,000; así como el empleo de fotografías aéreas pancromáticas en blanco y negro, de varias escalas y épocas de toma a escalas de 1:20,000 y 1:75,000. Además de ortofotografías corregidas de 1995, escala 1: 75,000.

Posteriormente, se efectuó la fotointerpretación preliminar, esto con el objetivo de reconocer el área de estudio; así como todos sus elementos del ambiente físico, como la localización geográfica y política, geomorfología, hidrología, vías de comunicación, geología, suelos y uso actual del suelo. Una vez que el área fue barrida por completo se realizó un mapa y se construyó un mosaico de fotografías aéreas que abarcaron toda el área de estudio para facilitar su identificación.

Etapa de Campo

Se efectuaron varias visitas de reconocimiento y verificación al campo para evaluar todos los elementos establecidos en la caracterización del medio físico. Se reconocieron los límites de las microcuencas, delimitadas en el área de estudio, así, como la corroboración y toma de datos ambientales de los parámetros referidos anteriormente.

Etapa de Laboratorio

La metodología utilizada es una integración de los métodos de FAO (1994, 2000); SARH (1988) y CP (1991); y los métodos morfométricos tradicionales, en un mapa topográfico escala 1: 50,000 (INEGI), se delimitaron y trazaron los escurrimientos dentro del territorio de la Colonia San Martín, para que en base a estos se pudieran marcar los límites de las microcuencas, una vez que se obtuvo las formas de estas, en base al modelo digital de elevación (INEGI) se transformó a formato raster, logrando así realizar las reclasificaciones correspondientes en porcentajes, obteniendo el mapa de clasificación por pendiente, también se calculó el mapa de densidad de drenaje tomando en cuenta la cantidad de corrientes existentes en cada microcuenca, entre el área las mismas, otro mapa que se realizó fue el de energía superficial, cuadrículando el mapa topográfico en cuadros de 3x3 cm (1km²) especificándose para cada cuadrícula el valor de la cota máxima y el valor de la cota mínima, obteniéndose así mediante la resta de ambas cifras el valor máximo de diferencia altitudinal de cada cuadro. Los mapas de disección fluvial vertical así como el de intensidad de erosión y los anteriormente señalados se hicieron mediante el uso de los sistemas de información geográfica (SIG).

Segunda Etapa de Gabinete

En esta etapa se elaboró la cartografía digital definitiva, empleando los sistemas de información geográfica Arc View, versión 3.2. Además de la propuesta de estrategias de manejo de agua viables para la zona.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1. Generalidades de la Región Hidrológica (RH 28) Cuenca del Papaloapan.

La totalidad del territorio de Puebla se encuentra comprendido dentro de cuatro grandes Regiones Hidrológicas; de las 37 en que está dividido el territorio mexicano. Una de ellas es la RH 28 Río Papaloapan, que incluye la cuenca 28A Río Papaloapan y a la subcuenca E-Río Salado (Fig. 9.1.1.).

Esta abarca cerca de 14.85% de la superficie del Estado y se ubica hacia la zona sureste e incluye a las regiones: La Cañada; Valle de Tehuacán y el Valle del Río Salado, respectivamente, siendo este último el afluente principal del Río Papaloapan, en la porción Poblana (INEGI, 2000). La superficie que comprende la Cuenca del Papaloapan muestra una increíble heterogeneidad de paisajes, debido a sus fuertes contrastes orográficos y geológicos, que conforman las distintas Regiones y Subregiones Naturales como: la Planicie Costera del Golfo, Sierra Madre de Oaxaca, Los Tuxtlas y la parte del Eje Neovolcánico Transversal.

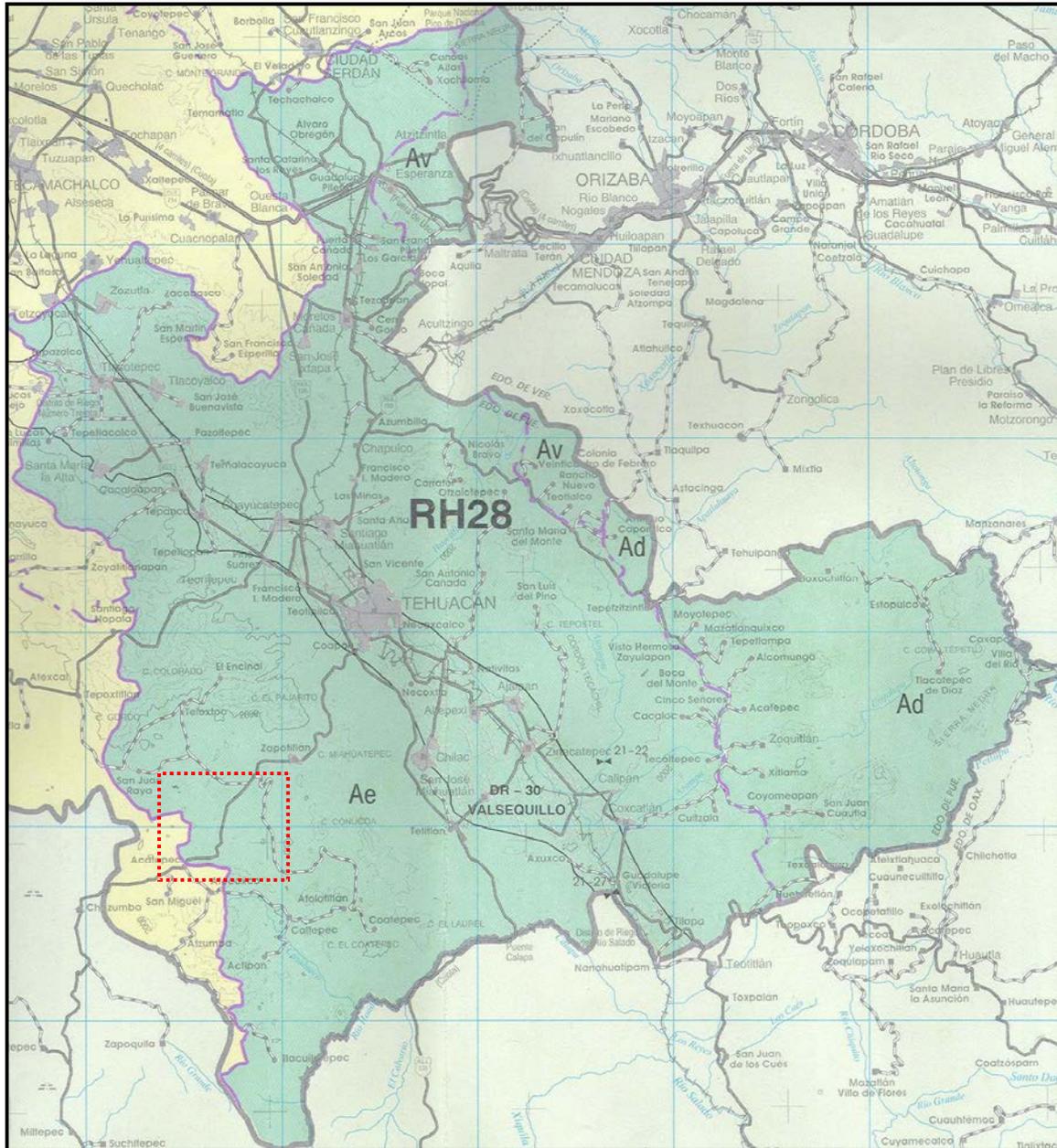
Además, el más destacado accidente geográfico en el interior de la Sierra Madre es la depresión Poblano-Oaxaqueña, antiguo lago, por donde corren las aguas de los Ríos Salado y Grande, respectivamente; que unidos aguas abajo forman la corriente del Río Quiotepec-Santo Domingo.

El área de investigación del presente trabajo se ubica en el parte aguas de la Cuenca del Río Salado, dentro del Alto Papaloapan, que comprende las partes altas de la vertiente exterior de la Sierra Madre Oriental; además que conforman sus vertientes internas, la Cañada Poblano-Oaxaqueña, la sección del altiplano y los valles del sureste de Puebla.

El principal recurso natural del Alto Papaloapan es, sin duda, su inmenso caudal de agua. Esto es posible debido a la influencia del factor orográfico que genera climas de abundantes precipitaciones pluviales en las zonas de alturas medias y superiores de cuenca. Por ejemplo: la vertiente exterior de Zongolica y Huautla.

En contraste, estas precipitaciones disminuyen conforme al descenso de la Sierra Madre Oriental hacia Tehuacán en donde se registra una precipitación media anual entre 500 y 800 mm (Tamayo y Beltrán, 1977).

2100000



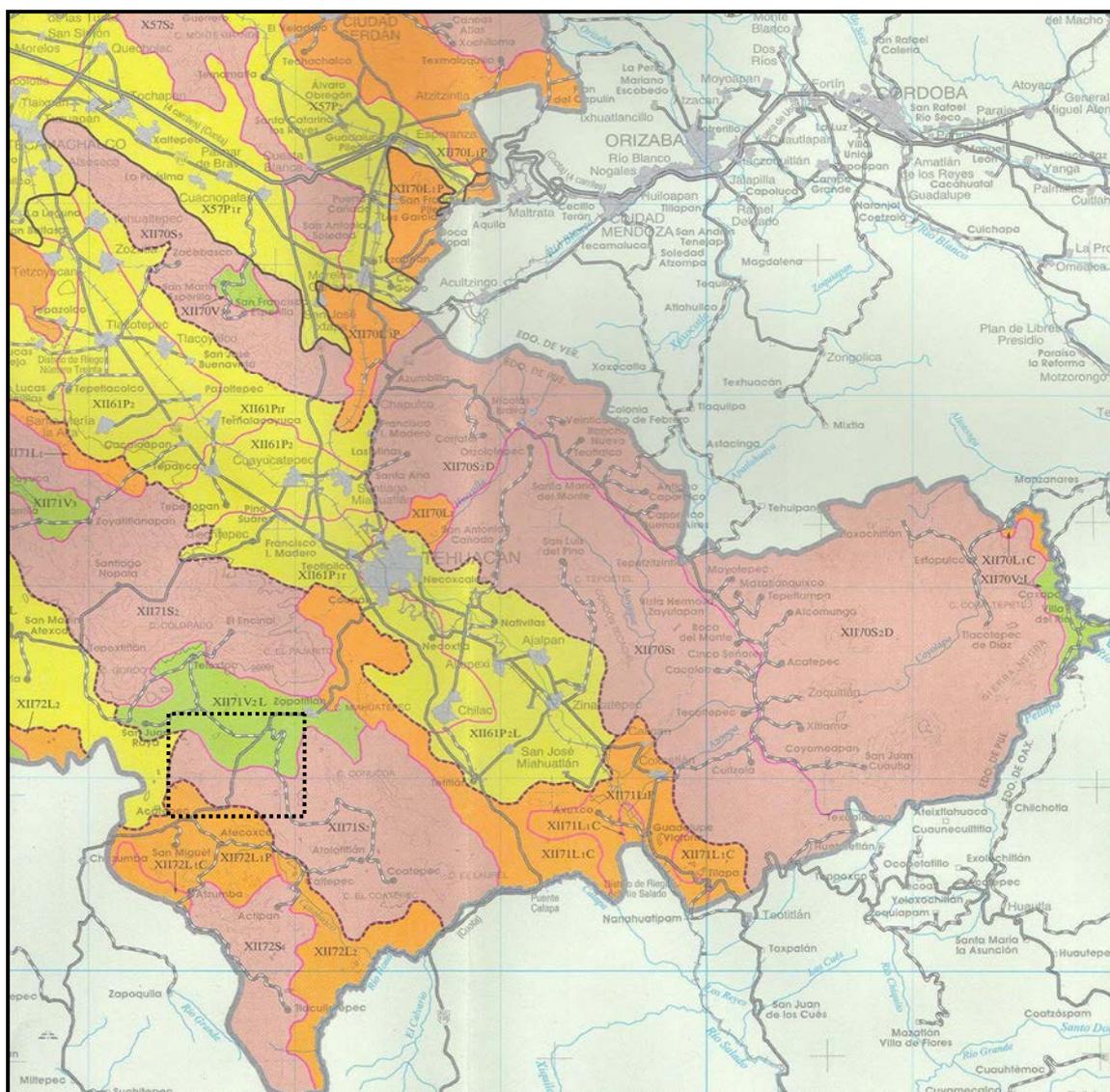
(FUENTE: INEGI, 2000)

740000

Fig. 9.1.1. Ilustración de la Región Hidrológica Número 28, donde se encuentra la Cuenca del Papaloapan. La zona enmarcada representa el área investigada.

La zona de estudio se localiza en el Alto Papaloapan. El valle de Zapotitlán Salinas está conformada por una variedad de paisajes, pertenecientes a la Provincia Sierra Madre del Sur, que incluye de forma simultánea a las Subprovincias Mixteca Alta, conformada por lomeríos escarpados, lomeríos con cañadas y lomeríos con llanuras, y la Subprovincia Sierras Centrales de Oaxaca, conformada por un valle de laderas tendidas con lomeríos y sierras de cumbres tendidas; como se puede observar en la figura 9.1.2.

2100000

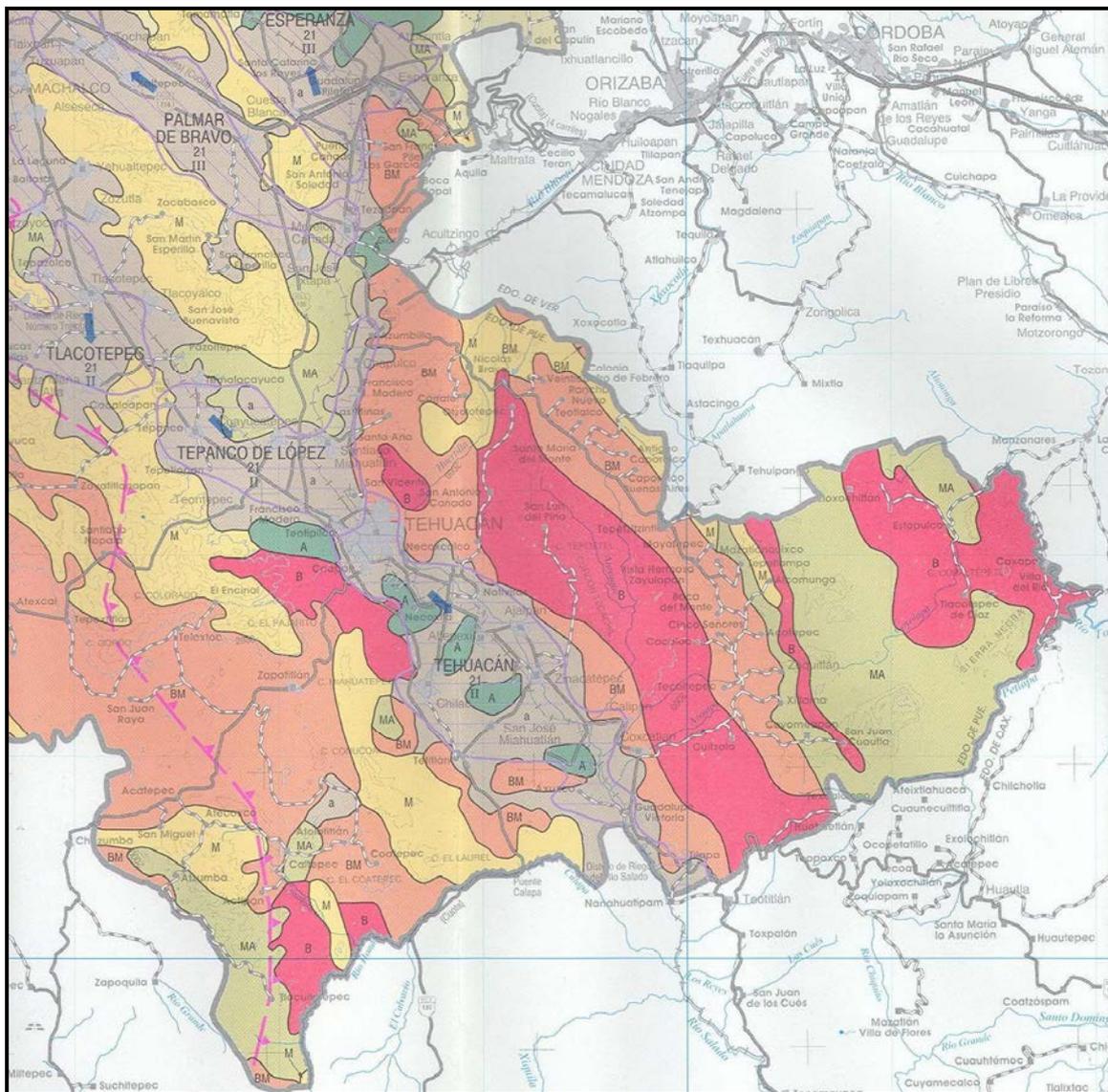


740000

Fig. 9.1.2. Ilustración de las diferentes Provincias y Subprovincias Fisiográficas de la Región Sureste del Estado de Puebla. (FUENTE: INEGI, 2000).

Por otra parte, otro factor de suma importancia, a considerar en el manejo del recurso agua, es la Hidrología Subterránea, ya que en la entidad las corrientes superficiales son escasas y de volumen reducido, especialmente hacia el sur del Estado. La disponibilidad de agua en el subsuelo es un factor importante que condiciona el incremento del desarrollo económico del Estado, por lo que se debe señalar la importancia de una explotación racional del recurso, ver figura 9.1.3. La mayoría de los acuíferos explotados en el área de estudio son de tipo libre y relativamente poco profundos; los niveles estáticos fluctúan entre 2 y 80 m, en las 11 zonas principales de explotación de agua subterránea, del territorio poblaro.

2100000



740000

Fig.9.1.3. Ubicación de las principales unidades geohidrológicas, con posibilidades de retención de agua subterránea, en la porción sureste del Estado de Puebla. (Fuente: INEGI, 2000).

En particular, el área de Tehuacán (Zona de la Cañada Poblano – Oaxaqueña) localizada en la porción suroriental del Estado, el acuífero está formado por depósitos aluviales y coluviales, la parte inferior está compuesta por clastos calcáreos calizos y travertínicos, yesos y conglomerados, en ésta el número de aprovechamientos es de 637, con 62 pozos, 294 norias, 6 manantiales y 275 galerías filtrantes (INEGI, 1993). Ubicadas estas últimas, principalmente sobre materiales Kársticos, de naturaleza travertínica, hacia la parte norte y noroeste de Tehuacán. Específicamente en la parte de San Lorenzo, El Riego, Garci-Crespo, Santiago Miahuatlán.

