



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA**

**PROPUESTA DE PROYECTO DE
INVERSIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO.
CASO ZIMAPÁN HIDALGO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:

EDUARDO TREJO ISIDORO

DIRECTOR: M. EN I. JAIME GARNICA GONZÁLEZ

PACHUCA, HGO. MAYO 2006

AGRADECIMIENTOS

A Dios sobre todas las cosas.

A la universidad autónoma del estado de Hidalgo, así como sus autoridades encabezadas por el C. Rector C. D. Luís Gil Borja.

Al maestro Jaime Garnica González, director de la presente tesis, por su incansable apoyo, enseñanza y dedicación.

A todos los catedráticos del instituto de ciencias básicas e ingeniería.

DEDICATORIAS

A mis padres: Gloria y Delfino por su inmenso amor que me tienen.

A mis hermanos: Beatriz, Sandra, María Teresa, José Antonio, Francisco Javier

Al Sr. Efigenio Reynoso.

A la familia Arellano.

A Denni, Lizbeth y Eva.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
JUSTIFICACIÓN	4
METODOLOGÍA	6
CAPÍTULO 1. SITUACIÓN DEL AGUA EN EL MUNDO Y EN MÉXICO.	
1.1 Necesidad y disponibilidad de agua en el mundo	7
1.2 El agua un factor de salud.	10
1.3 Conflictos generados por el uso del agua en el mundo.	11
1.4 La necesidad del agua en México.	12
1.5 Situación de los servicios de agua en México.	13
1.6 Conflictos sociales en México generados por el uso del agua.	14
CAPÍTULO 2. PROBLEMÁTICA DEL AGUA EN EL ESTADO DE HIDALGO Y EN PARTICULAR EN EL MUNICIPIO DE ZIMAPÁN.	
2.1 Mantos acuíferos en el estado de Hidalgo.	16
2.2 Características geográficas, demográficas y socioeconómicas.	19
2.3 Infraestructura hidráulica existente.	22
2.4 Pronósticos de reservas de los mantos freáticos en Zimapán	26
2.5 Alteraciones de salud por falta de agua y alimentos.	29
2.6 Alteraciones producidas a la salud por el alto contenido de arsénico en el agua potable.	32
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE LA PLANEACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO PARA ZIMAPÁN.	
3.1 Generalidades y Nociones de meteorología.	35
3.2 Estudios: Socioeconómicos, Topográficos, Hidrológicos, Agrológicos y Geotécnicos.	39
3.3 Clasificación agrícola de suelos para fines de riego.	44
3.4 Uso consuntivo, obras hidráulicas y drenaje.	45
3.5 Administración y operación.	53
3.6 Aceptación social.	59

CAPÍTULO 4. SISTEMAS DE RIEGO.	
4.1 Datos básicos para la planeación del sistema de riego de Zimapán.	61
4.2 Definición del riego.	70
4.3 Tecnologías para sistemas de riego.	71
4.4 Variación de la precipitación pluvial y calidad del agua de riego.	73
4.5 El sistema de riego por goteo.	79
4.6 La fertilización en el riego por goteo.	86
CAPÍTULO 5. ANTEPROYECTO DEL DISTRITO DE RIEGO PARA EL MUNICIPIO DE ZIMAPÁN, HIDALGO.	
5.1. Impacto del anteproyecto.	89
5.2. Planteamiento de alternativas para el abastecimiento de agua para el riego.	90
5.3. Análisis y evaluación de alternativas.	92
5.4. Conceptos básicos de diseño para el predimensionamiento de conducciones.	93
5.5. Predimensionamiento de alternativas.	101
5.6. Evaluación técnica.	101
5.7. Presupuesto de alternativas.	102
5.8. Evaluación económica.	105
5.9. Selección de la mejor alternativa para el abastecimiento de agua para el riego.	112
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	113
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	116
GLOSARIO DE TÉRMINOS	G-1

ÍNDICE DE FIGURAS Y DE TABLAS

CAPÍTULO 1. SITUACIÓN DEL AGUA EN EL MUNDO Y EN MÉXICO.

Figura:

- 1.1. Disponibilidad de agua por subregiones en 2000 (1.000 m³/cápita/año). 9

Tabla:

- 1.1. Clasificación de la disponibilidad de agua. 9

CAPÍTULO 2. PROBLEMÁTICA DEL AGUA EN EL ESTADO DE HIDALGO Y EN PARTICULAR EN EL MUNICIPIO DE ZIMAPÁN.

Figuras:

- 2.1 Mapa de regiones hidrológicas del estado de Hidalgo. 18
2.1. Localización del municipio de Zimapán en el estado de Hidalgo. 19

Tablas:

- 2.1. Población económicamente activa en el municipio de Zimapán. 21
2.2. Características del Pozo La Vega de La Cruz. 23
2.3. Localidades beneficiadas por el acueducto Zimapán. 23
2.4. Características de las líneas de conducción en la ciudad de Zimapán. 25
2.5. Características de los tanques de regulación en la ciudad de Zimapán 26
2.6. Precipitación mensual promedio de Zimapán. 27
2.7. Normas que establecen los niveles máximos permitidos de contenido de arsénico en agua. 33

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE LA PLANEACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO PARA ZIMAPÁN.

Figuras:

3.1. Clasificación de las obras hidráulicas.	48
3.2. Sistemas hidráulicos de un sistema de riego.	52
3.3. Forma de la distribución del agua.	54
3.4. Forma general de un sistema de riego.	56

CAPÍTULO 4. SISTEMAS DE RIEGO.

Figuras:

4.1. Vías de comunicación del municipio de Zimapán, Hgo.	62
4.2. Pendientes del estado de Hidalgo.	64
4.3. Clasificación del clima con base a la precipitación y el porcentaje de superficie.	74

Tablas:

4.1. Características físico-químicas del suelo del municipio de Zimapán.	65
4.2. Granos y hortalizas más consumidos por los mexicanos.	66
4.3. Uso consuntivo del maíz por el método de Blaney – Criddle modificado.	67
4.4a. Uso consuntivo del McGraw-Hill por el método de Blaney – Criddle modificado.	68
4.4b. Uso consuntivo del McGraw-Hill por el método de Blaney – Criddle modificado.	68
4.5. Uso consuntivo del maíz y del McGraw-Hill, demanda de agua (m ³) para la superficie de una hectárea.	69
4.6. Uso consuntivo de los cultivos.	69
4.7. Localidades que comprenderá el distrito de riego.	70
4.8. Clasificación del clima con base a la precipitación pluvial anual y porcentaje de superficie.	74
4.9. Conductividad del agua.	76
4.10. Valores de S. A. R.	77
4.11. Clasificación de aguas para el riego según contenido de carbonatos y bicarbonatos.	78
4.12. Solubilidades de los fertilizantes.	87
4.13. Porcentaje de composición de los fertilizantes.	88

CAPÍTULO 5. ANTEPROYECTO DEL DISTRITO DE RIEGO PARA EL MUNICIPIO DE ZIMAPÁN, HIDALGO.

Figuras:

5.1. Trazo propuesto para las conducciones de las alternativas, con base a vías de comunicación.	93
5.2. Características de la bomba cotizada.	103
5.3. Modelo de valor presente.	106

Tablas:

5.1. Volumen total demandado para el distrito de riego.	90
5.2. Fuentes potenciales para el abastecimiento de agua para el riego por goteo al municipio de Zimapán.	91
5.3. Rugosidad absoluta (<i>ks</i>) para diferentes materiales utilizados en la fabricación de tuberías.	96
5.4. Diámetros comerciales de tuberías.	97
5.5 Módulos de elasticidad.	100
5.6. Determinación del factor de Darcy.	101
5.7. Potencia de los equipos de bombeo.	101
5.8 Alternativa 1 (Acueducto Río Tula-Zimapán).	102
5.9 Alternativa 2 (Acueducto presa Ing. Fernando Hiriart Balderrama-Zimapán).	102
5.10. Costo por metro lineal de tubería para ambas alternativas.	103
5.11. Costo de alternativa No. 1	104
5.12. Costo de alternativa No. 2	105
5.13. Costo de operación (acueducto Río Tula-Zimapán).	107
5.14. Costo de operación (acueducto presa Ing. Fernando Hiriart Balderrama-Zimapán).	107
5.15. Cargos por energía consumida.	108
5.16. Alternativa 1(Acueducto Río Tula-Zimapán)	110
5.17. Alternativa 2(Acueducto presa Ing. Fernando Hiriart Balderrama -Zimapán)	111
5.18. Costo promedio de agua por m ³ para cada alternativa.	112

INTRODUCCIÓN

El mundo se encuentra en constante cambio e inmerso en problemas cada vez más complejos, producto de factores como el acelerado crecimiento de la población mundial, los grandes avances tecnológicos y la necesidad del hombre por habitar nuevos territorios, lo cual ha generado desequilibrios importantes a los recursos naturales, entre ellos el agua. Lo anterior ha provocado una baja disponibilidad de este recurso y una desmedida contaminación del mismo, originando que la existencia del hombre se vea afectada en la obtención de sus alimentos.

El agua desempeña un papel importante como recurso indispensable para la vida. La ausencia de tan vital líquido coloca a la agricultura en predicamentos, puesto que atenerse a una agricultura de temporal provoca que exista una gran incertidumbre para la producción de alimentos.

La disponibilidad del agua es un problema mundial, México a pesar de ser una nación con una basta cantidad de recursos naturales, también es una nación en la que se cometen excesos y en la que se tiene poca consideración por el valor real que poseen los recursos existentes.

En la actualidad México es una nación que es considerada mundialmente con una baja disponibilidad de recursos hídricos, ya que en menos de 50 años redujo su disponibilidad a la mitad. En ese mismo lapso han sido explotados de manera indiscriminada los mantos acuíferos y se han contaminado ríos, lagos y lagunas en gran parte del territorio.

Este trabajo aborda la problemática que aqueja al municipio de Zimapán en el estado de Hidalgo, ya que sus alimentos los tiene que importar, por la casi nula producción de los mismos, provocando que el costo por su adquisición sea elevado; esto debido a que sus tierras son de temporal por la ausencia de agua para riego.

Zimapán es un municipio en el que un número importante de jóvenes y adultos lo hacen ver como un territorio de fuerte expulsión migratoria nacional e internacional (oscilando principalmente entre un 15% a un 80%). Las razones son varias pero destacan la pobreza extrema, los polos de atracción nacional e internacional y en menor sentido, el hábito cultural a ello. El consumo no sustentable del recurso natural está provocando una fuerte deforestación de la flora nativa y pérdida de fauna local. La disminución en la producción local e interestatal del cultivo comercial básico (el maguey pulquero) desde hace dos décadas ha provocado el abandono de técnicas agroecológicas, (verbigracia, terrazas y cortinas) para evitar el deslave y la erosión del suelo, con consecuencias obvias para la población en lo

económico, lo político y sobre todo, en la producción de alimentos, eje central del estudio.

En respuesta a la problemática que padece el municipio de Zimapán, este trabajo tiene como finalidad plantear y analizar alternativas para suministrar agua para el riego, adoptando un sistema de riego. Se busca que su adopción utilice la menor cantidad de agua posible, además de que genere los mayores rendimientos.

En el capítulo uno se aborda la importancia que representa el agua en el mundo y en México, su disponibilidad, beneficios y repercusiones a la salud, los conflictos generados por su posesión; así como la necesidad del agua en México debido al crecimiento de la población y su distribución, la situación y cobertura de los servicios de abastecimiento de agua potable y alcantarillado en el país.

En el capítulo dos se aborda la situación actual que prevalece en el estado de Hidalgo y en el municipio de Zimapán, presentándose primeramente las características geográficas del municipio, las fuentes actuales de abastecimiento de agua potable, la infraestructura con la que cuenta el municipio en cuanto a agua potable y para el riego. También se identifican los cuerpos de agua con los que cuenta el estado, se realiza un pronóstico de reservas de los mantos freáticos, consecuencias originadas por la falta del agua al organismo humano y alteraciones a la salud por la insuficiencia de consumo de alimentos, el problema del arsénico presente en los mantos freáticos del municipio en estudio, causas y daños a la salud por la ingestión y exposición de este elemento.

En el capítulo tres se presenta la importancia de la realización de estudios previos antes de ejecutar un proyecto hidráulico encaminado al diseño de un sistema de riego. También se menciona el concepto de meteorología y los elementos que la conforman. Asimismo, se mencionan los factores que intervienen en la clasificación agrícola, el concepto del uso consuntivo, clasificación de las obras hidráulicas, los elementos que constituyen un sistema de riego, obras de aprovechamiento del agua para el riego, conceptos de drenaje y los métodos para la distribución del agua para el riego.

En el capítulo cuatro se aplica la metodología expuesta en el capítulo tres para las zonas áridas y semiáridas, las tecnologías presentes en el mercado para el sistema de riego por goteo, se hace una referencia de la importancia del riego en zonas áridas y semiáridas, la calidad del agua para el riego y el porqué el riego ocupa un lugar primordial en la obtención de alimentos. Se identifican las ventajas y desventajas de la utilización del riego por goteo y los elementos que lo integran. Debido a que la mayoría de la irrigación por goteo es muy usada en regiones áridas, por este método es posible fertilizar el suelo. Es por esta razón que en este capítulo se identifican los tipos de

fertilizantes a usar en el riego por goteo, así como la preparación de cada uno de ellos.

Por último, en el capítulo cinco se da a conocer el impacto que generará el proyecto, se plantean las alternativas de abastecimiento de agua para el riego. Se analizan las posibles fuentes de abastecimiento para el distrito de riego y se realiza un estudio técnico-económico de las alternativas planteadas, para terminar con la elección de una alternativa con base a la decisión de la obtención de un costo total más bajo por metro cúbico de agua. Seguido de este capítulo se encontrarán las conclusiones y recomendaciones de esta tesis. Como apoyo al lector se hace el listado de las referencias de fuentes de información consultadas.

OBJETIVO GENERAL.

Proponer una alternativa de proyecto de inversión para un sistema de riego en el municipio de Zimapán Hidalgo, con base en una metodología de planeación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Revisión de la situación del agua en diferentes ámbitos encaminados a determinar la problemática del agua en Zimapán.
2. Analizar una metodología de planeación relacionada con un sistema de riego y los tipos más comunes de riego.
3. Proponer un anteproyecto de inversión de un sistema de riego.

JUSTIFICACIÓN.

Para impulsar el desarrollo del municipio de Zimapán, es necesario generar nuevas líneas de acción encaminadas a la equidad social para mejorar la calidad de vida de la población. El término equidad implica satisfacer las necesidades básicas de los habitantes, entre los principales objetivos, está la alimentación. Sin embargo, para producir alimentos es necesaria la existencia de agua para regar los cultivos; elemento que no se encuentra en abundancia en este municipio.

Con base al Plan de Desarrollo Municipal 2003-2006 de Zimapán, y en específico del objetivo general de éste, cuyo texto es el siguiente:

Orientar los esfuerzos y recursos a la producción de alimentos, a la creación de empleos productivos y a dotar a los habitantes del municipio de mejores condiciones de vida, procurando ampliar las obras a realizar a través de la participación organizada de los sectores social y privado, así como de la comunidad en general.

Considerando la importancia que tiene la generación de alimentos, dentro de un marco de planeación de desarrollo sustentable, es de vital importancia el generar alternativas viables de solución a este tipo de problemas. Por tal motivo es relevante realizar una propuesta de una alternativa de un sistema de riego para el municipio de Zimapán. Lo que permitirá no depender en su totalidad de una agricultura tradicional de temporal, y así minimizar el problema fundamental del sector agrícola en el municipio, además de la creación de empleos directos e indirectos que se verán reflejados en la calidad de vida de la población.

Los beneficios a priori que se esperan son el poder cultivar 500 hectáreas de terreno y ser utilizadas para la agricultura, generar cuando menos 2,500

empleos temporales en 10 comunidades, que permitirían incrementar la economía de las mismas y por ende de la región al propiciar las condiciones del asentamiento de empresas por el requerimiento de materiales y herramientas para la agricultura. De la misma manera con los excedentes de la cosecha se fomentará la exportación a otros mercados.

Así mismo, los beneficios de carácter hidrológico que se obtendrían, es que los mantos freáticos aumentarían su nivel.

METODOLOGÍA.

Al inicio del trabajo de investigación, se planteó de forma general las acciones enfocadas a dar una guía para el logro del objetivo de investigación.

Para lograr este propósito se efectuaron actividades como recopilar información en fuentes primarias como son: entrevistas principalmente, y en fuentes secundarias según artículos de revistas, libros de texto, documentos electrónicos y consulta de tesis.

Se acudió a la biblioteca Central de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con el objetivo de recabar información de tesis, revistas, libros de texto, que no se encontraron en la entidad.

Para determinar el número de hectáreas y el número de productores a considerarse en el presente trabajo se visitaron dependencias gubernamentales como la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), además de conocer los diferentes proyectos que se tienen registrados para el municipio de Zimapán en materia de agricultura; asimismo para conocer la infraestructura con que cuenta el municipio, se recurrió a la Comisión de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del municipio de Zimapán, Hgo. (CAPASAZIM).

Se llevó a cabo la elaboración del contenido de tesis, con revisiones periódicas de acuerdo al avance del trabajo.

Durante la redacción del trabajo de tesis, se realizaron recorridos a lo largo de los sitios en los cuales se desarrollará el proyecto, esto con la finalidad de realizarlo apegado (en la medida de lo posible) a la realidad imperante en la región.

Se consultó a empresas para la cotización de materiales a utilizar en el proyecto.

Finalmente se elaboraron las conclusiones de la investigación con base a los resultados obtenidos de la evaluación económica. Posteriormente se propone una serie de recomendaciones para dar continuidad al trabajo de tesis. En seguida se lista las referencias bibliográficas y fuentes de información utilizadas para sustentar este trabajo de tesis.

CAPÍTULO 1.

SITUACIÓN DEL AGUA EN EL MUNDO Y EN MÉXICO.

El presente capítulo aborda la problemática actual del agua en el mundo, su importancia y los conflictos que se generan por su posesión y control. También se presenta la situación que ha vivido el agua en México en los últimos tiempos, así como plantear acciones para su conservación y buen uso.

1.1 NECESIDAD Y DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN EL MUNDO.

Un 70% de la superficie de la tierra es agua, pero la mayor parte de ésta es oceánica. En volumen, sólo 3% de toda el agua del mundo es agua dulce, y en su mayor parte no se halla generalmente disponible. Unas tres cuartas partes de toda el agua dulce se halla inaccesible, en forma de casquetes de hielo y glaciares situados en zonas polares muy alejadas de la mayor parte de los centros de población; sólo un 1% es agua dulce superficial fácilmente accesible. Ésta es primordialmente el agua que se encuentra en los lagos y ríos y a poca profundidad en el suelo, de donde puede extraerse sin mayor costo. Sólo esa cantidad de agua se renueva habitualmente con la lluvia y las nevadas y es, por tanto, un recurso sostenible. En total, sólo un centésimo del uno por ciento del suministro total de agua del mundo se considera fácilmente accesible para uso humano¹.

El agua es vital para el consumo humano, los servicios sanitarios, la agricultura, la industria y otra infinidad de usos. La vida en la Tierra comenzó en el agua; ahora el agua dulce da vida a las ciudades sedientas, irriga a los cultivos que se secan y es el hábitat de una multitud de seres vivos. Sin embargo, el agua puede significar también muerte y destrucción. Las inundaciones son el peor de los desastres naturales, ya que cobran más víctimas y ocasionan más daños materiales que los terremotos, las erupciones volcánicas u otras catástrofes similares. El agua contaminada transmite enfermedades y provoca la muerte a quién la bebe y mata aves, peces y criaturas que la necesitan para sobrevivir².

En la actualidad el agua enfrenta graves problemas debido al manejo y uso que se le ha dado, dichos problemas no tienen una solución permanente, pues aunque este recurso es renovable también es finito, lo que genera que

¹ <http://www.infoforhealth.org/pr/prs/sm14/sm14chap2.shtml>- 9 Ago 2004

² http://www.unesco.org/science/waterday2000/WMO-No.857_S.pdf- 9 Ago 2004

sea un recurso sostenible por su continua renovación pero escaso por su limitada cantidad.

Además el aumento de la población y el ascenso en su nivel cultural y social hacen que en poco tiempo las obras proyectadas sean insuficientes, imposibilitándose de esa manera que con las existentes se pueda seguir el ritmo de crecimiento que las necesidades exigen y complicando cada vez más la obtención de nuevos caudales, pues las fuentes actuales van haciéndose incapaces y es necesario utilizar las que están situadas a mayor distancia o aquellas cuyas aguas requieren tratamientos más elaborados para hacerlas adecuadas para el consumo.

En el último siglo se han tenido las más grandes transformaciones demográficas de la humanidad y con ello se han presentado los problemas más graves de disponibilidad de agua, pues la población se ha multiplicado cuatro veces. El número de habitantes, en el año 1900 rebasaba apenas los 1 700 millones de habitantes, y en el año 2000 la población creció hasta alcanzar los 6 000 millones; además en el mismo lapso, el consumo de agua para uso público e industrial se multiplicó por nueve y cuarenta respectivamente. Como consecuencia se ha generado un incremento acelerado en la explotación de agua dulce frente a una disponibilidad cada vez más escasa del recurso, además esta situación puede agravarse aún más, pues la Organización de las Naciones Unidas (ONU), estima que para el año 2025 la población podría llegar a los 8 500 millones de habitantes³.

Como resultado de la concentración y el crecimiento de la población se han ejercido fuertes presiones sobre la disponibilidad de los recursos existentes, sobre todo en los países subdesarrollados, ya que la capacidad de sus sistemas para hacer frente a las demandas derivadas del crecimiento poblacional son limitadas. De igual manera la disponibilidad se ve seriamente afectada en aquellos países cuyas zonas climáticas son catalogadas como desérticas, pues las fuentes son escasas y por lo tanto es necesario recurrir a tecnologías alternativas que permitan obtener el recurso, aunque a costos más elevados.

Según las características que presentan los sistemas de agua en el mundo, es posible delimitar el grado de disponibilidad con el que cuenta cada país y así evaluar su situación actual, de forma tal que sea factible proponer y promover las acciones necesarias para mitigar los efectos adversos y garantizar su conservación. En la tabla 1.1 se presentan las categorías mundiales de disponibilidad y en la figura 1.1 la disponibilidad de agua por subregión en el año 2000.

Ya que tres cuartas partes del planeta están compuestas por agua es posible asegurar que el ser humano no morirá por falta del vital líquido. Sin

³ http://www.unesco.org/science/waterday2000/WMO-No.857_S.pdf- 10 Ago 2004

embargo, el costo por tratar el agua de mar y hacerla apta para el consumo será elevado y esto traerá consigo fuertes problemas, pues no debe olvidarse que el mundo está inmerso en un fenómeno de globalización económica, en donde los países con economías débiles no son capaces de sostener su propio desarrollo y bajo este panorama su propia supervivencia se verá amenazada, por ello deberán cuidar en la medida de sus posibilidades sus recursos, así como mantener y ampliar sus sistemas con la única finalidad de ser autosuficientes.

Tabla 1.1. Clasificación de la disponibilidad de agua.

CATEGORÍA DE DISPONIBILIDAD	VOLUMEN DE AGUA (M ³ /HAB./AÑO)
Extremadamente baja	< 1 000
Muy baja	1 000 - 1 700
Baja*	1 700 - 5 000
Media	5 000 - 10 000
Alta	10 000 - 20 000
Muy alta	> 20 000

*Peligrosa en años de precipitación escasa.

Fuente: UNDP, UNEP, World Bank and WRI. World Resources 2000-2001. WRI. U.S.A. 2000⁴.

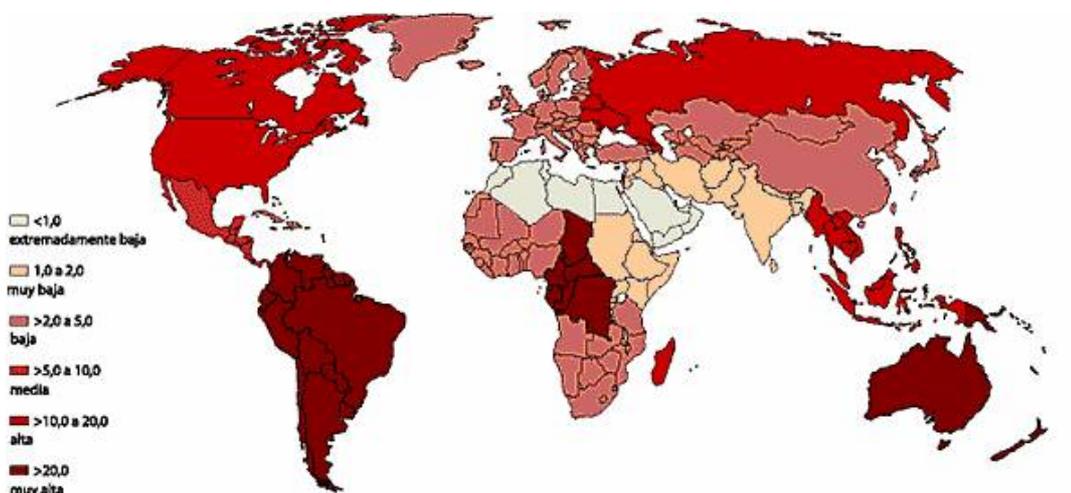


Figura 1.1. Disponibilidad de agua por subregiones en 2000 (1.000 m3/cápita/año).

Fuente: Recopilación a partir de UNDP, UNEP, World Bank y WRI 2000 y United Nations Population Division 2001⁵

⁴http://www.semarnat.gob.mx/estadisticas_2000/informe_2000/04_Agua/4.4_Disponibilidad/index.shtml- 11 Ago 2004

⁵ <http://www.unep.org/geo/geo3/spanish/268.htm#fig152a>- 12 Ago 2004

1.2 EL AGUA UN FACTOR DE SALUD.

El agua es vital para la vida, el ser humano puede morir si pierde el 15% del agua que almacena su cuerpo, para evitarlo debe consumir agua en cantidad y calidad adecuadas pues de lo contrario el líquido que es fuente de vida paradójicamente también puede causarle la muerte. Sin embargo debido al crecimiento de la población mundial, no sólo la disponibilidad de agua se ha visto afectada, sino también la calidad ha sufrido un grave deterioro, ya que se cierne sobre ella la amenaza de la contaminación producto de los desechos que generan el desarrollo industrial y tecnológico actual. En gran parte del mundo en lugares donde se carece de instalaciones de saneamiento apropiadas para la evacuación de desechos humanos e industriales las enfermedades transmitidas por el agua se propagan con gran rapidez, pues los seres humanos y los animales actúan como huéspedes de bacterias, virus y protozoos contenidos en el agua, los cuales son causantes de enfermedades como el paludismo, cólera, fiebre tifoidea y enfermedades gastrointestinales que dañan y matan a millones de personas.