9.2 DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL TERRITORIO DE ZAPOTITLÁN SALINAS.

9.2.1 DESCRIPCIÓN CLIMÁTICA

La Subcuenca de Zapotitlán presenta un régimen pluvial del clima de carácter local, geográfico, provocado por la barrera orográfica de la Sierra Madre Oriental; las altas serranías actúan a manera de barrera impidiendo el paso de las corrientes estables; por lo que, del lado del Golfo de México en la sierra se fuerza el levantamiento húmedo sobre las vertiente montañosa ocasionando así, sólo el desarrollo de nubes en las partes altas de las vertientes, este vapor de agua proporciona la energía suficiente para salvar el obstáculo aunado al impulso de los vientos dominantes del este (alisios) que juegan un papel importante en la zona. Si la humedad relativa en las partes altas es del 100% al iniciar el descenso, después de bajar 1,100 metros, su temperatura aumentará 11° C y su humedad relativa bajará a la mitad; el efecto citado da lugar a la formación de las regiones áridas y semiáridas del país como en el caso de nuestra zona de estudio (García, 1973).

Por otra parte, durante la época fría del año, que incluye el periodo que comprende noviembre, diciembre y enero, los vientos del oeste se establecen desplazando a los del este; esos vientos son considerablemente más secos que los alisios, por lo que proporcionan un ambiente seco y frío a la Subcuenca, que

caracteriza la sequedad característica de esa época del año. Las lluvias torrenciales presentes en la subcuenca son debidas a los huracanes tropicales que se extienden de mayo a octubre sobre las aguas del golfo de México y que por consiguiente dan años lluviosos sobre el altiplano central (García, 1973).

De acuerdo al análisis realizado por Neri (2000) se tiene que, la temperatura media mensual máxima se presenta en el mes de marzo con 30.1°C, seguido de agosto con 29.1°C, y junio con 27°C, mientras que las medias mínimas mensuales varían de enero con 15°C, febrero con 16.4°C y diciembre con 14.3°C. En cuanto a la precipitación los valores varían considerablemente, las medias máximas mensuales desde marzo con 135 mm, junio con 215 mm y septiembre con 285.1 mm, cabe aclarar que dichos eventos no se presentan con regularidad en cada mes, pueden darse en cualquier momento precipitaciones extraordinarias derivadas de alguna situación extrema de un solo evento.

Otro sistema muy utilizado para la caracterización y clasificación del clima de cualquier zona es el método Thornthwaite, trabaja con valores de precipitación y temperatura para obtener la evapotranspiración potencial. Neri, 2000 al hacer el balance general de humedad de la subcuenca, se tiene que la precipitación anual promedio no excede de los 41.24 cm, mientras que la evapotranspiración potencial es de 99.28 cm, esto significa que la evapotranspiración supera en más del doble al valor de la precipitación, limitando así los procesos de infiltración y escurrimiento impidiendo la retención de agua.

El periodo de retorno de lluvias máximas es un índice que permite conocer el tiempo probable en el que un evento extraordinario de precipitación máxima se puede dar en un sitio determinado, como ya se mencionó, es una zona semiárida con lluvias poco predecibles refiriéndose a la cantidad de agua máxima que pueda caer. De acuerdo a los resultados de Neri, 2000, los meses de máxima precipitación mensual se acomodaron en orden creciente, por otra parte la máxima precipitación mensual presente en la subcuenca de Zapotitlán es de 258.1 mm. De acuerdo al periodo de retorno (T_r), se considera que existe la probabilidad de

que una precipitación similar se pueda repetir en cualquier mes durante un periodo de 31 años.

Para precipitaciones que van de los 17.1 a los 91.5 mm su periodo de retorno es de un año pudiéndose presentar en cualquier mes del periodo de lluvias, para lluvias del rango de 92.9 a 137.5 mm se obtuvo un periodo de retorno de dos años. Así también hay lluvias máximas mensuales que pueden ocurrir cada 5, 8 y 10 años.

9.2.2 GEOLOGÍA HISTÓRICA

De acuerdo a Muñoz (*com. per.* 2007), la geología de la cuenca de Zapotitlán es sumamente compleja y no obstante que se tienen varios estudios esta región, no hay alguno que defina con exactitud el desarrollo geológico y la presencia de las distintas formaciones y estructuras geológicas. Siguiendo a Barceló-Duarte (1978) el origen geológico de la cuenca se remonta al Paleozoico Superior, cuando se formó el Complejo Basal denominado Acatlán (basamento cristalino) de origen meta-ígneo que evolucionó a partir del metamorfismo y manifestaciones magmáticas; se estima una edad para el Complejo de 890 millones de años, está constituido por una litología de esquistos y gneis micáceos (Maldonado, 1956). El Complejo Acatlán tiene una relación aparentemente discordante subyaciendo a la Formación Matzitzi, de origen continental, que se depositó sobre el basamento cristalino durante el Pensilvánico, en el cual se dieron una serie de eventos resultado de la conjugación y desarrollo de varios ambientes geotéctonicos. La Formación Matzitzi subyace a terrenos Meso y Cenozoicos discordantemente y guarda una relación no clara con esquistos del Complejo Acatlán y rocas cataclásticas. La litología de la formación la constituyen conglomerados formados por fragmentos de rocas metamórficas bien redondeados, lutitas y limolitas carbonosas, así como areniscas de grano fino, que reflejan ambientes tropicales continentales pantanosos. Después de esto se pasa a una serie de eventos ambientales muy diferentes de tipo marino que modifican totalmente las características ambientales de la zona. En el Cretácico Inferior, se inician una serie de transgresiones marinas de las cuales se origina la Formación Zapotitlán,

que según Calderón (1956), se depositó en un mar somero en la zona infralitoral, ya que la evidencia fósil consta de macrofauna, constituida de corales, pelecípodos y cefalópodos, de zonas infralitorales. Tiempo después, se siguen registrando secuencias de transgresiones de mares, que se extienden hasta el Aptiano. Durante el Barremiano Tardío la Formación Zapotitlán es intrusionada por rocas plutónicas.

Estructuralmente hablando, la Formación Zapotitlán tiene una litología que consiste de secuencias de lutitas calcáreas grises, micacíferas, de estratificación delgada con intercalaciones de caliza, areniscas y margas, así como, conglomerados (Buitrón, 1970). Durante el Barremiano Tardío hay un arqueamiento de la Formación Zapotitlán lo que crea una paleobahía (Maldonado, 1956) donde se depositan la Formación Agua del Burro, que descansa concordantemente sobre la Formación Zapotitlán, la litología es de calizas de color gris, con ventilas de calcita blanca. Se interpreta que el ambiente de depositación de esta formación fue marino de alta energía, probablemente post-arrecifal, existe la formación de pliegues isoclinales, donde se aprecian numerosas fallas de rumbo NNW-SSE, que cortan e interrumpen las secuencias y complican la estructura (Barceló-Duarte, 1978).

9.2.3 GEOMORFOLOGÍA

Descripción topográfica de la Cuenca de Zapotitlán

La cuenca de Zapotitlán se encuentra en la porción occidental del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, tiene una superficie de 39,400 ha, con una variación altitudinal que va de los 1420 a los 2600 msnm (Muñoz *com. per.* 2007) (fig.3), presenta su cabecera hacia el Noroeste y su salida hacia el Este. Por su morfología presenta las características de un valle intermontano con periferia más o menos cuadrada, con un desnivel en el sentido oeste – este. Como todos los valles esta rodeado por un conjunto de elevaciones mayores, en su mayor parte de origen endógeno-tectónico formadas de plegamientos de calizas marinas, lutitas y areniscas, la mayoría de estas elevaciones muestran modelado erosivo.

La Cuenca se encuentra subdividida hacia el oeste, por un dique de estructura monoclinial de calizas escarpadas, que la divide naturalmente en una subcuenca alta, con una superficie de 12,600 ha y una subcuenca baja de 26,800 ha, ambas comunicadas en su porción central por una amplia garganta por donde pasa el Río Zapotitlán. En la base de estas elevaciones se encuentran piedemontes, acumulativos y denudativos con distinto grado de disección y extensión. Por debajo de los piedemontes están las planicies interrumpidas por colinas, lomeríos, barrancos y una que otra elevación aislada, que en algunas ocasiones corresponden a antiguos volcanes del Cretácico, que se encuentran aflorando, por erosión. Las planicies son superficies rebajadas, cuyo aplanamiento fue ocasionado por erosión diferencial que desgastó irregularmente materiales de distinta dureza, es pertinente señalar que también se presentan algunas planicies estructurales. Las planicies en general presentan un escalonamiento, de tal forma que se presentan dos pisos, diferenciados por pequeños escarpes.

El fondo de la planicie es atravesado por el Río Zapotitlán, que se extiende en el sentido oeste-este, la pendiente de su cauce es muy suave, de tan sólo el 1%, casi llana; por lo tanto, se puede decir que la velocidad del cauce es lenta, no obstante, si se considera que durante su trayecto recibe diversos tributarios, la velocidad de las avenidas en tiempo de lluvias torrenciales puede aumentar considerablemente (Neri, 2000). Sobre las márgenes del río aparecen una serie de terrazas fluviales, que por su morfología y las características de sus suelos son funcionalmente inactivas, encontrándose en etapa de retroceso; estas terrazas presentan una superficie relativamente plana con suelos transportados profundos.

Principales unidades del relieve

Considerando el origen, estructura y patrón geomorfológico, se delimitaron las siguientes formas mayores del relieve, para la zona del territorio de Colonia San Martín:

- Dique Agua del Burro
- Sistema Montañoso La Hierba

- Planicie de Zapotitlán
- Sistema Loma larga

Dique Agua de Burro

Se encuentra en la porción occidental de la Cuenca y constituye el límite natural de las subcuencas baja y alta, respectivamente. El dique está constituido por tres cuestas monoclinales de baja altura, tienen una altura absoluta de 180 m. El parteaguas es curvilíneo, con cimas redondeadas e interfluvios asimétricos con laderas cataclinales, con rumbo hacia subcuenca alta. Hacia el interior de la subcuenca baja se presenta el frente anaclinal que forma un escarpe con pendientes que fluctúan entre 25° y 35°. La ladera cataclinal presenta un drenaje dendrítico y la anaclinal muestra un drenaje incipiente de baja densidad. El piedemonte se extiende sólo hacia el oeste teniendo una amplitud promedio de 800 m, está constituido por sedimentos y detritos transportados, de origen calizo, fosilíferos de coquinas y coralíferos.

Sistema Montañoso La Yerba

Este sistema se encuentra hacia el sur del dique Agua del Burro, está constituido por un conjunto de elevaciones integradas por los cerros Castillo, Pepicha, Campanario, Ometepec, La Yerba y El Otate, algunos de naturaleza ígnea y la mayoría sedimentarios. La altura máxima del sistema es de 2280 msnm y la pendiente varía entre 13° y 27°. El parteaguas es curvilíneo, cimas redondeadas, con interfluvios simétricos con mayor amplitud hacia el occidente, las laderas son convexas con una profundidad de disección vertical que oscila entre 300 y 500 m; por lo que, se presentan profundos barrancos sobre todo en las parte donde existen serios cambios de pendiente del terreno o cambios litológicos; provocando que la densidad fluvial varíe ampliamente, fluctuando entre 1.41 hasta 2.40 km/km², presentándose un patrón de drenaje dendrítico de segundo orden. Hacia el interior del valle este paisaje presenta un piedemonte que primero fue origen acumulativo, en el cual se registraron varios periodos de acumulación de detritos sedimentarios y, actualmente, se encuentra en un proceso denudativo y disectado,

ocasionado por la existencia de arroyos que lo atraviesan. El piedemonte está formado por depósitos coluviales, gravitacionales y proluviales fuertemente cementados. Los suelos del paisaje, en su mayor parte corresponden a Leptopsol calcari-hiperesquelético y Leptosoles hapli-réndzicos. En el piedemonte se presentan Regosoles calcari-lépticos y Leptosoles calcari-paralíticos, altamente arenosos. La vegetación en las partes más elevadas corresponde a cardonal de *Neobuxbaumia tetetzo*, asociado con matorral espinoso de *Prosopis laevigata* y *Mimosa luisana*. La cobertura vegetal del piedemonte está bastante perturbada por la actividad ganadera de caprinos y ovinos; así como, de la sobre explotación de especies leñosas, principalmente de leguminosas.

Planicie de Zapotitlán

Representa la depresión más grande de la cuenca de Zapotitlán, se encuentra en la porción central de la subcuenca baja, limitando al oeste y suroeste con el Dique Agua de Burro, extendiéndose hasta el noreste para terminar en el cerro Cutac pasando por el poblado de Zapotitlán Salinas; tiene forma más o menos cuadrada, con pendiente general de 0 a 5%. En esta se presentan varias barrancas, algunas elevaciones aisladas y terrazas fluviales. La planicie estructuralmente, está formada por diversos tipos de depósitos de sedimentos clásticos calizos y silicios, de diferentes espesores y edades, la mayoría son cúmulos de flujos clásticos de sedimentos gravosos calcáreos del Cuaternario, además, se complementa con zonas donde aflora la roca basal. La planicie es atravesada en su porción más baja por el Río Zapotitlán; río maduro que ha llegado a su nivel base de erosión. El cauce es ancho poco sinuoso con presencia de meandros incipientes. Sobre las márgenes del cauce se presentan terrazas fluviales formadas de mantos aluviales, que llegan a un grosor máximo de 20 m.

Actualmente estas terrazas son inactivas y se encuentran en una fase de retroceso. Siguiendo el criterio de Derrau (1981), las terrazas son vestigios de la antigua planicie de inundación del río, que ha sido levantada con respecto al cauce de un valle fluvial, por movimientos tectónicos o por un descenso brusco del nivel base de erosión. La planicie de Zapotitlán es la geofoma que soporta la

mayor carga de las actividades humanas de la cuenca, ahí se asienta el principal poblado, las principales vías de comunicación y donde se desarrolla la mayor actividad productiva de la zona.

Sistema Loma Larga

El principal sistema de lomeríos se extiende en el sureste de la cuenca dentro del llano de San Martín, presenta una forma alargada con dirección suroeste-noreste, teniendo una altura relativa sobre el nivel del terreno de 240 m. Presenta parteaguas planos escalonados, interfluvios simétricos con laderas de perfil convexo escalonados con pequeños escarpes erosivos. La unidad se encuentra disectada por largas barrancas de baja profundidad que confluyen todas con el Río Zapotitlán, la configuración de la red fluvial es dendrítica de baja densidad, de primer orden. Los lomeríos son formas residuales de plegamientos fuertemente denudados, derivados de lutitas calcáreas y flujos de conglomerados del Cuaternario. El intemperismo y la denudación son intensos debido a que los materiales son de baja resistencia; por lo que, la erosión es de moderada a alta.

9.3 CARACTERIZACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TERRITORIO DE LA COLONIA SAN MARTÍN

Para la caracterización hidrogeográfica correspondiente al territorio de la Colonia San Martín, se determinaron los rasgos hidrográficos respectivos, para la zona de investigación, determinando tres microcuencas tributarias, denominadas, de acuerdo a los objetivos de la investigación: “Tempesquistle”, “San Martín” y “Pizarro”, mostradas en la figura 9.3.1.

9.4 MORFODINÁMICA DE LA COLONIA SAN MARTÍN

Las microcuencas presentes dentro del territorio de la Colonia San Martín, se encuentran en la parte noroeste, centro y noreste del mismo poblado, con una extensión de 75.32 km² en total y con una variación altitudinal que va de los 1500 a los 2300 msnm. La figura 9.4.1 presenta la disección del relieve del total del área de estudio, encontrando que la profundidad máxima de disección vertical tiene valores que fluctúan entre 20 y 200 m, esto evidentemente está determinado por el relieve, la pendiente y los materiales de origen, como se observa en la figura 9.4.2. En los lugares planos la energía del agua disminuye, limitando su capacidad de erosión vertical, aunado a esto en la figura 9.4.3, se muestra, a partir de interpolaciones, las zonas donde se encuentran barrancos formados por erosión fluvial vertical. Sin embargo, existen sitios en el territorio como los que están al noreste y suroeste, donde se presentan barrancos profundos, originados a partir de pendientes abruptas y a la presencia de materiales altamente meteorizados de rocas poco resistentes (lutitas, yesos y depósitos clásticos).

La información obtenida a partir del mapa de energía del relieve elaborado en la investigación, mostrado en la figura 9.4.4. nos indica un equilibrio entre los procesos endógenos y exógenos, imperantes en la zona; que siguiendo el criterio de Lugo (1986), se determina que la dinámica del área está relacionada con el origen endógeno tectónico de los relieves y el tiempo de acción transcurrido, por parte de los factores exógenos, principalmente el intemperismo, la denudación, erosión y la gradación, de la superficie de la zona de investigación.

En las cabeceras de las cuencas encontramos laderas cóncavas y convexas, seguidos de piedemontes con distinto grado de extensión. Por debajo de estos están las planicies con superficies rebajadas, cuyo aplanamiento fue ocasionado por erosión diferencial, que desgastó de forma irregular los materiales de distinta dureza. A su vez, estas están interrumpidas por colinas, lomeríos, mesas y una que otra elevación aislada, como se observa en la figura 9.4.5.