En la actualidad la Organización Mundial de la Salud (OMS) revela que sólo un 41% de la población consume agua tratada y desinfectada que puede ser considerada como segura, además estima que alrededor de 1,100 millones de personas en todo el mundo carecen de acceso al agua potable, 2,500 millones no poseen un sistema sanitario apropiado, y más de 5 millones mueren anualmente por enfermedades causadas por el consumo de agua contaminada, de esa cantidad, la mayoría son niños menores de 5 años, además el 80% de las enfermedades infecciosas y parasitarias intestinales, se deben al uso y consumo de agua insalubre y una tercera parte de las defunciones en el mundo son debidas a ésta causa⁶.

Por lo anterior, el hombre requiere de agua segura que garantice su bienestar, por ello múltiples organismos internacionales se han avocado a la tarea de realizar estudios que permitan determinar las características mínimas indispensables que debe cumplir el agua en cuanto a su calidad; sin embargo es necesario que los países de todo el mundo cuenten con los instrumentos que les permitan regular el uso, manejo y disposición del agua, de tal manera que sea posible preservar las fuentes de abastecimiento en el mejor estado posible, para ello se requiere desarrollar la infraestructura hidráulica necesaria que permita cumplir con los retos y exigencias que presenta la sociedad actual.

⁶ Lara, Juan Antonio. 2003. Planeación y anteproyecto del sistema de abastecimiento de agua potable de la cabecera municipal de Zimapán en el estado de Hidalgo. El autor. UNAM, México. pp. 8.

1.3 CONFLICTOS GENERADOS POR EL USO DEL AGUA EN EL MUNDO.

Siendo el agua un factor de vida y desarrollo, es común que haya enfrentamientos por ella, las grandes civilizaciones en la historia de la humanidad se asentaron alrededor del agua, cuyo control fue motivo de disputas a lo largo de la evolución de la especie humana. En la actualidad el agua no siempre se encuentra disponible y es motivo de disputas sobre todo en aquellos territorios donde es un recurso escaso. Además los avances tecnológicos han provocado que el agua se convierta en un recurso comercializable y utilizable por unos u otros como factor de presión para lograr determinados objetivos económicos, políticos, y como fuente recurrente de conflictos.

Hoy día se definen dos tipos de disputas por el agua, el primero se conoce como “Conflictos por el agua”, que son enfrentamientos o disputas de carácter jurídico, administrativo, político o social, que tienen su origen en disputas por la propiedad y no llegan a expresarse en términos violentos, el segundo es conocido como “Guerra por el agua”, que significa un enfrentamiento violento entre dos o más países, o comunidades, que tienen por origen un conflicto por el agua que no pudo ser resuelto de otra forma⁷.

Para determinar la disponibilidad y la posibilidad de evitar conflictos entre naciones, debe analizarse la situación de los recursos con los que cuenta cada país, por lo que es necesario tomar en cuenta las precipitaciones anuales, el flujo potencial interno, el capital acuífero de las capas freáticas y las aportaciones de los países vecinos (ríos, canales y acueductos), ya que de estos componentes, las precipitaciones y el flujo no afectan las relaciones entre países vecinos, pero la explotación de la capa freática y el control de los ríos, sí pueden dar lugar a guerras, por lo que es necesario contar con tratados internacionales que preserven los intereses de las naciones que comparte una misma fuente y les permitan garantizar su bienestar, al brindarles el acceso al agua que les corresponde, para ello es necesario que las naciones se comprometan a utilizar de manera eficiente sus recursos e inviertan en infraestructura que garantice el adecuado manejo del agua, pues solamente así serán capaces de sostener su desarrollo sin afectar los intereses de sus vecinos.

En el mundo existen varios conflictos bélicos en el que el agua es la razón de fondo. Buena parte de las disputas entre árabes e israelíes se centran en los territorios donde hay agua potable. Peter H. Gleick, del Instituto de Estudios de Desarrollo, Medio Ambiente y Seguridad de California (EE.UU), ha realizado estudios que muestran que una tercera parte del agua potable que consumen los israelíes procede de los territorios ocupados a los palestinos. En especial, los Altos del Golán, ganados a Siria, no consisten

⁷ *Ibíd.* pp. 9.

sólo en un conjunto de colinas y valles áridos y desérticos. Según Gleick, contienen en su interior importantes reservas de agua subterránea⁸.

En los Estados Unidos, el río Colorado, que corre a través de la parte sudoeste de este país, ha alimentado la agricultura de regadío y ha permitido el crecimiento explosivo de las ciudades del desierto. Pero ahora la demanda de agua del río para el riego y el uso urbano se ha vuelto tan grande que el río ya no llega a su desembocadura en el golfo de California en México. Sus aguas terminan en un chorro delgado en algún lugar del desierto al sur de la frontera entre México y Estados Unidos. La prematura desaparición del río ha sido causa de altercados entre estos dos países⁹.

Aunque siempre es posible resolver los conflictos de manera pacífica, debe comprenderse que el agua no respeta divisiones políticas, y que es necesario tomar en cuenta las áreas de influencia de las cuencas hidrológicas, que tienen por objeto satisfacer las necesidades de una región no importando su condición, política, social, cultural, étnica o religiosa.

1.4 LA NECESIDAD DE AGUA EN MÉXICO.

México cuenta con una extensión territorial de 1' 967,183 km² y su variación climática afecta la disponibilidad de agua impactando a la mayoría de los habitantes; la mitad del territorio comprendido al norte del país presenta un clima seco, en las mesetas del centro predomina un clima subhúmedo templado en un 20% de la superficie, y en el 30% restante el clima es húmedo, cálido y templado. Además el país presenta un desequilibrio estructural importante debido a la concentración y distribución de su población y la desarrollo de sus actividades económicas.

A nivel mundial el país ha mostrado elevados índices de crecimiento poblacional, pues en los años cincuentas presentó una tasa de crecimiento de 3.1% en los sesentas 3.8% y en los setentas 2.9%; de acuerdo a los censos de población realizados por el Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática (INEGI) la tasa de crecimiento disminuyó, alcanzando un valor de 1.5% en la década de los noventas, para el año 2000 la población alcanzó un valor de 97 millones de habitantes, de los que el 73% se concentra en las localidades urbanas y el 27% restante en las zonas rurales.

En cuanto a la distribución de la población y la disponibilidad del recurso en el país, se cuenta con 320 cuencas hidrológicas con un escurrimiento medio anual de 410,000 millones de m³ en promedio, cifra que representa el total disponible de recursos renovables. Sin embargo, el territorio nacional

⁸ <http://periodicoent.org/279may2002/ecologia/archivos/eco02.htm>- 14 Ago 2004

⁹ http://www.infoforhealth.org/pr/prs/sm14/sm14chap3_3.shtml- 14 Ago 2004

tiene una distribución heterogénea de los recursos hidráulicos, pues existen zonas al norte donde las precipitaciones son muy escasas, en tanto que al sur se presentan lluvias torrenciales que provocan frecuentes inundaciones, además la mayor parte de la población y gran parte de la actividad económica se concentra en la zona norte donde los recursos son escasos; y por otra parte, el 74% de los habitantes se concentran en altitudes mayores a 500 m; y en contraste el 85% de la disponibilidad de agua se localiza debajo de esta cota¹⁰.

En la actualidad, México es catalogado a nivel mundial como un país que paso de tener una alta disponibilidad per cápita de 11,500 m³/hab./año en el año de 1955, a contar con una baja disponibilidad de recursos hidráulicos, ya que su disponibilidad per cápita actual es de 4,900 m³/hab./año, situación que lo pone en riesgo, pues de continuar así, podría verse involucrado en serios problemas de escasez, en los cuales deberá tomar decisiones importantes en cuanto al uso que debe dar al agua; se estima que para el año 2020 la disponibilidad per cápita alcance un valor aproximado de 3,900 m³/hab./año¹¹.

El uso consuntivo predominante en México es el agrícola, ya que en la actualidad el 78% del agua extraída se utiliza para el riego de 6.3 millones de hectáreas, le sigue el uso público urbano con 11.5% y el industrial con 8.5%. Otros usos como el pecuario o el destinado a la acuicultura consumen el restante 2.2¹².

1.5 SITUACIÓN DE LOS SERVICIOS DE AGUA EN MÉXICO.

La característica distribución de la población refleja la cobertura de los servicios de abastecimiento de agua potable y alcantarillado. El servicio de abastecimiento de agua potable es brindado a alrededor del 87% de la población y el de alcantarillado al 73%. Sin embargo la mayoría de estos servicios son prestados en las 169 principales ciudades que conforman al país y aunque se han dado avances significativos en materia de infraestructura hidráulica, en la actualidad 14 millones de habitantes no tienen acceso a los servicios de agua potable, 25 millones de habitantes no tienen acceso a los servicios de recolección de aguas negras, un 80% de estas poblaciones encontrándose en comunidades rurales dispersas de menos de 2500 habitantes, sobre el 250 m³/s de aguas negras generadas por los centros urbanos, 80% se recogen (o sea 200 m³/s) pero solo se trata el 18%, esta situación debiéndose al mal funcionamiento de las instalaciones existentes y a la baja capacidad de tratamiento instalada, el nivel de las

¹⁰ <http://www.oieau.fr/ciedd/contributions/at2/contribution/rendon.htm> - 14 Ago 2004

¹¹ <http://www.unep.org/geo/geo3/spanish/268.htm#fig152a>- 15 Ago 2004

¹² http://www.semarnat.gob.mx/estadisticas_2000/informe_2000/04_Agua/4.5_Usos/index.shtml- 15 Ago 2004

pérdidas de las redes urbanas de distribución de agua potable es superior al 40%, el déficit hídrico de numerosos acuíferos aumenta peligrosamente con consecuencias desastrosas¹³.

La contaminación de la mayoría de los cuerpos de agua superficiales (provocada por la descarga de aguas residuales sin tratamiento) ocasiona grados variables de degradación y limita el uso directo del agua. A pesar de los avances en el tratamiento de las aguas residuales, a nivel nacional solamente el 10 % de las aguas superficiales son de buena calidad, en tanto que la calidad es media en el 65% y mala en el 25% restante¹⁴.

En la actualidad la mayoría de los cuerpos de agua del país, presentan diversos grados de contaminación; pues el 24% de los cuerpos se encuentran altamente contaminados, el 49% presentan índices bajos de contaminantes, el 22% índices aceptables para consumo y sólo el 5% restante presenta niveles de excelente calidad; esa agua es la que consume la población, y en ocasiones no es desinfectada de manera apropiada, produciendo con ello infecciones y enfermedades parasitarias intestinales que llegan a provocar la muerte si no son atendidas a tiempo. Las enfermedades diarreicas han representado uno de los problemas de salud pública más importantes a nivel nacional, en el año 2000, se notificaron más de 5 millones de casos por infecciones intestinales de los que el 32% corresponden a niños menores de 5 años, ocupando así el segundo lugar entre las principales causas de morbilidad.

1.6 CONFLICTOS SOCIALES EN MÉXICO GENERADOS POR EL USO DEL AGUA.

Los conflictos generados por el uso de agua se presentan en todo el mundo y México no es la excepción, debido a la distribución de su población, a la inequitativa distribución de los recursos y la variedad de sus climas, hay graves problemas asociados al uso de los recursos; las regiones ubicadas al norte del país se encuentran sometidas a largos periodos de sequía, mientras al sur el fenómeno es totalmente contrario; por otra parte el crecimiento de las ciudades y la concentración de un gran número de habitantes en ellas, ha obligado a buscar nuevas fuentes de abastecimiento para satisfacer la demanda generada.

La situación anterior comienza a crear serios problemas, pues el agua que era utilizada para el riego, ha tenido que emplearse en el consumo de los centros urbanos, ocasionando con ello conflictos entre los distintos usuarios, además en periodos de sequía la insuficiencia del recurso afecta el suministro de agua, lo que genera el disgusto de la población por la falta del

¹³ <http://www.francia.org.mx/coopcyt/CoopeAgua/AguaMexPanoDesaf.htm>- 15 Ago 2004

¹⁴ http://www.semarnat.gob.mx/sniarn/recursos_hidraulicos.shtml- 15 Ago 2004

líquido, como consecuencia de estas tensiones, han surgido graves problemas sociales, pues los campesinos que ven amenazadas sus cosechas por falta de agua, demuestran su descontento, ya que se han manifestado de forma armada, atentando en ocasiones contra las vías de comunicación.

México es un país que cuenta con riquezas incomparables en cuanto a sus recursos naturales, pero debido al aumento y expansión de su población alrededor de los centros urbanos, se han ejercido fuertes presiones sobre estos recursos, sobre todo en la disponibilidad de agua, pues las fuentes actuales ya no son suficientes para hacer frente a la creciente demanda, necesitando con ello buscar fuentes más lejanas y otras cuyos tratamientos son más elaborados para hacer el agua apta para consumo, aumentando así su valor comercial, sin embargo el país padece un síndrome del “no cobro de los servicios” lo que impide la mejora de los mismos; por otro lado la capacidad de los sistemas hidráulicos para hacer frente al crecimiento poblacional y satisfacer sus demandas es limitada requiriéndose invertir en nuevos sistemas y mantener los ya existentes para que sea posible garantizar el bienestar de la población. Asimismo es necesario invertir en nuevas tecnologías que permitan ahorros sustanciales del recurso en el sector agrario, ya que esos recursos pueden ser destinados a otros sectores con lo que será posible evitar la sobreexplotación de fuentes y someter a los sistemas hidráulicos a presiones excesivas que puedan producir problemas graves de escasez.

Siendo el agua un factor de desarrollo y bienestar para la población en general, fue necesario estudiar el impacto que genera la presencia o ausencia de este vital líquido en diferentes ámbitos encaminados a determinar la problemática del agua en el estado de Hidalgo y de Zimapán (municipio en estudio para el presente trabajo) puntos que se desarrollarán en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 2.

PROBLEMÁTICA DEL AGUA EN EL ESTADO DE HIDALGO Y EN PARTICULAR EN EL MUNICIPIO DE ZIMAPÁN.

El crecimiento acelerado de la población entra en conflicto con los recursos naturales disponibles entre los que el agua es el más importante por ser un elemento indispensable para la generación de alimentos; en el presente capítulo se describen los mantos acuíferos del estado de Hidalgo, las características del municipio de Zimapán, y se dan a conocer datos sobre el agua en cuanto a infraestructura, reservas y alteraciones a la salud producidas por la falta y calidad del agua.

2.1 MANTOS ACUÍFEROS EN EL ESTADO DE HIDALGO¹.

El agua, como elemento vital para la subsistencia humana, es clave para avanzar en el desarrollo social y económico, por ello se requiere el mejor aprovechamiento del recurso. Su disponibilidad en una región depende del régimen de lluvias, de los volúmenes de aguas subterráneas y superficiales, de las obras de infraestructura que permitan su utilización y aprovechamiento y de las medidas que regulen su uso. Así como de una adecuada cultura del agua.

La precipitación media anual en Hidalgo es de alrededor de 860 milímetros (mm), promedio desigual en el territorio, por lo que se tiene zonas muy áridas que contrastan con otras de gran humedad. En el centro y sur del estado se registran láminas de menos de 400 mm, mientras que en el noroeste, por su relativa cercanía con el golfo de México, pueden rebasarse los 2,600 mm.

Hidalgo está constituido por 16 zonas geohidrológicas, en las que existen 3 cuencas que son: la del Valle de México, la del Río Pánuco y la Tuxpan-Cazones; las subcuencas que se encuentran dentro de la cuenca del Valle de México son: el Río Avenidas y el Río Tula, así como las cuencas cerradas de las lagunas de Tecocomulco, Tochac y Apan; en la cuenca del Río Pánuco se encuentran las subcuencas del Río Metztitlán, Río Temporal y Río San Juan; y las subcuencas de la cuenca Tuxpan-Cazones son: el Río Tuxpan y el Río Cazones, ver Fig. 2.1.

¹ Plan Estatal de Desarrollo 1999- 2005. Lic. Manuel Ángel Núñez Soto, Gobernador Constitucional del Estado de Hidalgo.

A nivel estatal existen 1 641 aprovechamientos hidráulicos: 656 son de uso agropecuario, 505 destinados a los servicios públicos, 137 de uso industrial y 343 utilizados en otras actividades. Se tiene un volumen anual de recarga de los acuíferos de 687 Millones de metros cúbicos (Mm^3) y una extracción anual de 643 Mm^3 , lo que actualmente da una disponibilidad de agua de 44 Mm^3 . En cuanto a la extracción 254.3 Mm^3 corresponden al sector agropecuario, 212.5 Mm^3 al sector público, 59.4 Mm^3 al sector industrial y 116.9 Mm^3 a otros sectores. De los 21 acuíferos del estado, 8 presentan condiciones de sobreexplotación debido a que los niveles de extracción superan a los volúmenes de recarga.

La mayor dotación de aguas en Hidalgo, subterráneas y superficiales, corresponden con sus dos más grandes regiones fisiográficas.

En el sur de la entidad, que pertenece al eje Neovolcánico, se ubican los principales cuerpos de aguas subterráneas, siendo la zona donde se lleva a cabo su mayor explotación debido a la baja precipitación pluvial de la zona y por ser el área de mayor desarrollo socioeconómico del estado. Las condiciones de sobreexplotación de estos recursos han determinado que la normatividad imponga vedas para su extracción, en algunos casos rígidas, como por ejemplo en toda el área que se encuentra entre las ciudades de Pachuca, Apan, Tizayuca y Tulancingo.

El norte de Hidalgo, donde se ubica la zona montañosa denominada Sierra Madre Oriental, que se caracteriza por la alta precipitación pluvial, se encuentran ríos importantes que desembocan en el Golfo de México, que son el Moctezuma y el Amajac, con un complejo sistema de afluentes superficiales dentro de esta región. Sin embargo, por el bajo desarrollo socioeconómico de esta zona y por la dificultad técnica y financiera que implica la construcción de infraestructura para la utilización del recurso, los acuíferos de esta gran porción del territorio hidalguense se clasifican como subexplotados.

Los principales almacenamientos superficiales de la entidad son la Laguna de Metztlán, que se encuentra dentro de una cuenca cerrada; la presa El Tejocotal, cuyas aguas son aprovechadas para la generación de energía eléctrica en beneficio de los habitantes del estado de Puebla; las lagunas de Zupitlán y Atezca, que se aprovechan en la agricultura, y la de Tecocomulco, que ocasiona constantes inundaciones a tierras de labor que la rodean. Estas condiciones, además de los problemas de infiltración, azolve y reproducción de lirio acuático, hacen que la disponibilidad de agua superficial para las actividades económicas se vea grandemente disminuida en la entidad.

La infraestructura superficial más importante para la regulación y control del agua en Hidalgo está constituida por 5 presas de grande irrigación, entre

las que destaca “Endhó” que aprovecha la corriente del Río Tula y las aguas residuales de la Ciudad de México, mismas que son usada para el desarrollo agropecuario de gran parte del Valle del Mezquital, quedando limitado su uso al cultivo de forrajes y granos.

Adicionalmente, Hidalgo cuenta aproximadamente con 150 obras de pequeña irrigación y vasos de almacenamiento, ubicadas, principalmente en el sur de la entidad.

Es importante mencionar que de las 680 plantas de tratamiento de aguas residuales que existen en el país, Hidalgo cuenta con 29 que resultan insuficientes para atender el problema de contaminación de agua en la entidad.

Entre las principales deficiencias del aprovechamiento del agua en Hidalgo se pueden señalar acuíferos explotados irracionalmente, infraestructura hidráulica insuficiente, altos costos para reparar las líneas de conducción y distribución de agua en las zonas urbanas; diagnósticos y proyectos no actualizados para vislumbrar las deficiencias regionales en la demanda de agua; contaminación de mantos acuíferos subterráneos y superficiales, así como carencia de sistemas de tratamiento de aguas negras.

Para solucionar la problemática que aqueja al estado en materia del uso del agua, se requieren acciones corresponsables en las que el gobierno y los usuarios reúnan esfuerzos y recursos para garantizar que el agua utilizada en la industria, el campo, el hogar y los servicios, se constituya en un factor de bienestar y en el insumo básico para el desarrollo.

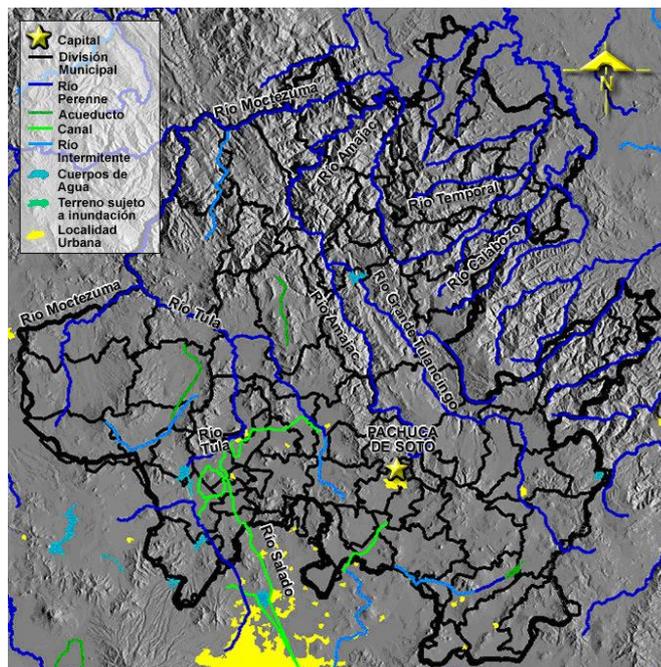


Fig. 2.1 Mapa de regiones hidrológicas del estado de Hidalgo.

2.2 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS, DEMOGRÁFICAS Y SOCIOECONÓMICAS.

El municipio de Zimapán está ubicado en el Estado de Hidalgo, cuyo significado es “lugar donde crece el cimatl” (raíz comestible que sirve para fermentar el pulque)².

Localización geográfica y colindancia.

Se encuentra situado al noroeste del Estado de Hidalgo, siendo sus coordenadas geográficas extremas las siguientes: al norte 20° 57', al sur 20° 34' de latitud norte, al este 99° 12' y al oeste 99° 33' de longitud oeste, a una altitud de 1,760 msnm y abarca el 4.40% de la superficie total del Estado.

Limita al norte con el estado de Querétaro de Arteaga y los municipios de Pacula y Jacala de Ledesma; al este con Jacala de Ledesma, Nicolás Flores e Ixmiquilpan; al sur con Ixmiquilpan, Tasquillo y Tecozautla y al oeste con Tecozautla y por intermedio del río Moctezuma con el Estado de Querétaro Arteaga (ver figura 2.2)³.

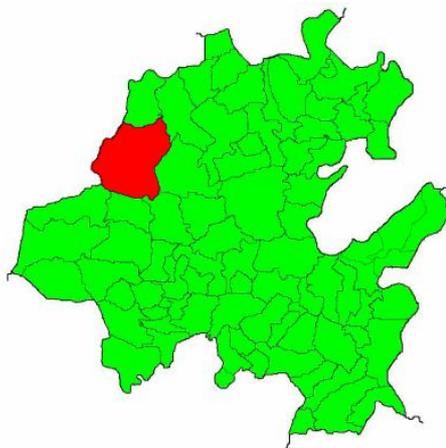


Fig. 2.2. Localización del municipio de Zimapán en el estado de Hidalgo.

Orografía.

Su formación orográfica se caracteriza por accidentadas elevaciones que son parte de la Sierra Madre Oriental, pues los cerros que circundan a Zimapán; presentan un aspecto sedimentario de calizas cretácicas grisáceas demasiadas compactas y fétidas ya que sus estratos contienen hipuritos,

² http://www.zimapan.gob.mx/wb2/municipios/13084_Datos_Demograficos- 5 Oct 2004.

³ INEGI. Cartografía Censal, 1:50 000, 1990. Inédita.

barcenas, nerinéas, castillo, plenopleura, y croceras, que constituyen la composición geológica uniforme de dicha sierra que se extiende en Zimapán y que según su forma, va recibiendo nombres tales como: Cerro del Cirio, El Cidral, La Pechuga, Cerro de Juárez y el mayor altura el cerro del Cangandhó que tiene una altura de 2,820 metros. También se presentan en las cercanías del poblado de Tasquillo, cortezas de granulito y roca basáltica.

Hidrografía.

Su sistema hidrográfico es escaso, ya que siendo el Estado de Hidalgo en su generalidad desértico, Zimapán no es la excepción y solo se hace mención como característica importante que parte de su suelo es regado por el río Moctezuma; si bien tiene pequeños arroyos y barrancas, sus cauces pluviales no son de gran importancia, ya que sólo en época de lluvias contribuyen a regar pequeños sembradíos, además éstas lluvias son escasas, ya que al año se presenta una precipitación media de 391 mm⁴.

Clima.

Zimapán, goza de un clima semicálido y templado medio; siendo por este motivo que tiene una temperatura media anual de 18.8 grados centígrados.

Flora.

Su flora es la típica de las regiones desérticas, observando que el panorama de la región ofrece considerables extensiones de nopaleras, maguey, cardones, biznagas, huisaches, ortigas, mezquites y en reducido número sabinos, álamos, fresnos, nogales y pirús.

Fauna.

Se compone de una variedad de mamíferos, aves y reptiles, entre el medio natural se observa la existencia de conejos, liebres, coyotes, armadillos, zorros, tejones, aves de rapiña como gavilanes, águilas, cuervos, lechuzas y aves canoras jilgueros, calandrias, codornices y cenizos entre otras.

Población.

La población en Hidalgo ha mostrado una tasa de crecimiento relativamente baja, ya que en el año 1930 habitaban en la localidad apenas 1,631 personas, para el año de 1970 el incremento fue casi el doble con 3,191 pobladores, en la década de los noventa se presentó un marcado crecimiento debido a la construcción de la presa Fernando Iriart, con lo que número de habitantes se incrementó hasta casi cuadruplicar la población

⁴ http://www.zimapan.gob.mx/wb2/municipios/13084_Datos_Demograficos- 5 Oct 2004.

existente en 1970, de acuerdo al último censo elaborado por el INEGI en el año 2000 en la cabecera municipal de Zimapán vivían 11,818 personas de las que el 46.9% son hombres y el restante 53.1 son mujeres⁵.

Actividades económicas.

En cuanto a la actividad económica de la región, esta se encuentra dividida en la forma siguiente: el sector primario agrupa las actividades agrícola, ganadera, caza, pesca y los servicios relacionados con estas actividades; en el sector secundario se encuentran concentradas la minería, la industria manufacturera, la generación de energía eléctrica y la construcción; el sector terciario agrupa al comercio, transporte, comunicaciones y servicios. De esas actividades la agricultura y la ganadería presentan un desarrollo reducido y no son garantía en la actualidad de una fuente de trabajo ya que aportan pocos recursos económicos a la región; por otro lado la minería ha sido la actividad preponderante, debido a las características litológicas y estructurales del subsuelo de la entidad, se encuentran numerosos yacimientos minerales de gran importancia económica los cuales contienen oro, plata, plomo, cobre, zinc, manganeso, fluorita y fosforita; por ello Zimapán ha sido un importante distrito minero en actividad desde 1630, y en la actualidad es el principal productor de cobre, plomo y zinc del estado de Hidalgo.

De acuerdo con cifras al año 2000 presentadas por el INEGI, la población económicamente activa de 12 años y más del municipio asciende a 10,001 de las cuales 118 se encuentran desocupadas y 9,883 se encuentran ocupadas como se presenta en la tabla 2.1.

Tabla. 2.1. Población económicamente activa en el municipio de Zimapán.

SECTOR	PEA OCUPADA	%
TOTAL MUNICIPAL	9,883	
PRIMARIO	1,586	16.0
SECUNDARIO	3,213	32.5
TERCIARIO	5,084	51.4

Fuente: INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda, Estado de Hidalgo. México.

⁵ Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática (INEGI). "IX Censo General de Población y vivienda 1970, Estado de Hidalgo". México.
Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática (INEGI). "XII Censo General de Población y vivienda 2000, Estado de Hidalgo". México.

Zonas socioeconómicas

El área urbana actual de Zimapán cuenta con una superficie aproximada de 583 Hectáreas, está compuesta por un centro histórico de gran amplitud territorial, encontrándose conformada por las siguientes zonas:

- a) Zona comercial y de servicios públicos: esta zona tiene una extensión actual de 41.43 Hectáreas y está ubicada básicamente en el área que ocupa el centro histórico de la ciudad, dicha área se complementa con otras más pequeñas que se encuentran dispersas en la mancha urbana.
- b) Zona industrial: ocupa un área de 6.42 Hectáreas y está compuesta por algunas industrias mineras ubicadas al sur de la ciudad.
- c) Zona militar: se encuentra ubicada al noreste de la ciudad y ocupa una extensión de 38.27 Hectáreas, cuenta con servicios propios.
- d) Zona habitacional media: se localiza en el perímetro del centro histórico y cuenta con una extensión de 68.93 Hectáreas; esta zona es la más densa poblada y las construcciones cuentan por lo general con un área de entre 150 y 200 m² con dos niveles y todos los acabados, las viviendas cuentan con todos los servicios.
- e) Zona habitacional popular: cuenta con una extensión de 210.37 Hectáreas y la componen las colonias: El Calvario, Las Limas y parte de Llano Norte, dicha zona cuenta con todos los servicios y las viviendas se caracterizan por estar construidas generalmente con muros de block y cubiertas de concreto, lámina, aplanada en muros y herrería, son generalmente de un solo nivel.
- f) Zona habitacional en conjunto habitacional: ocupa una extensión de 4.9 Hectáreas y está constituida por una unidad de edificios plurifamiliares verticales, cuenta con todos los servicios.
- g) Zona habitacional popular en consolidación: es la de mayor extensión en la ciudad y cuenta con 212.29 Hectáreas, esta zona la componen las colonias la Alberca, El Rosario, parte de Llano Norte y la parte sur de la ciudad⁶.

2.3 INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EXISTENTE.

Fuentes actuales de abastecimiento.

La ciudad de Zimapán sufría de graves problemas en el abastecimiento de agua potable, con la construcción del acueducto Zimapán suministra a la localidad caudales suficientes conjuntamente con el agua subterránea. La construcción del acueducto se llevó a cabo durante el periodo 2003-2004,

⁶ Lara, Juan Antonio. 2003. Planeación y anteproyecto del sistema de abastecimiento de agua potable de la cabecera municipal de Zimapán en el Estado de Hidalgo. El autor. UNAM, México. pp. 19.

con una inversión total de \$26' 702, 204.20, en la comunidad La Cruz perteneciente al municipio; se trata de un pozo profundo denominado Pozo La Vega de La Cruz (ver tablas 2.2 y 2.3).

La población de Zimapán ha consumido agua con altas concentraciones de arsénico durante varias décadas, por ello la CNA y el Instituto de Geofísica de la UNAM realizaron en el año de 1993 un estudio de reconocimiento de la contaminación por arsénico en 55 aprovechamientos de la zona, y encontraron que todos contienen arsénico en diferentes grados de concentración, destacando 17 de ellos por su alto nivel.

Tabla 2.2. Características del Pozo La Vega de La Cruz.

CARACTERÍSTICAS
Profundidad total 250.0 m.
Nivel dinámico 150.0 m.
Nivel estático 29.37 m.
Ademe 12" ø.
Columna 6" ø.
Gasto de explotación 40.00 LPS.
Gasto de aforo 49.00 LPS.
Equipo 150 HP.

Fuente: Comisión Estatal del Agua y Alcantarillado (CEAA).

Tabla 2.3. Localidades beneficiadas por el acueducto Zimapán.

LOCALIDADES BENEFICIADAS
Coaxithí, El Palmar, El Tepozán.
Doxthí.
El Aguacatito y El Tinthé.
El Cuarto.
El rodeo.
Lázaro Cárdenas.
El Tablón.
Tlalpan.
Xindhó.
Xithá II (San Isidro)
Zimapán

Fuente: Comisión de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del municipio de Zimapán (CAPASAZIM).

De acuerdo al estudio realizado, se concluyó que la contaminación del agua subterránea en la zona es de dos tipos la combinación natural y la contaminación inducida, la primera generada por los yacimientos minerales existentes en el subsuelo: plomo, zinc y cobre, destacando los minerales de arsénico que se encuentran en grandes cantidades; la segunda propiciada por los jales, los cuales son desechos metalúrgicos entre los que abunda el arsénico y que son lavados y redepositados en las partes bajas por las

corrientes superficiales. Los aprovechamientos afectados por la contaminación natural, son los pozos y algunos manantiales, y por la inducida las norias principalmente⁷.

Debido a los resultados obtenidos, la Secretaría de Salud y la CNA en acción conjunta, decidieron clausurar aquellas fuentes cuyas concentraciones de arsénico rebasaran la norma establecida para uso y consumo humano, por ello los pozos y norias que aportaban grandes caudales como es el caso del pozo El Muhí, Detzaní y Zimapán II entre otros y que tuvieron que ser cerrados, pusieron en gran dificultad a las autoridades para dotar del suministro adecuado a los pobladores, pues se disponía de los casi 90 l/s antes de tomar las acciones pertinentes⁸.

Las fuentes que satisfacen las necesidades de la cabecera municipal de Zimapán y que aportan en su conjunto 60.2 l/s son las siguientes:

- 1) Batería de pozos someros San Pedro.
- 2) Noria Tierra Colorada.
- 3) Pozo Viejo.
- 4) Pozo Zimapán V.
- 5) Pozo Zimapán I.
- 6) Acueducto Zimapán.

En 1993 se perforó el pozo Venustiano Carranza, del que se obtuvo un gasto de 45 l/s, pero hoy se ha reducido a tan solo 3 l/s⁹.

Infraestructura.

En lo referente a la infraestructura con la que cuenta la localidad, existe una estación de bombeo cercana en el cárcamo San Pedro a 6 kilómetros al oriente de la ciudad, desde donde se bombea el agua procedente de la batería de pozos que lleva el mismo nombre hasta el tanque Venustiano Carranza, para ser conducida por gravedad a la ciudad de Zimapán; también se cuenta con cinco líneas de conducción, cuatro están en servicio y una fuera de operación. Se presenta en la tabla 2.2 un resumen de donde se describen sus principales características (sin considerar el acueducto Zimapán)¹⁰.

⁷⁷ Armienta MA, Rodriguez R, Cruz O. 1997 Arsenic content in hair of people exposed to natural arsenic polluted groundwater at Zimapán, México.- Bull Environ Contam Toxicol, pp. 59; 583-589.

⁸ Comisión Nacional del Agua (CNA). 1999. Estudio de Infraestructura existente en la ciudad de Zimapán, estado de Hidalgo. THORSA Ingenieros S. A. de C. V.

⁹ Comisión de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del municipio de Zimapán (CAPASAZIM).

¹⁰ Comisión Nacional del Agua (CNA). 1999. Estudio de Infraestructura existente en la ciudad de Zimapán, estado de Hidalgo. THORSA Ingenieros S. A. de C. V.

La regulación del sistema está conformada por ocho tanques, de los que cinco se encuentran en funcionamiento y tres fuera de servicio. En la tabla 2.5 se hace una breve descripción de sus características.

Además se cuenta con dos plantas de bombeo (PB-1, PB-2), una caja de cambio de régimen (CCR) con capacidad de 65 m³, una caseta de cloración, 21.582 kilómetros de líneas de conducción del acueducto, los cuales se describen a continuación:

1. 2,343 m de línea de conducción por bombeo (PB-1- PB-2).
2. 4,600 m de línea de conducción por bombeo (PB-2- CCR).
3. 14,639 m de línea de conducción por gravedad con tubería de acero 10" ø (L = 3,483 m) y 8" ø (L = 7,816 m), tubería de a. c. de 10" ø (L = 3,340 m).

En cuanto a los servicios básicos se refiere, el 90% de las viviendas, cuentan con agua potable, y el 80% con alcantarillado; la red de distribución está en regular estado, y se constituye por tubería de asbesto-cemento; en algunas zonas también existe tubería de PVC y fierro galvanizado en diámetros de 2, 2 ½ y 3 pulgadas; debido a que dicha red está interconectada entre sí, no existe sectorización por zonas de presión, excepto en algunas zonas independientes como la Colonia Las Limas.

Tabla 2.4. Características de las líneas de conducción en la ciudad de Zimapán.

LÍNEA DE CONDUCCIÓN	RÉGIMEN	LONGITUD (M)	MATERIAL Y DIÁMETRO	INICIAL	TANQUE
Pozos San Pedro-Venustiano Carranza	bombeo	1894	Fibrocemento 6" de ø (290 m) Acero 6" de ø (1604 m)	Pozos San Pedro	Venustiano Carranza
Venustiano Carranza-El Muhi	gravedad	1607	Fibrocemento 8" de ø	T. Venustiano Carranza	El Muhi
El Muhi-Las Limas	gravedad	1405	Fibrocemento 12" de ø (93 m) Acero 10" de ø (1062 m) Acero 8" de ø (250 m)	T. El Muhi	Las Limas
Las Limas-Llano Norte	gravedad	912	Fibrocemento 12" de ø	T. Las Limas	Llano Norte
Pozo Viejo-Zimapán	bombeo	120	Hierro fundido 2 ½" de ø	Pozo Viejo	Zimapán
Noría Tierra Colorada-Zimapán	bombeo	1200	Fibrocemento 4" de ø	Noría Tierra Colorada	Zimapán
Pozo Zimapán I-Zimapán	bombeo	200	Policloruro de vinilo 6" de ø	Pozo Zimapán I	Zimapán
Pozo Zimapán II-Zimapán (fuera de servicio)	bombeo	750	Fibrocemento 6" de ø	Pozo Zimapán II	Zimapán

Fuente: Comisión de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del municipio de Zimapán (CAPASAZIM).

El sistema de alcantarillado se ha desarrollado con fondos compartidos del municipio y de los usuarios, el servicio es separado, y las zonas que carecen del servicio son: la Popular en Consolidación y parte de la Habitación Popular; otras como Cerro del Calvario, Santiago Centro, El Rosario, y la Alberca descargan el agua de manera provisional a las barrancas de la

región; la tubería que integra la red es de concreto simple en diámetros de 15, 20, 25 y 30 cm, y su estado de conservación es aceptable; en cuanto a la descarga de aguas residuales producto de las actividades domésticas y en menor número de la industria minera son vertidas sin ser tratadas a lo largo de los cauces que atraviesan de oriente a poniente la localidad.

Tabla 2.5. Características de los tanques de regulación en la ciudad de Zimapán.

TANQUE	MATERIAL	ALIMENTACIÓN	CAPACIDAD (M ³)	SECTOR
Zimapán	mampostería	Pozo Viejo Noria Tierra Colorada Excedentes del T. Llano Norte	600	Centro y Sur
Llano Norte	mampostería	Pozos San Pedro	500	Norte
Las Limas	mampostería	Pozos San Pedro	100	Oriente y Las Limas
El Calvario	mampostería	Excedentes T. Zimapán	80	El Calvario
Venustiano Carranza (tanque de paso)	mampostería	Pozos San Pedro	200	El Calvario
El Muhí (fuera de servicio)	mampostería	Pozo el Muhí	40	El Muhí y El Tule
Zona Militar (fuera de servicio)	mampostería	Excedentes T. Llano Norte	250	Zona Militar
Campo Aéreo (fuera de servicio)	mampostería	Pozos San Pedro	55	Campo Aéreo

Fuente: Comisión de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del municipio de Zimapán (CAPASAZIM).

2.4 PRONÓSTICOS DE RESERVAS DE LOS MANTOS FREÁTICOS EN ZIMAPÁN.

La precipitación anual en el municipio de Zimapán es de 409.0 mm, según 40 años de observación por la estación meteorológica denominada Zimapán, la precipitación se distribuye mensualmente según la tabla 2.6.

Fuentes superficiales.

Próximo a la ciudad de Zimapán, existen dos corrientes superficiales, el Río Tula y el Río Moctezuma, ríos que en este momento son poco factibles de ser utilizados como fuente de abastecimiento para agua potable, más no así para el riego. A pesar del grado de contaminación que presentan, la CNA ha permitido el riego con esta agua sólo para forrajes y granos, aunque no se descarta que se puedan cultivar otras especies si se trata el agua para hacerla apta para el riego; además de promover que los diferentes niveles de gobierno y sociedad, sumen voluntades y esfuerzos para realizar las acciones que permitan el adecuado saneamiento de estos ríos¹¹.

¹¹ <http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Directorio/Default.aspx>- 12 Oct 2004.

Tabla 2.6. Precipitación mensual promedio de Zimapán.

MES	PRECIPITACIÓN (MM).
Enero	11.5
Febrero	4.6
Marzo	6.8
Abril	20.5
Mayo	39.4
Junio	80.4
Julio	50.1
Agosto	63.6
Septiembre	78.7
Octubre	35.5
Noviembre	11.5
Diciembre	6.5

Fuente: CGSNEGI. Carta de Climas, 1:1 000 000.

Fuentes subterráneas.

Se han identificado como fuentes potenciales para el abastecimiento de agua potable a la cabecera municipal las que se describen a continuación.

Sistema hidrogeológico de Zimapán¹².

Este sistema es el que tradicionalmente ha abastecido a la ciudad de Zimapán, sin embargo no se han realizado estudios hidrogeológicos profundos para analizar las características del acuífero y sus mecanismos de recarga.

Dicho sistema se encuentra limitado al oeste por la cabalgadura El Doctor, al noroeste por la falla Jiliapan, al norte por el Río Moctezuma y al sur por las tobas y andesitas alteradas que conforman el sistema hidrogeológico denominado como “C de rocas alteradas”, ver Fig. 2.2.

Las calizas de este sistema las de mayor permeabilidad en la zona, fueron las más afectadas por la mineralización, los esfuerzos de compresión y tensión que se presentaron en el Cretácico Superior- Terciario Inferior, plegaron y fracturaron la roca, favoreciendo con ello la circulación de soluciones hidrotermales mineralizadas, dando como consecuencia el emplazamiento de importantes yacimientos minerales de: Galena(Plomo), Blenda(Zinc), Argentita(Plata), y otros minerales secundarios como Pirrotita(Hierro) y Arsenopirita(Arsénico) que generalmente están asociados.

¹² Lara, Juan Antonio. 2003. Planeación y anteproyecto del sistema de abastecimiento de agua potable de la cabecera municipal de Zimapán en el Estado de Hidalgo. El autor. México. pp. 51-54.

Estas rocas tienen como basamento hidrogeológico las lutitas y limonitas de la Formación Las Trancas y confinante superior a las lutitas y calizas arcillosas de la Formación Soyatal.

En este sistema hidrogeológico el más importante hasta ahora por constituir el principal acuífero de la región, se tienen identificados tres subsistemas, denominados I, II y III, definidos por igual número de sinclinales, limitados en sus flancos por los anticlinales que actúan como parteaguas hidrogeológico. En estos subsistemas, la zona de recarga se encuentra en las partes de mayor elevación, induciéndose un flujo subterráneo hacia el sureste, paralelo al tren estructural.

El subsistema I, formado por el sinclinal Maconi, el más occidental del sistema, está limitado al suroeste por la cabalgadura El Doctor y al noroeste por el anticlinal El Piñón, que contiene las minas de la zona y sobre el que se localizan todos los pozos que cortaron calizas y que estaban en operación, y al igual que otros manantiales localizados en este subsistema, se encontraron concentraciones de arsénico mayores a las que establece la norma.

El subsistema II formado por el sinclinal Aguacate y el subsistema III formado por el sinclinal El Fraile, presentan características similares; sin embargo, en estos subsistemas no existen pozos de los que se pueda obtener información, pero debido a que sólo existe una pequeña mina, se intuye que el agua subterránea no se encuentra contaminada por arsénico o que la concentración de este es mínima.

La explotación de este sistema hidrogeológico con fines de abastecimiento, debe considerar la adecuada potabilización del agua subterránea, pues es posible que no solo esté contaminada con arsénico sino que aunado a este, se encuentre plomo, zinc y otros elementos tóxicos, que también pudieran rebasar la norma.

Sistema hidrogeológico “C de rocas alteradas”¹³.

Este sistema está limitado al norte por el sistema hidrogeológico de Zimapán y está constituido por rocas andesíticas alteradas que cubren a las rocas jurásicas y cretácicas.

En algunas áreas la alteración de estas rocas es tan alta que ha generado potentes espesores de material arcilloso de muy baja permeabilidad. El espesor promedio de estos materiales se estima en 400 m.

En este sistema se han perforado pozos para riego que han resultado negativos o de bajo caudal, alcanzando profundidades de hasta 210 m.

¹³ *Ibíd.* Pp. 54-55.

A pesar de la baja probabilidad de localizar pozos con buena producción para uso agrícola, es posible aprovechar pozos con capacidad hidráulica comprobada, con fines de abastecimiento, ya que el agua de este sistema hidrogeológico es de buena calidad.

En el año de 1997 se equipó el pozo agrícola Álvaro Obregón, localizado en este sistema hidrogeológico, en el poblado Álvaro Obregón a unos 40 m de la cortina de la presa del mismo nombre. De acuerdo a las pruebas de aforo se recomendó su explotación con un gasto de 12 l/s, el agua es de buena calidad, ya que la concentración de arsénico resultó de 0.0013 mg/l.

Otra alternativa de aprovechamiento, la constituye el manantial Bandhó, que se localiza al oriente de Zimapán a unos 14 kilómetros. La zona de afloramiento se ubica en las profundidades de la barranca Los Álamos, siguiendo la corriente del mismo nombre. El caudal aprovechable de este manantial es de 14 l/s y la concentración de arsénico determinada resultó de 0.005 mg/l.

2.5 ALTERACIONES DE SALUD POR FALTA DE AGUA Y ALIMENTOS.

El agua se ingiere no sólo al beber sino también al comer, pues casi todos los alimentos la contienen en abundancia: las frutas y verduras contienen 80% de agua; el arroz y las pastas hervidos, un 70%, y el pan alrededor de 35%. Por tanto, generalmente no se necesita beber mas de 6 a 8 vasos de agua por día (es decir, alrededor de unos dos litros).

Es raro que el organismo padezca por falta de agua. Los atletas y quienes hacen ejercicios vigorosos pierden sodio, potasio y cloro, además de agua pero por lo común la alimentación normal permite reponerlos; además, los riñones tienen capacidad para regular los niveles de aguas, sodio y potasio en la orina cuando la ingestión de dichos elementos sufre alteraciones o cuando se suda intensamente. No se necesita tomar pastillas de sal, ni bebidas, polvos o alimentos especiales para deportistas; en realidad, aun cuando dichos productos son dulces y apagan la sed, provocan que la persona beba menos agua lo cual es más perjudicial que beneficioso. Si una persona bebe demasiada agua, no tiene porque inquietarse: los riñones se encargarán de eliminar el exceso; además, en realidad el agua no engorda puesto que no contiene calorías. En cambio, los refrescos, las bebidas alcohólicas, las limonadas, los jugos y las malteadas son muy ricos en calorías¹⁴.

¹⁴ <http://www.monografias.com/trabajos/nutricion/nutricion.shtml> - 14 Oct 2004.

Las enfermedades relacionadas con el agua son una tragedia humana que cada año causa la muerte a más de 5 millones de personas - 10 veces más que las víctimas de guerra-.

Aproximadamente 2,300 millones de personas padecen enfermedades relacionadas con el agua. Un 60 por ciento de la mortalidad infantil mundial es causado por enfermedades infecciosas y parasitarias, la mayoría relacionadas con el agua¹⁵.

El agua contaminada sirve de vehículo en la transmisión de numerosas enfermedades, entre las que podemos mencionar: el cólera y la fiebre tifoidea, causadas por bacterias; la hepatitis infecciosa, causada por virus; y la disentería amibiana, causada por parásitos¹⁶.

La contaminación de los alimentos consiste en la presencia en éstos y otros productos relacionados, de sustancias de origen biológico o químico y riesgoso o tóxico para la salud del consumidor.

La contaminación biológica alimentaria, es un fenómeno que se presenta por la invasión de microbios patógenos durante la elaboración, la manipulación, el transporte y la distribución al público de los alimentos, u originada por el mismo consumidor. Las principales causas son las siguientes:

- Animales enfermos que dan origen a productos contaminados. Tal es el caso de vacas lecheras con tuberculosis, que producen leche con el bacilo de la TBC; la leche y el queso que producen la fiebre de Malta, especialmente de origen caprino; la carne de cerdo infectada con triquina, y muchos otros casos.
- Portadores de enfermedades que manipulan alimentos y los contaminan. Los casos más patéticos son los enfermos de TBC, de cólera, de tifoidea, y de enfermedades gastrointestinales, entre otros.
- La contaminación de alimentos durante la elaboración, manipulación, transporte y distribución al público por falta de las previsiones sanitarias requeridas. Son muy frecuentes los casos de verduras contaminadas por riego y lavado con aguas servidas; la manipulación de alimentos en lugares sucios (suelo, polvo, etc.); el contacto de los mismos con animales, como los perros; el transporte en forma no higiénica (sin refrigeración, sin cobertura, etc.); y el deterioro por almacenamiento prolongado sin las medidas necesarias (refrigeración)¹⁷.

¹⁵ www.unesco.org/water/index_es.shtml - 27k - 20 Oct 2004

¹⁶ <http://www.netsalud.sa.cr/aya/club/chapt06.htm>- 20 Oct 2004

¹⁷ http://www.peruecologico.com.pe/lib_c25_t03.htm- 20 Oct 2004

La malnutrición no es más que uno de los aspectos de la pobreza, que comporta muchos de los aspectos colaterales sobre el desarrollo de la personalidad. En los niños que hasta los tres años no reciben una alimentación completa, el cerebro no se les llega a desarrollar normalmente – no pudiendo desarrollarse después. Las carencias de tipo nutritivo, originan muchas alteraciones metabólicas, que dan paso a alteraciones sensoriales, afectivas y educativas. Aunque sabemos, que sólo la dieta alimenticia sola no basta para luchar contra las deficiencias derivadas de las anomalías de tipo nervioso¹⁸.

Reflexionar que lo más valioso de un país son precisamente sus habitantes, torna muy preocupante el hecho de que más de cuarenta millones de connacionales están subalimentados, en especial las nuevas generaciones. Es de imaginarse el destino que nos espera, si no se implementan acciones para impulsar desde sus cimientos al campo, la industria agropecuaria, y el aprovechamiento total y racional de los recursos marinos y acuícola, donde el único interés y objetivo sea devolver a la población su nutritiva alimentación y capacidad productiva¹⁹.

En el futuro, la agricultura deberá responder a los modelos cambiantes de la demanda de alimentos y contribuir al alivio de la inseguridad alimentaria y la pobreza entre las comunidades marginalizadas. Para ello, la agricultura deberá competir con otros usuarios por la escasa agua disponible y al mismo tiempo reducir la presión en el ambiente. El agua será el elemento clave en la tarea de elevar y sostener la producción agrícola de manera de satisfacer esas múltiples demandas. Por lo tanto, las políticas y las inversiones en la agricultura deberán ser más estratégicas. Deberán descubrir el potencial del manejo del agua para la agricultura a fin de mejorar la productividad, difundir el acceso equitativo al agua y conservar la productividad natural de la base de recursos hídricos²⁰.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) está convencida de que la solución al problema de satisfacer las necesidades futuras de alimentos y agua reside en la mejora de la productividad agrícola y en la explotación eficaz del agua. Mediante la utilización de mejores semillas, el fomento de la fertilidad de los suelos y una utilización más racional, del agua para fines agrícolas; los agricultores obtendrían rendimientos más elevados y podrían sacar mayor provecho de los valiosos recursos hídricos²¹.

¹⁸ <http://www.biologia.org/revista/pdfs/39.pdf>- 20 Oct 2004

¹⁹ http://www.mexicotm.com/interior/pn/pn_ideologia_ncp.html- 22 Oct 2004

²⁰ ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/unlocking_s.pdf- 22 Oct 2004

²¹ http://www.revistainterforum.com/espanol/articulos/101402Naturamente_agua.html- 22 Oct 2004

2.6 ALTERACIONES PRODUCIDAS A LA SALUD POR EL ALTO CONTENIDO DE ARSÉNICO EN EL AGUA POTABLE.

Estudios de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) y de los Servicios de Salud de la entidad, revelaron que los más de 40 mil habitantes del municipio de Zimapán, ubicado en las áridas tierras del Valle del Mezquital, consumen agua potable con residuos de arsénico, que ponen en riesgo la salud.

De hecho, Luís Mario Urquira Aguilar, subdirector de la jurisdicción sanitaria número 5, del sector salud, reconoció que hay entre 40 y 50 casos de dermatitis, principalmente en los niños y los adolescentes, que ya han sido canalizados a hospitales de segundo nivel, para determinar si los problemas en la piel, son provocados por el consumo de agua con arsénico²².