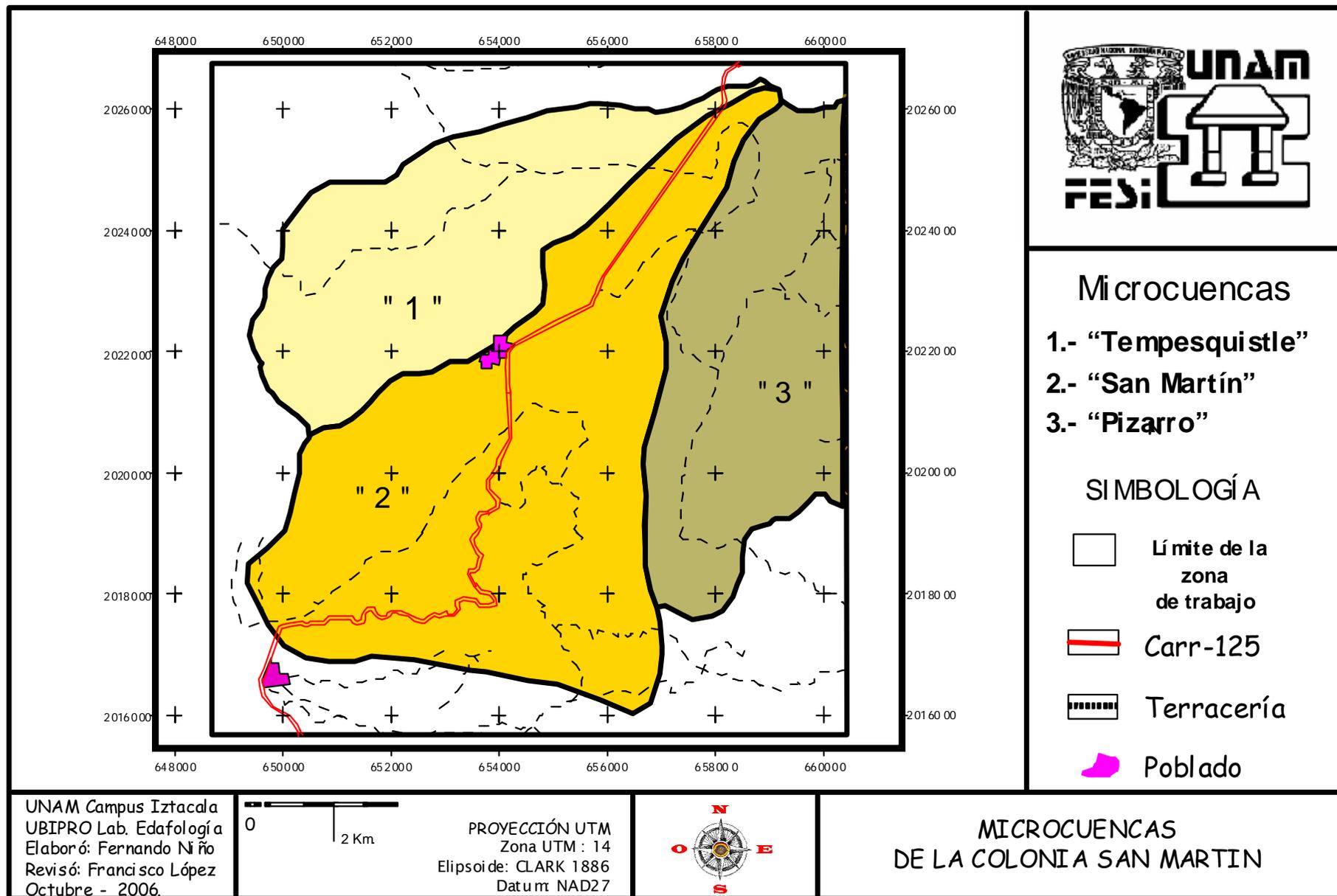


Figura 9.3.1. Delimitación de las microcuencas presentes en zona de la Colonia San Martín, Zapotitlán Salinas, Puebla.



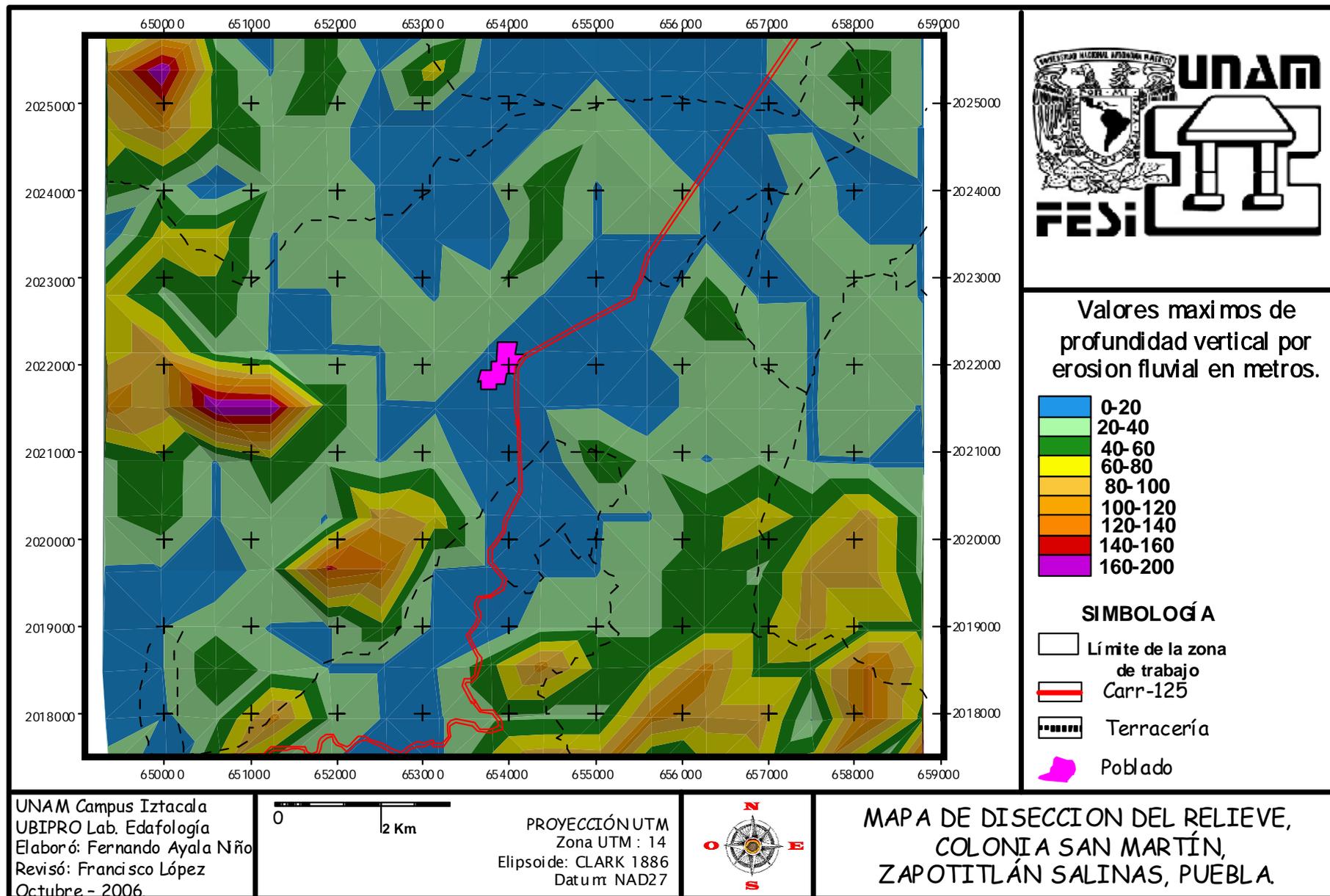


Figura 9.4.1. Mapa de Disección del Relieve del territorio de la Colonia San Martín, Zapotitlán Salinas, Puebla.

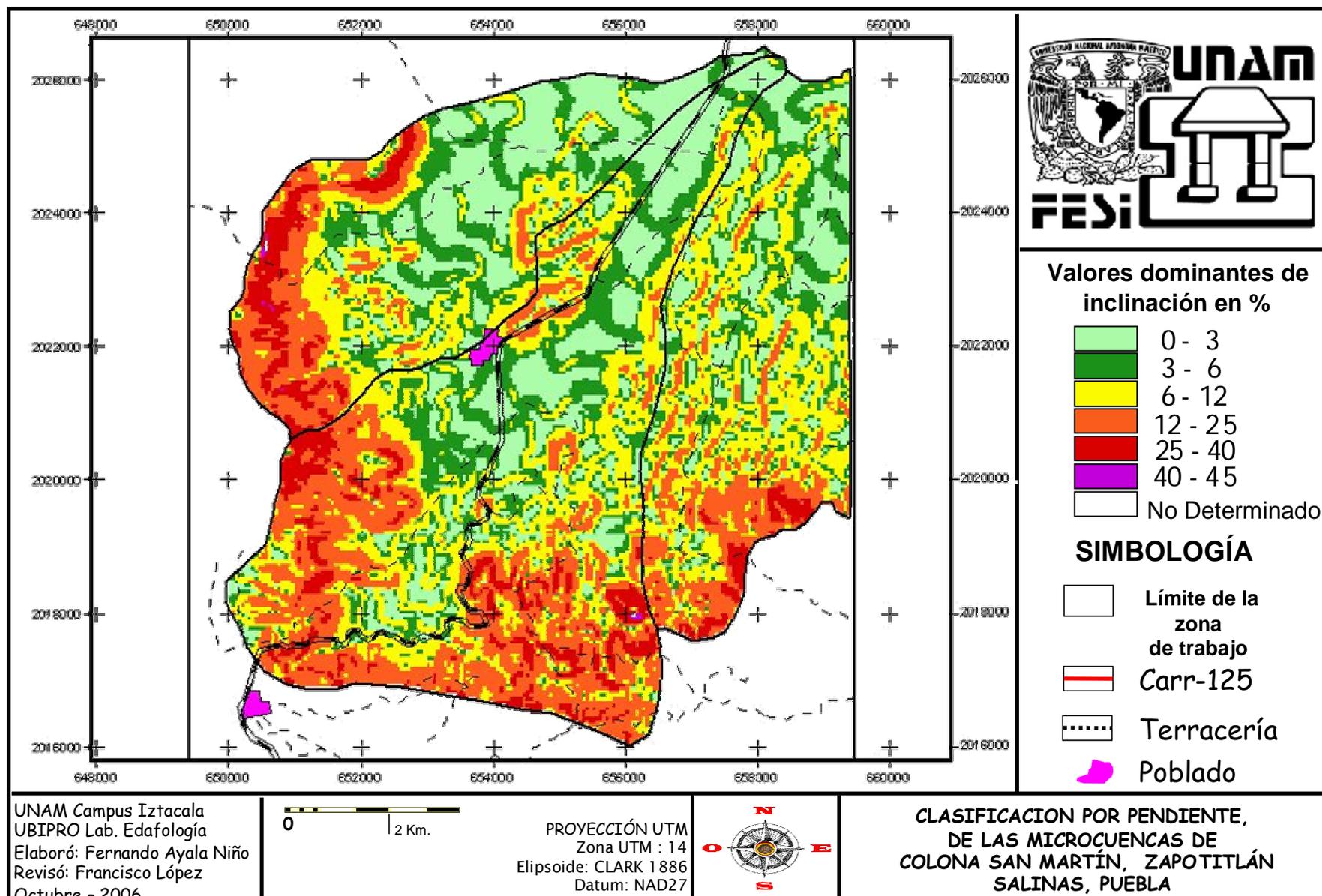


Figura 9.4.2. Mapa de Pendientes del territorio de la Colonia San Martín, Zapotitlán Salinas, Puebla.

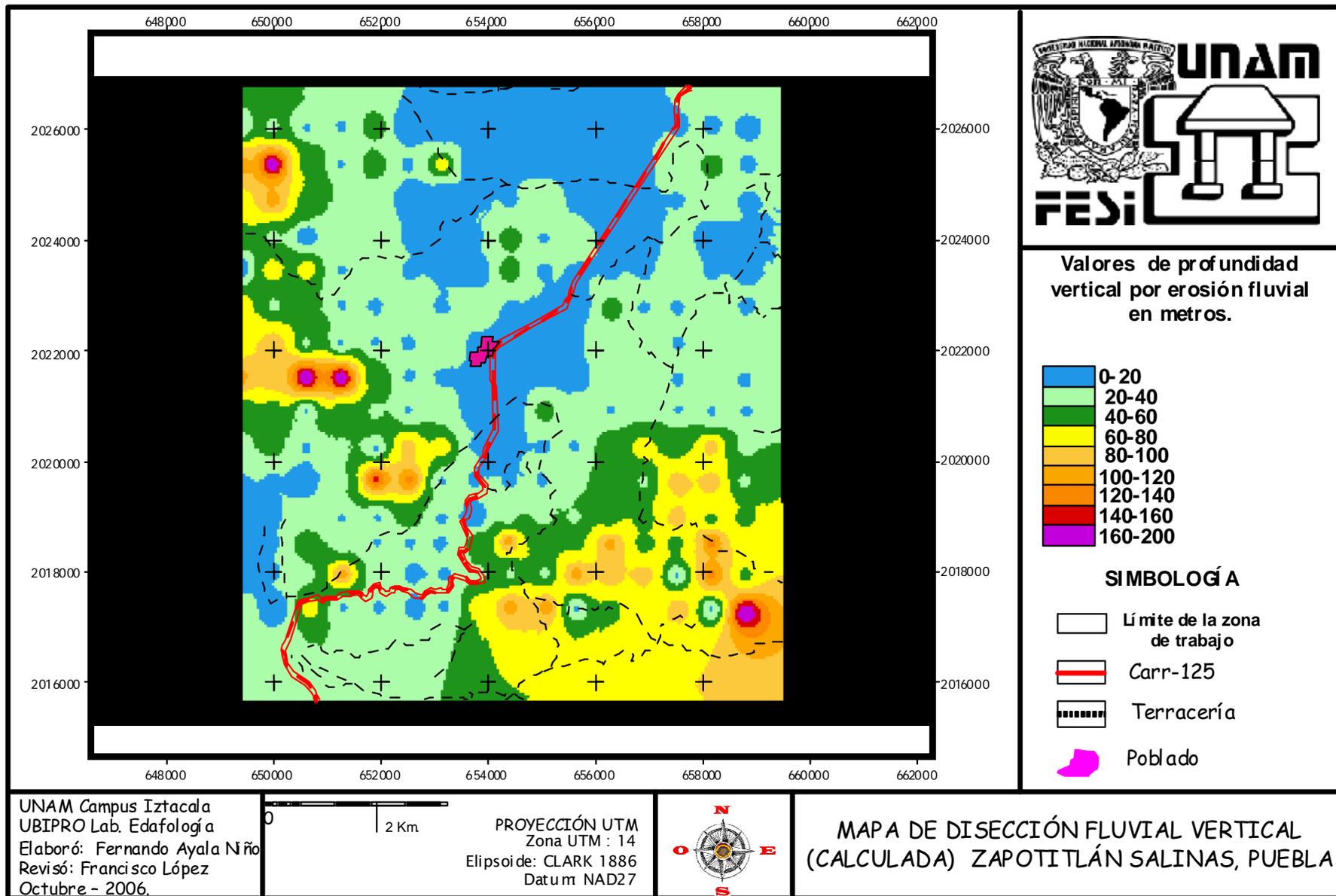


Figura 9.4.3. Carta de Disección Fluvial Vertical del territorio de la colonia San Martín, Zapotitlán Salinas, Puebla.

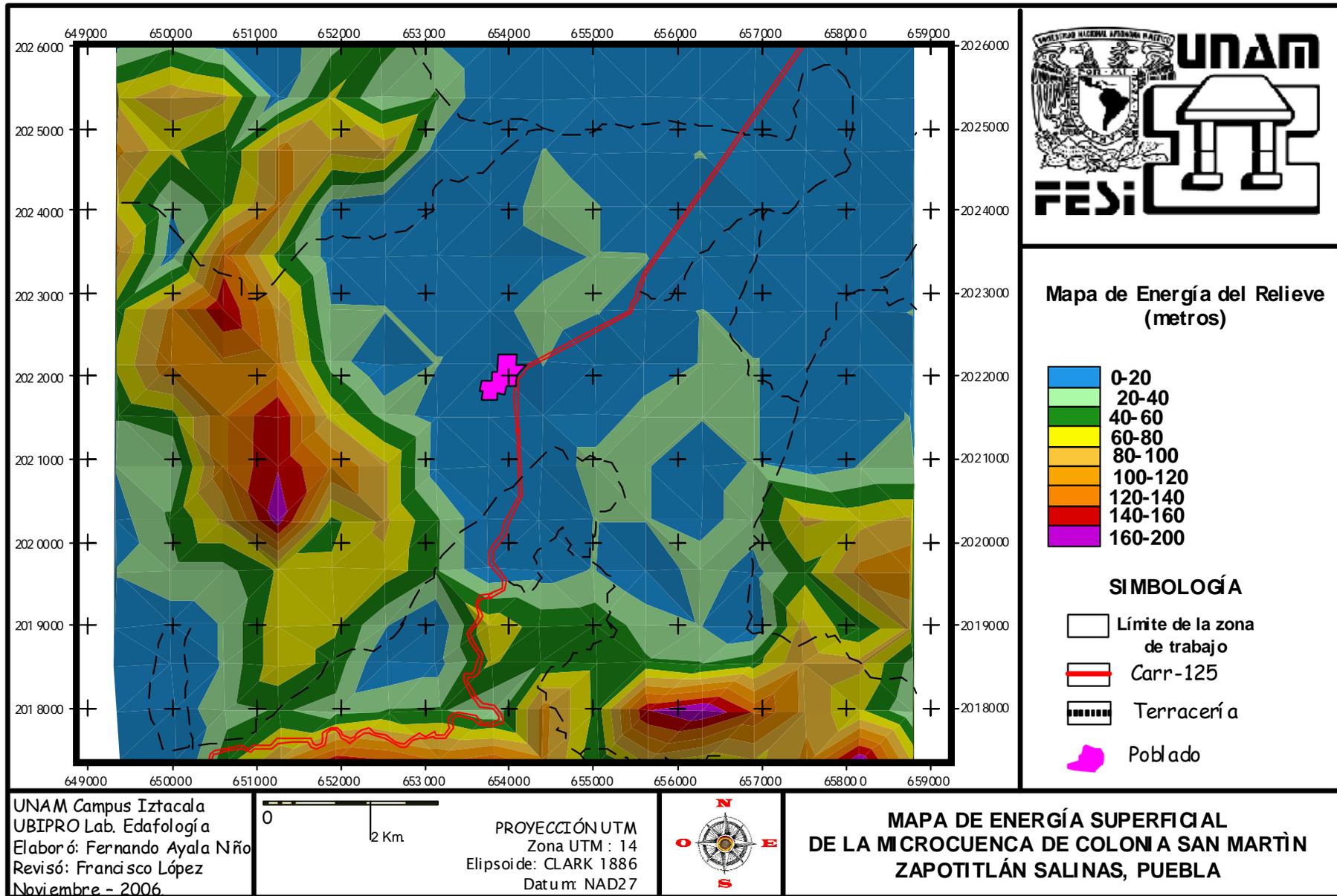


Figura 9.4.4. Se observa el mapa de Energía superficial del territorio de la colonia San Martín, Zapotitlán Salinas Puebla.

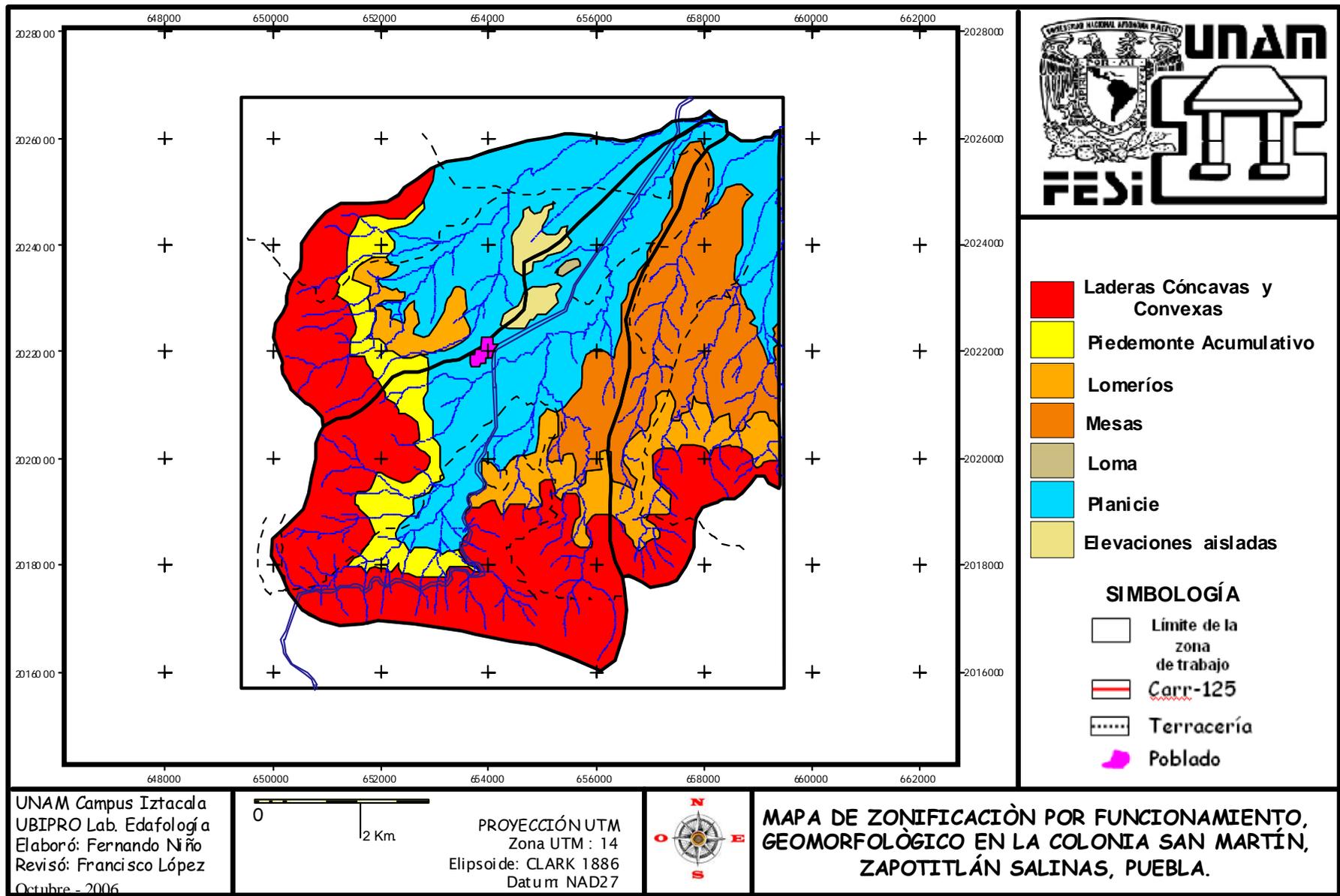


Figura 9.4.5. Se observa el mapa de zonificación geomorfológica del territorio de la colonia San Martín, Zapotitlán Salinas Puebla.

9.5 DESCRIPCIÓN DE LAS MICROCUENCAS DEL TERRITORIO DE LA COLONIA SAN MARTÍN.

En la Tabla 9.5.1. se muestran los valores de diferentes parámetros morfométricos determinados..

Subcuenca	“Tempesquistle”	“San Martín”	“Pizarro”
Área km ²	19.3587	36.6633	19.2980
Perímetro km ²	0.02251	0.0310	0.0211
Longitud de Tributarios (Km)	39,007.138	79,901.724	50,826.323
Índice de Forma	3.15	4.39	4.76
Índice de Compacidad	1.43	1.43	1.34
Relación de Elongación	0.91	0.78	0.70
Pendiente General (%)	9.0	5.8	7.5
Densidad de Drenaje Km./ km ²	2.01	2.17	2.63
Relación de Forma	0.52	0.48	0.54
Longitud Axial (m)	7810	12584	9570
Rango de Altitud	1500 - 2280	1500 - 2300	1500 -2100

Tabla 9.5.1. Valores determinados para los parámetros morfométricos de las microcuencas de Colonia San Martín.

9.5.2. Microcuenca “Tempesquistle”

La Microcuenca “Tempesquistle” (Figura 9.5.2) se encuentra al noroeste del poblado de Colonia San Martín, con un intervalo altimétrico que va de 1500 a 2280 msnm, y una diferencia de altura de 780 m. presenta una litología variada de rocas ígneas extrusivas y sedimentarias como lutitas, calizas, areniscas, aluviones y conglomerados, las pendientes dominantes van del 0 al 40%, esta presenta una pendiente pronunciada del 25 al 40% en la parte noroeste, disminuyendo la pendiente hacia la salida de cuenca con valores del 0 al 6 %, encontrando una pendiente general del 9%, los suelos también son muy variados encontrando Regosoles calcari-endolépticos, Calcisoles, Leptosoles líticos y haplicalcárico. El uso de suelo y vegetación esta determinado principalmente por isotal de sotolín con matorral espinoso de *Parkinsonia Praecox* y *Prosopis laevigata*, sotol, tetecho, mimosas, pitahaya, cersidium, yuca, hectia, *ferocactus latispinus*, *echinocactus geometricans*, *Agave marmorata* y *Opuntia pillifera*. Tiene una superficie de 19.35 km², lo que la califica como pequeña Chow (1984), el *Índice de Forma* fue de 3.15 por lo que la cuenca tiende a ser circular (Horton, 1982), esto puede confirmarse con el *Índice de Compacidad*, que dice que entre más cercano el valor a 1 la forma de la cuenca se aproxima más a la de un círculo, y por tanto, el valor obtenido fue de 1.02, de ahí que, lo que esta cuenca se ubica dentro de la **Clase k₂** que corresponde a una forma oval-redonda a oval-oblonga. Otro valor de importancia es la *Relación de Elongación* que define el relieve de la cuenca en función del círculo, por lo que el valor obtenido es igual a 0.91 lo que indica que tiende a la circularidad. *La red de drenaje* es dendrítica y paralela de segundo orden como se muestra en la figura 9.5.5. *La Densidad de drenaje* es media ya que el valor obtenido fue de 2.01 km/km² como se observa en la figura 9.5.6.

De acuerdo a (Cotler, 2004) la cuenca como una unidad espacial funciona como un sistema complejo, dinámico y abierto, sin embargo esta no encierra la idea de homogeneidad por lo que la caracterización del medio físico consiste en delimitar unidades ambientales homogéneas donde se pueda realizar una visión integral de los componentes naturales ofreciendo un panorama integral de la superficie terrestre, por lo tanto el mapa de zonificación funcional de las cuencas en un contexto hidrológico y geomorfológico, se encontraron 3 unidades funcionales que son: La zona de captación, la zona de transporte y la zona de depositación, el área de captación para esta es de 5.82 km², lo equivalente al 30% del total del área para esta microcuenca, mientras que la zona de transporte ocupa un área de 5.80 km², lo equivalente al 30% del total del área y finalmente la zona de depositación con un área de 7.70 km² lo que equivale al 39% del total. Cada una de estas zonas funcionales juega un papel fundamental en el funcionamiento hidrológico de la cuenca, presentando un grado de fragilidad diferente.

Para la segunda microcuenca se encontraron 6 diferentes unidades geomorfológicas que incluyen formas como laderas en la cabecera de la cuenca, piedemontes y lomeríos en la zona de captación así como lomas, planicies y elevaciones aisladas en la zona de depositación.

La cantidad de unidades geomorfológicas encontradas varían de acuerdo al origen y evolución del relieve, por lo tanto gracias a estos y a los procesos involucrados como la erosión y el denudamiento, podemos apreciar los cambios en el relieve y poder así dar predicciones más concretas acerca de la dinámica del terreno y poder establecer técnicas para un mejor uso y aprovechamiento del agua.

Sin embargo (Bocco, 2004) considera lo contrario a Cotler, argumentando que para poder realizar la delimitación de las microcuencas, estas tienen que ser con base a la organización de los escurrimientos, y como unidad territorial, y para poder manejar o gestionar el recurso agua en forma eficiente, se deben de realizar clasificaciones parciales por componentes naturales como suelos, vegetación, clima, relieve, geología, hidrología etc.

Todos estos componentes pueden ser cartografiados realizando cartografía relevante en el tema a través de los SIG, estos pueden ser de 2 tipos la plani-altimétrica y la temática, por lo tanto todos los mapas realizados para la caracterización hidrográfica de las microcuencas de colonia San Martín entran dentro del primer tipo.

Por lo anterior (Gómez-Tagle 2005) menciona que para poder facilitar el estudio de los caracteres o componentes de una cuenca estas deben agruparse en factores físicos que incluyen la hidrología, topografía, geomorfología etc, mediante los métodos clásicos de mediciones morfométricas utilizando ecuaciones empíricas hasta el uso de los SIG (Sistemas de información geográfica). Esto nos indica lo contrario a Cotler, y lo equivalente a Bocco, pues la delimitación de las características del terreno en la cuenca como unidad territorial permite una visión más amplia de los factores involucrados en la gestión y manejo de las cuencas hidrográficas. Cabe mencionar. Gómez-Tagle,2005, utilizó los mismos parámetros morfométricos que en la presente obra, obteniendo así buenos resultados en los trabajos realizados a nivel nacional. Aunado a esto, (Sánchez,1987) de la Universidad Autónoma Chapingo ofrece una metodología, para el estudio de las cuencas hidrográficas de una forma integral, mediante el uso de parámetros morfométricos, explicando en que se basa cada parámetro y su utilidad.

Un punto importante de discusión es la potencialidad de captación y aportación de agua para la comunidad de Colonia San Martín, ya que como se mencionó anteriormente el área de captación es del 30% del área total, lo que indica que es una zona muy pequeña, sin embargo es en este lugar donde el agua retenida por las partes altas es infiltrada y transportada por capilaridad entre las rocas impermeables como las lulitas, las cuales ocupan gran extensión. El agua encuentra salida en forma de pequeños manantiales, abasteciendo las necesidades del ganado presente en el área, así como el almacenamiento en pequeñas presas, para el uso local de de las comunidades (Figuras 9.5.2.1 al 9.5.2.4).

Sin embargo el tipo de almacenamiento y la falta de infraestructura adecuada para tales fines, coadyuva en la pérdida de agua por escurrimiento y en mayor grado la pérdida de agua por evaporación, evitando un aprovechamiento óptimo de ella.

Otro rasgo importante de la microcuenca es la abundante cobertura vegetal presente en ella, propiciando una buena infiltración del agua de lluvia y evitando de esta manera la erosión fluvial, permitiendo que el ganado vacuno sobreviva, sin necesidad de pastoreo. Por estas razones, esta microcuenca es la que presenta una mayor importancia, ya que en esta pueden desarrollarse proyectos de conservación y aprovechamiento de los recursos naturales presentes así como la aplicación de tecnología e infraestructura para un mejor aprovechamiento del recurso agua.



Figura 9.5.2.1



Figura 9.5.2.2



Figura 9.5.2.3



Figura 9.5.2.4



Figura 9.5.2. Se muestra la panorámica de la microcuena “Tempesquistle”.

9.5.3 Microcuenca “San Martín”

La Microcuenca “San Martín” (Figura 9.5.3.), esta se localiza en la parte central, cuenta con un intervalo altimétrico que va de los 1500 a 2300 msnm, y una diferencia de altura de 800 m. presenta una litología diversa con lutitas, lutitas negras, pizarras, areniscas, material coluvial, aluviones, materiales transportados de conglomerados y gravas, el rango de pendiente va del 0 al 20%. Los suelos presentes en el área son particularmente: Regosol hapli-calcárico, calcárico, lítico, hiperesquelético y endoesquelético-calcárico. El uso de suelo en la zona es principalmente pecuario con algunas áreas de uso agrícola terraceado con barreras de agave, la vegetación presente es de matorral espinoso de tetechera con *Prosopis laevigata*, *Parkinsonia praecox*, asociaciones de *Echinocactus geometricans*, *opuntias*, palo verde, momosas, *Agave marmorata*, *hecthia*, *boucaneras* y garambullos, comprende una superficie de 36.66 km², lo que la hace, la más grande de las 3, por lo que, siguiendo el criterio de Chow (1984) se clasifica como una Cuenca Pequeña; el *Índice de Forma* es de 4.39, lo que significa que la cuenca; tiende a ser circular (Horton, 1982); esto puede confirmarse con el *Índice de Compacidad*, que dice que entre más cercano el valor a 1 la forma de la cuenca se aproxima más a la de un círculo, y por tanto, el valor obtenido fue de 1.0, ubicándola dentro de la **Clase k₂**, que corresponde a una forma oval-redonda a oval-oblonga.

Otro valor de importancia es la *Relación de Elongación* que define el relieve de la cuenca en función del círculo, el valor en este caso de 0.78, que indica que tiende a la circularidad. *La Red de Drenaje* es dendrítica y paralela de tercer orden como se muestra en la figura 9.5.5. *La Densidad de Drenaje* es Media, obteniéndose un valor de 2.17. Como se observa en la figura 9.5.6. Esta presenta una pendiente pronunciada en la parte sur del límite de la microcuenca con valores de los 12 a 45% de inclinación, disminuyendo en la parte central hacia la salida de la microcuenca con valores que van del 3 al 12% como se muestra en la figura, 9.4.2. encontrando una pendiente general del 5.8%.

(Neri, 2000) delimitó 12 microcuencas para la subcuenca baja de Zapotitlán, de las cuales sólo 3 de ellas entran dentro del territorio de la Colonia San Martín, las cuales son: microcuenca San Martín, Chuchuca y Coahuino, las cuales tienen un área respectiva de 19, 41 y 6 Km², sin embargo las áreas reportadas en el presente trabajo corresponden a 19.35, 36.66 y 19.29 Km² principalmente, aunado a esto, los diferentes parámetros morfométricos empleados para la caracterización hidrográfica de las microcuencas son los mismos, por lo que la causa principal de las diferencias entre las áreas de las microcuencas y los diferentes parámetros evaluados varían de acuerdo a la escala de trabajo, ya que el trabajar a una escala más específica exige mayor detalle en los resultados.

La importancia de la microcuenca San Martín, está más vinculada con el aspecto social, ya que la comunidad de Colonia San Martín, se encuentra dentro de esta microcuenca, al igual que la carretera 125 que conecta a este poblado con el poblado de Zapotitlán Salinas y con la ciudad de Tehuacán. En las partes bajas se encuentran principalmente las áreas de cultivo además de cultivos de pitajaya (*Hylocereus undulatus*) y cultivos de traspatio (Huertos familiares) que pueden incluir desde plantas medicinales, árboles frutales, y flores de ornato y de captación de agua mediante el uso de represas. Sin embargo, estas se encuentran en sitios no aptos, disminuyendo así, su funcionalidad y vida útil.



Figura 9.5.3.- Se muestra la panorámica de la microcuena “San Martín” dominada por agricultura de temporal y matorral espinoso de *Prosopis laevigata*, *Parkinsonia praecox*, *Myrtillocactus geometricans*, etc.

9.5.4 Microcuenca “Pizarro”

La microcuenca “Pizarro” es la tercera de las 3 que conforman al territorio de Colonia San Martín, se localiza al Nor-este, presenta un rango de altitud de 1500 a 2100 msnm, y una diferencia de altura de 600 m. esta última presenta una litología de rocas ígneas extrusivas, basaltos, y sedimentarias como areniscas sobre lutitas y conglomerados, su rango de altitud va del 1 al 20%, los suelos presentes son: Calcisol esqueleti-pétrico, Leptosol lítico e hiperesquelético. El uso de suelo es pecuario aunque existen áreas agrícolas con vegetación natural y de conservación, la vegetación esta dominada por matorral espinoso de *Prosopis laevigata*, acacia, mimosa, agave marmorata, isotal y hectia. Consta de una superficie de 19.29 km² lo que la hace, la más pequeña, siguiendo a Chow (1984) entra dentro de la categoría de Cuenca Pequeña, el *Índice de Forma* es de 4.76, lo que indica que la cuenca tiende a ser circular (Horton, 1982); esto puede confirmarse con el *Índice de Compacidad*, cuyo valor obtenido fue de 1.007; perteneciendo a la **Clase k₂**, que corresponde a una forma oval-redonda a oval-oblonga. La *Relación de Elongación* presenta un valor igual a 0.70, lo que indica que tiende a la circularidad. La *Red de Drenaje* es dendrítica y paralela de tercer orden como se muestra en la figura 9.5.5. La *Densidad de Drenaje* es media ya que se obtuvo un valor de 2.63. Como se muestra en la figura 9.5.6. Esta presenta una pendiente pronunciada en la parte sur del límite de la Microcuenca con valores de los 12 al 40% disminuyendo hacia la parte de la salida de la microcuenca con valores que van del 3 al 6% como se muestra en la figura 9.4.2, encontrando un pendiente general del 7.5%. En esta microcuenca el área de captación como se ve en la figura 9.5.7, es de 3.75 Km² lo que nos indica que por sus características, puede captar un volumen de agua menor que la de Tepesquistle, ya que en las partes altas el agua sale en formas de manantiales que abastecen de agua a la zona así como a las granjas. Por esto, la microcuenca representa un gran valor económico, debido a que en ella se ubican las zonas de granjas para producción avícola, la cual proporciona trabajo a la gente de la zona.