La exposición a niveles altos de arsénico ocurre principalmente en los sitios de trabajo, en las cercanías de lugares en los que se disponen desechos peligrosos o en áreas con alto contenido de este elemento por causas naturales. Dada la ubicuidad en el ambiente los humanos están potencialmente expuestos al arsénico presente en el agua, aire, suelo y alimentos.

El arsénico puede encontrarse en ambientes bióticos y abióticos, en los depósitos de sulfuros, se encuentran altas concentraciones de arsénico que son en promedio de varios cientos de ppm (partes por millón), como elemento libre, y como arseniuros, arsenatos o como algunas formas de productos de oxidación. El contenido de dicho electo en rocas ígneas (tales como basalto, granito y volcánica) varía considerablemente, en promedio de 2 a 3 ppm (0.02-0.03 mg/l) pero puede ser superior a 100 ppm (1 mg/l); en rocas sedimentarias también varía en cantidades pequeñas en piedra caliza y arenisca; en algunos minerales de manganeso y en rocas sedimentarias como arcillas, fosfatos y los óxidos de hierro y manganeso, el arsénico se encuentra en cantidades muy elevadas.

La OMS establece un valor guía de 0.01 mg As/l en agua para consumo humano, la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de Norte América (USEPA), clasifica el arsénico como un cancerígeno, debido a la evidencia de sus efectos adversos sobre la salud. La exposición a 0.05 mg As/l puede causar 31.33 casos de cáncer de la piel por cada 1,000 habitantes, por lo que dicho organismo ha considerado bajar el límite máximo de aceptación de 0.05 mg as/l, al de 0.01-0.02 mg As/l, la Norma Oficial Mexicana NOM- SSA-127 de la calidad del agua para uso y consumo humano establece que el límite máximo permisible es de 0.05 mg As/l²³.

²² <http://www.jornada.unam.mx/2001/ago01/010822/034n2est.html>- 23 Oct 2004

²³ http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_01.pdf- 25 Oct 2004

En 1990, en el Centro de Salud ubicado en la ciudad de Zimapán Hidalgo, se descubrió que algunos niños del sector de la ciudad, presentaban irritaciones en la piel y arsénico en la sangre, motivo por el que se empezó a investigar sobre los alimentos y tipo de agua que consumían, encontrando que esta última está contaminada con arsénico en concentraciones de 1.35 mg/l, 27 veces mayor al valor que la norma vigente establece. La tabla 2.7 se muestran las diferentes normas que establecen los niveles máximos de arsénico.

Tabla 2.7. Normas que establecen los niveles máximos permitidos de contenido de arsénico en agua.

NORMA ACTUAL	CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO
Norma de la Organización Mundial de la Salud(OMS)	0.010 mg/l
Norma Mexicana	0.050 mg/l
Norma Chilena	0.050 mg/l
Norma en Estados Unidos	0.050 mg/l
Norma Argentina	0.050 mg/l
Norma Francesa	0.050 mg/l
Norma Alemana	0.010 mg/l

Fuente: <http://hypatia.morelos.gob.mx/No12/latas.html> 25 Oct 2004.

Como nuestro país es uno de los principales productores de: Ag, Zn, Cu, Pb, además de As, y sobre todo destaca el distrito minero de Zimapán en la producción minera de metales de este tipo, la exposición al As es elevada en la población en general, ya sea por contaminación industrial o por hidroarsenismo crónico regional endémico, la población potencialmente susceptible a la exposición es numerosa y ampliamente dispersa en todo México, sobre todo en Zimapán. Donde cabe destacar que desapareció la industria minera y el As procede de un origen natural por lixiviación de minerales arseniados a través de mantos acuíferos y su paso por distintas capas geológicas del suelo de la región²⁴.

El arsénico se encuentra distribuido a lo largo del Río Tolimán, las mayores concentraciones se encuentran en dos zonas: 1) Frente a los depósitos de jales que se hayan en las márgenes del río, cerca del poblado de Zimapán y 2) En las zonas mineralizadas del Carrizal y de la Luz. En la primera zona estas concentraciones se deben principalmente a la erosión y lixiviado de los jales los cuales son ricos en sulfuros y minerales de arsénico, que por

²⁴ Pérez, Héctor Fernando. 1996. Estudio químico de la remoción de arsénico en aguas potables contaminadas en el Distrito minero de Zimapán, Hidalgo. El autor. UNAM, México. pp. 79.

procesos de transporte y oxidación suministran arsénico a los sedimentos fluviales activos²⁵.

De acuerdo al estudio realizado por la Doctora Armienta del Instituto de Biofísica de la UNAM para determinar los efectos que produce la ingestión de agua contaminada con arsénico en la población de Zimapán; se observaron algunas relaciones entre las concentraciones de arsénico en el agua bebida y el cabello de 120 habitantes del municipio. También se observaron alteraciones en la piel como hiperpigmentación, hipopigmentación e hiperqueratosis, en 97 individuos²⁶.

De acuerdo a lo reportado por Armienta, dosis crónicas de 0.05 a 0.1 mg/kg/día de arsénico inorgánico por la vía oral, pueden causar problemas neurológicos y hematológicos en humanos. La ingestión de más de 4 mg/l produce efectos a la salud, tales como hiperpigmentación, hipopigmentación, verrugas o granos en las palmas y plantas, y áreas de hiperpigmentación entremezcladas en la cara, cuello y espalda; por otro lado existen numerosas evidencias epidemiológicas de que el arsénico inorgánico se asocia con cáncer de piel y órganos internos cuando es ingerido²⁷.

El arsénico puede ingresar al cuerpo a través de cuatro rutas: inhalación, absorción a través de la piel, ingestión e inyección; del análisis de los estudios realizados se concluyó que la vía de exposición del arsénico es la ingestión, y que tanto el contacto dérmico durante la natación o el baño, pueden ser también vías importantes.

Ante estos problemas de salud entre la población del municipio en lo referente a la exposición a altas concentraciones de arsénico en el agua de uso y consumo humano, se construyó el acueducto Zimapán, el cual solucionó de manera definitiva el abastecimiento de agua potable de buena calidad a la ciudad de Zimapán y a 16 comunidades del municipio; en cuanto a la problemática de la generación de alimentos todavía no se vislumbra ninguna propuesta de solución, razón por la cual el presente trabajo aborda este problema, al generar alternativas viables de solución; entre las que se propone un distrito de riego para el municipio adoptando un sistema de riego para no estar dependiendo en su totalidad de una agricultura de temporal; para determinar que sistema de riego es el más propicio para el distrito se requiere de una metodología para su planeación, tema que se desarrollará en el siguiente capítulo.

²⁵ García, Alfonso. 1997. Distribución y especiación del arsénico en sedimentos fluviales del Río Coliman en Zimapán, Hgo. El Autor. UNAM, México. pp. 74.

²⁶ Armienta MA, Rodríguez R, Cruz O. 1997 Arsenic content in hair of people exposed to natural arsenic polluted groundwater at Zimapán, México.- Bull Environ Contam Toxicol, pp. 59; 583-589.

²⁷ Armienta MA, Rodríguez R, Aguayo A, Cenicerros N, Villasenor G, Cruz O. 1997. Arsenic contamination of groundwater at Zimapán, México. Hydrogeol J, pp. 5, 39-46.

CAPÍTULO 3.

METODOLOGÍA DE LA PLANEACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO PARA ZIMAPÁN.

Antes de llevar a cabo la elección de un sistema de riego, se debe recurrir a información que nos lleve de la mano para planear que tipo de sistema es el más apropiado para implantarse en el municipio, así se podrá evitar el empirismo y de gastos innecesarios debidos a una mala elección. En el presente capítulo se dan a conocer estudios que son importantes de realizarse y tomarse en cuenta para la elección de un sistema de riego, logrando con ello que las decisiones que se tomen al elegir dicho sistema sean confiables y viables para el distrito de riego que se planeó.

3.1 GENERALIDADES Y NOCIONES DE METEOROLOGÍA⁴².

Generalidades.

Todo proyecto hidráulico requiere para su realización llevar a cabo un conjunto de estudios previos antes de ejecutar las obras necesarias. Estos estudios son de gran importancia en los sistemas de riego, debido a que comprenden una serie de variables como son: los fenómenos meteorológicos, aspectos socioeconómicos y culturales, políticos, topográficos, hidrográficos y también los estudios que se hagan sobre el tipo de suelo entre otros.

Al efectuar los estudios anteriores, se pueden planear y diseñar en forma óptima los sistemas de riego. Esto quiere decir que de todas las ventajas y desventajas que ofrecen el conjunto de variables, se tratará de interrelacionar a éstas para encontrar la opción u opciones que más convengan, lo que dará como resultado será que el sistema de riego que se construya opere con sistema de canales de distribución y de drenaje que permite llevar el agua hasta las parcelas para que exista un buen aprovechamiento de ella, lo cual acompañado de una adecuada administración y control del sistema de riego, traerá mejoras a la población o poblaciones que dependan de él.

⁴² Núñez, Javier. 1987. Metodología en la planeación para el desarrollo de sistemas de riego. El autor. UNAM, México. pp. 17-24.

Nociones de meteorología.

Meteorología es la ciencia que estudia los fenómenos que ocurren en la atmósfera, tales como: viento, precipitación, temperatura, etc. El comportamiento de estos fenómenos en un determinado lugar y por un cierto tiempo se llama clima. La meteorología es una rama de la física, debido a que la atmósfera es una mezcla de gases, donde la interrelación entre temperatura, presión y volumen sigue las leyes de la dinámica y termodinámica. Además está relacionada con la geografía, ya que la latitud, altitud, localización y topografía de áreas de tierra y agua, afectan las características y distribución de los elementos meteorológicos sobre la superficie terrestre.

- 1. Estudios climatológicos.** Debe tomarse en cuenta que los conocimientos relacionados con la atmósfera y el suelo son de extrema importancia cuando se desea elaborar un proyecto rentable para una zona agrícola, el clima y los factores meteorológicos son los que darán a una determinada región amplias o nulas posibilidades de desarrollo agrícola, ya que, puede generarse un proyecto de grandes dimensiones, pero si no se contará con los estudios climatológicos necesarios y suficientes, el proyecto puede convertirse en una inversión perdida por ciclones, falta o demasía de la precipitación, clima inadecuado para un determinado cultivo, etc.

El clima ejerce una influencia determinada sobre las posibilidades agrícolas de una zona, por los efectos directos en el desarrollo de los cultivos, en las características del suelo y en las disponibilidades hidráulicas en general. La potencialidad de una región determinada, las actividades que en ella se desarrollan y el fruto de las mismas están sujetas a las condiciones y procesos atmosféricos que tienen lugar en el curso de un ciclo agrícola de un año cualquiera. A medida que se tenga un mayor conocimiento de cada uno de estos elementos, pueden hacerse interpretaciones más correctas respecto a su influencia sobre los cultivos y suelo, y se podrá buscar también la más correcta adaptabilidad de las plantas de cultivo a las variaciones climatológicas, defendiéndolas a las desfavorables y aprovechando a su máximo las favorables.

La sucesión de los fenómenos meteorológicos, tiene pues influencia sobre la distribución de cultivos que se consideren en el plan de riegos, determinando las fechas de siembra más convenientes y consecuentemente la programación de los riegos y sus coeficientes, interviniendo también en los cálculos de probables aportaciones y extracciones de los vasos de almacenamiento y afectando en diferentes formas la operación del sistema de distribución.

Para el estudio de estos aspectos tan variables, en los sistemas de riego, se han instalado estaciones termopluviométricas convenientemente distribuidas en toda el área con el objeto de contar con datos abundantes y correctos que permitan definir con mayor precisión posible, las características de los factores climatológicos, obteniendo así un mayor aprovechamiento de las disponibilidades hidráulicas y mayores rendimientos en los cultivos, eliminando el empirismo y reduciendo a un por ciento mínimo los factores desconocidos fuera de control, dando así más seguridad a la agricultura.

2. Evaporación. La evaporación, es un proceso mediante el cual moléculas de agua que se encuentran contenidas en un recipiente, sea éste natural o artificial, o en la superficie terrestre, adquieren debido a la acción del sol, la suficiente energía cinética, pasando del estado líquido al gaseoso.

La evaporación está relacionada con una diferencia entre la presión del vapor de la masa de agua y la existente entre el aire sobre la superficie de la misma, la temperatura del aire y del agua, velocidad del viento, presión atmosférica y la calidad del agua. La medición del grado de evaporación de una región se hace en forma directa usando un evaporímetro. El evaporímetro más usual consiste en recipiente circular de lámina, abierto en su parte superior, de aproximadamente 1.20 m. de diámetro y 0.26 m. de alto.

3. Heladas. Para la mayoría de los cultivos comercialmente importantes el crecimiento se detiene cuando la temperatura se acerca al punto de congelación. Para salvar el problema, es necesario conocer primero la forma en que las heladas ocurren para así minimizar las pérdidas causadas por ellas.

4. Transpiración. Se denomina transpiración, al proceso por el cual el vapor del agua se desprende de las plantas vivas, principalmente de las hojas y pasa a la atmósfera. Durante el periodo de desarrollo de un cultivo, hay un continuo movimiento del agua de riego que pasa desde el suelo al interior de las raíces, sube por los tallos y sale por las hojas de la planta. Las plantas retienen solo una pequeña parte del agua que absorben las raíces.

La velocidad del movimiento del agua a través de la planta varía de 0.3 a 1.8 m., por hora, pero en condiciones de temperatura excepcionalmente altas, de atmósfera seca y de tiempo ventoso, ésta velocidad puede aumentar enormemente. Si la velocidad de

evaporación en las hojas excede de la absorción de las raíces, se pone en marcha el proceso de marchitamiento del vegetal.

5. Temperatura. Este aspecto y los anteriores, están íntimamente relacionados ya que la presión de vapor depende de la temperatura. La cantidad de emisión de moléculas de la masa de agua está en función de su temperatura, ya que a mayor temperatura, mayor será la energía molecular liberada. La evaporación no depende de la temperatura de la superficie del agua, sino del resultado directo del incremento en la presión del vapor con la temperatura.

La temperatura es un factor de mucha importancia en el uso consuntivo o evapotranspiración, y para los cultivos su crecimiento está en función de la radiación solar, esto quiere decir que a temperaturas bajas el crecimiento de las plantas es lento. El uso consuntivo del agua puede variar grandemente aún en años de iguales temperaturas acumuladas debido a las desviaciones de la distribución normal estacional. La transpiración no está influenciada exclusivamente por la temperatura, sino también por el área foliar y las necesidades fisiológicas de la planta, las que están relacionadas a la etapa de madurez.

6. Viento. El viento, es un elemento efectivo para remover las moléculas que se desprenden de la superficie del agua a la evaporación, lo que origina variaciones en las características de la masa de aire que se encuentra sobre ésta. Puede así, traer masas de aire caliente, lo cual origina un aumento de evaporación; si la masa de aire es fría, puede disminuir la evaporación, e incluso, favorecer la condensación.

El viento es de importancia también para generar precipitaciones originándose estas con el enfriamiento de aire mas ligero y cálido con masas de aire densas y frías, a este tipo de precipitaciones se les llama por convección.

Otro tipo de precipitación, es la orográfica y es cuando el viento al chocar con las barreras montañosas tiende a subir lo que en ese momento puede provocar el fenómeno de convección y consecuentemente la precipitación. Existe la precipitación ciclónica, que está asociada al paso de ciclones y está ligada con superficies frontales entre masas de aire de diferentes temperaturas y contenidos de humedad. Al realizar los estudios previos del viento en la zona donde se requiere el sistema de riego, se puede y debe considerar si se trata de una zona ventosa, ya que ésta tiene más probabilidad de generar precipitaciones que se puedan aprovechar para la agricultura.

7. Precipitación. La precipitación, es una componente fundamental del ciclo hidrológico y se ha tomado como el inicio del análisis de dichas componentes. Esta precipitación es el agua que recibe la superficie terrestre en cualquier estado físico, proveniente de la atmósfera, como ya se mencionó en el punto anterior, para que exista precipitación es necesario el enfriamiento de la atmósfera hasta que el aire se sature con el vapor de agua originándose la condensación del vapor atmosférico.

3.2 ESTUDIOS: SOCIOECONÓMICOS, TOPOGRÁFICOS, HIDROLÓGICOS, AGROLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS.

Estos estudios son necesarios para determinar en gran medida cual es el sistema de riego que es el más propicio para determinado tipo de región y así obtener un máximo beneficio del mismo.

A. Estudios Socioeconómicos⁴³.

- 1. Localización del área.** Al proyectarse un sistema de riego, se deberán tomar en cuenta como datos importantes la localización geográfica, definiendo sus grados de latitud en la que se encuentra; así como su altitud promedio sobre el nivel del mar. Esto puede ser tomado en cuenta para definir los tipos de cultivos que son recomendables.
- 2. Situación política.** Se considerarán los estudios relativos a los límites geográfico-políticos, que tenga y cubra el proyecto con respecto a otros estados de la República o incluso a los municipios de un mismo estado, así como, también mencionar si tiene relación o límites con algún arroyo o río importante o que involucra éste como ya se dijo antes a dos o más estados colindantes. La superficie estudiada para el sistema de riego tendrá que ser definida con respecto a los puntos cardinales.
- 3. Vías de comunicación.** Para que el sistema de riego pueda ser explotado en cuanto a la distribución oportuna de los productos, así como, mantener las instalaciones en buen funcionamiento, es conveniente que el sistema cuente con buenas vías de comunicación.

Al proyectarlo, se tomarán en cuenta los caminos de terracería que conduzcan a la región agrícola, que tipo de vehículos puede circular y los inconvenientes que pueda presentar en épocas de lluvias.

⁴³ *Ibíd.* pp. 25-29.

También se debe considerar de manera importante qué tipos de carreteras principales están cerca del distrito de riego o como sucede en varios casos la carretera principal cruza a éste, en caso de que así suceda, esto ayuda en gran parte al buen funcionamiento del sistema de riego.

- 4. Tenencia de la tierra.** Dentro de los sistemas de riego y de conformidad con la codificación agraria del país, desde el punto de vista del régimen de la propiedad, se tienen tres tipos de agricultores: antiguos propietarios, colonos y ejidatarios.

Debido a la extensión de terreno a la que tiene derecho a usar cada uno de estos tipos de usuario es diferente; ya que en la mayoría de los casos la tierra ya está repartida de manera irregular antes de la formación del sistema de riego por lo que se tiene que la estructura y distribución de los sistemas no obedece a la forma regular y organizada con que éstos se proyectan y realizan, sino que por el contrario, generalmente el fraccionamiento se encuentra sin concordancia con la cuadrícula de coordenadas de los levantamientos de planeación. Esta situación aunada a la también diferente condición jurídica, social y económica de cada uno de ellos, influye en la administración del sistema de riego.

Lo conveniente al realizar este estudio es adaptar el sistema de riego de acuerdo a la distribución de las tenencias de la tierra y de ser posible de los cultivos, es decir, de tal manera que el sistema aún y con sus variaciones en lo planeado resulte eficiente en todos sus canales para que la dotación de agua llegue a todos los cultivos.

- 5. Aspectos socioeconómicos.** Son cuatro los aspectos socioeconómicos de más importancia a considerar en la planeación y proyecto de los sistemas de riego.

- La demografía, es importante señalarla en el proyecto para saber como está distribuida la población que obtendrá los beneficios, así como, también observar la tendencia de su crecimiento para tomar en cuenta las necesidades que puede presentar la población en el futuro en relación a las ampliaciones o modificaciones que pretendan del sistema de riego.
- Este proceso es necesario estudiarlo o investigarlo para tomar en cuenta los porcentajes de la población económicamente activa en el sector agropecuario, ya que gracias a esto se puede evaluar la importancia que tendrá el sistema de riego proyectado en la población y desde luego la misma población para el sistema.

- El nivel de conocimientos sobre aspectos agropecuarios es de consideración ya que no basta que un gran porcentaje de la población se dedique a la agricultura cuando esta población carece de los conocimientos modernos sobre como aprovechar mejor la tierra, el agua y la maquinaria necesaria para los cultivos y cosechas. Actualmente debido a la gran demanda de los productos agrícolas se requiere de que éstos sean distribuidos en forma rápida y segura para el inmediato consumo, esto exige a los trabajadores del campo que estén actualizados en las técnicas y maquinaria agropecuarias. El sistema de riego resultará beneficiado ya que explotará convenientemente de acuerdo a lo planeado.
- Debido a que la práctica de la agricultura está en función de la época conveniente para cada cultivo, resulta no deseable que en las poblaciones agrícolas la mayor parte de la población dependa económicamente de ella ya que cuando esto suceda puede ocasionar grandes trastornos y desequilibrios a la población y en gran escala al país como sucede con algunas poblaciones de la república Mexicana.

Se debe estudiar el nivel económico de la población o poblaciones beneficiadas por la implantación de un sistema de riego para ocasionar o verse afectado por el desempleo cuando no se producen cosechas.

B. Estudios Topográficos⁴⁴.

La topografía del terreno debe tenerse muy en cuenta durante la planeación y ejecución de la distribución del agua, tratando de que se rieguen en primer lugar las tierras más altas, con el objeto de que los canales trabajen con tirantes altos el menor tiempo posible y consecuentemente las pérdidas de conducción sean menores. Por otra parte, en aquellos casos en que se utilicen vasos intermedios en la distribución del agua, al regar primeramente las tierras altas reviste importancia fundamental, ya que una extensión a veces importante de terrenos solamente puede regarse cuando el vaso tiene un máximo nivel de embalse y determinado valor. De manera que si una porción de estas tierras se queda sin regar, por alguna circunstancia habiendo descendido el nivel del vaso, para poder proporcionarle el riego será necesario subir nuevamente al nivel de embalse; para lo que a veces se requerirá derivar grandes volúmenes, pues un centímetro de la escala del vaso puede representar gastos fuertes sostenidos durante tiempo considerable, sufriendo grandes pérdidas por evaporación y filtración en los vasos y con riesgo además de quedarse con volúmenes

⁴⁴ *Ibíd.* pp. 30-31.

sobrantes almacenados. La tendencia es ir bajando los vasos de tal manera que al finalizar de regar queden prácticamente vacíos.

Considerando la distribución del agua a nivel de parcela, la topografía influye en forma decisiva en la solución del método de riego, en la orientación del mismo y en general en el trazo y características de regaderas, surcos, melgas, etc. Cuando se prevén posibles inundaciones por avenidas, el alto dato de la topografía es muy útil para determinar lugares de posibles fallas y proceder a su refuerzo, se pueden también estimar las zonas que probablemente resultarán inundadas.

En los distritos donde todavía hay necesidad de construir drenes, la topografía es indispensable para su localización y trazo; así como, para el cálculo de escurrimientos.

C. Estudios Hidrológicos⁴⁵.

La Hidrología, estudia los fenómenos hidrometeorológicos que gobiernan las precipitaciones y escurrimientos de las aguas y que determinan las sequías y las grandes avenidas, estudia también las modificaciones que sufre el agua en la superficie de la tierra, producidas por la evaporación del suelo, compara las variaciones de escurrimientos en localidades situadas en condiciones idénticas de precipitación pero de características físicas diferentes y viceversa, estudia las modificaciones producidas en el escurrimiento por alteraciones artificiales, como sucede en regiones desmontadas y reforestadas construcción de presas, etc.

De acuerdo a la definición anterior, se deduce que la hidrología es de importancia en todos los problemas que involucran el aprovechamiento del agua y básicamente para que ésta sea utilizada racionalmente en los distritos de riego.

Los principales objetivos de la hidrología, al diseñar una obra de ingeniería, pueden resumirse en dos grandes grupos:

- a) Obtención de la avenida máxima que con una determinada frecuencia puede ocurrir en un cierto lugar, lo cual es necesario considerar al diseñar vertedores, puentes y drenajes en general.
- b) Conocimiento de la cantidad, frecuencia y naturaleza de ocurrencia del transporte del agua sobre la superficie terrestre. Esto servirá para el diseño de instalaciones de irrigación, abastecimiento de agua, aprovechamiento hidroeléctrico y navegación de ríos.

⁴⁵ *Ibíd.* pp. 32-33.

D. Estudios Agrológicos⁴⁶.

Uno de los problemas básicos que se presentan en los sistemas de riego, es el mantenimiento y mejoramiento de la productividad de las tierras de cultivo. Se ha observado que las tierras que se abren al cultivo por primera vez generalmente son fértiles y capaces de producir buenas cosechas; sin embargo, esta situación no se mantiene en la generalidad de los casos y en pocos años, debido a la falta de prácticas agronómicas adecuadas, los suelos se empobrecen y se hacen duros y difíciles de trabajar, las plagas se incrementan en forma notable y es entonces cuando el agricultor empieza a trabajar e invertir más en sus cultivos y a obtener menores cosechas, de tal manera que llegará el momento en que el valor de las cosechas no será suficiente para pagar los costos de cultivo, aparece entonces la miseria y en último extremo se llega al abandono de las tierras.

Dada pues la importancia que el suelo tiene como parte del medio físico dentro del cual se desenvuelve la agricultura resulta indispensable realizar los ESTUDIOS AGROLÓGICOS siguientes: Con el personal técnico correspondiente efectuar la correcta interpretación de las influencias y efectos de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo bajo riego; sobre los cultivos que se practican en el sistema de riego, así como, llevar a cabo diseños de riego, de tal manera que se aprovechen al máximo posible las condiciones y características de los diversos tipos de suelos a fin de conservar e incrementar su capacidad productiva.

Los datos anteriores proporcionan además, la orientación indispensable para intentar la distribución más perfecta de cultivos a manera de no permitir que se practiquen cultivos de inundación o de frecuentes y abundantes riegos en suelos excesivamente porosos y permeables, pues se desperdiciarán grandes volúmenes de agua en perjuicio de otros cultivos.

La falta de conocimientos agrológicos y la práctica de riego aplicada ciegamente pueden causar efectos sumamente perjudiciales. Al iniciarse la agricultura de riego y aumentar el contenido de agua del suelo, esa actividad se incrementa y evoluciona con mayor rapidez y en muy diversos sentidos, de tal manera que en poco tiempo las características observadas antes de la iniciación del riego sufren cambios y alteraciones trascendentes tanto sobre la capacidad productora del suelo como en los métodos de cultivo aplicables, surgiendo de inmediato la necesidad de aplicar medidas correctivas tendientes, todas a conservar e incrementar la aplicabilidad de métodos de cultivo eficaces y económicos que sigan las transformaciones benéficas del suelo.