Figura 9.5.4.- Se muestra la panorámica de la microcuenca “Pizarro” con vegetación dominante de Mezquital y Tetecheras de *Neobauxbaumia tetetzo* en las partes más bajas.

Los valores obtenidos para las microcuencas anteriormente mencionadas, presentan ciertas diferencias entre sí, sin embargo, en los criterios de clasificación de cuencas, corresponden a intervalos en donde las tres presentan una tendencia a la circularidad, ya que la forma de la cuenca controla la velocidad con la que el agua llega al cauce principal siguiendo su curso desde el origen hasta la desembocadura, por lo que, cuanto más se acerque la forma de la cuenca a la circular, más rápido llegará el agua al cauce principal.

Así mismo estas presentan una clase k_2 que corresponde a una forma oval-redonda a oval-oblonga, lo que indica que entre más cercano a la unidad este el coeficiente de compacidad, aumenta la peligrosidad de la cuenca, porque las distancias relativas de los puntos de la divisoria con respecto a uno central no presentan diferencias mayores y el tiempo de concentración se hace menor, por lo tanto, mayor será la posibilidad de que las ondas decrecidas sean continuas, y si la precipitación es muy abundante, el riesgo de inundaciones aguas abajo será elevado.

Con respecto a las redes de drenaje, son producto de las influencias que tienen sobre ellas los suelos, las rocas, el grado de fracturación, estratificación y topografía, por lo que cada patrón de drenaje tiene relación directa con la geología del lugar. En estas microcuencas se identificaron dos tipos principales: Un sistema dendrítico, el cual se forma normalmente en materiales y formaciones con granulación fina, material homogéneo, permeabilidad baja, topografía horizontal y con pendiente leve, roca dura y homogénea resistente a la erosión como por ejemplo lutitas, arcillas, limonitas, granito y tobas volcánicas.

El otro tipo es un sistema paralelo, este se desarrolla generalmente en formaciones con pendientes fuertes y uniformes o con sistemas de fallas paralelas con terrenos uniformemente inclinados, constituidos principalmente por materiales de grano grueso.

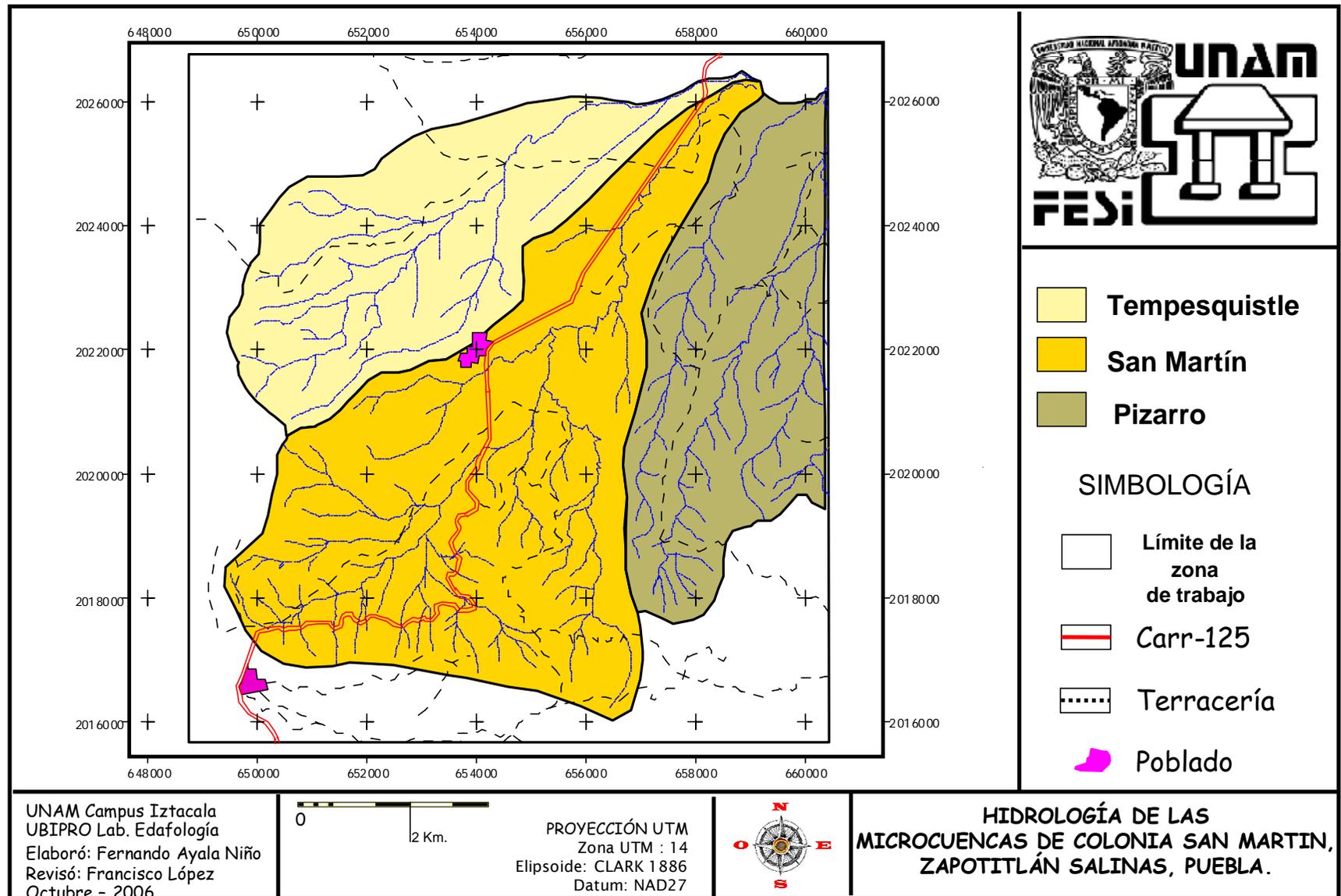


Figura 9.5.5.- Se muestra la Hidrología superficial de las microcuencas de Colonia San Martín.

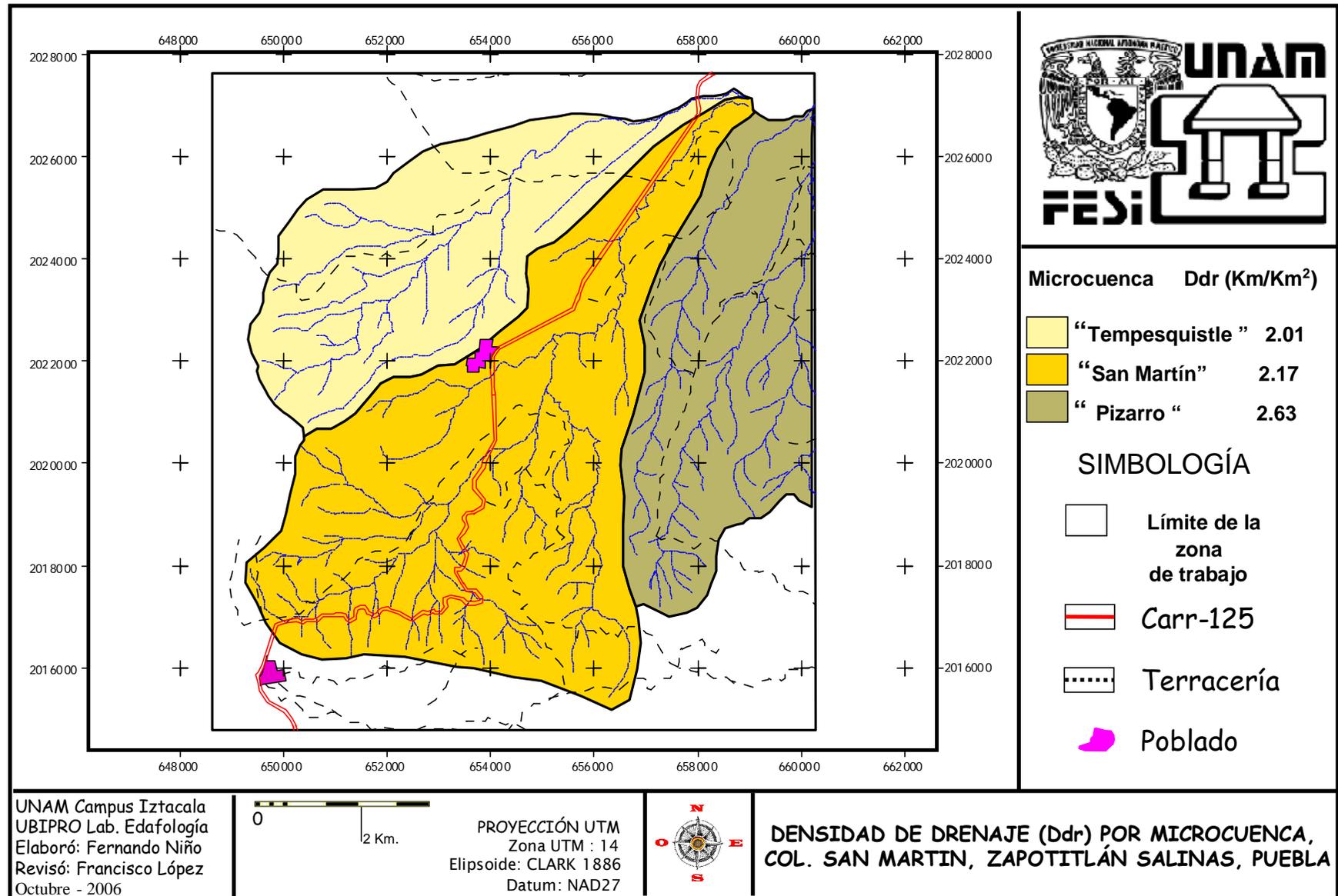


Fig. 9.5.6. Se muestran las diferentes densidades de drenaje encontradas para las microcuencas del territorio de la Colonia San Martín.

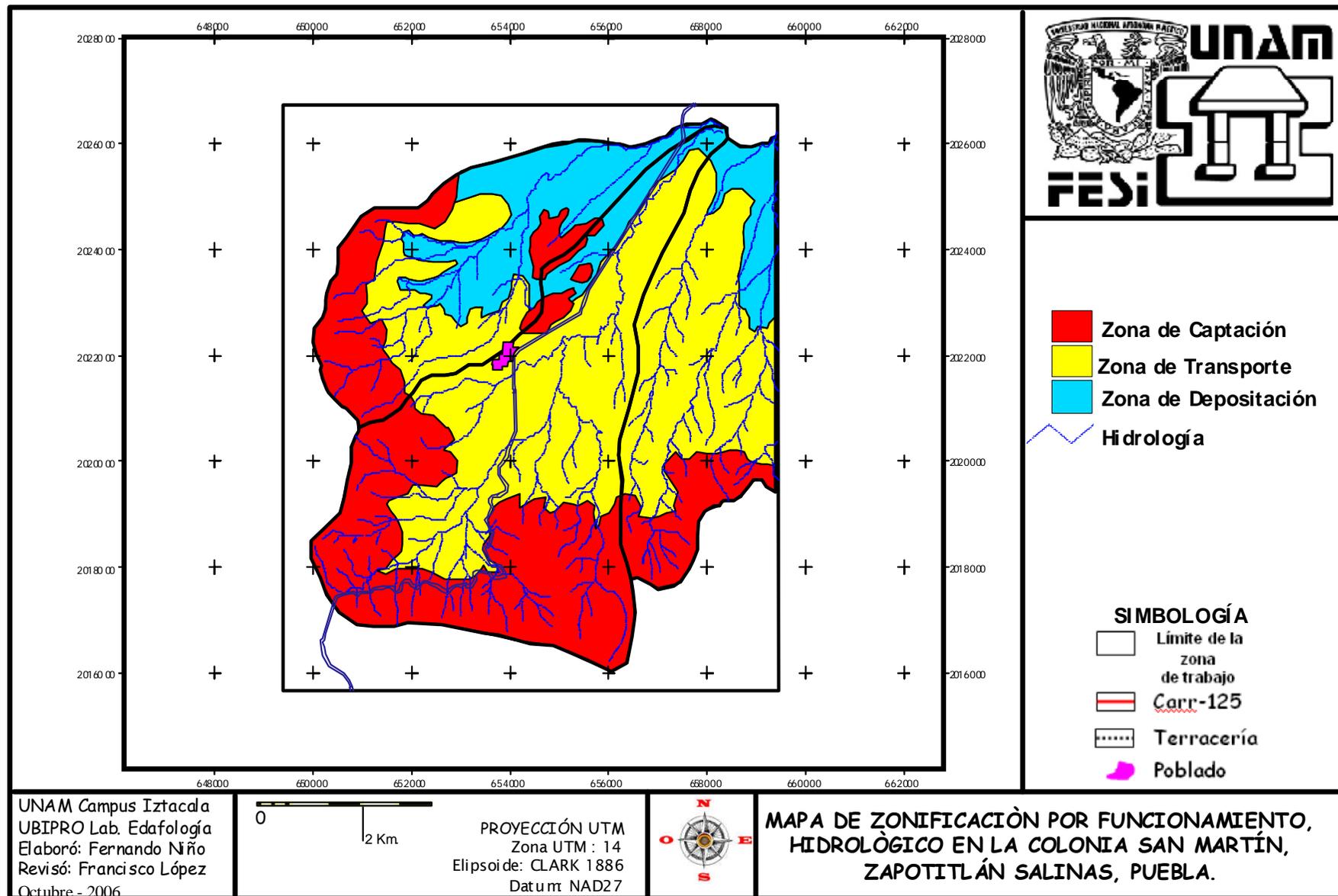


Fig. 9.5.7. Se muestran el mapa de zonificación por funcionalidad hidrológica en las microcuencas del territorio de la Colonia San Martín.

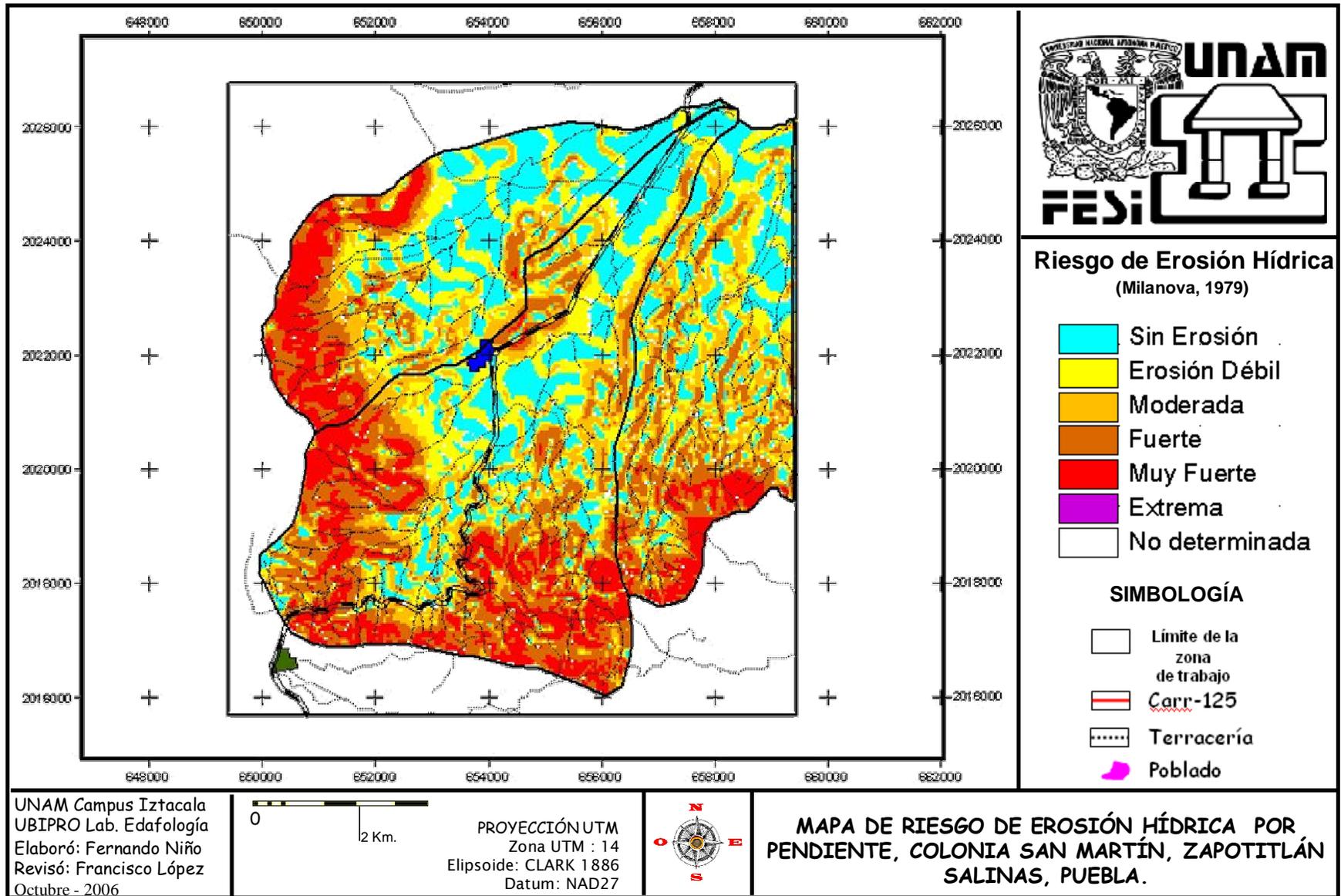


Fig. 9.5.8. Se muestran el mapa de riesgo de erosión para las microcuencas del territorio de la Colonia San Martín.

Como se puede apreciar en el mapa anterior, la pendiente dentro del territorio de Colonia San Martín, es muy compleja ya que abarca zonas muy bajas hasta grandes altitudes, esto significa que la erosión puede generar grandes complicaciones, principalmente en las zonas altas o cabeceras de cuenca, disminuyendo su intensidad conforme disminuye la pendiente hacia las zonas bajas y finalmente las zonas bajas o zonas de acumulación, en dónde la erosión ya no tiene ningún estrago sobre el suelo. Esto se debe principalmente a la falta de cobertura vegetal, ya que esta al no estar presente intensifica los procesos de erosión fluvial y eólica llevándose el suelo de las partes altas a las bajas.

Por todo lo anterior, las implicaciones que tiene el estudio de cuencas hidrográficas, permite el aprovechamiento y conservación de recursos naturales presentes así como el desarrollo de las comunidades que la habitan, sin embargo la falta de información y trabajos relacionados hacen de esta un área con un gran potencial de explotación.

10. CONCLUSIONES

- La delimitación de la red de avenamiento, así como el parteaguas de la microcuenca de Colonia San Martín, fue concretada satisfactoriamente obteniendo así las bases para la elaboración de la cartografía temática.
- Las microcuencas delimitadas para la Subcuenca de Colona San Martín, fueron denominadas “Tempesquistle”, “San Martín” y “Pizarro”, siendo la más grande San Martín, seguida de Tempesquistle y finalmente Pizarro.
- Se elaboró la cartografía temática para la zona de Colonia San Martín, Zapotitlán Salinas Puebla, a una escala semidetallada (1: 20,000) contando con los siguientes mapas: “Microcuencas de la Colonia San Martín”, “Hidrología”, “Clasificación por pendiente”, “Densidad de Drenaje”, “Energía Superficial”, “Diseción del Relieve”, “Diseción Fluvial Vertical” e “Intensidad de Erosión” mediante el uso del Sistema de Información Geográfica ArcView GIS 3.2.
- Los parámetros Morfométricos aplicados a las diferentes microcuencas encontradas en el territorio de Colonia San Martín, no muestran gran diferencia entre ellas, ya que los valores obtenidos por cada una corresponden a una cuenca pequeña, con tendencia a la circularidad, una forma oval–redonda a oval-oblonga, una red de drenaje dendrítica y paralela, una densidad de drenaje media.
- De acuerdo a los parámetros morfométricos obtenidos la importancia de la microcuenca “Tempesquistle” radica en la utilidad de sus tierras bajas para cultivos de temporal. Las partes altas sirven como zonas de captación de agua para la población de la Colonia San Martín, además del ejercicio de la ganadería extensiva, debido a la cobertura vegetal presente.
- La microcuenca “San Martín” presenta una importancia social, debido a que las comunidades de Zapotitlán Salinas y Colonia San Martín, se encuentran dentro d

esta, además de presentar en las partes bajas áreas de cultivos de temporal, pitajaya, huertos familiares y sistemas de captación de agua.

- Por último la microcuenca “Pizarro” presenta un gran aporte económico para la zona, ya que en esta se encuentra la zona de granjas de producción avícola, proporcionando trabajo a la gente, además de ser una zona de captación de agua.
- El mapa de Intensidad de erosión permite la rápida identificación de las zonas potencialmente propensas a ser erosionadas, de modo que es factible la aplicación de medidas de prevención en las zonas de riesgo.
- Se establecieron propuestas de manejo para la zona de estudio, de acuerdo a las condiciones predominantes del área, estableciendo así bases para un mejor aprovechamiento de los recursos, principalmente la captación de agua de lluvia.
- De acuerdo a las características presentes dentro del territorio de Colonia San Martín, y de las propuestas analizadas, creemos que las técnicas mencionadas son las más factibles debido a su facilidad de ejecución.
- Los modelos mencionados han sido avalados y certificados por la FAO, sin embargo para poder obtener los resultados esperados hacia un aprovechamiento óptimo del recurso agua, se debe llegar a un nivel más elevado, en dónde las propuestas lleguen a una fase de aplicación.
- Por lo anterior es importante la aplicación de técnicas y metodologías que faciliten la captación de agua, siendo así un campo con potencial de investigación y desarrollo en el campo mexicano.

11. SUGERENCIAS

En las zonas similares a la de investigación, las lluvias son escasas y de frecuencia irregular, de ahí que, la agricultura bajo riego está limitada en las regiones áridas y semiáridas por la escasa disponibilidad de recursos hídricos, además del costo elevado de las obras, que se requieren para el caso. Es así como, los *sistemas de captación de lluvia* son una alternativa muy viable, para las zonas agrícolas, ganaderas y forestales de las regiones desérticas.

Dado que las prácticas y obras de captación de agua de lluvia sean poco costosas, las hace asequibles a los productores rurales de bajos ingresos que predominan en la agricultura de secano de las zonas de la Región. Por ese motivo, el aumento de rendimientos que pueden generar estas prácticas, debe considerarse no sólo como un medio práctico para generar el aumento de producción, sino también para contribuir a la minimización de la pobreza de los productores rurales de esas zonas.

La *captación de agua de lluvia* es considerada como la recolección o cosecha de la escorrentía superficial para propósitos de producción agropecuaria y forestal. Las prácticas de captación de lluvia además disminuyen el riesgo de erosión al disminuir la escorrentía libre del agua sobre las tierras.

En los últimos años han aparecido varias publicaciones sobre el tema, según las cuales tanto los rendimientos como la rentabilidad de la producción pueden mejorarse significativamente con el empleo de esta tecnología. Por lo tanto, la captación de agua de lluvia podría ser una técnica importante para aumentar la producción en las zonas áridas y semiáridas. Sin embargo, muchas de estas publicaciones tratan los aspectos técnicos de la captación de agua sin tratar la importancia de la integración con otras prácticas conservacionistas dentro de los sistemas de producción (FAO, 1991; FAO, 1977; Banco mundial, 1988).

La mayoría de los trabajos sobre la captación de agua describen experiencias del Medio Oriente, Australia, África del Norte, India y el norte de México, sur este de EE.UU; recientemente han aparecido más publicaciones sobre experiencias en África (Sub-Sahara y del Sur) y América Latina.

Diversas formas de captación de agua de lluvia se han utilizado tradicionalmente a través de los siglos. Pero estas técnicas se han comenzado a estudiar y publicar técnica y científicamente, sólo en época reciente.

Las técnicas antiguas descritas en la literatura a menudo tratan de medidas simples de control del agua. Eran técnicas utilizadas en diversos sistemas agrícolas especialmente los de producción marginal, están caracterizadas por los siguientes factores:

- Están vinculadas a diversos cultivos y otras prácticas, como las de conservación de suelos.
- Son flexibles, o sea que se integran fácilmente con otros sistemas de uso de los recursos naturales.
- Son resistentes, ya que tienen la capacidad de adaptarse a los cambios sociales.

Como temas importantes para investigar y para considerar en la implementación de las técnicas de captación de agua de lluvia se mencionan (FAO, 1977; Banco Mundial, 1988):

- Uniformizar la terminología y técnica en el diseño de los sistemas de captación de agua.
- Establecer bancos de datos regionales y nacionales de información sobre nuevos y antiguos sistemas de captación de agua, así sobre clima, hidrología, geomorfología, uso de la tierra, etc.

- Desarrollar principalmente sistemas de captación de agua con la experiencia local de técnicas tradicionales;
- Integrar sistemas de captación de agua dentro el paquete de soluciones para contrarrestar problemas de medio ambiente, sequía y sobrepoblación.
- Dar atención a los aspectos sociales (adopción y participación), económicos (costos y beneficios) y ambientales en la planificación, implementación y en el monitoreo de los sistemas de captación de agua.

Por lo anterior, es de suma importancia la aplicación de técnicas especializadas para el aprovechamiento del recurso agua. Sin embargo, de las técnicas existentes sólo pocas de ellas podrían aplicarse en el área de trabajo y lograr así, resultados sobre la obtención y aprovechamiento de agua para el desarrollo de la comunidad, y en general, de las familias del área. En este sentido y de acuerdo a las condiciones ambientales del sitio y nivel socioeconómico de los habitantes, los modelos tecnológicos que se observan como más viables de ser considerados para ser introducidos en la zona, serían los siguientes:

1. Modelo para el diseño de microcaptaciones

Loredo *et al.*, (1992), han evaluado cuatro modelos para el diseño de microcaptaciones y encontrándose que el que se ajusta mejor a las condiciones ambientales de Zapotitlán, podría ser, el propuesto por Anaya y colaboradores (figura 11.1)

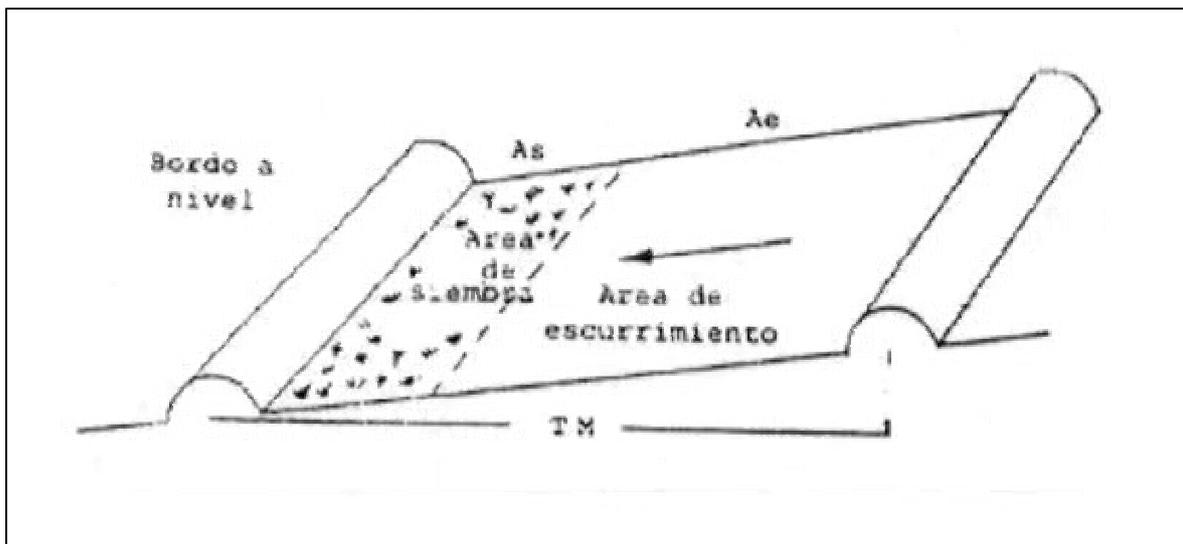


Figura 11.1 Esquema de un sistema de captación de lluvia para pasto (cultivo perenne).

Mantenimiento

El mantenimiento de las microcaptaciones es fundamental para obtener significativos aumentos en la producción de cultivos. Estas deben mantener su forma, prevenir rupturas y eliminar las malas hierbas, tanto en el área de escorrentía, como en el área de siembra. Además, se pueden complementar con el uso de coberturas (rastrajo y piedra) para reducir la evaporación del agua del suelo en el área de siembra (Carranza, 1973).

Potencial de producción

El sistema de microcaptación favorece el incremento de rendimientos unitarios de los cultivos debido a la humedad extra acumulada en el perfil del suelo. Sin embargo, es necesario evaluar el potencial de producción en períodos de cuando menos 7 a 10 años, ya que la variabilidad de la precipitación pluvial anual es considerable. En México, ha sido posible obtener incrementos de 200 a 300% en el sistema de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, para la producción de cultivos en hilera, densos e individuales (arbustos y árboles frutales).

Grado de complejidad

Las tecnologías de microcaptación de lluvia tienen un mínimo grado de complejidad, son perfectamente entendibles por los productores y adaptadas de inmediato a las condiciones locales. Además se pueden construir a mano, con tracción animal y con tracción mecánica.

Limitaciones

Estas tecnologías no se recomiendan en suelos delgados (menores de 70 cm de profundidad) ya que la capacidad de almacenamiento del agua en el perfil del suelo, es muy reducida. Los mejores rendimientos de cultivos anuales se obtienen con una precipitación pluvial anual de alrededor de 500 mm (De Souza y Anaya, 1979; Hernández, 1981 y Gallegos, 1985).

Costos y retornos

Los costos y retornos anuales registrados durante varios ciclos vegetativos, en diferentes localidades y con diferentes cultivos anuales y perennes indican que es posible obtener una relación costo/beneficio de 1:2 a 1:3. Lo anterior es posible de obtener en localidades donde la precipitación media anual es de cuando menos 500 mm. Los cultivos evaluados han sido los siguientes: maíz para grano, maíz forrajero, frijol, sorgo para grano, sorgo forrajero, girasol, soya, orégano, pastos, arbustos y árboles frutales.

Generación de empleo

La utilización de esta tecnología para cultivos anuales y perennes indica una necesidad promedio de mano de obra de 40 a 160 días/hombre por hectárea, dependiendo de la duración del ciclo vegetativo y del tipo de cultivo.

Sostenibilidad

Estos sistemas representan la infraestructura básica y mínima (conservación de suelos y aprovechamiento integral del agua de lluvia) para lograr un desarrollo sustentable. Si esta técnica se complementa con el mejoramiento de la fertilidad del suelo, se asegura una mejor producción a través de los años y la mitigación de los efectos de la sequía con el consecuente mejoramiento del entorno ecológico.

Descripción de experiencias

La agricultura de temporal (secano) en México cubre una superficie de alrededor de 16 millones de hectáreas; las técnicas de microcaptación de agua de lluvia han producido resultados satisfactorios en cultivos anuales y perennes en regiones con más de 500 mm de precipitación anual y en suelos con más de 70 cm de profundidad. Las localidades donde mayores éxitos se han obtenido son: Valle de México, Querétaro, San Luis Potosí, Oaxaca, Valle del Mezquital, Comarca Lagunera y Valle de Tehuacán. Durante los últimos 20 años, los productores han sido asesorados por diversas instituciones como: Colegio de Postgraduados, Montecillo, México, Universidad Autónoma Chapingo, Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias; Comisión Nacional de Zonas Áridas; Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Universidad Autónoma de Nuevo León, Instituto de Investigación en Zonas Desérticas, entre otras.

Impactos en la producción

Los resultados en la producción obtenidos con las técnicas de microcaptación en diversas localidades de México y en diferentes cultivos, indican la bondad de la tecnología ya que conllevan al desarrollo sustentable, mejoran la producción de alimentos y el nivel de vida y además, generan un impacto positivo en la conservación ecológica.

El método descrito se sugiere para cultivos perennes localizados en los lomeríos, como: magueyeras, nopaleras y pitajayas.

2. Método Guimaraes Duque (GM)

Otra tecnología alternativa, consiste en la formación de surcos seguidos por camellones altos y largos. En la figura 2 se presenta el esquema de este tipo de sistema. El surco y el camellón son formados a través de cortes efectuados con un arado de disco reversible sobre la curva de nivel previamente trazada. Generalmente, estos arados son de tres discos, para esta práctica, se recomienda retirar uno de los discos dejándolo sólo con dos. El disco que se retira es el más próximo a los neumáticos del tractor. El surcado se inicia tomando como base las curvas de nivel, depositando el suelo arado, siempre en el sentido de la pendiente. Para hacer el surco siguiente, se debe tener cuidado al maniobrar el tractor para que los neumáticos circulen sobre el suelo no trabajado, bordeando el surco anterior, y así sucesivamente. Este procedimiento es el que permite la formación del área de captación entre los camellones.

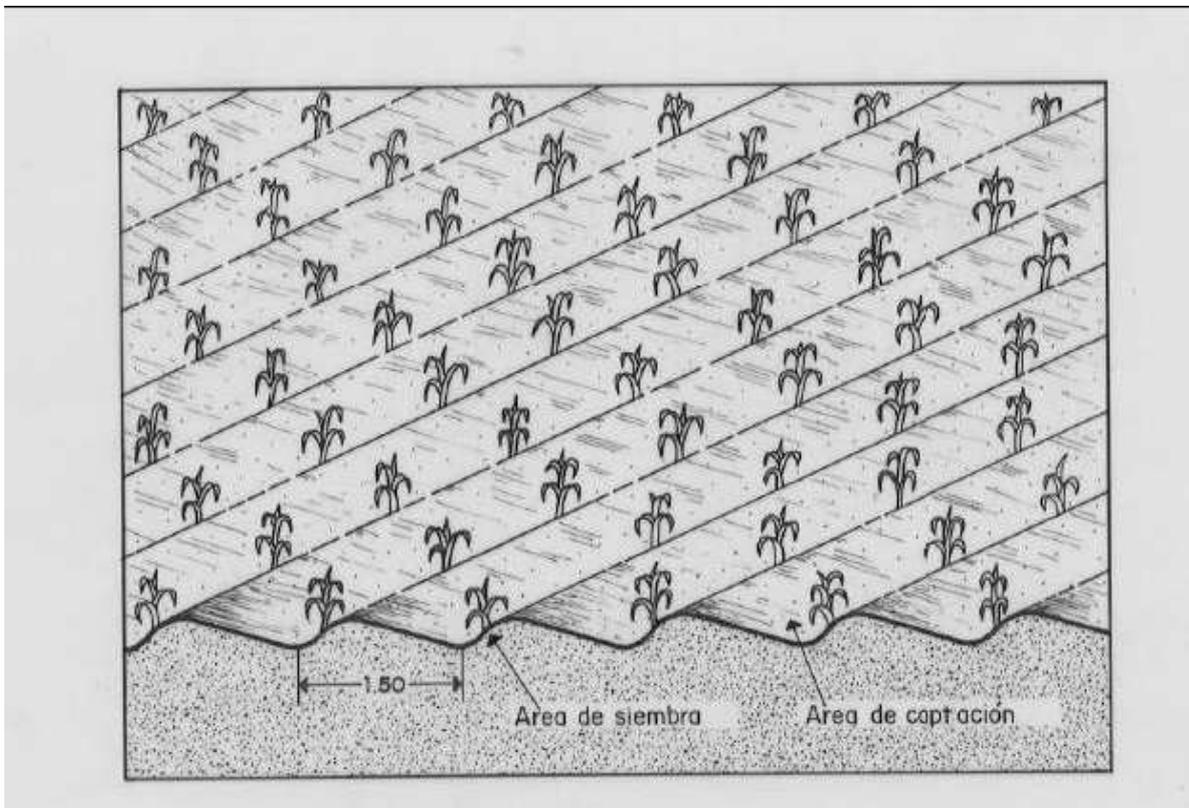


Figura 11.2 Método de captación del agua de lluvia *in situ* Guimaraes Duque.