⁴⁶ *Ibíd.* pp. 34-35.

E. Estudios Geotécnicos⁴⁷.

Los temas y la intensidad de los estudios geotécnicos para el diseño de un sistema de riego y sus estructuras, varían con el nivel del estudio y el grado de aproximación que se requiera, dependiendo también del tipo, magnitud e importancia del sistema de riego.

En todos los proyectos hidráulicos que se planean, se considera que existen tres grandes niveles de estudio bien diferenciados, que son:

- 1^{er} Nivel: Gran visión de conjunto.
- 2^o Nivel: Alternativas de anteproyecto.
- 3^{er} Nivel: Proyecto detallado.

Los niveles de estudios anteriores, deben ser llevados a cabo al efectuar los estudios geotécnicos para que sirvan a la planeación de los sistemas de riego.

3.3 CLASIFICACIÓN AGRÍCOLA DE SUELOS PARA FINES DE RIEGO⁴⁸.

Los factores que intervienen en la clasificación agrícola son los siguientes:

- 1) **Textura.** Al hacer los estudios, se tendrá cuidado si resulta muy ligera o demasiada arenosa. Para fines agrícolas, el suelo deberá presentar una textura suave.
- 2) **Inundación.** Se estudiará la zona para que los suelos que se quieran para la agricultura, no sean afectados por inundaciones de los ríos cuando se presentan precipitaciones extraordinarias.
- 3) **Manto freático.** Se analizará la profundidad del manto para poder predecir si las tierras serán afectadas con las precipitaciones extraordinarias ya que éstas pueden ocasionar que el manto freático, suba de nivel hasta llegar a la superficie terrestre, originando inundaciones.

Por otro lado, puede resultar benéfico si se encuentra a una profundidad en la que no pueda ocurrir lo anterior y resulte costeable la extracción del agua y ser utilizada para el riego.

- 4) **Pendiente.** La pendiente del terreno es importante conocerla, para saber hasta que punto pueden erosionarse los suelos al grado de no permitir la siembra o por la demasiada velocidad con que puede

⁴⁷ *Ibíd.* pp. 36-47.

⁴⁸ *Ibíd.* pp. 48-49.

circular el agua y no permitir que el suelo la pueda absorber en beneficio de la planta.

- 5) **Drenaje artificial.** El drenaje está relacionado en parte por el concepto anterior, deberá presentarse de tal forma que no sea muy lento o casi nulo, ya que esto puede ocasionar ensalitramiento del suelo, putrefacción de las raíces de la planta, etc.
- 6) **Rocosidad.** La rocosidad afecta a los suelos, ya que un suelo entre mas rocoso, sea menos conveniente a la agricultura, pues aunque podrían aportar cosechas, éstas serían pobres y representarían problemas al sembrarse, lo que finalmente resultaría poco costeable el sembrar en suelos de este tipo.

3.4 USO CONSUNTIVO, OBRAS HIDRÁULICAS Y DRENAJE.

A. Uso consuntivo⁴⁹.

El uso consuntivo (UC), es la cantidad de agua absorbida por un cultivo durante su ciclo vegetativo, para ser transpirada o empleada directamente en la edificación de los tejidos de las plantas unida a la cantidad de agua evaporada desde el suelo en que está vegetando el cultivo.

1. Componentes del uso consuntivo.

El uso consuntivo está constituido por: el agua necesaria para que las plantas cultivadas puedan realizar su desarrollo completo y madurar su cosecha, agua empleada por las plantas para transpirarla o acumularla en sus tejidos en diversas combinaciones, suspensiones o soluciones, o bien evaporada a la atmósfera directamente desde el suelo, y que por tanto, no puede recuperarse o conservarse. Los últimos componentes constituyen casi el 99 % del uso consuntivo por lo que es correcto mencionar el término "Evaporación real", cuando se refiere al UC

2. Factores que determinan el uso consuntivo.

El UC, es variable, ya que influyen diversos factores la mayor parte de ello determinantes del desarrollo vegetativo de las plantas, que afectan de modo importante, el consumo de agua de éstas durante su ciclo vital.

Los factores que más poderosamente influyen en dicho desarrollo vegetativo y por tanto en la cantidad de agua consumida por la cosecha y en el UC son:

⁴⁹ *Ibíd.* pp. 53-57.

- La cantidad de calor aprovechable durante el ciclo vegetativo.
- El fotoperíodo durante dicho ciclo.
- La evaporación normal en el lugar.
- La cantidad de retención del agua por el suelo.
- La naturaleza del suelo, tanto desde el punto de vista de su textura y estructura, como desde el de su fertilidad, considerada en todos sus aspectos.
- La especie cultivada.
- La variedad agriotipo, dentro de cada clase de cosecha, puesto que cada una posee un desarrollo potencial distinto determinado por su genética.
- El rendimiento efectivo de la cosecha, como consecuencia de sus respuestas al hábitat o conjunto de factores ecológicos que solicitan a las plantas.

En forma más general, los factores anteriores estarían comprendidos dentro de los factores que determinan las necesidades de agua para la irrigación, aunque para el caso del UC, es conveniente mencionarlos con los fenómenos meteorológicos y factores particulares de los cuales dependen, y éstos son:

- a) CLIMA: Temperatura, humedad relativa, vientos, latitud, luminosidad y precipitación.
- b) CULTIVOS: Especie, variedad, ciclo vegetativo, hábitos radiculares.
- c) SUELO: Textura, estructura, profundidad del nivel freático, capacidad de retención de humedad. Y se debe considerar también la calidad y disponibilidad del AGUA PARA RIEGO, así como las prácticas de riego.

Todos estos factores no actúan de un modo independiente, ya que influyen unos sobre otros y todos reunidos determinan la cantidad de agua que necesitan las plantas para completar su ciclo y rendir su cosecha. Por lo que se puede concluir que el U. C., debido a la influencia de estos factores es esencialmente variable y único para cada tipo de cultivo y de lugar.

3. Factores que intervienen en la demanda de riego.

Son muchos y complejos los factores que de manera directa e indirecta influyen en la cantidad anual de agua que como volumen en m³/Ha o lámina en metros, hay que suministrar en la bocatoma principal de un sistema de riego en operación o en proyecto, con objeto de satisfacer las necesidades de agua para irrigación.

Las relaciones entre las necesidades y las variables que intervienen en la determinación de éstas, la cantidad anual de agua, en volumen por Ha o como lámina, a proporcionar en la bocatoma principal de un sistema de riego

en general se integra por la acción de cuatro grupos de factores denominados Generadores, los cuales son:

- a) La superficie neta total dominada.
- b) La repetición anual de cultivos que se tenga en el sistema de riego en operación o que se considera más probable para el futuro del sistema.
- c) Las necesidades de riego de la superficie realmente bajo cultivo.
- d) La eficiencia global estimada para el sistema de riego. Esta eficiencia incluye a todas las pérdidas y mermas que se tengan o se juzgue que ocurrirán en los canales y parcelas dentro del sistema.

Los grupos de factores generadores dependen a su vez de otros que se denominan los factores determinantes.

- CLIMA.
- LA PLANTA O CULTIVO.
- EL SUELO.
- EL HOMBRE.
- LOS ASPECTOS ECONÓMICOS Y DE MERCADEO.
- NÚMERO DE TOMAS Y SUPERFICIE CULTIVADA.

Los factores determinantes dependen de un gran número de factores particulares que intervienen de manera más o menos considerables en la determinación de las Necesidades de Riego (N. R.).

B. Obras hidráulicas⁵⁰.

Son aquellas que están constituidas por el conjunto de estructuras construidas con el objeto de manejar el agua, cualquiera que sea su origen, con fines de aprovechamiento o de defensa (ver Fig. 3.1).

1. Obras de defensa.

Las obras de defensa se construyen principalmente contra inundaciones o erosiones provocadas por flujos extraordinarios en los ríos.

Se dividen en cuatro tipos:

- a) Cuando el cauce del río tiene una capacidad reducida y no se puede ampliar.

En este caso se deben regularizar las avenidas en el cauce superior, mediante presas que se construyan para tal efecto.

- b) Cuando el cauce tiene una capacidad reducida pero se puede ampliar.

⁵⁰ *Ibíd.* pp. 101-115.

- c) Cuando se pueden complementar las dos soluciones anteriores.
- d) Cuando es necesario proteger las márgenes del río contra erosiones.

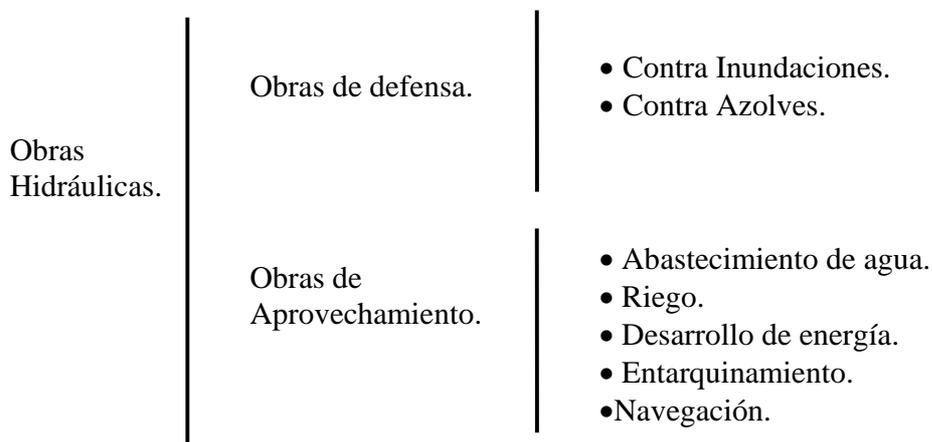


Figura 3.1. Clasificación de las obras hidráulicas.

2. Obras de aprovechamiento.

Este tipo de obras son las que se pueden o podrían ser la justificación de todos los estudios que se realicen sobre los escurrimientos superficiales o subterráneos, para ver de que forma será explorada el agua así como los sistemas y sus estructuras necesarias para brindar los beneficios que las regiones demanden.

3. Elementos que constituyen un sistema de riego.

Los distritos de riego son zonas destinadas a la agricultura a las que se suministran volúmenes controlados de agua que se aplican al terreno con el fin de favorecer el desarrollo y la fructificación de los cultivos.

Estos comprenden una gran cantidad de estructuras hidráulicas y de ingeniería civil cuya finalidad es la de obtener el agua necesaria, regularizarla, transportarla y distribuirla a los terrenos de cultivo; drenar el agua de desperdicio o sobrantes, así como dar acceso a las parcelas en todo tiempo mediante una red eficiente y segura de comunicaciones terrestres. Deben contar también con comunicaciones telefónicas o de radio y estar electrificados.

En general, los proyectos de irrigación se clasifican, de acuerdo con el método de obtener el agua, en proyectos por gravedad o bombeo o por una combinación de ambos. Los proyectos de gravedad son los más comunes,

aún cuando los de bombeo también conducen el agua por medio de canales. Los distritos de riego pueden ser de distintos tamaños, variando desde superficies de unas cuantas hectáreas hasta grandes distritos de más de 200,000 Ha. Asimismo, pueden comprender una pequeña presa derivadora y una reducida red de canales y sus estructuras o pueden constar de presas de almacenamiento y estructuras hidráulicas de gran envergadura, según el caso.

En la Figura 3.2, se muestra de manera general la clasificación de los sistemas hidráulicos necesarios para el buen funcionamiento de un sistema de riego así como los elementos o construcciones que integran a estos sistemas hidráulicos.

Los elementos que integran a estos sistemas hidráulicos son los siguientes:

- a) **Captación y almacenamiento.** Son las obras que nos permitirán la captación y el almacenamiento de agua, estarán previamente definidas en función de la cuenca hidrográfica de un río, de las construcciones que permitan cambiar el régimen natural del escurrimiento al régimen artificial de la demanda de acuerdo a los fines a que se destine.
- b) **Aguas superficiales.** Son aquellas aguas que provienen de la precipitación no infiltrada y que ocurre sobre la superficie del suelo.
- c) **Aguas subterráneas.** Son aquellas aguas que se encuentran ocupando todos los vacíos de un estrato geológico, es decir toda aquella agua que se encuentra por debajo del nivel freático.
- d) **Conducción.** Las obras de conducción tienen como objetivo el llevar el agua desde el punto de derivación hasta el lugar o lugares donde será aprovechada. Las estructuras destinadas para este fin, pueden ser canales abiertos o cerrados.
- e) **Distribución.** Son las obras que se construyen con un fin específico para el aprovechamiento del agua, por ejemplo los canales para el riego por gravedad, tuberías a presión para plantas hidroeléctricas y poblaciones, etc.
- f) **Drenaje.** Las obras que están comprendidas para el drenaje, tienen como objetivo el liberar las aguas excedentes en los cultivos provocadas por exceso de lluvia o por demasiado riego.
- g) **Obras complementarias.** Este tipo de obras permiten vigilar el buen funcionamiento del sistema de riego en su conjunto, esto quiere decir que permiten el mantenimiento adecuado y oportuno al sistema de

riego si se cuenta con buenas vías de comunicación, campamentos que resguarden las instalaciones, etc.

4. Obras de aprovechamiento del agua para el riego.

El objetivo esencial de las obras hidráulicas de aprovechamiento del agua para fines de riego es el de regularizar la humedad del suelo, ya que existen zonas en las cuales si no se riega no se siembra y también se tiene el problema de las inundaciones y erosiones que provocan las lluvias en exceso al no haber las obras necesarias para controlar los escurrimientos.

México es un territorio de 196 millones de hectáreas, de las cuales son laborables 23.5 millones, un 12% y de esos 23.5 millones no requieren riego, aunque si de obras que eviten inundaciones y 20 millones necesitan urgentemente obras para suprimir la inseguridad de las siembras de temporal.

Hasta la fecha y desde la constitución de la Comisión Nacional de Irrigación, se han realizado obras que permiten el riego seguro para 3,000,000 Ha. Este dato refleja la gravedad para el país ya que se requiere irrigar más terreno, ampliar las zonas de riego y rehabilitar algunas zonas de riego ya obsoletas. Para tal objeto se necesita estudiar cada una de las zonas de riego en potencia obteniendo los datos climatológicos, hidrológicos, socioeconómicos, etc., para poder así proyectar las obras para la captación de las aguas para dichos fines.

Estas obras de captación de aguas para fines de riego pueden ser de dos tipos:

- Obras para la captación de aguas superficiales.
- Obras para la extracción de aguas subterráneas.

5. Obras para la captación de aguas superficiales.

Con respecto a este tipo de obras, éstas pueden ser de cuatro tipos:

- a) **Sistemas de almacenamiento.** El sistema de almacenamiento tiene por objeto almacenar agua en un vaso o depósito natural formado por un valle que se cierra mediante una cortina que intercepta el paso del agua. El agua almacenada tiene por objeto regularizar la corriente para disponer del gasto necesario en las épocas de riego, gasto que varía de acuerdo con la demanda.

El sistema de almacenamiento está constituido por tres elementos fundamentales que sirven respectivamente para contener el agua en el vaso, para manejar la extracción del agua y para

disponer de las aguas de las avenidas que llegan al vaso; esos tres elementos son los siguientes: la cortina, la obra de toma y el vertedor de demasías.

- b) **Sistema de derivación.** El agua extraída del vaso de almacenamiento pasa en algunos casos al canal de conducción directamente; pero en otros casos se conduce por el río en tramo de más o menos longitud hasta un punto donde conviene vaciar el canal de conducción, para lo cual es necesario construir obras que hagan pasar el agua del río al canal. Esto es, lo que constituye un sistema de derivación. El sistema de derivación también es necesario cuando se va a utilizar las aguas permanentes de un río.

El sistema de derivación consta de dos partes fundamentales:

- 1) La presa de derivación cuyo objeto es llevar el nivel de la superficie del agua a una altura conveniente que haga posible la derivación de un cierto gasto y que esté diseñada para permitir que el agua vierta sobre ella.

Generalmente se utilizan en corrientes de agua de anchura considerable con relación al caudal de escurrimiento; éste se subdivide en pequeños cauces en épocas de estiaje, haciendo imposible recoger el total o la mayor parte del agua que escurre, si no se hace la construcción de la presa de derivación.

- 2) La bocatoma que sirve para regularizar el paso del agua del río al canal. En algunas ocasiones cuando el nivel del río aún en las épocas en que su caudal es mínimo, es suficiente para efectuar la derivación, no es necesario construir la presa de derivación. Estos casos son poco frecuentes.

- c) **Aprovechamiento de cauces y vasos naturales.** Para el aprovechamiento de un cauce o un vaso natural, es necesario efectuar los siguientes estudios:

- 1) Obtener todos los datos hidrológicos.
- 2) Obtener todos los datos hidrográficos.
- 3) Obtener los datos climatológicos.
- 4) Determinar el gasto máximo que puede presentarse.

Después de haber efectuado estos estudios, se procederá a proyectar la obra de captación propiamente dicha. Esta obra puede ser un dique con su respectiva boca toma cuando se trate de un vaso natural.

En el caso de un cauce natural, se utilizará una represa con su puente y su obra de toma respectiva.

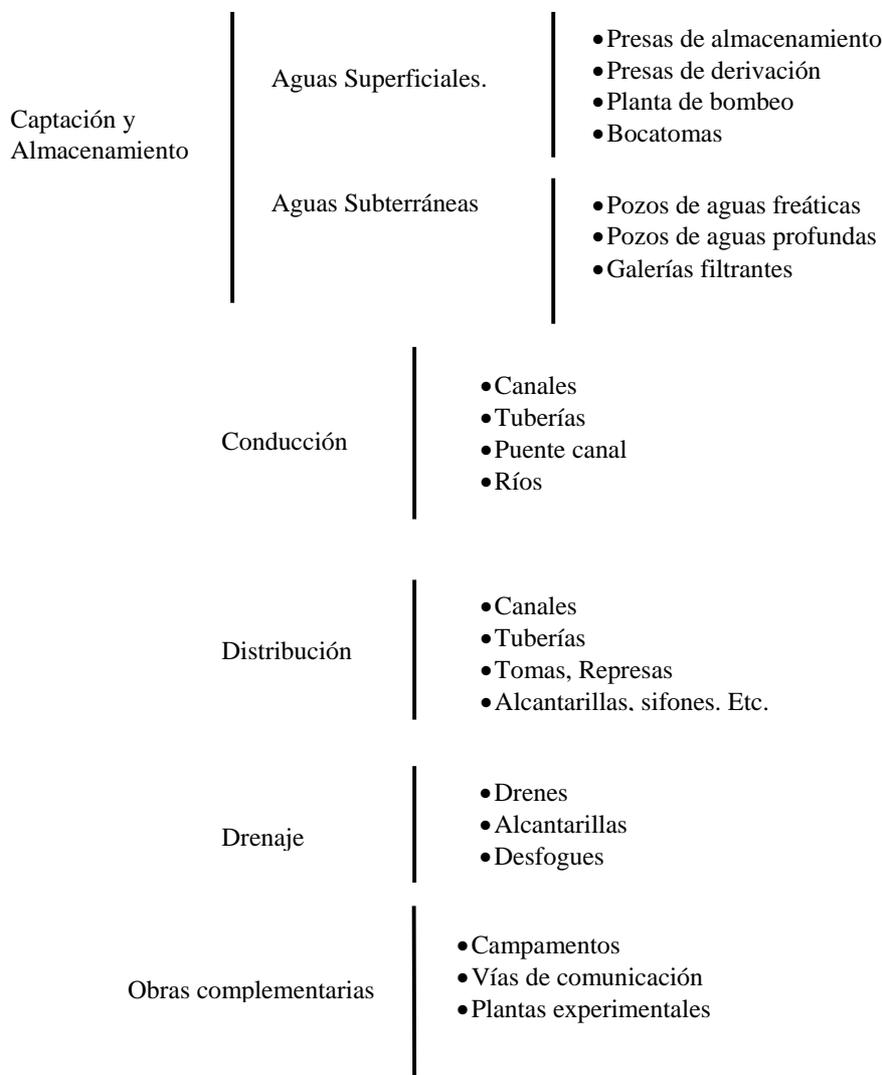


Figura 3.2. Sistemas hidráulicos de un sistema de riego.

- d) **Estaciones de bombeo en río.** Las estaciones de bombeo en ríos tomadas como obras de aprovechamiento del agua para riego, son muy limitadas, ya que solo pueden dar riego a muy pocas hectáreas, siendo su costo por Ha., muy elevado y utilizándose solamente en los cauces de los ríos donde el caudal es permanente todo el año.

Todo esto, da como resultado el poco uso de estas estaciones en los diferentes ríos de la República. Sólo en casos especiales se emplean, como por ejemplo, cuando se requiere regar una zona más alta que el cauce del río, y es necesario subir el agua hasta un punto en donde el agua pueda regar por gravedad.

C. Drenaje.

El drenaje es otro de los métodos para controlar el agua. El drenaje es necesario cuando hay una mayor cantidad de agua disponible en el terreno de la que necesitan las plantas para su desarrollo.

Los sistemas de drenaje pueden ser fundamentalmente dos. Es decir, el que se hace en las superficies mediante canales abiertos, y el que se realiza en el subsuelo por medio de tubos subterráneos. El drenaje subterráneo es poco utilizado, por su alto costo y su relativa capacidad en regiones subtropicales y tropicales con alta precipitación.

Algunos terrenos cuentan con drenaje natural. Cuando los terrenos no cuentan con éste, es necesario construirlo en forma artificial.

En regiones muy húmedas, es necesario desaguar los terrenos con exceso de agua, por medio de zanjas o cañerías. Esto es lo que se conoce como avenamiento del terreno. El drenaje es necesario para eliminar los escurrimientos excesivos de agua.

En un terreno con alta precipitación pluvial y sin desagüe, es fácil que se produzca la erosión por los escurrimientos de agua. En estos casos, es necesario implantar un sistema de drenaje con zanjas más anchas para asegurar la debida evacuación del exceso de agua.

En regiones con baja precipitación anual las acequias o canales para distribuir el agua sirven con frecuencia como canales de desagüe⁵¹.

3.5 ADMINISTRACIÓN Y OPERACIÓN.

A. Sistema de distribución⁵².

El sistema de distribución de un proyecto de riego, consta de la serie de canales y sus estructuras que serán necesarias para llevar el agua a todos los puntos de la zona regable, Fig. 3.3.

Los canales que forman el sistema de distribución se clasifican de la siguiente manera:

1. Canal principal

⁵¹ Manuales para educación agropecuaria. 1985. Riego y Drenaje. Editorial Trillas. México. pp. 42, 87-90.

⁵² Núñez, Javier. 1987. Metodología en la planeación para el desarrollo de sistemas de riego. El autor. UNAM, México. pp. 116-

El canal principal, es el que domina toda el área regable y abastece al sistema de canales laterales, generalmente se localiza a lo largo de las curvas de nivel, tratando de dominar la mayor superficie posible de tierras, ver figuras 3.3 y 3.4.

2. Canales laterales

Los canales laterales, forman una red compuesta de los laterales que son aquellos que dominan las divisiones principales del área regable y abastecen a los sub-laterales.

3. Canales sub-laterales.

Los sub-laterales, cuando es necesario ramificar un lateral en dos o más canales.

4. Los_Ramales.

Los ramales que son abastecidos por los sub-laterales y que a su vez abastecen a las regaderas, las cuales constituyen las ramificaciones últimas de la red de distribución. En algunas zonas de riego aun es necesario subdividir los ramales y en estos casos se construyen los sub-ramales antes de llegar a las regaderas.

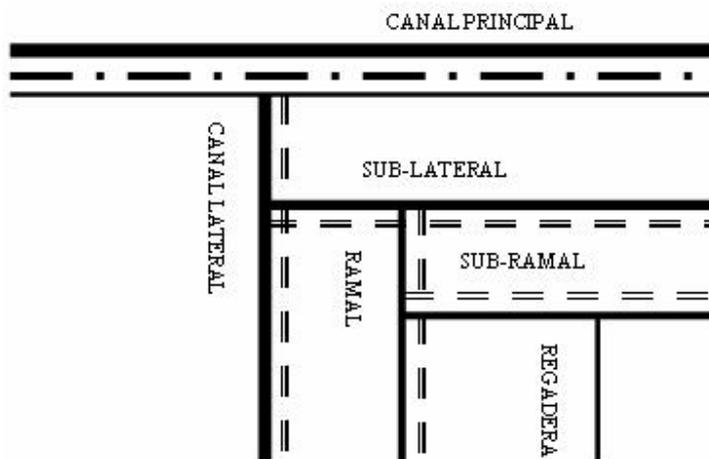


Figura 3.3. Forma de la distribución del agua.

B. Distribución del agua para riego⁵³.

Para llevar el agua desde la fuente de abastecimiento a la parcela del usuario, es necesario conducirla por un sistema de canales y obras de control, que permite su distribución entre las diferentes unidades, zonas y secciones de riego, hasta llegar a cada una de las parcelas que requieren el riego.

⁵³ *Ibíd.* pp. 219-220.

En un distrito de riego que a veces comprende varios millares de hectáreas, el problema principal es entregar a los usuarios oportunamente el riego, preferentemente en el momento que el cultivo lo necesite. Por otra parte, cuando el agua es escasa y por lo mismo su costo de oportunidad alto, es conveniente que la distribución sea eficiente, es decir; con mínimas pérdidas de conducción, por tanto, el mejoramiento en el manejo del agua en el sistema de distribución, implica mejorar la oportunidad en la entrega del agua al usuario, lo cual desde luego no siempre depende por completo del personal del distrito de riego, sino también implica mejorar la eficiencia de conducción lo que si depende, casi en exclusiva del sistema de riego.

Sin embargo, a veces no se pueden satisfacer simultáneamente ambos requisitos, es decir, por mejorar la eficiencia de conducción, suele descuidarse la entrega oportuna del agua al cultivo o la inversa también es cierta. Por tanto, es conveniente recordar que la entrega del agua al cultivo es la principal finalidad del distrito de riego por lo que, la oportunidad del riego es fundamental en la mejora de los rendimientos de los cultivos; aunque cuando el agua es muy escasa a veces debido al método de distribución empleado, no es posible lograr la entrega oportuna a todos los usuarios.

En el proceso de la distribución del agua se consideran dos etapas que están íntimamente relacionadas, estas son:

- a) La estimación de la extracción del agua y programación del riego.
- b) La distribución y entrega.

La primera depende de cómo se hace la segunda; por lo que a continuación se describirán brevemente los métodos de distribución y entrega más comunes.

C. Métodos de distribución del agua⁵⁴.

Generalmente se consideran cuatro métodos de distribución y estos son.