Con este método, los surcos alcanzan una profundidad media de 0,25 m y un espaciamiento de 1,5 m, igual al ancho del tractor de neumáticos. Este sistema presenta dos inconvenientes: el primero con respecto al equipo, ya que sólo puede hacerse con arado de discos, lo que implica la utilización de tractor; y el segundo, que sólo permite una hilera de plantas por surco, en el área de siembra. Se recomienda para los sitios de lomeríos de la zona donde las pendientes o inclinación del terreno no son muy pronunciadas, para cultivos anuales de básicos.

3. Método ICRISAT

Este método es el más simple y práctico, pudiendo ser adaptado para casi todos los espaciamientos de los cultivos anuales. La denominación ICRISAT proviene de Internacional Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropic quienes establecieron inicialmente el sistema. Consiste en la formación de surcos con profundidad de 0,20 m alternados por camellones un poco arriba del nivel normal de la superficie del suelo. El camellón se forma con el material retirado en la abertura del surco. Como la cantidad de suelo es pequeña, la altura del camellón también es pequeña. La figura 11. 3. presenta el modelo esquemático del sistema ICRISAT. Además de poder adaptarse al espaciamiento de varios cultivos anuales, el sistema también presenta las ventajas de exigir poca fuerza de tracción en su confeccionamiento, y la colocación de dos líneas de cultivo en cada camellón. La utilización de poca fuerza de tracción, permite su implantación con animales.

La producción de escorrentía superficial es inferior a la de los otros sistemas debido a la poca inclinación que existe en el plano formado por el camellón que funciona como área de captación. Los surcos son construidos con surcadores simples tradicionalmente utilizados en la preparación del suelo, principalmente en áreas irrigadas por surcos. Es importante que los bordes de los camellones tengan una forma redondeada, para lo cual se recomienda la colocación de una cadena, de aproximadamente 1,8 m de largo, en la parte trasera de los surcadores. Durante la preparación del suelo, la cadena arrastra el excedente depositado sobre el camellón configurando los bordes redondeados.

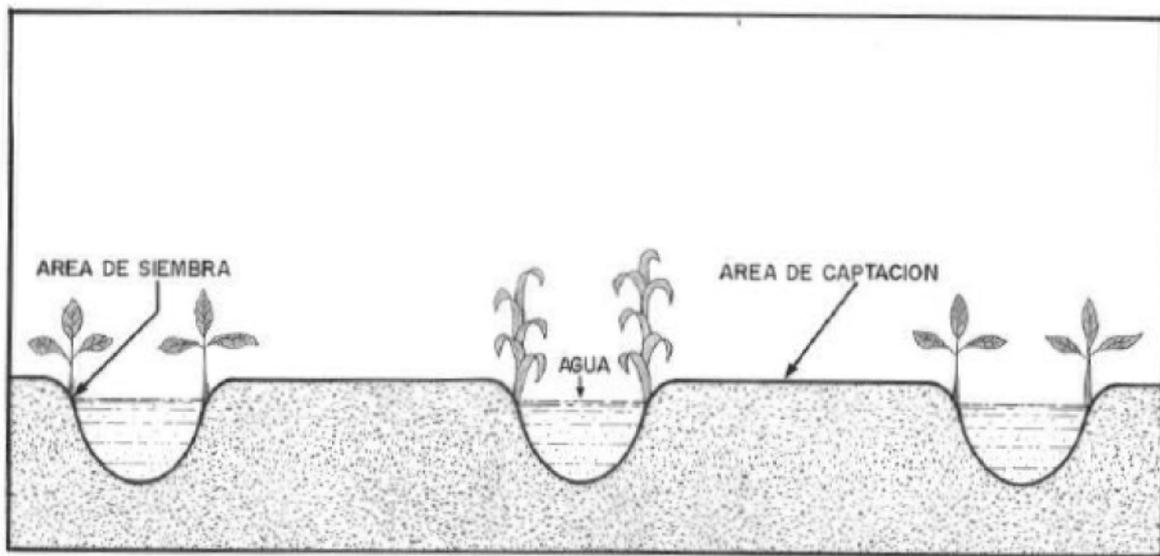


Figura 11. 3 Técnica de captación de agua de lluvia a través del modelo ICRISAT.

El modelo se sugiere para las zonas de parcelas asociadas a las terrazas aluviales, donde se realiza la agricultura temporalera en terrenos cercanos a escurrimientos.

4. Método en "W"

El método consiste en la formación de una secuencia alterna entre camellones largos y camellones estrechos figura 11.4. 1 . Los camellones largos tienen sección triangular, la cual funciona como área de captación; los camellones estrechos tienen sección trapezoidal y conforman el área de siembra. Entre ambos, se forman los surcos que almacenan el agua captada; es decir que, el método en "W" establece dos áreas de captación adyacentes que dirigen el agua de escorrentía hacia un camellón del lado izquierdo y hacia otro del lado derecho, la siembra del cultivo se hace en cada lado del camellón.

Este sistema presenta las siguientes ventajas: permite la mecanización, inclusive, para el manejo de los cultivos; facilita la incorporación de materia orgánica para el mejoramiento del suelo en el área de siembra y puede adaptarse a cualquier espaciamiento de siembra.

El sistema puede implantarse con tractor o con tracción animal. Los surcos se hacen con surcadores "pico de pato" a los que es necesario adaptar una plancha de hierro que da la forma triangular al área de captación. Para ello, se debe efectuar el siguiente procedimiento:

Trabajando con Tractor

Generalmente, las barras portaimplementos de los tractores tienen dos tamaños: 2.0 y 3.5 m. Cuando se utiliza la barra de 2.0 m se acoplan tres surcadores: uno en el centro y los otros dos espaciados 0.75 m a cada lado del primero. Se prevé la adaptación de una plancha metálica atornillada en el ala interna de los surcadores, tanto en el de la derecha como en el de la izquierda, las cuales llevan colocadas cadenas en sus otros extremos, a manera de tensores de ajuste.

En el primer paso, se acoplan solamente los tres surcadores a la barra portaimplementos, con espaciamiento de 0.75 m entre sí; en el segundo paso, se retira el surcador del centro y las planchas metálicas son adaptadas a las alas internas de los surcadores de los extremos para poder dar la configuración deseada al área de captación. Esto, presenta el inconveniente de disminuir la eficiencia de la operación.

Cuando se utiliza la barra portaimplementos de 3.5 m, se acoplan cuatro surcadores distanciados 0.75 m entre sí. En este caso, las planchas metálicas se colocan en los surcadores internos. Las cadenas se colocan de la misma manera como en el primer caso. A través de este montaje, el proceso es más eficiente porque sólo es necesario hacer un paso del implemento para la confección del sistema, pero presenta la limitante de requerir un tractor con fuerza mayor.

Trabajando con tracción animal

En este caso, solamente se acoplan dos surcadores a la barra portaimplementos del yunticultor (yunta de animales de tiro). El proceso es similar a cuando se usa la barra de 2.0 m con tractor, pero en este caso, se acopla sólo una plancha metálica figura 11. 4. 2. Como consecuencia, el proceso de preparación del suelo es muy lento, porque se confecciona sólo un lado de la captación en cada paso del implemento.

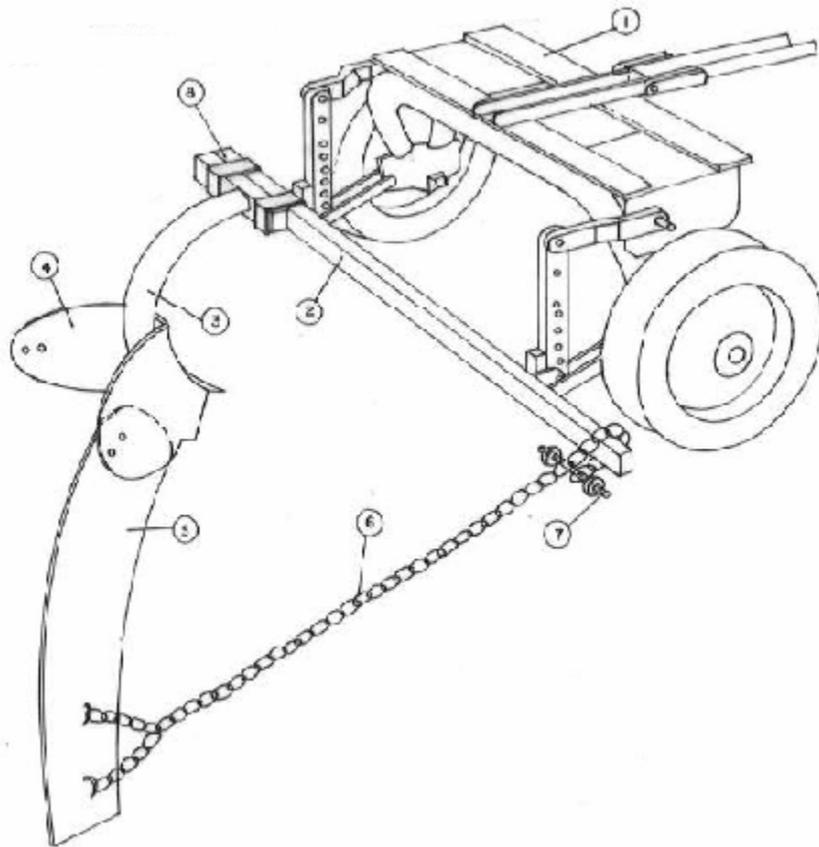


Fig. 11.4.1 Componentes de la yunta: 1 Chasis, 2 Barra porta implementos, 3 Soporte del surcador, 4 Cuerpo del surcador, 5 Plancha de hierro, 6 Cadena, 7 Tornillo para asegurar la cadena en la barra, 8 Abrazadera.

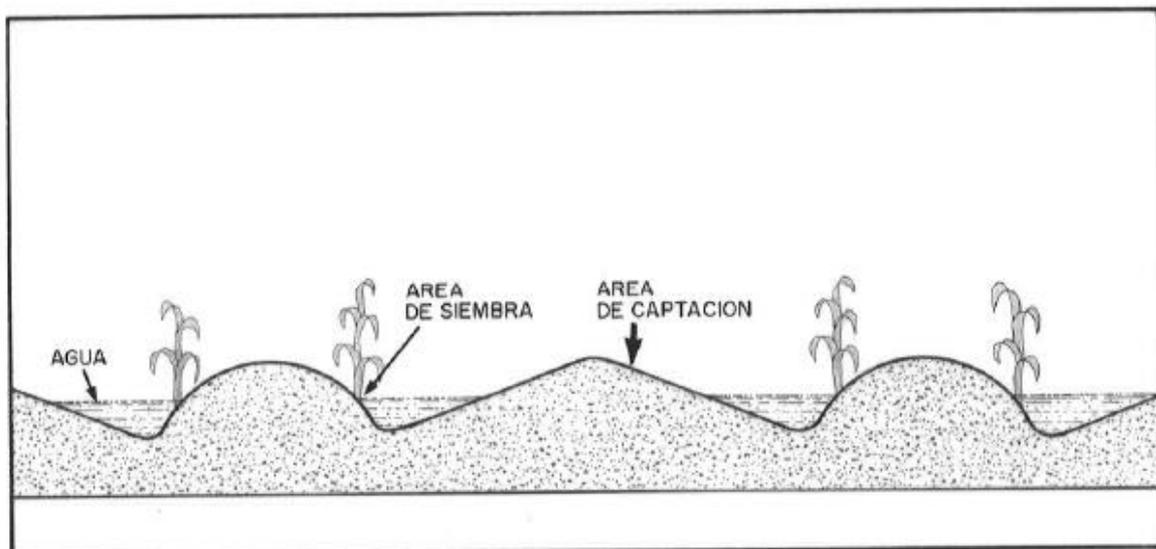


Figura 11. 4. 2 Técnica de captación de lluvia a través del modelo “W”.

El modelo es recomendado para todas las parcelas temporaleras de los lomeríos, con pendientes menores al 15%.

5. SCAPT - SISTEMA DE CAPTACION DE AGUA PLUVIAL EN TECHOS

En el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia es necesario considerar los factores técnicos, económicos y sociales.

Los factores técnicos a tener presente son la producción u oferta y la demanda de agua:

- Producción u “oferta” de agua; está relacionada directamente con la precipitación durante el año y con las variaciones estacionales de la misma. Por ello, en el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia es altamente recomendable trabajar con datos suministrados por la autoridad competente y normalmente representada por la oficina meteorológica del país o de la región donde se pretende ejecutar el proyecto.

- Demanda de agua; a su vez, la demanda depende de las necesidades del interesado y que puede estar representada por solamente el agua para consumo humano, hasta llegar a disponer de agua para todas sus necesidades básicas como son preparación de alimentos, higiene de personal, lavado de vajillas y de ropa e inclusive riego de jardines.

Factor Económico

Al existir una relación directa entre la oferta y la demanda de agua, las cuales inciden en el área de captación y el volumen de almacenamiento, se encuentra que ambas consideraciones están íntimamente ligadas con el aspecto económico, lo que habitualmente resulta una restricción para la mayor parte de los interesados, lo que imposibilita acceder a un sistema de abastecimiento de esta naturaleza. En la evaluación económica es necesario tener presente que en ningún caso la dotación de agua debe ser menor a 20 litros de agua por familia y por día, la misma que permite satisfacer sus necesidades básicas elementales, debiendo atenderse los aspectos de higiene personal y lavado de ropa por otras fuentes de agua. Así mismo, los costos del sistema propuesto deben ser comparados con los costos de otras alternativas destinadas al mejoramiento del abastecimiento de agua, teniendo presente el impacto que representa la cantidad de agua en la salud de las personas beneficiadas por el servicio de agua.

Factor Social

En la evaluación de las obras de ingeniería a nivel comunitario, siempre se debe tener presente los factores sociales, representados por los hábitos y costumbres que puedan afectar la sostenibilidad de la intervención. Por tanto, el profesional responsable del estudio debe discutir con la comunidad las ventajas y desventajas de la manera tradicional de abastecimiento de agua y de la tecnología propuesta, buscando que la propia comunidad seleccione lo que más le conviene emplear. Este análisis debe considerar la conveniencia de adoptar soluciones individuales y colectivas, el tipo de material empleado en la fabricación de sus techos, la existencia de materiales alternativos en el lugar o sus alrededores y el grado de participación de la comunidad en la implementación del proyecto.

Componentes

El sistema de captación de agua de lluvia en techos está compuesto de los siguientes elementos: a) captación; b) recolección y conducción; c) interceptor; y d) almacenamiento. Figura 11. 5 .

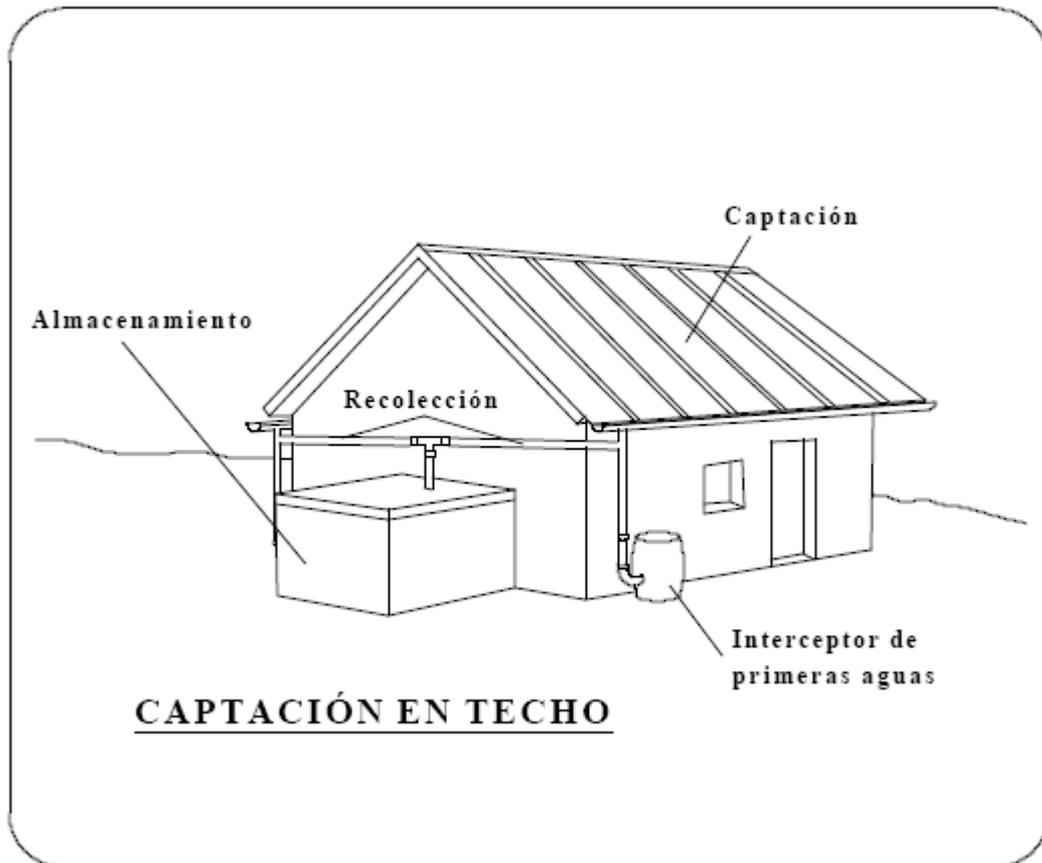


Fig. 11. 5 Sistema de captación de agua pluvial en techos.

Captación

La captación está conformada por el techo de la edificación, el mismo que debe tener la superficie y pendiente adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. En el cálculo de escurrimiento debe considerar solamente la proyección horizontal del techo.

Los materiales empleados en la construcción de techos para la captación de agua de lluvia son la plancha metálica ondulada, tejas de arcilla, paja, etc.

La plancha metálica es liviana, fácil de instalar y necesita pocos cuidados, pero puede resultar costosa y difícil de encontrar en algunos lugares donde se intente proyectar este sistema.

Las tejas de arcilla tienen buena superficie y suelen ser más baratas, pero son pesadas, y para instalarlas se necesita de una buena estructura, además que para su elaboración se necesita de una buena fuente de arcilla y combustible para su cocción.