- a) Distribución continua.
- b) Distribución al pedido libre o demanda libre.
- c) Distribución al pedido programado o demanda controlada.
- d) Distribución por rotación turno o tanteo.

Los dos primeros métodos son de poco interés por lo que sólo se hará énfasis en los dos últimos, sin embargo, a continuación se hace breve descripción de los primeros.

⁵⁴ *Ibid.* pp. 221-224.

1. La distribución continua se efectúa a fincas muy grandes o para uso industrial o doméstico del agua. En la mayoría de los distritos de riego del país se distribuye una pequeña parte del agua en esta forma, que consiste en entregar un gasto más o menos fijo en forma continua durante todo el ciclo de operación o durante gran parte de este.

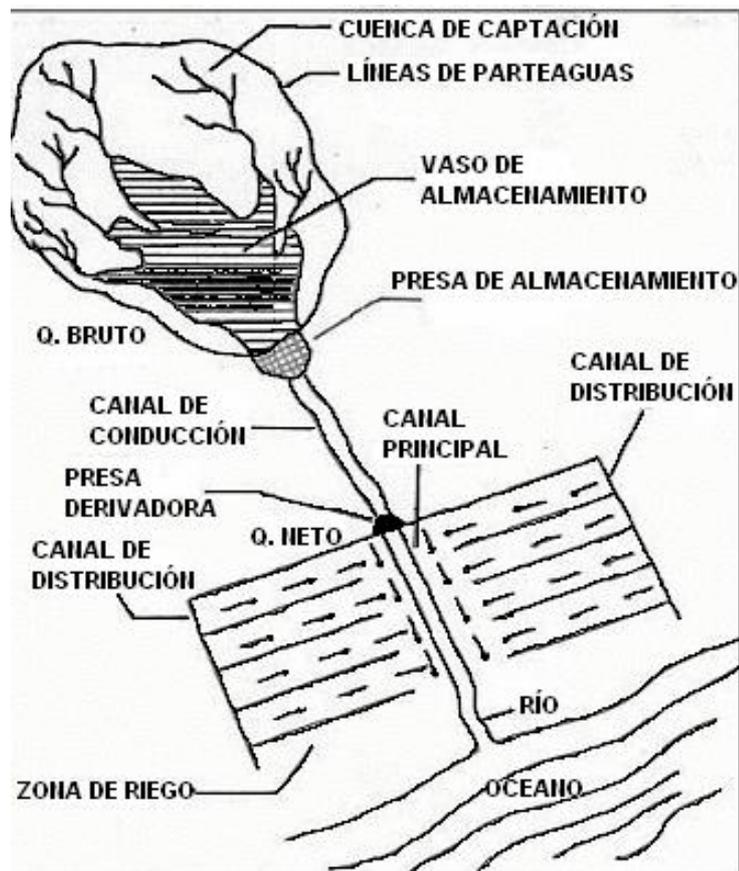


Figura 3.4. Forma general de un sistema de riego.

2. La distribución al pedido libre o demanda libre, prácticamente no existe en ningún distrito del país. Solo en zonas donde hay agua en abundancia, capacidad excesiva de canales y la demanda de riego no es muy grande, puede establecerse este método. Sin embargo, en sistemas que tienen red de distribución por tubería a presión, el método funciona en forma óptima. El usuario simplemente abre su toma para derivar la cantidad de agua que necesite en el momento que lo desee. Este método cuenta con un sistema automático de bombeo (que consiste en una serie de bombas) abastece tanques elevados que mantienen la presión en el sistema de distribución. Como cada usuario tiene su aforador en la descarga, que es el tipo volumétrico acumulativo, no necesita solicitar el agua con anticipación,

sino que la toma cuando la requiere y periódicamente los empleados del distrito toman lecturas del aforador para cargar a su cuenta el volumen de agua usada.

Los otros métodos de distribución del agua, son los que comúnmente se emplean en la mayoría de los distritos de riego del país, estos son: el pedido programado y el tanteo.

Con ambos métodos se tiene el problema de que el riego no siempre se entrega oportunamente; sin embargo, cuando el pedido es programado puede llegar a entregarse el agua más oportunamente que cuando se usa el tanteo.

3. En el método por pedido programado o demanda controlada, consiste en programar la extracción de agua de la fuente de abastecimiento de acuerdo a los pedidos de los usuarios en un periodo dado; por tanto, la extracción y en consecuencia el caudal conducido por la red de distribución tiene que ajustarse en cada periodo, con fines de mejorar la eficiencia de conducción conviene que el periodo sea de varios días; sin embargo, a más largo periodo de programación, menos oportunamente puede entregarse el agua a los usuarios, a menos que éstos se coordinen muy bien con los operarios del distrito de riego.
4. En el método por turno o tanteo, el agua se entrega al usuario con cierta periodicidad y de acuerdo con un calendario de riego que se elabora para todo el distrito. Es este caso, el usuario tiene que ajustarse a dar el riego en las fechas que el distrito lo programe. Considerando la variabilidad de suelos que puedan haber en un distrito, se deduce que muchos usuarios regarán fuera de la oportunidad debida, de acuerdo al requerimiento óptimo del cultivo. Por otra parte, también es obvio que este método de tanteo solo puede aplicarse en distritos que tienen muy pocos cultivos establecidos, los cuales deben coincidir en los intervalos de riego requeridos. Luego a mayor variedad de suelos y cultivos menos apropiado será este método.

Sin embargo, dentro de un distrito, cuando se tienen problemas por capacidad de canales, falta de agua en ciertas épocas, u otros problemas de distribución, puede establecerse el método de tanteo en aquellas secciones de riego tengan un solo cultivo dominante o preferentemente, sean monocultivadoras en el periodo considerado, siempre que no haya mucha variabilidad en los suelos.

En conclusión se puede decir, que de los dos métodos de distribución que son más usuales en los distritos de riego del país, el método por tanteo tiene serias restricciones en su uso, por lo que solo

en unos cuantos distritos se utiliza. De aquí se deduce que el método más general de entrega, es el de pedido programado o demanda controlada.

D. Subdivisiones operacionales de los distritos de riego⁵⁵.

Cuando los distritos de riego son bastante grandes, es decir con áreas bajo riego de varias decenas de miles de hectáreas suelen dividirse en unidades operacionales que casi funcionan como distritos separados, a veces con sus propios canales principales y tomas de derivación diferentes. En estos casos, cada unidad tiene un responsable que tiene funciones similares a los de un jefe de distrito o gerente de operación sin embargo, está bajo el control del jefe de todo el distrito y tiene que trabajar coordinadamente con los otros jefes de unidad.

Desde luego la coordinación es realizada por el jefe del distrito o gerente de operación. Los distritos o unidades de riego se dividen con fines de distribución de aguas en zonas de acuerdo a la topografía, red de canales, red de drenaje y caminos existentes; a su vez las zonas se subdividen en secciones de riego, para lo cual, además de considerar los factores mencionados, debe tomarse en consideración el número de lotes o predios que se servirán. Generalmente la sección de riego es atendida por un canalero (persona encargada de regularizar el caudal), el cual por una parte, se encarga de recoger los pedidos de agua de los usuarios y por otra la de entregar los riegos reportando el aforo a la entrega en el predio o conjunto de predios por servir cuando estos son muy pequeños.

E. Distribución y entrega del agua al usuario⁵⁶.

De acuerdo al programa de extracciones, se ajustan las válvulas de las tomas de la fuente de abastecimiento y las compuertas en los canales principales y tomas laterales, para entregar a cada jefe de unidad o de zona los caudales solicitados, verificando mediante aforos dichos ajustes. A su vez, los jefes de zona entregan los volúmenes solicitados por los canaleros para que éstos los distribuyan entre los predios que van a regar, apegados al orden en que se solicitó o de acuerdo a la posición de los lotes a lo largo de un canal, tomando en cuenta que por lo general, se distribuye el agua llevándola primero a la toma más alejada del canal, para que al hacer los cortes se aproveche más eficientemente el agua almacenada en la cubeta del canal, o como se dice, en los distritos de riego, se distribuye el agua de aguas abajo hacia aguas arriba.

⁵⁵ *Ibíd.* pp. 225.

⁵⁶ *Ibíd.* pp. 226-228.

El canalero encargado de entregar el agua a nivel de toma parcelaria (que puede servir a más de un lote), de ser posible afora el caudal entregado o por lo menos lo estima y también estima el área que se regó durante el periodo anterior (por ejemplo 24 hrs.), tomando nota de esta información, que se utilizará posteriormente para los registros que se utilizarán en la elaboración de los informes de distribución mensuales (los cuales son muy útiles para la evaluación de la operación del distrito y para la planeación del riego futuro).

Dos problemas de mucha importancia, en la operación del distrito, suelen presentarse durante la distribución y entrega del agua al usuario en la parcela. Uno de ellos es que la capacidad de los canales sea insuficiente para conducir toda el agua solicitada. Esto se puede deber a varias causas, por ejemplo; una lluvia general en el distrito que iguale la humedad en la mayoría de las parcelas de riego, puede causar a los pocos días una demanda de riego simultánea en el distrito. Otra causa frecuente es que los canales fueron mal diseñados o no se consideró determinado tipo de cultivos, que tienen una alta demanda de agua, durante el diseño y planeación del distrito. También el mal estado de los canales puede producir este tipo de problemas.

El otro problema frecuente, es que el caudal entregado a los usuarios no es constante. En parte esto es otra falla en la programación pero la causa principal es que las estructuras de control en la gran mayoría de los canales de los distritos de riego no fueron diseñados para garantizar una carga más o menos constante sobre las tomas laterales de los canales.

Expuesta la metodología de la planeación para seleccionar un determinado sistema de riego para el distrito de riego que se propone llevarse a cabo en el municipio, surge la necesidad de conocer las alternativas que se han venido desarrollando en cuanto a tecnologías se refiere de sistemas de riego para enlazar la metodología con alguno de estos; puesto que el municipio presenta una escasa presencia de agua, se pretende identificar aquellas alternativas que proporcionen mayores beneficios empleando una cantidad mínima de agua para el riego. En el capítulo que sigue se expondrán los diferentes sistemas que han surgido recientemente para el riego.

3.6 ACEPTACIÓN SOCIAL

Desde los inicios de las actividades se debe fijar el criterio de adoptar una activa política participativa de inserción del proyecto en las comunidades involucradas a efectos de lograr resultados sustentables. Por ello de nada serviría que se halla realizado un proyecto de un sistema de riego que reúna todos los objetivos planteados, si este proyecto y su resultado final, no resulta aceptada por la comunidad que es en definitiva para la cual se ha concebido.

Atendiendo a esto, en este último indicador de la metodología se pretende calificar el nivel de aceptabilidad por parte de los beneficiados por el proyecto valorando su criterio con respecto a:

1. La aceptación social del proyecto: donde se valore la utilidad del sistema de riego, la aceptación de los futuros usuarios en relación con su bienestar y la confiabilidad que le conceden los futuros beneficiados por el proyecto.
2. La contribución que hace el proyecto a la población al fortalecimiento de la agricultura y tradiciones históricas.
3. La contribución que se plantea el proyecto al rescate y bienestar de la agricultura y su aceptación por los usuarios en relación con su bienestar social.

Por lo anterior, cabe hacer mención que en esta propuesta, no se incluye este estudio debido a que no se cuentan con los recursos necesarios para realizar el estudio de campo correspondiente para valorar la viabilidad de aceptación por parte de las comunidades que se pretende beneficiar.

CAPÍTULO 4.

SISTEMAS DE RIEGO.

En el presente capítulo se tratan los diferentes sistemas de riego existentes en la actualidad, considerándolos como alternativas propiamente adecuados a la agricultura del municipio de Zimapán con base a la metodología expuesta en el capítulo tres y de la sugerencia en entrevista al Arquitecto Elías Hernández¹. Primeramente se dan a conocer datos que permitieron la elección del sistema de riego, seguidos de puntos netamente propios del sistema de riego elegido.

4.1 DATOS BÁSICOS PARA LA PLANEACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO DE ZIMAPÁN.

A continuación se darán a conocer datos básicos como es una reseña histórica, comunicaciones, tenencia de la tierra, cultivos, evaporación, heladas, nivel de conocimientos sobre aspectos agropecuarios, topografía, estudios agrológicos, estudios geotécnicos, clasificación agrícola de suelos para fines de riego, uso consuntivo, drenaje, sección de riego; así como cabe señalar que datos del municipio como son: localización, situación política, altitud, clima, precipitación, temperatura, hidrografía y demografía; (expuestos en el punto 2.1)

A. Reseña histórica del desarrollo del municipio de Zimapán de Zavala².

Zimapán de Zavala fue fundado en febrero de 1576, su fundador fue el misionero Juan de Zavala. La creación oficial de la ciudad de Zimapán fue el 6 de septiembre de 1881.

La minería es la actividad que contribuye con el mayor número de porcentaje a sostener la economía de Zimapán. Actualmente las minas de Zimapán son explotadas por la Compañía Fresnillo, S. A. de C. V., la cual genera empleo directa e indirectamente de 250 personas.

¹ Entrevista efectuada el 3 de noviembre de 2004 a las 10:00 hrs., al Arquitecto Elías Hernández Salazar, Subdirector de la Dirección de Infraestructura Hidroagrícola del estado de Hidalgo, encargado del programa MISA (Manejo Integral de Suelo y Agua).

² Ortiz, Enrique. 1998. Monografía del municipio de Zimapán. El municipio. México.

En cuanto a la ganadería su desarrollo se reduce a la ganadería de traspatio, contando con variedades de ganado vacuno, caprino, porcino, equino y asnal, entre los más importantes.

Por tratarse de una zona árida y eminentemente minera, la agricultura no se desarrolla en gran escala. Sin embargo podemos encontrar plantíos de frijol, maíz y algunos cereales. En cambio existen abundantes extensiones de maguey, que es utilizado para la producción del pulque.

Comunicaciones.

En la Fig. 4.1 se puede apreciar las vías de comunicación con las cuales cuenta el municipio.

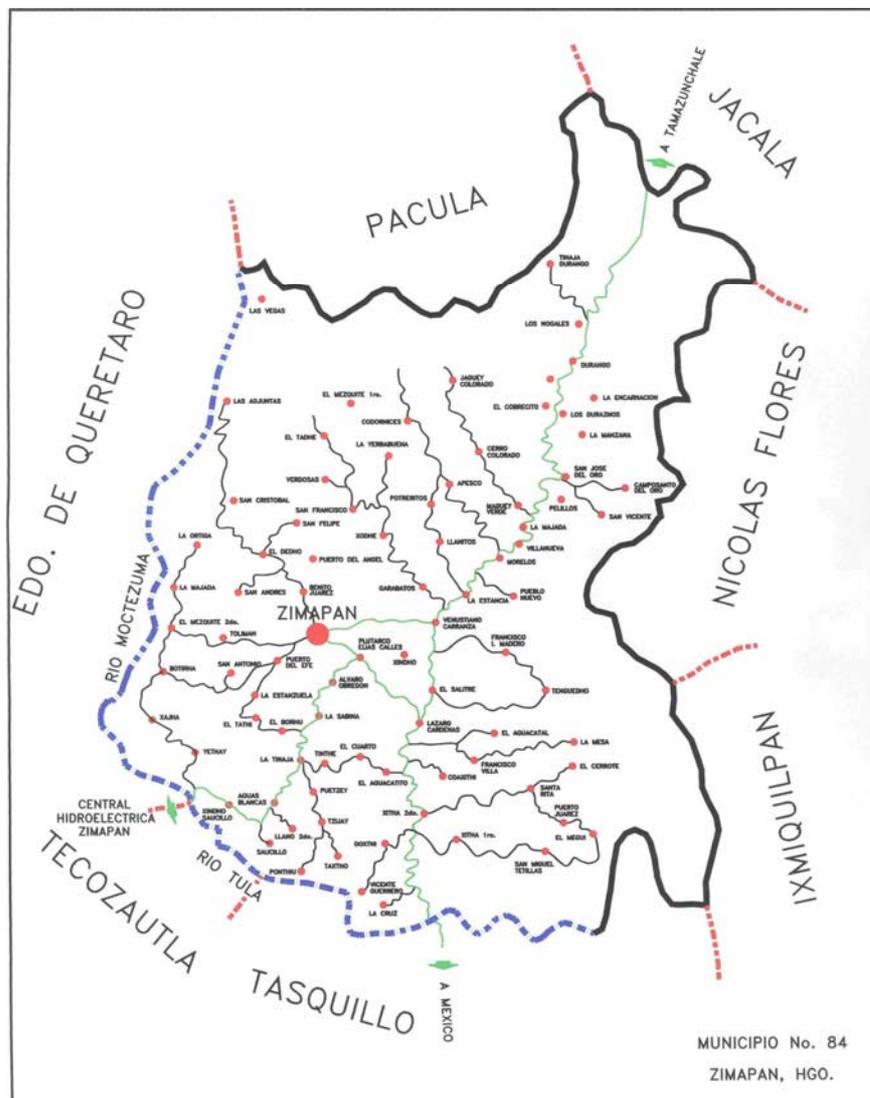


Figura 4.1. Vías de comunicación del municipio de Zimapán, Hgo.

Tenencia de la tierra.

En la tenencia de la tierra, el 69% corresponde a la superficie ejidal y el 31% a la pequeña propiedad³.

Cultivos.

Los cultivos cíclicos del municipio principalmente es el maíz grano y frijol en la modalidad de temporal y de riego (13.6%), además de los cultivos de calabacita, chile verde, tomate verde y jitomate; que son exclusivos del riego.

Dentro de los cultivos perennes se encuentra el nopal y el maguey en la zona centro y sur del municipio, manzana y ciruela hacia el norte; siendo estos cultivos perennes los únicos de temporal. También se cultiva durazno, aguacate, granada y guayaba en las márgenes del río Tula-Moctezuma.

Evaporación.

Según datos de la CNA el porcentaje de la precipitación pluvial de México que se evapora es el 70%. En el Estado de Hidalgo la evaporación anual tiene una incidencia mayor en las zonas semiáridas donde se alcanza una tasa evaporativa de 1751 a 2250 mm cubriendo un 10.6 % de la superficie estatal. En la mayor superficie (866,022 ha). Ocurre una evaporación que va de 1501 a 1750 mm y corresponde principalmente a la zona del altiplano⁴.

Heladas.

Las heladas se presentan en un rango de 30 a 70 días al año, principalmente en los meses de diciembre a febrero, presentándose temperaturas más bajas en diciembre. Aunque cabe resaltar que se han registrado helada a mediados del mes de marzo.

Nivel de conocimientos sobre aspectos agropecuarios.

El riego en Zimapán no se desarrolla en gran escala por la falta de agua. Sin embargo existe un grupo de 10 productores denominado "El Esfuerzo de Zimapán", los cuales utilizan el sistema de riego por goteo, sin embargo; en la actualidad solo uno de ellos se encuentra utilizándolo⁵.

Con la información anterior se deduce que los agricultores de la región carecen de conocimientos sobre la agricultura utilizando un sistema de riego tecnificado, por lo que se requiere buscar medios para llevar los conocimientos de la agricultura a la población.

³ http://www.zimapan.gob.mx/wb2/municipios/13084_Datos_Demograficos- 15 Feb. 2005.

⁴ <http://www.aeet.org/ecosistemas/031/informe1.htm-> 17 Feb. 2005.

⁵ Delegación SAGARPA Zimapán.

Topografía.

En la figura 4.2 se muestra la cartografía topográfica del estado en cuanto a pendiente, de la cual se puede interpretar que la zona del proyecto presenta pendientes que son menores del 4% hasta el 12%⁶.

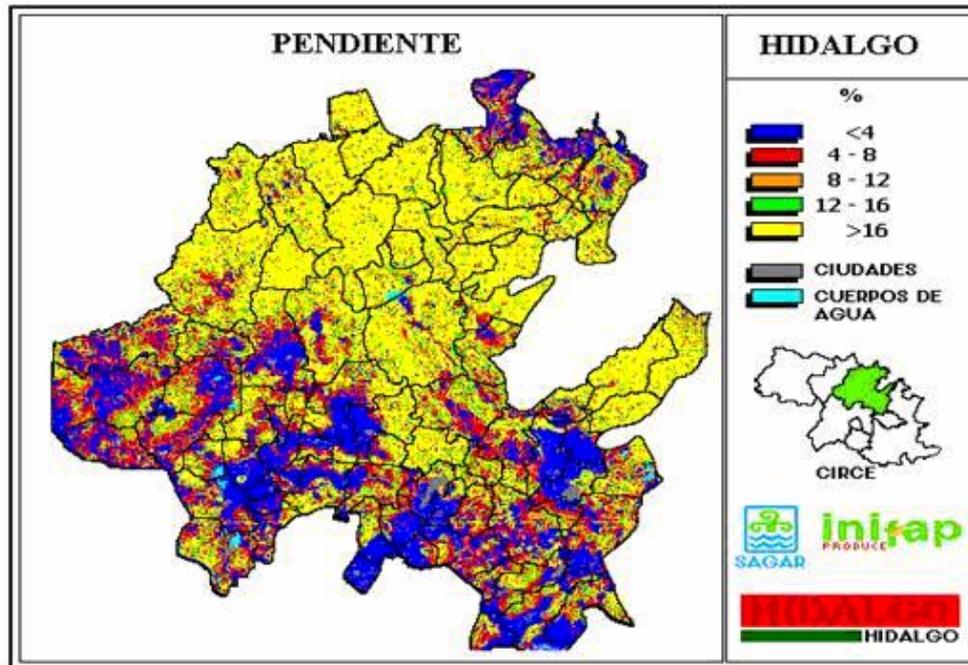


Figura 4.2. Pendientes del estado de Hidalgo.

Estudios agrológicos.

Se consideran como fuentes de aprovisionamiento potenciales de agua para el riego al municipio, a los ríos Tula y la presa Ing. Fernando Hiriart Balderrama; siendo decisivo la concesión que CNA otorgue al municipio.

Se realizó análisis Físico- Químico del suelo, considerándose estos de Textura Franco Limosa (Clave Cl), de pH medianamente alcalino, y con contenido medio de materia orgánica, con contenido bajo de fósforo asimilable, contenido alto de potasio y magnesio y alto de calcio aprovechables. En la tabla 4.1 se mencionan las características físico-químicas del suelo.

Al efectuarse los estudios agrológicos se emitieron recomendaciones de fertilización por el Ing. Artemio López Martínez de la Fundación Produce Querétaro, A.C., las cuales se mencionan a continuación:

⁶ <http://www.aet.org/ecosistemas/031/informe1.htm> - 18 Feb. 2005.

- De acuerdo a los análisis, su suelo es alcalino por lo que hay que aplicar materia orgánica o estiércol descompuesto de 2 a 4 toneladas por ha o el que puedan aplicar al barbecho y luego rastrear para esparcirlo bien.
- Si la siembra es de riego puedes aplicar 1 bulto de sulfato de amonio y 2 de triple 17 al momento de la siembra. Posteriormente aplicar 4 bultos de sulfato de amonio y 2 de triple en la escarda.
- Si la siembra es de temporal es preferible aplicar 2 bultos de triple 17 y 4 bultos de sulfato de amonio en la escarda y 2 bultos de triple 17 mas uno de sulfato de amonio en la segunda antes de que el maíz puntie o espigue.

Con esto se espera tener una buena cosecha al menos si se siembra una densidad de unas 60 mil semillas por ha. Si se siembran 80 mil semillas en riego hay que aplicar unos 4 bultos más de sulfato de amonio.

Tabla 4.1. Características físico-químicas del suelo del municipio de Zimapán.

PARÁMETRO		VALOR ENCONTRADO		INTERPRETACIÓN (*)
pH (Relación 1:2)		8.14 unidades		Medianamente alcalino
Conductividad eléctrica		0.13 dSm ⁻¹		Efectos imperceptibles de salinidad
Materia Orgánica		1.72 %		Medio
Nitrógeno Mineralizable		43.00 KN/Ha		Aporte por ciclo (**)
Textura	Arena: Arcilla: Limo:	38.20 % 4.52 % 57.28 %		Franco Limosa (Clave CI)
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)		68.82 meq/100g		Muy alta
C. C.		17.96 %		Ninguno
Punto de marchites		19.80 %		Ninguno
Fósforo asimilable (como P)		< 0.014 mg/K		Bajo
		Meq/100g	ppm	En suelo secado al aire
Cationes aprovechables	Calcio (Ca)	59.79	11982.32	Alto
	Magnesio (Mg)	7.41	900.81	Alto
	Sodio (Na)	0.86	198.77	Ninguno
	Potasio (K)	0.76	298.29	Alto
Metodología: NOM-021-RECNAT-2000				
(*) Las interpretaciones de los resultados se realizaron con base a la NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.				
(**) Estimación valida para cultivos de verano, en cultivos de invierno son la mitad aproximadamente.				

Fuente: Estudio realizado por Fundación Produce Querétaro, A.C.

Estudios geotécnicos.

Para realizar este tipo de estudios se debe prever la cantidad de agua que concesionaria la CNA para este distrito de riego. De manera que se realizarán en el momento en que se posea el título de concesión.

Clasificación agrícola de suelos para fines de riego.

Se realizó análisis Físico- Químico del suelo, considerándose estos de Textura Franco Limosa, con pendientes que van desde el 4 % al 16%, si bien cuenta con barrancas, sus cauces pluviales no son de gran importancia, ya que en épocas de lluvias contribuyen a regar pequeños sembradíos, por lo que las inundaciones no son probable en los suelos para la agricultura derivándose de ello que el drenaje superficial no sea lento.

La profundidad promedio del manto freático es de 25 m. según sondeos que ha realizado CAPASAZIM, para lo cual no se tiene problemas cuando se presentan precipitaciones extraordinarias.

Uso consuntivo.

Para determinar el uso consuntivo, es necesario seleccionar los cultivos que se sembrarán; para tal elección se tomó como base los requerimientos de granos y hortalizas por la población, en especial al municipio; considerando una población de 37435 habitantes según censo general de población y vivienda del año 2000⁷. En la tabla 4.2 se presentan los productos más consumidos por los mexicanos, en cuanto a hortalizas y granos se refiere; así como la cantidad consumida por los habitantes del municipio, las toneladas consumidas por año y por mes y el rendimiento estimado por hectárea de cultivo.

Tabla 4.2. Granos y hortalizas más consumidos por los mexicanos.

PRODUCTO	CANTIDAD CONSUMIDA AL AÑO (KG.)	TON/AÑO	TON/MES	RENDIMIENTO POR HECTÁREA (TON)	PERIODO VEGETATIVO (MESES)
Maíz	127.2	4761.73	396.81	6.2	5
Frijol	12.7	475.42	39.62	1.8	3.5
Jitomate	16.1	602.7	50.22	16.1	5
Tomate	16.1	602.7	50.22	12.0	4
Calabacita	12.5	467.34	38.99	15.0	4
Chile verde	1.8	67.38	5.62	7.9	3
Ejote	1.5	56.15	4.68	7.0	3

Fuente: Perspectivas a plazo medio de los productos básicos. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. FAO. 2000. Roma, Italia.

⁷ INEGI. Censo general de población y vivienda. 2000.

Una limitante del agua de las alternativas que se pretenden utilizar, es su limitado uso al cultivo de granos y forrajes. De estos los granos son los más rentables, por su consumo en la población. El presente trabajo abordará los granos de maíz y frijol propuestos para cultivarse en el distrito. Se determinaron las necesidades hídricas de los cultivos mediante al cálculo del uso consuntivo por el segundo Método de Blaney – Creedle modificado, y la demanda de agua en metros cúbicos por hectárea de estos dos cultivos (ver tablas 4.3, 4.4a, 4.4b y 4.5). Además se realizaron cálculos del uso consuntivo de todos los productos propuestos; en la tabla 4.6 se aprecia un concentrado.

Tabla 4.3. Uso consuntivo del maíz por el método de Blaney – Criddle modificado

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA : ZIMAPÁN HGO. AÑOS DE OBSERVACIÓN : 40 AÑOS.
 LATITUD NORTE : 20° 44' LONGITUD OESTE : 99° 23' ALTITUD: 1760 msnm.
 EFICIENCIAS SIST. DE RIEGO (%) : 90 % SIST. DE RIEGO CON EL PROYECTO: GOTEO.

ME S	TEMP. MEDIA (CM)	$\frac{^{\circ}\text{C}+178}{218}$	P PORCENTAJE DE HORAS LUZ (%)	F* (CM)	Kt**	PRECIP. EFECTIVA (CM)	CULTIVO	MAÍZ		LAMINAS DE RIEGO			
							Kc***	U. C. (CM)	J*U.C. **** (CM)	NETA (CM)	AJUST. (CM)	BRUTA (CM)	
												ACTUA L*****	FUTURA
ENE	16.5	1.573	7.74	12.18	0.753	1.15							
FEB	18	1.642	7.26	11.92	0.800	0.46							
MAR	20.1	1.739	8.41	14.62	0.866	0.68							
ABR	21.5	1.803	8.53	15.38	0.909	2.05	0.60	8.39	8.853	6.803	7.000	17.5	7.78
MAY	22	1.826	9.14	16.69	0.925	3.94	0.90	13.89	14.657	10.717	11.000	27.5	12.22
JUN	21.6	1.807	9	16.27	0.912	8.04	1.08	16.03	16.914	8.874	9.000	22.5	10.00
JUL	20.9	1.775	9.23	16.39	0.890	5.01	1.00	14.59	15.399	10.389	10.000	25	11.11
AGO	20.9	1.775	8.95	15.89	0.890	6.36	0.85	12.03	12.692	6.332	6.000	15	6.67
SEP	20.3	1.748	8.29	14.49	0.872	7.87							
OCT	19.5	1.711	8.17	13.98	0.847	3.55							
NOV	17.7	1.628	7.59	12.36	0.791	1.15							
DIC	16.5	1.573	7.66	12.05	0.753	0.65							
PROM.	19.625	.....	SUMA	80.60		40.91	0.85	64.92	68.513	43.113	43.000	107.5	47.78

* El producto de la columna tres por la cuatro.
 ** $0.03114 (^{\circ}\text{C}) + 0.2396$.
 *** Fuente de FAO.
 **** $J=0.85/(\text{suma col. U.C./suma col.F})$.
 ***** Se considera un 40% de eficiencia el riego de temporal.

Fuente: Cálculos propios con base a datos por la FAO

Tabla 4.4a. Uso consuntivo del frijol por el método de Blaney – Criddle modificado

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA : ZIMAPÁN HGO. AÑOS DE OBSERVACIÓN : 40 AÑOS.
 LATITUD NORTE : 20° 44' LONGITUD OESTE : 99° 23' ALTITUD: 1760 msnm.
 EFICIENCIAS SIST. DE RIEGO (%): 90 % SIST. DE RIEGO CON EL PROYECTO: GOTEO.
 CICLO: PRIMAVERA – VERANO.

MES	TEMP. MEDIA (CM)	$\frac{^{\circ}C+17.8}{21.8}$	P PORCENTAJE DE HORAS LUZ (%)	F* (CM)	Kt**	PRECIP. EFECTIVA (CM)	CULTIVO		FRIJOL		LAMINAS DE RIEGO			
							Kc***	U. C. (CM)	J*U.C.**** (CM)	NETA (CM)	AJUST. (CM)	BRUTA (CM)		
												ACTUAL*****	FUTURA	
ENE	16.5	1.573	7.74	12.18	0.753	1.15								
FEB	18	1.642	7.26	11.92	0.800	0.46								
MAR	20.1	1.739	8.41	14.62	0.866	0.68								
ABR	21.5	1.803	8.53	15.38	0.909	2.05	0.35	4.89	5.329	3.279	3.0	7.5	3.33	
MAY	22	1.826	9.14	16.69	0.925	3.94	0.70	10.80	11.764	7.824	8.0	20	8.89	
JUN	21.6	1.807	9	16.27	0.912	8.04	1.10	16.32	17.778	9.738	10.0	25	11.11	
JUL	20.9	1.775	9.23	16.39	0.890	5.01	0.30	4.38	4.767	-0.243	0.0	0	0.00	
AGO	20.9	1.775	8.95	15.89	0.890	6.36								
SEP	20.3	1.748	8.29	14.49	0.872	7.87								
OCT	19.5	1.711	8.17	13.98	0.847	3.55								
NOV	17.7	1.628	7.59	12.36	0.791	1.15								
DIC	16.5	1.573	7.66	12.05	0.753	0.65								
PROM.	19.625	.....	SUMA	64.72		40.91	0.61	36.39	39.638	20.598	21.000	52.5	23.33

Fuente: Cálculos propios con base a datos por la FAO.

Tabla 4.4b. Uso consuntivo del frijol por el método de Blaney – Criddle modificado

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA : ZIMAPÁN HGO. AÑOS DE OBSERVACIÓN : 40 AÑOS.
 LATITUD NORTE : 20° 44' LONGITUD OESTE : 99° 23' ALTITUD: 1760 msnm.
 EFICIENCIAS SIST. DE RIEGO (%): 90 % SIST. DE RIEGO CON EL PROYECTO: GOTEO.
 CICLO: VERANO – OTOÑO.

MES	TEMP. MEDIA (CM)	$\frac{^{\circ}C+17.8}{21.8}$	P PORCENTAJE DE HORAS LUZ (%)	F* (CM)	Kt**	PRECIP. EFECTIVA (CM)	CULTIVO		FRIJOL		LAMINAS DE RIEGO			
							Kc***	U. C. (CM)	J*U.C.**** (CM)	NETA (CM)	AJUST. (CM)	BRUTA (CM)		
												ACTUAL*****	FUTURA	
ENE	16.5	1.573	7.74	12.18	0.753	1.15								
FEB	18	1.642	7.26	11.92	0.800	0.46								
MAR	20.1	1.739	8.41	14.62	0.866	0.68								
ABR	21.5	1.803	8.53	15.38	0.909	2.05								
MAY	22	1.826	9.14	16.69	0.925	3.94								
JUN	21.6	1.807	9	16.27	0.912	8.04								
JUL	20.9	1.775	9.23	16.39	0.890	5.01	0.35	5.11	5.854	0.844	1.0	2.5	1.11	
AGO	20.9	1.775	8.95	15.89	0.890	6.36	0.70	9.90	11.352	4.992	5.0	12.5	5.56	
SEP	20.3	1.748	8.29	14.49	0.872	7.87	1.10	13.89	15.927	8.057	8.0	20	8.89	
OCT	19.5	1.711	8.17	13.98	0.847	3.55	0.30	3.55	4.071	0.521	1.0	2.5	1.11	
NOV	17.7	1.628	7.59	12.36	0.791	1.15								
DIC	16.5	1.573	7.66	12.05	0.753	0.65								
PROM.	19.625	.....	SUMA	60.74		40.91	0.61	32.45	17.206	5.836	6.000	15	16.67	

Fuente: Cálculos propios con base a datos por la FAO.

Tabla 4.5. Uso consuntivo del maíz y del frijol, demanda de agua (m³) para la superficie de una hectárea.

CULTIVO	CICLO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VOL. TOTAL POR Ha (m ³)
Maíz	Primavera-verano	7.78	12.22	10.00	11.11	6.67	0.00	0.00	0.00	0.00	4,777.78 m ³ /Ha/año
Frijol	Primavera-verano	3.33	8.89	11.11	.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,333.33 m ³ /Ha/año
	Verano-otoño	0.00	0.00	0.00	1.11	5.56	8.89	1.11	0.00	0.00	1,666.67 m ³ /Ha/año

Fuente: Cálculos propios, con base a el segundo Método de Blaney-Creedle modificado.

Tabla 4.6. Uso consuntivo de los cultivos

PRODUCTO	CICLO	USO CONSUNTIVO (m ³ /Ha)
Jitomate	Primavera-verano	4667
Tomate	Primavera-verano	3667
	Verano-otoño	2778
Calabacita	Primavera-verano	3333
	Verano-otoño	2556
Chile verde	Primavera-verano	3222
	Verano-otoño	2778
Ejote	Primavera-verano	3111
	Verano-otoño	2333

Fuente: Cálculos propios, con base a el segundo Método de Blaney-Creedle modificado.

Drenaje.

Las obras de drenaje por el momento no son necesarias por la poca precipitación y por las pendientes con las que cuentan las tierras del municipio, las cuales hacen que las inundaciones no se susciten en el municipio.

Sección de riego.

Con base a datos proporcionados por SAGARPA de Zimapán, referentes al numero de agricultores beneficiados por el programa de apoyo PROCAMPO, se da a conocer un total de 3,300 agricultores y un promedio de 2,500 Ha, ubicadas en sus diferentes comunidades. Del total del número de hectáreas, se contemplan solo 500 Ha para el presente estudio, que son las que se localizan al sur este del municipio lo que las colocan en una cercanía con las fuentes de abastecimiento, además de que presentan pendientes menores del 4% hasta el 12%; En la tabla 4.7 se mencionan las localidades del municipio que se verán beneficiadas, y de igual manera se estimó el número de hectáreas considerando que cada agricultor posee una hectárea.

Tabla 4.7. Localidades que comprenderá el distrito de riego.

LOCALIDADES	NO. DE PRODUCTORES
Coaxithí	20
El aguacatal	20
El Aguacatito	40
El Salitre	40
El Cuarto	30
Lázaro Cárdenas	120
Santiago	80
Temuthé	85
Tinthé	30
Xindhó	35
Total	500

Fuente: Elaboración propia con base a datos de SAGARPA delegación Zimapán.

4.2 DEFINICIÓN DEL RIEGO.

El riego consiste en completar la aportación de agua de lluvia para cubrir las necesidades de agua de los cultivos y así para obtener la máxima producción minimizando las pérdidas de agua. El riego también diluye las sales del suelo, creando un ambiente más adecuado para el desarrollo de los cultivos⁸.

La agricultura ha estado siempre expuesta a la incertidumbre y los azares de la dinámica natural. El riego reduce algunas de estas incertidumbres, permite aumentar la productividad económica de ciertas tierras, habilita otras para el cultivo y aun promueve el desarrollo económico de regiones que sin él no se podrían haber colonizado, habrían quedado deshabitadas o con productividades insuficientes para dar sustento a la población que las habita.

Los beneficios que aporta el riego pueden ser de cuatro tipos. En primer lugar aumenta la superficie susceptible de ser cultivada y, por consiguiente y la capacidad de producción de alimentos y materias primas. Esto es particularmente importante en aquellas regiones áridas o semiáridas del mundo donde la falta de agua no permite actividades agrícolas, las limita a periodos cortos y la condiciona a un número restringido de cultivos. Los impactos son importantes y se reflejan inmediatamente en el paisaje.

Un segundo objetivo del riego es el aumento de los rendimientos en zonas donde el recurso agua, a pesar de no impedir la agricultura, puede ser un factor limitante para el logro de elevadas productividades. Por lo general en estos casos el riego forma parte de un paquete tecnológico que incluye

⁸ <http://web.eead.csic.es/oficinaregante/riego/a1/riego1.html>- 25 Ene. 2005.

semillas mejoradas de alto rendimiento, fertilizantes y plaguicidas, el ejemplo típico nos lo proporcionan la mayor parte de las áreas en las que se ha desarrollado la revolución verde.

La posibilidad de obtener más de una cosecha o más de un producto al año en un mismo terreno es un tercer objetivo del riego, en este caso se logra el aumento de producción agrícola por intensificación de la superficie cultivada. Por ejemplo, en zonas de secano la intensidad promedio mundial es de 0.71%, en cambio en las áreas regadas supera la unidad por la simple razón que una misma área puede ser cosechada más de una vez al año. En 1980 se estimaba que la intensidad promedio mundial en las tierras regadas era de 1.11, y las expectativas eran de aumentar este coeficiente a 1.29 para fines de siglo. En países con una fuerte tradición de riego y con escasas tierras arables como Bangladesh, China, Egipto y México, el coeficiente de intensidad era, a comienzos de los ochenta, de 1.2 a 1.59.

Finalmente, el riego reduce la incertidumbre típica de las actividades dependientes de sistemas y fenómenos naturales. La minimización de los riesgos estimula al agricultor a invertir en la actividad agrícola con una perspectiva a más largo plazo y efectos positivos sobre la producción, pero al mismo tiempo con la probabilidad de provocar transformaciones más profundas del sistema natural⁹.

4.3 TECNOLOGÍAS PARA SISTEMAS DE RIEGO

Básicamente hay cinco métodos de riego¹⁰:

- Riego de superficie, que cubre toda la superficie cultivada o casi toda.
- Riego por aspersión, que imita a la lluvia.
- Riego por goteo, que aplica el agua gota a gota solamente sobre el suelo que afecta a la zona radicular.
- Riego subterráneo de la zona radicular, mediante contenedores porosos o tubos instalados en el suelo.
- Subirrigación, si el nivel freático se eleva suficientemente para humedecer la zona radicular.

De estos métodos de riego abordaremos el riego por goteo y el de aspersión, por ser métodos en los que se emplea menos agua.

⁹ http://www.eurosur.org/medio_ambiente/bif56.htm- 18 Feb. 2005

¹⁰ http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/005/Y3918S/y3918s10.htm-18 Feb. 2005

A. Riego localizado o riego por goteo¹¹

Con este sistema de riego sólo se humedece una parte del suelo, de donde la planta podrá obtener el agua y los nutrientes que necesita e implica una alta frecuencia de aplicación. Estas características de localización y alta frecuencia suponen una serie de ventajas tanto agronómicas como económicas, así como algunos inconvenientes.

La tecnología original de riego por goteo era la de proveer a la planta con una fuente de agua en puntos localizados. Esta tecnología evolucionó durante décadas logrando diversos diseños de emisores para proveer un mejor control en la uniformidad de distribución, reducir problemas de taponamiento, etc. A pesar de ser el sistema de irrigación más eficiente no es el método más económico de riego en el corto plazo para muchos cultivos. Para enfrentar esta situación, la tecnología de la cinta de riego por goteo fue desarrollada con muchas ventajas en las cuales incluyen las siguientes:

- Provee la tecnología de riego de precisión menor al costo disponible en el mundo
- Ofrece al usuario una variedad de emisores a diferentes espaciamientos sin costo adicional.
- Crea literalmente una "franja de suelo mojado" para un desarrollo óptimo de las plantas con la más alta eficiencia en el uso del agua, fertilizantes y agroquímicos.
- Es fácil de transportar, instalar (manual o mecánicamente) y utilizar, debido a lo compacto y simplicidad del diseño
- Es un componente clave en la tecnología moderna de cultivos lo cual incluye la utilización cobertura "mulch" plástico, fertiriego y quemigación.

B. Riego por aspersión

Es un sistema de riego mediante el cual el agua se aplica a los cultivos en forma de lluvia, mojando la totalidad de la superficie cultivada. Se adapta muy bien a los cultivos extensivos, en los que los sistemas de riego localizado frecuentemente resultan inviables por razones técnicas o económicas. Tanto los caudales como las presiones de funcionamiento, así como los alcances de los aspersores, son mucho mayores que en microaspersión, lo que permite una mayor separación entre dichos aspersores y, por tanto, el abaratamiento de las instalaciones. Otro factor de abaratamiento lo constituyen los elementos móviles y semimóviles (tuberías y aspersores), que pueden ser utilizados para el riego de varias parcelas. Sin embargo, esto último supone un encarecimiento en cuanto a manejo¹².

¹¹ <http://www.planthogar.net/releases/00000076.htm>- 18 Feb. 2005

¹² http://www.infoagro.com/riegos/tecnologias_riego2.asp- 25 Feb. 2005.

En la actualidad el uso de sistemas presurizados de riego contribuye una alternativa viable al uso eficiente del agua, principalmente en las zonas agrícolas donde este recurso es escaso como en el norte de México.

A nivel nacional el 10% de la superficie total irrigada es la que se encuentra equipada con riego presurizado, mientras que la región Comarca Lagunera, pese a estar en una zona donde la escasez del agua es crítica, sólo tiene el 1.0% de su área de riego equipada con estos sistemas. Esta región es cuenca lechera de gran importancia a nivel nacional, para lo cual cuenta aproximadamente con 96,000 cabezas de ganado lechero (SARH 1986) que demandan para su alimentación alrededor de 1.752,000 toneladas de forraje verde, siendo el cultivo de alfalfa el forraje preferido. Sin embargo, es un cultivo que demanda láminas anuales de riego que varían entre 2.4 a 2.7 metros, lo que agrava el problema del abatimiento del acuífero en la región, lo cual conlleva a buscar sistemas alternativos de riego que incrementen la eficiencia del uso del agua en este cultivo¹³.

4.4 VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL Y CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO.

En este tema se aborda la precipitación pluvial en todo el mundo tomando como base una clasificación del clima.

A. Variación de la precipitación pluvial¹⁴.

El riego siempre ha sido indispensable en las regiones áridas y semiáridas debido a que la precipitación pluvial es insuficiente para el crecimiento de las plantas, a este factor se debe que muchos países destinen enormes cantidades de sus presupuestos a la construcción de obras hidráulicas. En la Tabla 4.8, se hace una clasificación del clima en base a la precipitación pluvial anual, y el % de superficie de tierra existente en todo el globo terrestre, así como de manera esquemática en la figura 4.3.

Con la tabla 4.8 se llega a la conclusión que aproximadamente 55 % de los climas terrestres son áridos y semiáridos; es por esta razón que el riego ocupa un lugar primordial en la obtención de alimentos. En algunos países la agricultura está sujeta totalmente a la irrigación mientras que en otros solo en cierto porcentaje y por métodos tradicionales que para mejorarse es muy necesario el uso de equipo para un mejor aprovechamiento del agua.

¹³ http://www.unesco.org/phi/libros/uso_eficiente/rodriguez.html- 25 Feb. 2005.

¹⁴ Rivas, Samuel. 1985. Diseño de sistemas de almacenamiento y riego por goteo en zonas áridas y semiáridas. El autor, UNAM. México. pp. 5-8.

Tabla 4.8. Clasificación del clima con base a la precipitación pluvial anual y porcentaje de superficie.

CLASIFICACIÓN DEL CLIMA	PRECIPITACIÓN ANUAL	% DE SUPERFICIE
Árido	250 mm	25%
Semiárido	280-510 mm	30%
Subhúmedo	510-1020 mm	20%
Húmedo	1020-1520 mm	5%
Lluvioso	2030 mm	5%

Fuente: [Http://www.generoyambiente.org/ES/metodologias/docs/desiertos/cap1.pdf](http://www.generoyambiente.org/ES/metodologias/docs/desiertos/cap1.pdf)

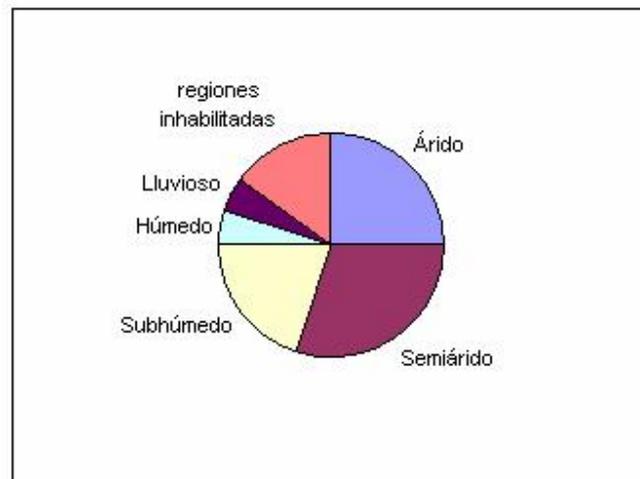


Figura 4.3. Clasificación del clima con base a la precipitación y el porcentaje de superficie.

En las regiones áridas los recursos acuíferos dependen fundamentalmente de la cantidad de hectáreas en bosques y sierras pues éstos ayudan a conservar la humedad del suelo y favorecen la precipitación pluvial. Según cálculos aproximados se estima que por cada hectárea irrigada deben existir siete hectáreas de sierra y bosque como cuenca de captación por esta razón es indispensable la conservación de los bosques como recursos naturales pues su destrucción aumenta su aridez. Si se aplica la proporción anterior a la superficie nacional se estima que deben existir 28 millones de hectáreas irrigadas y el resto en bosques como cuencas de captación.

En cuanto al agua usada en irrigación no toda es de buena calidad, existen sales disueltas que en ocasiones son benéficas, mientras que en otras son totalmente perjudiciales. Las aguas ricas en sustancias reductoras son perjudiciales en irrigación; el mismo problema presenta las aguas de algunos manantiales pobres en oxígeno y ricas en metano y ácido carbónico pero a diferencia de las anteriores pueden airearse en cascadas y utilizarse sin problema alguno. Las aguas ricas en bicarbonatos de calcio son igualmente perjudiciales pero pueden airearse para favorecer la precipitación

del bicarbonato o emplearse con efecto correctivo en terrenos ácidos. Las aguas que contienen sales sódicas en forma de cloruros, sulfatos carbonatos y nitratos; pueden emplearse en riegos siempre y cuando el contenido no exceda ciertos límites. Las aguas que contienen sulfato cálcico permiten una acción correctiva en arcillas sódicas.

En cuanto a los sistemas de aplicación del agua en los que usan más equipo son básicamente dos: el riego por goteo y el riego por aspersión. Los cuales presentan grandes ventajas en zonas áridas, muy importantes son el considerable ahorro del agua y la fácil operación del equipo; de estos dos sistemas el de mayor interés en el presente trabajo es el riego por goteo ya que ocupará parte del presente trabajo su diseño.

El ciclo del agua.

Las fuentes principales de abastecimiento del agua para plantas y demás seres vivos son los océanos que cubren las tres cuartas partes del globo terrestre. El agua existente en los mares por medio de la energía solar sufre un cambio de estado de líquido a vapor, el agua en su estado gaseoso es transportada por los vientos a las superficies de los continentes e islas que al condensarse cae en forma de nieve, lluvia o granizo, abasteciendo las necesidades de los seres vivos terrestres. La cantidad de agua que cae a la superficie terrestre; una parte se evapora nuevamente; otra es absorbida y transpirada por las plantas, mientras que el agua que las plantas no aprovechan forma corrientes superficiales y subterráneas. En cuanto el agua llega a la superficie terrestre en cualquiera de los estados mencionados tiende a formar drenajes superficiales que hacen subir los caudales de los ríos, arroyos y riachuelos que van a los mares y causan muy frecuentemente, inundaciones y erosión si las lluvias o tormentas son muy abundantes. A este proceso natural continuo se le denomina ciclo del agua.

B. Calidad del agua de riego¹⁵.

El agua de riego varía en calidad según la concentración total de sales disueltas, cierto tipo de sales como nitratos, sulfato de calcio, algunos cloruros, etc., proceden efectos benéficos en la tierra; en cambio otras tales como los compuestos de boro, algunos bicarbonatos fluoruros etc., producen efectos totalmente perjudiciales.

Al aplicar el agua a las plantas existirán ciertos valores de tolerancia del suelo en la concentración total de sales disueltas dependiendo de la permeabilidad y composición; algunos terrenos muy impermeables acumulan rápidamente en su superficie cantidades de sales que los imposibilita para usos posteriores. La clasificación química de las aguas se hace en base a la

¹⁵ *Ibíd.* pp. 23-28.

salinidad de sales de sodio, boro carbonatos y bicarbonatos. Las unidades de salinidad se miden en base a la conductividad eléctrica y sus unidades son microhmios/cm, a una temperatura de 25 °C, las unidades mencionadas representan el grado de salinidad en una agua cualquiera. Para medir la conductividad se compara la del agua con la resistencia eléctrica entre dos electrodos de una solución estándar de KCl a 25 °C. El contenido de sales se obtiene multiplicando la conductividad por un factor que para muchos casos es de 0.65; por este procedimiento se calcula en ppm la concentración total de sólidos disueltos.

La conductividad varía desde 100 a 5000 micromohos y en base a ella la salinidad se clasifica en baja, media, alta y muy alta como se especifica en la tabla 4.9.

Tabal 4.9. Conductividad del agua.

INTERVALO DE CONDUCTIVIDAD	CLASIFICACIÓN DE LA SALINIDAD
100 – 250 micromohos/cm.	Baja
250 – 750 “	Media
750 – 2250 “	Alta
2250 – 5000 “	Muy alta

Fuente: Rivas, Samuel. 1985. Diseño de sistemas de almacenamiento y riego por goteo en zonas áridas y semiáridas. El autor, UNAM. México.

Las aguas de salinidad baja son recomendables en la mayoría de los casos, pueden acarrear problemas en un cierto periodo de tiempo únicamente en terrenos muy impermeables. El agua para riego de salinidad media es también apta para el riego a diferencia del caso anterior tienen que emplearse grandes volúmenes en muchos casos para lavado de suelos y cultivos tolerantes a la salinidad.

La tercera clasificación comprende las aguas de salinidad alta, en estos casos se emplearán grandes volúmenes para lavar suelos además de emplear cultivos tolerantes a la salinidad.

En la última clasificación se incluyen las aguas de salinidad muy elevada que en rangos menores solamente se usarán en grandes cantidades con cultivos tolerantes a la salinidad y en terrenos muy permeables; en muchos casos no es aconsejable su uso.