La paja, por ser de origen vegetal, tiene la desventaja que libera lignina y tanino, lo que le da un color amarillento al agua, pero que no tiene mayor impacto en la salud de los consumidores siempre que la intensidad sea baja. En todo caso puede ser destinada para otros fines diferentes al de consumo, como riego, bebida de ganado, lavado de ropa, higiene personal, limpieza de servicios sanitarios, etc.

Recolección y conducción

Este componente es una parte esencial de los SCAPT ya que conducirá el agua recolectada por el techo directamente hasta el tanque de almacenamiento. Está conformado por las canaletas que van adosadas en los bordes más bajos del techo, en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo ver Figura 11.5.1.

El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua. Al efecto se puede emplear materiales, como el bambú, madera, metal o PVC.

Las canaletas de metal son las que más duran y necesitan menos mantenimiento, sin embargo son costosas. Las canaletas confeccionadas a base de bambú y madera son fáciles de construir pero se deterioran rápidamente. Las canaletas de PVC son más fáciles de obtener, durables y no son muy costosas.

Por otra parte, es muy importante que el material utilizado en la unión de los tramos de la canaleta no contamine el agua con compuestos orgánicos o inorgánicos. En el caso de que la canaleta llegue a captar materiales indeseables, tales como hojas, excremento de aves, etc. el sistema debe tener mallas que retengan estos objetos para evitar que obturen la tubería montante o el dispositivo de descarga de las primeras aguas.



Figura 11.5.1 Canaletas de recolección

Interceptor

Conocido también como dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contiene todos los materiales que en él se encuentren en el momento del inicio de la lluvia. Este dispositivo impide que el material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento y de este modo minimizar la contaminación del agua almacenada y de la que vaya a almacenarse posteriormente (ver Figura 11. 5. 2).

En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m² de techo.

El volumen de agua resultante del lavado del techo debe ser recolectado en un tanque de plástico. Este tanque debe diseñarse en función del área del techo para lo cual se podrán

emplear recipientes de 40, 60, 80 ó 120 litros, y para áreas mayores de techo se utilizarían combinaciones de estos tanques para captar dicho volumen.

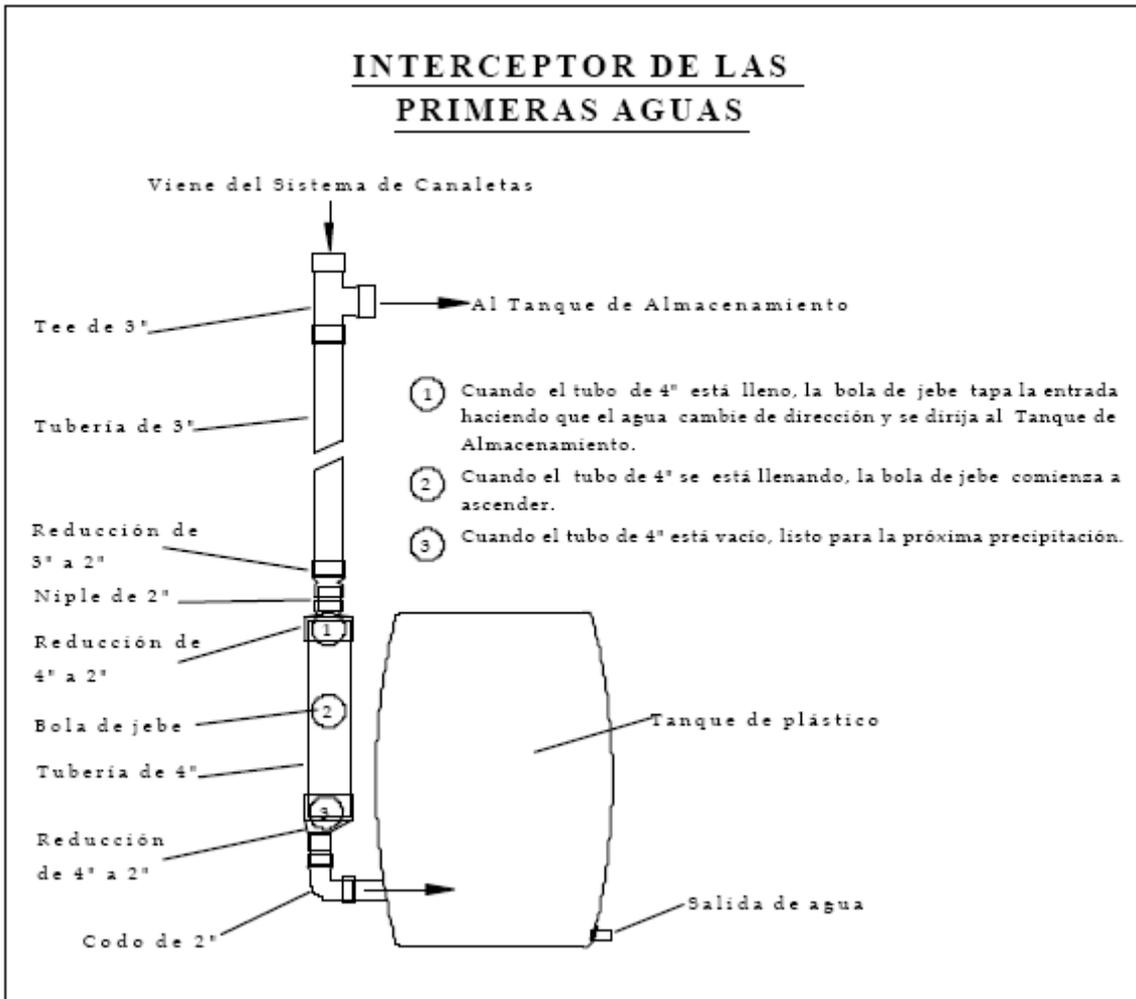


Figura 11. 5. 2 Interceptor de Primeras Aguas.

Almacenamiento

Es la obra destinada a almacenar el volumen de agua de lluvia necesaria para el consumo diario de las personas beneficiadas con este sistema, en especial durante el período de sequía ver Figura 11. 5. 3.

La unidad de almacenamiento debe ser duradera y al efecto debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración.
- De no más de 2 m de altura para minimizar las sobre presiones.
- Dotado de tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar.
- Disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficientemente grande como para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias.
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje. Esto último para los casos de limpieza o reparación del tanque de almacenamiento. En el caso de tanques enterrados, deberán ser dotados de bombas de mano.



Figura 11. 5. 3. Tanque de Almacenamiento

Los tipos de tanques de almacenamiento de agua de lluvia que pueden ser empleados en el medio rural pudieran ser construidos con los materiales siguientes:

- Mortero cemento – arena; el mortero de cemento – arena se aplica sobre un molde de madera u otro material de forma preestablecida. Los modelos pequeños suelen variar entre 0.1 a 0.5 m³ y los modelos más grandes pueden alcanzar alturas de 1.5 m y volúmenes de hasta 2.3 m³.
- Concreto; normalmente se construye vaciando concreto en moldes concéntricos de acero de n diámetro de 1.5 m, 0.1 m de espesor y 0.60 m de altura. Este tipo de tanque de almacenamiento puede alcanzar volúmenes de hasta 11 m³.

DISEÑO

Bases del diseño, antes de emprender la planeación de un sistema de captación de agua pluvial, es necesario tener en cuenta los aspectos siguientes:

- Precipitación en la zona. Se debe conocer los datos pluviométricos de por lo menos los últimos 10 años, e idealmente de los últimos 15 años.
- Tipo de material del que está o va a estar construida la superficie de captación.
- Número de personas beneficiadas.
- Demanda de agua.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, J. G. 1906. Excursión de Tehuacan a Zapotitlán a San Juan Raya, X Congreso Geología Internacional. Libreto-Guía. pp. 7. 1 mapa.
- Aguilera, H. N. 1970. Suelos de las Zonas Áridas de Tehuacan, Puebla y sus Relaciones con las Cactáceas. Cactáceas y suculentas mexicanas. Tomo XV.3:51-63.
- Alencáster G. C. (1956). Pelecípodos y Gasterópodos del Cretácio Inferior de la Región de San Juan Raya, Zapotitlán, Edo. de Puebla. Paleontología Mexicana. 2. Instituto de Geología. UNAM. México. pp. 39. Lám. 1-7.
- Anaya M., Martínez M., Trueba A., Figueroa B., y Fernández O. 1977. Manual de conservación del suelo y del agua. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Avances de la Cartografía Temática de la cuenca de Zapotitlán Salinas Puebla. Hernández. Hernández M. Muñoz D. López F. Soler A. Téllez O. Montoya R. Macías H. Avances de cartografía temática, 2º Simposio, UBIPRO 2002.
- BANCO MUNDIAL. 1988. Water harvesting for plant production. World Bank Technical Paper, 91.
- Barcelo D. J. 1978. Estratigrafía y petrografía detallada del área de Tehuacan San Juan Raya, Estado de Puebla. Tesis Profesional Facultad de Ingeniería. UNAM. México, D. F. p. 143
- Barrera Carrera, C. 2000. Descripción y regionalización fisiográfica del Valle de Zapotitlán, Puebla. Tesis de Licenciatura en Biología. FES-Iztacala, UNAM. Director de tesis: M. en C. Daniel Muñoz Iniestra, Laboratorio de Edafología.
- Batllori-Sanpedro, E., González-Piedra, J, I., Díaz-Sosa, J., Febles-Patrón, j, L., 2005. Caracterización hidrológica de la región costera noroccidental del estado

de Yucatán, México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM ISSN 0188, Núm. 59, 2006, pp. 74-92.

- Buitrón, B. E. 1970. Equinoides del Cretácico Inferior de la Región de San Juan Raya-Zapotitlán, Estado de Puebla. Revista: Paleontología Mexicana, Instituto de Geología. UNAM. Rev. Paleontología Mexicana No. 30 p.45
- Buitrón, B. E. y Barcelo D. J. 1980. Nerineídos (*Mollusca-Gasteropoda*) del Cretácico Inferior de la Región de San Juan Raya, Puebla. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 4(1) ,46-55.
- Carranza, A. 1973. Aplicación de tres materiales de cobertura para captación y conservación "in situ" del agua de lluvia en cultivo forrajero de maíz y girasol. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Casas, A., Valiente-Banuet, A., Viveros, J.L., Caballero, J., Cortés, L., Lira, R., Rodríguez, I., 2001, Plant resources of the Tehuacan-Cuicatlán Valley, México: Economic Botany, 55(1), 129-166
- Calderón-García, A., 1956, Bosquejo geológico de la región de San Juan Raya, Pue., en XX Congreso Geológico Internacional, Excursión A-11: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 9-27.
- Claver, F. I. 1982. Guía para la elaboración de estudios del medio físico, contenido y metodología. Serie de manuales no. 3. Ministerio de obras públicas y Urbanismo. CEOTMA (Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente). Madrid.
- Comisión Nacional del Agua (2006). Consultado el 26 Octubre del 2006. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) página web:
<http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Directorio/Default.aspx>

- Costanza, R. 1991. Ecological economics: the science and management of sustainability. Columbia University Press, New York.
- Costanza, R. 1997. The ecological, economic and social importance of coastal and marine systems” En: With Rivers to the Sea. Interaction of Land Activities, Fresh Water and Enclosed Coastal Seas. Proceedings Stockholm Water Symposium/EMECS. Estocolmo, 10-15 de agosto, pp. 237-252.
- Colegio de Postgraduados, 1991. Manual de Conservación del suelo y del Agua. Instructivo. 3ª. Ed. C.P., SARH., SPP. Chapingo, México. 248pp.
- Dávila, P., 1997, Tehuacán-Cuicatlán Region, México, *in* Davies, S.D. (ed.), Centres of Plant Diversity: Cambridge, The World Wide Fund for Nature (WWF), The World Conservation Union (IUCN). pp. 139-143.
- De Souza A. y Anaya M. 1979. Algunas consideraciones sobre el manejo del suelo y agua para el desarrollo de la agricultura tradicional en el Noreste de Brasil, Petrolina, Pe., EMBRAPA-CPATSA, 128 p.
- FAO. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio Riego y Drenaje N° 24. Roma
- FAO. 1991. Water harvesting: a manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. Critchley W., Siegert K. AGL/MISC/17/91. Rome. 133 p.
- Félix y Lenk, M. (1891). Vebersicht iiber die gelogischen Verhältnisse de mexicanishen Stades Puebla. Paleontographica, 37:117-139, lám 30.
- Folke, C. 1997. Linking water flows and ecosystem services: A conceptual framework for improved environmental management. En: With Rivers to the Sea. Interaction of Land Activities, Fresh Water and Enclosed Coastal Seas. Proceedings Stockholm Water Symposium/ EMECS. Estocolmo, 10-15 de

agosto, pp. 261-277.

- Gallegos C. 1985. Contribución al conocimiento de los sistemas de producción de cosechas de secano del área de estudio del CREZAS-CP. Tesis de Licenciatura UACH. Departamento de Zonas Áridas. Chapingo, México. 207 p.
- García, E., 1973, Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México, 2ª ed., 246 p.
- García, F. 1991. Influencia de la dinámica del paisaje en la distribución de las comunidades vegetales en la cuenca del río Zapotitlán, Puebla. Investigaciones geográficas. Instituto de Geografía, UNAM. No. 23. México.
- García, M. 2001. Mapeo y caracterización de los suelos las terrazas aluviales del Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala UNAM, México.
- García-Martínez, M.G., 2002, Mapeo y caracterización de los suelos de las terrazas aluviales del Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Estudios Superiores Iztacala, tesis profesional, 78 p.
- Hernández J. 1981. Captación del agua de lluvia para fines agrícolas en áreas de temporal. PATUACH Dpto. de Zonas Áridas U.A.CH. Boletín Técnico No.2 Chapingo, México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1981, Carta Fisiográfica, Hoja México, escala 1:1000,000: México. D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1 mapa.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1984a, Carta topográfica Atzumba, E14 B75, escala 1:50,000: México, Instituto de Estadística, Geografía e Informática, 1 mapa.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1984b, Carta topográfica Tehuacán, E14 B75, escala 1:50,000: México, Instituto de Estadística, Geografía e Informática, 1 mapa.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2000. Síntesis geográfica del estado de Puebla. México. 124 pp.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2000. Síntesis geográfica del estado de Puebla. Carta estatal Hidrología subterránea, Hidrología superficial, Regionalización Fisiográfica. escala 1: 500 000: México, Instituto de Estadística, Geografía e Informática, 3 mapas.
- ISRIC. 1997. "The Assessment of the Status of Human-Induced Soil Degradation in South and Southeast Asia (ASSOD)". Ed. By G.W.J. van Linden and L.R. Oldeman. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen.
- LOICZ-IGBP (Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone-International Geosphere-Biosphere Programme) 1994. Implementation Plan. Report No. 33. Global Change, Estocolmo, Suecia, 215 pp.
- López G. A. 1992. Escorrentía en pequeñas cuencas hidrológicas con selva baja caducifolia en Chamela, Jalisco. Tesis de Licenciatura Facultad de Estudios Superiores Iztacala UNAM.
- López, F., Muñoz, D., Hernández, M., Soler, A, Castillo, C., y Hernández, I. 2003. Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la subcuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo LVI, Núm1, p.19-41.

- Loredó C., Villanueva J. y Beltrán S. 1992. Relación área-siembra-escurrimiento y producción de zacate buffel. Informe de Investigación. Documento Interno. SARHINIFAP- IRNE, SLP.
- Martínez M, M, R., Martínez R, L., López L, C. 2001 Caracterización geográfica y escalamiento de cuencas en zonas de laderas de Oaxaca. XI Congreso Nacional de Irrigación. Guanajuato, Guanajuato, México 19-21/09/2001.
- Montoya-Ayala R. 2000. Planificación Física con base Ecológica del Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México, CONACYT. 156 p.
- Müllerried, F.K. (1934). Estudios paleontológicos y estratigráficos en la región de Tehuacán, Puebla, An. Inst.Biol. México. 5:55-88.
- Neri, G. D. 2000. Caracterización hidrológica de la subcuenca baja del Río Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis Licenciatura. ENEP-Iztacala. UNAM.
- Oldeman, L.R., 1988, Guidelines for general assessment of the status of human-induced soil degradation: Germany, International Soil Reference and Information Centre, 38 p.
- Ornelas E, M, A. 2004. Aprovechamiento de los Recursos Naturales en la Bahía y Microcuenca del Río Cacaluta. Universidad del Mar – Campus Huatulco. 17pp.
- Ortega R. J.M. 1996. Caracterización de la Cuenca del Río Chiquito de Morelia, Michoacán, México, por un sistema de Información Geográfica. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Iztacala UNAM.

- Osorio B. O. 1996. Tipos de Vegetación y diversidad β en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 59:35-38.
- Rivas R.A. 2003. Levantamiento edafológico semidetallado de la porción norte del Valle de Zapotitlán, Puebla. Tesis de Licenciatura. UNAM, Iztacala, Tlalnepantla, Edo. de Mex.
- Sánchez, V. A. 1987. Conceptos elementales de hidrología forestal. agua, cuenca, vegetación. Universidad Autónoma Chapingo. Volumen 1. 149pp.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1988. Diagnóstico para el manejo de Cuencas. México, D. F. 113pp.
- Comisión Nacional del Agua (2006). Consultado el 15 de Mayo (2006) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), página web: <http://www.semarnat.gob.mx/Pages/inicio.aspx>
- Tamayo, J. L. y E. Beltrán 1977. Recursos Naturales de la Cuenca del Papaloapan. SARH-Comisión del Papaloapan. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México, D. F.
- Toledo O. A. 2003. Ríos, costas, mares, hacia un análisis integrado de las regiones hidrológicas de México. SEMARNAT. México DF. 114pp.
- Universidad Autónoma Chapingo, 2005. ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DE LAS CUENCAS HIDROLÓGICAS DE LOS RÍOS NECAXA Y LAXAXALPAN.
www.ine.gob.mx/dgoece/ord_ecol/download/09_diag_segunda_parte.pdf
- Valiente-Banuet, A., Casas, A., Alcántara, A., Dávila, P., Flores-Hernández, N., Coro-Arizmendi, M., Villaseñor, J.L., Ortega-Ramírez, J., 2001, La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán: Boletín de la Sociedad Botánica de México, 67, 24-74.

- Villada, M. 1905. Una Exploración a la Cuenca Fosilífera de San Juan Raya, Estado de Puebla. Confer. Museo Nac. Secc. Hist. Natur. México, DF., p. 44, láms. A-K.