Existen dos cationes que neutralizan los efectos de los iones Na^+ que son el Ca^{2+} y el Mg^{2+} , por este motivo se busca siempre que toda agua de riego que la proporción de los iones sodio sea semejante a la concentración total de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} , como no sucede así en la mayoría de los casos se pretende que la proporción de sodio no rebase ciertos límites. Existe una

ecuación que establece una relación entre la concentración de iones Na^+ con la $\sqrt{\frac{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}}{2}}$ y se define de la siguiente forma:

$$S.A.R. = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}}{2}}}$$

En donde S. A. R., se define como relación de absorción de sodio, las concentraciones de los iones están dados en equivalentes por millón. Los valores de S. A. R., van desde 0 a 31 y no tienen unidades, y se especifican con la tabla 4.10.

Tabla 4.10. Valores de S. A. R.

INTERVALO DE SAR.	CLASIFICACIÓN
0-10	Baja
10-18	Media
18-26	Alta
26-31	Muy alta

Fuente: Rivas, Samuel. 1985. Diseño de sistemas de almacenamiento y riego por goteo en zonas áridas y semiáridas. El autor, UNAM. México.

1. Recomendaciones para análisis y su posible uso¹⁶.

Dentro del grupo bajo como contenido de sodio no existen problemas en la mayoría de los casos; solamente podrán presentarse inconvenientes en cultivos muy sensibles a este ión. La segunda clasificación comprende las aguas de riego que contienen una concentración de iones sodio en términos medio. Las sales disueltas pueden ser cloruros bicarbonatos y sulfatos principalmente; el exceso de estas sales produce una alcalinidad alta y dureza en los suelos presentando problemas de filtración, sobre todo en suelos arcillosos. El efecto de las sales mencionadas puede ser neutralizado con sulfatos de calcio.

El tercer grupo abarca las aguas con alto contenido de sodio que es de gran peligro su acumulación en el suelo, son aconsejables en estos casos las aportaciones de materia orgánica y sulfato de calcio así como un buen drenaje en el terreno.

El último grupo incluye las aguas con contenidos de sodio muy elevados que sólo es recomendable usarlos con muchas precauciones y solamente en determinados casos. Es también indispensable conocer en el agua de riego el contenido de boro y en base a su concentración tener ciertas precauciones

¹⁶ *Ibíd.* pp. 25.

en su uso; en concentraciones menores de 0.5 mg/l puede ser benéfico el uso de esta agua, en concentraciones mayores es poco aconsejable su uso porque afecta el desarrollo de las plantas y es tóxico a la vida animal. Existen algunas especies que son tolerantes al contenido de boro en concentraciones mayores de 0.5 mg/l otras que son en grado mucho mayor y algunas que son muy sensibles. La presencia de este elemento en concentraciones mayores de 4 mg/l no es recomendable el uso de esas aguas aun teniendo las plantas un alto grado de tolerancia.

Las aguas de riego también pueden clasificarse según su contenido de carbonatos y bicarbonatos como se especifica en la tabla 4.11.

Tabla 4.11. Clasificación de aguas para el riego según contenido de carbonatos y bicarbonatos.

CALIDAD DEL AGUA	CONC. (MEQ/L)
Buena	0 -1.25
Regular	1.20 -2.50
Mala	<2.50

Fuente: Rivas, Samuel. 1985. Diseño de sistemas de almacenamiento y riego por goteo en zonas áridas y semiáridas. El autor, UNAM. México.

El contenido de carbonato y bicarbonato puede disminuirse por medio de una aireación para favorecer la precipitación de los bicarbonatos y aumentar el contenido de oxígeno. Los tratamientos anteriores se aplican a aguas procedentes de algunos pozos y estanques porque en algunos de ellos por la materia orgánica contendida, los microorganismos consumen el oxígeno. También pueden eliminarse los bicarbonatos agregándoles fosfato potásico para provocar la formación de fosfato de calcio que es benéfico para el suelo.

Existen algunas aguas para riego con características ácidas que pueden tratarse antes de ser usadas haciéndolas pasar por bolsas que contengan cal, cenizas o escorias fosfatadas.

Algunos otros factores que también influyen en la calidad del agua son temperatura, contenido de berilio, fluoruros y otros de menor importancia. La temperatura óptima para el agua de riego, es de 28 – 30°C si es mayor debe de airearse para su enfriamiento, si las temperaturas son muy bajas tienden a paralizarse las paredes pediculares de las plantas. El contenido de berilio no afecta la vida vegetal pero si la animal por esta razón las aguas deben poseer este elemento en muy bajas concentraciones.

4.5 EL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.

Entre los sistemas tradicionales de suministro de agua a las plantas que el hombre ha usado desde hace 5000 años existe un considerable desperdicio debido a que las plantas únicamente aprovechan del 30-60 % del agua que se les suministra. En lugares áridos y semiáridos donde la escasez de agua es muy frecuente el buen rendimiento del vital líquido es de enorme importancia; por esta razón se han desarrollado nuevas técnicas de suministro del agua a las plantas que permitan mayores rendimientos. Entre los sistemas de desarrollo más recientes que hacen uso de equipo y que proporcionan rendimientos satisfactorios se encuentran: el riego por aspersión, el de goteo y subterráneo; de los tres el que más nos interesa en nuestro estudio es el sistema de riego por goteo que proporciona rendimientos sorprendentes en el uso de agua.

El sistema de riego por goteo fue observado accidentalmente hace más de 40 años por el ingeniero israelita Symcha Blas quien distinguió que el crecimiento de un árbol cercano a un grifo que goteaba era mucho más frondoso que el crecimiento de los árboles no alcanzados por el agua del grifo. Symcha Blas sabía que los métodos tradicionales desperdiciaban agua en grandes cantidades por lo cual el ejemplo observado le sirvió para idear una técnica de riego que suministrará el compuesto a las plantas en cantidades pequeñas e intervalos frecuentes con óptimos resultados. La técnica consiste en una red de tubos de plástico (polietileno principalmente) conectados a una tubería principal, colocados cerca de una hilera de cultivos que suministran cantidades pequeñas y constantes de agua en intervalos frecuentes de tiempo. En esta forma nació el sistema de riego por goteo que tan buena aceptación ha tenido en todo el mundo sobre todo en zonas áridas y donde la mano de obra es muy costosa¹⁷.

La cantidad de mangueras dependerá básicamente de los cultivos que se tengan en el predio agrícola; de igual manera el número de emisores estará en función de los mismos. Existen varios tipos de emisores que se han desarrollado y perfeccionado paralelamente al perfeccionamiento del riego por goteo; se describirán detalladamente más adelante.

A. Ventajas y desventajas de este sistema¹⁸.

El sistema de riego por goteo ofrece excelentes ventajas a saber:

1. Se obtienen rendimientos hasta de un 70% con respecto a otros métodos de irrigación.
2. Nivel de humedad ideal y en consecuencia la fotosíntesis se realiza en óptimas condiciones.

¹⁷ *Ibíd.* pp. 60-62.

¹⁸ *Ibíd.* pp. 62-64.

3. Grandes ahorros del agua y reducción al mínimo de las pérdidas por evaporación, filtración y escurrimiento.
4. Se puede utilizar todo tipo de suelos sin problemas de erosión.
5. Funciona en todos los climas y preferentemente en los áridos y semiáridos.
6. No existe interferencia de los vientos como sucede con el riego por aspersión.
7. Fácil control de las hierbas además de disminuir el suministro de agroquímicos.
8. Ahorro de mano de obra por su cómodo manejo de equipo.
9. Fertilización simultánea de las plantas y aprovechamiento óptimo de los fertilizantes al aplicarlos disueltos.
10. Evita la asfixia radicular en las plantas y se aprovecha las aguas muy salinas.
11. Mejor calidad en frutos y más precoces (maduran en menor tiempo).

El sistema de riego gota a gota también tiene sus desventajas como cualquier otro como se enumeran de la siguiente manera.

1. Alto costo de inversión inicial según la extensión a cultivar.
2. Equipos de alta calidad para que resistan todas las condiciones ambientales.
3. Vigilancia constante para evitar irregularidades.
4. Problemas de obturación en goteros por sales mal disueltas o algunos sólidos en suspensión.
5. Algunos inconvenientes en la aplicación de fertilizantes de mediada o poca solubilidad.
6. Proliferación de algunas plagas y enfermedades.
7. Dificultades en el uso de aguas turbias por el tratamiento que requieren.
8. Elaboración de proyectos para hacer llegar a la planta la misma cantidad de agua, al mismo tiempo que necesita una buena filtración.
9. La proliferación de algunas algas obtura frecuentemente los emisores.
10. Problemas de anclaje de la planta por concentrarse las raíces en un solo lado.
11. Disturbios ocasionados por roedores en el equipo.

En sus comienzos de aplicación de este sistema se presentaban serias dificultades entre ellas la obturación en los orificios por los que se suministraba el agua; otro serio problema era, los altos costos de tuberías razón por la cual fue necesario esperar que la industria del plástico se desarrollara para que los costos se redujeran considerablemente. Entre los materiales más usados para mangueras son dos principalmente el polietileno y el cloruro de polivinilo, este último tiene la desventaja de degradarse rápidamente con la luz solar por esta razón las tuberías y mangueras no deben de estar expuestas a la intemperie; las mangueras usadas para el riego por goteo deben de ir enterradas. El polietileno posee mejores

propiedades tales como de ser inerte a los ácidos y bases fuertes y no degradarse tan fácilmente como el PVC, este polímero se usa también para moldear goteros, accesorios y tuberías. Existen polietilenos de diferentes densidades y sus usos son para darle a las tuberías y accesorios mayor o menor rigidez; cada fabricante podrá darle al polietileno la densidad deseada y el negro de humo le da mayor intemperismo, por esta razón las tuberías y accesorios se mezclan con este constituyente.

B. Equipo utilizado en el sistema de riego por goteo¹⁹.

El sistema de riego por goteo se caracteriza por las bajas presiones con las que trabaja el equipo; el intervalo de presión varía de 0.2 a 2 atm, pueden existir variaciones de presión ya sea que las mangueras se encuentren al mismo nivel de la bomba o en uso menor. La presión en el sistema variará según la cantidad de emisores, al aumentar el número de emisores la presión disminuye en caso contrario si el número de emisores disminuye la presión interna será mayor.

El sistema puede dividirse en tres partes:

1. Unidad de control.
2. Ramas principales.
3. Sistema de redes laterales.

La unidad de control está formada del siguiente equipo:

- a) Bomba central que se coloca en la parte más alta del terreno con sus elementos y conectada al tanque de almacenamiento de agua; puede prescindirse de ella si el tanque tiene la altura conveniente.
- b) Tubo de conducción central; se encuentra conectado a la bomba y al depósito de agua.
- c) Depósito de agua; varía su volumen según los requerimientos del cultivo.
- d) Filtros según la cantidad de sólidos en suspensión o materia orgánica disuelta, para el caso de agua pluvial se recomiendan filtros de arena.
- e) Medidor de volumen de agua.
- f) Manómetro para medir variaciones de presión.
- g) Rompedor de vacío que evite los cambios internos de presión que alterarían los flujos constantes y medidas.
- h) Válvulas de retención de bola que controla la salida a los ramales.
- i) Tanques para fertilizantes disueltos cuyo volumen puede ser 25, 50 ó 100 litros según los requerimientos.

En la unidad de control salen los ramales principales de plástico (polietileno negro) que se encargan de distribuir los ramales laterales en los

¹⁹ *Ibíd.* pp. 65-69.

cultivos. Sus diámetros varían entre 25 y 50 mm según el tipo de cultivo, tamaño, forma y características de predio.

En los ramales principales se acoplan las demás líneas de la red cuyo diámetro varía entre 6.0 y 16 mm., su diámetro estará en función de las caídas de presión y tipos de emisores que se usen; al final de cada línea lateral se encuentra un tapón que sirve para abrir y lavar tuberías lo mismo que para regular presión. El material de cada rama lateral es polietileno.

Los emisores o goteros se encuentran unidos a los ramales laterales y su número dependerá del tipo de cultivos que se tenga en el campo. Existen reglas generales recomendadas para cultivos que nos dicen el número de goteros por planta según el cultivo de que se trate, algunas hortalizas y legumbres ocupan 1 emisor por planta. Otros factores que determinan la cantidad de goteros son: la edad de la planta y la superficie que ocupan. Si se aplica el riego gota a gota a frutales; se hará una clasificación en plantas de pequeña superficie, mediana y grande. Los frutales de superficie pequeña ocupan en general un área de 9 m² ejemplos más comunes son la vid y el plátano, los de superficie mediana 25 m² y son ejemplos el manzano, durazno, cítricos y aguacate chico. Los árboles de superficie grande abarcarán áreas de 40 a 50 m² como el nogal, olivo, higuera, aguacate grande, mango, tamarindo, etc. el número de goteros por planta, para el caso de plantas jóvenes de superficie mediana se recomiendan de 4 a 6 goteros por árbol en un círculo de 1.8-2.0 m. de diámetro.

En plantas de superficie chica se emplean 3 goteros por árbol. En árboles de superficie grande de 6-7 goteros por árbol. En plantas establecidas no habrá mucha diferencia con las reglas anteriores así en árboles de áreas medianas adultos se colocarán de 5 a 6 goteros por planta; para árboles de superficie grande en edad adulta es recomendable de 6-7 goteros/planta en un círculo de hasta 3 m. de diámetro.

C. Bases del sistema de riego por goteo²⁰.

El principio en que se basa el diseño de un sistema de riego por goteo es la transferencia de momentum que es un fenómeno de transporte que se realiza dentro de la tubería de plástico; existe un gradiente de momentum producido por la bomba de la unidad de control o por el depósito instalado a una altura determinada. existen dos tipos de flujo en la tubería ocasionados por la transferencia de momentum y son: el flujo laminar y flujo turbulento; en el laminar el movimiento macroscópico del fluido forma un perfil parabólico de velocidades a lo largo del diámetro del ducto de plástico, en el turbulento el movimiento macroscópico es errático y forma remolinos dentro de la manguera; el número de Reynolds nos indica el tipo de flujo; ambos se

²⁰ *Ibíd.* pp. 69.

presentan en el sistema de riego por goteo e interesa su estudio para el diseño de los ramales laterales y principales de un sistema.

D. El sistema de red²¹.

El conjunto de tuberías y accesorios en el sistema de riego por goteo son de materiales plásticos. El flujo que se presenta en la red puede ser turbulento o laminar.

Cuando el flujo es laminar los goteros se obturan frecuentemente debido a que quedan en el agua algunos polvos finos y sales disueltas que alcanzan a cristalizarse. Cuando el flujo es turbulento las obturaciones son mucho menos frecuentes. En las laterales de la red se encuentran instalados una cierta cantidad de emisores cuyo número estará en función del cultivo que se tenga. Una propiedad fundamental de los goteros es que deben ser fuertemente resistentes a la luz solar para evitar su deformación y crecimiento de algas; por esta última razón su coloración es negra. En cuanto a sus dimensiones no deben variar a diferentes condiciones climáticas para conservar las características de flujo del sistema. El polipropileno y polietileno de alta densidad poseen las propiedades anteriores y se usan para moldear los accesorios mencionados.

E. Tipos de goteros²².

Existen en el mercado una amplia variedad de goteros y cada día son desarrollados nuevos modelos. Los más conocidos se describen a continuación:

1. Microtubos.

Los primeros consisten en tubos de plástico de un diámetro muy pequeño que es de 0.05 a 0.0875 cm. (algunas veces se usa un diámetro diferente al intervalo mencionado) que se insertan en la tubería lateral; su gasto está determinado por su longitud. En la figura 4.3, se observa como aumentando su longitud el gasto se ve limitado severamente; por lo antes mencionado es necesario ajustar las longitudes perfectamente para que el gasto sea uniforme debido a que en cada tramo de tubería existen pequeñas caídas de presión. El tipo de flujo interior del microtubo es laminar.

Para su instalación se procede a taladrar la lateral con un orificio de diámetro de 0.16 cm. menor al diámetro del microtubo; con las propiedades elásticas hay un ajuste adecuado. Sin embargo este gotero instalado tiene una desventaja y es el riesgo constante de alterarse la tubería lateral y los

²¹ *Ibíd.* pp. 69-70.

²² *Ibíd.* pp. 70-77.

microtubos por viento, cambios de temperatura o las diferentes prácticas de cultivo. Por los factores mencionados siguiendo el mismo principio se ha fabricado un gotero llamado de trayectoria larga.

2. Gotero integrado de trayectoria larga.

Bajo el mismo principio que el anterior puede clasificarse de dos tipos:

1) Gotero espiral. En este gotero la trayectoria larga está hecha de polipropileno en forma espiral y es endurecida para mantener una forma permanente; una terminación de la espiral es insertada en la tubería lateral y el resto alrededor de la misma; para en esta forma el árbol reciba un goteo continuo. El diámetro de la espiral de estos emisores es de 0.0375 a 0.0875 cm.; su costo en el mercado es bajo pero tienen la desventaja de ser afectados por los cambios de temperatura no son muy elásticos y pueden saltar fuera del agujero de la lateral. La ventaja principal es que proveen menos obstrucción al flujo del agua. Las pérdidas de energía y consecuentemente la descarga está influenciada por la curvatura de las espirales.

2) Gotero espiral interno: Muchos fabricantes basados en el principio ya descrito han adoptado este nuevo tipo de gotero a diferencia del anterior no lleva microtubos capilares. El efecto del microtubo es producido por moldear un largo canal que se cubre con una tapa cilíndrica exterior. Este emisor está insertado dentro del lateral (Fig. 3.4a); así se crea un ducto espiral interno de sección cruzada circular o rectangular. el agua entra por una terminación y sale por la otra con energía menor. El flujo en estos goteros es de 2, 4 u 8 l/h y el tipo de flujo es laminar con una presión de operación de 100 centibars.

3. Goteros de orificio

Estos tipos de goteros consisten en una cámara interior de alta presión y una exterior de presión más baja; el flujo es regulado por un obturador movable; los fabricantes han desarrollado varios diseños; uno de ellos se ilustra en la Fig. 3.4b. presentan varias ventajas sobre otros emisores por eso nos ocuparemos de ellos más ampliamente. Se opina frecuentemente sobre la dificultad de obtener una descarga baja en este tipo de goteros pero su simple y económica construcción ha hecho que se hagan estudios sobre su aplicación en ciertas áreas y que se mejoren sus modelos. El diámetro de los orificios es menor de 1mm.

La forma tradicional de insertar estos goteros (por medio de taladro en la tubería) ha resultado ineficaz debido a que se presentan obstrucciones en los orificios por presiones altas; y a presiones bajas la descarga en la tubería no es uniforme. Por estas razones los fabricantes han desarrollado orificios para insertar en las laterales con el fin de conseguir una descarga más uniforme. Se puede resolver el problema de altas descargas ajustando el emisor un

obturador movable (en forma de una diminuta pelota o pequeño cono que consigue bajar la presión en la lateral) y alcanzar una presión de operación normal. Por medio de esta elevada presión en la operación inicial se consigue dejar fuera a pequeñas partículas que causarían azolve a presiones altas la pelota o cono bloquea la entrada a partículas extrañas del exterior y deja solamente una pequeña salida al agua. Las partes movibles se han incorporado para regular descargas y lograr un flujo más uniforme. Existen algunas objeciones para las innovaciones hechas a estos goteros tales como el bloqueo por materia extraña a las partes movibles y en consecuencia operar el equipo defectuosamente; por esta razón el equipo deberá revisarse cuidadosamente antes de salir al mercado.

Aunque muy frecuentemente se presentan problemas de instalación y funcionamiento con los goteros de orificio, son relativamente baratos y fáciles de instalar, además siendo el flujo turbulento los asolvamientos rara vez ocurren.

El diámetro de las tuberías es de aproximadamente 1.25 cm. y la presión es de 50 – 150 centibars, como a presiones bajas el número de salidas es mucho mayor la proporción de flujo es grande, en cambio a presiones elevadas el número de salidas es más pequeño.

Las ventajas de los goteros de orificio se resumen como sigue:

- a) Son realmente baratos y pueden fabricarse en una forma continua.
- b) No ocurren obstrucciones frecuentes porque se trabaja con flujos turbulentos y presiones interiores altas.
- c) Descargas de agua muy pequeñas como 1 l/h (un litro por hora) que son muy apropiadas para suelos pesados.
- d) Con las descargas pequeñas el tiempo de operación es mayor y el sistema es más económico.
- e) Los gastos de operación e iniciales pueden reducirse al usar tuberías de diámetro pequeños y bombas más pequeñas.
- f) El diámetro de la tubería debe ser mayor cuando el número de emisores es grande.

En años recientes se han fabricado tuberías de doble pared que han sido muy económicas por ser de paredes delgadas. Este equipo tiene la desventaja de no operar satisfactoriamente en pendientes empinadas por no tener un gasto uniforme; pero en pendientes moderadas trabaja sin graves problemas.

4. Tubos de plástico porosos.

Los tubos de plástico porosos descargan agua a través de su longitud total en una proporción relativamente uniforme, su uso ha sido muy limitado. Al

ser colocada una tubería enterrada con estas características la aplicación del agua se desvía del concepto de aplicación por goteo. Este sistema puede ser muy duradero si el agua de riego es de buena calidad de otra manera resulta impráctico en la mayoría de los casos.

5. Otros tipos de goteros.

A medida que transcurre el tiempo aparecen en el mercado nuevos modelos de goteros mejorados con base a la experiencia de los modelos ya mencionados. Como ya se ha mencionado el problema más serio en cualquier gotero es el ensuciamiento que impide el suministro de agua. Todo fabricante debe proporcionar una lista de probables problemas que se presentan en los emisores y la manera de resolverlos.

4.6 LA FERTILIZACIÓN EN EL RIEGO POR GOTEO²³.

Debido a que la mayoría de la irrigación por goteo es muy usada en regiones áridas por este método es posible fertilizar el suelo y proveer en esta forma los nutrientes necesarios para el desarrollo de la planta. En lugares con lluvias abundantes y donde la irrigación por goteo es suplementaria puede agregarse el fertilizante a la planta sin antes ser disuelto y con el agua de lluvia se disuelve y llega a las raíces de las plantas; pero en lugares de lluvias escasas y donde las plantas están sujetas casi en su totalidad al agua de irrigación, al agregarse el fertilizante sin disolverse se corre el riesgo de desperdiciarse o ser poco eficiente si no hay una suficiente cantidad de agua; por lo que es conveniente incluir en el sistema de irrigación el equipo y procesos necesarios para una fertilización.

La fertilización por este medio ayuda a un buen rendimiento y calidad de la cosecha pues se puede alcanzar producciones hasta de un 60 u 80 % más de lo ordinario; además al incluirse la fertilización en el riego por goteo, puede suministrarse un buen control de la fertilización y un ahorro de mano de obra en los cultivos.

Antes de aplicar la fertilización en un campo es necesario conocer la solubilidad de las sales nutrientes; algunas de ellas son poco solubles y su aplicación por la red de goteo causa serios problemas que puede ser el aprovechamiento en los goteros o la corrosión en las tuberías, algunas sales de fósforo son poco solubles otras a temperaturas de agua muy bajas pueden cristalizar y causar serios problemas en la red. Por esta razón se mencionará cuáles son las sales nutrientes más adecuadas.

²³ *Ibíd.* pp. 77-79.

A. Tipos de fertilizantes a utilizar en el riego por goteo²⁴.

Los fertilizantes a usar en el riego por goteo deben ser perfectamente solubles; cualquier sal parcialmente soluble bloquea al sistema y crean obstáculos operacionales. El superfosfato es parcialmente soluble razón por la cual es difícil de aplicar en el riego por goteo; en lugares donde el riego por goteo es suplementario pueden aplicarse los nutrientes del fósforo en épocas lluviosas y el resto en periodos de sequía. En algunos jardines privados se aplican fertilizantes ya preparados con todos los nutrientes necesarios para las plantas, tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre, boro, molibdeno y azufre. El nitrógeno puede aparecer como nitrato o sales de amonio; los microelementos aparecen como quelatos en ácidos orgánicos que prevén perfectamente las precipitaciones en la red y retienen su solubilidad. Estos tipos de fertilizantes son muy costosos y su uso en gran escala resulta antieconómico. En los fertilizantes preparados con todos los nutrientes el fósforo presenta serias dificultades debido a que la mayoría de sus compuestos son poco solubles. Una práctica común de la aplicación del fósforo es el método que ya anteriormente se mencionó. Varios de los fertilizantes usados se listan en la tabla 4.12 con sus solubilidades respectivas.

Tabla 4.12. Solubilidades de los fertilizantes.

FERTILIZANTE	SOLUBILIDAD G/L
Amoniaco (NH ₃)	97 “
Nitrato de amonio (NH ₄ NO ₃)	1185 “
Sulfato d amonio	700 “
Nitrato de calcio	2670 “
Sulfato de calcio	Insoluble “
Fosfato de di-amonio	413 “
Sulfato de magnesio	700 “
Sulfato de manganeso	517 “
Fosfato de mono-amonio	225 “
Fosfato de mono-calcio	Insoluble “
Cloruro de potasio	277 “
Nitrato de potasio	135 “
Sulfato de potasio	67 “
Urea	1190 “

Fuente: Rivas, Samuel. 1985. Diseño de sistemas de almacenamiento y riego por goteo en zonas áridas y semiáridas. El autor, UNAM. México. pp. 80.

²⁴ Ibíd. pp. 79-80.

1. Materiales.

B. Preparación de fertilizantes en solución²⁵.

Los fertilizantes líquidos pueden ser preparados de compuestos químicos que son solubles en agua y pueden almacenarse en solución o en forma sólida y se preparan como sigue:

En cualquier preparación de fertilizantes es necesario conocer el % de composición de cada elemento nutriente. En la tabla 4.13 se especifica el % de su composición en peso de las siguientes sales químicamente puras:

Todos los fertilizantes deben ser almacenados en lugares bien ventilados y en contenedores herméticos tales como costales de polietileno. Debe evitarse el excesivo calor cerca de ellos pues algunos son muy oxidantes y en presencia de materia orgánica pueden causar incendios.

Las soluciones se preparan teniendo en cuenta su solubilidad. No es general conveniente preparar soluciones con fertilizantes de solubilidad baja a no ser que sea en concentraciones muy bajas y con extremas precauciones; en concentraciones no muy bajas se corre el riesgo de azolvar las tuberías de plástico. El agua que se emplea para solubizarlos debe ser no muy fría a no ser que su solubilidad sea muy elevada. En el caso del nitrato de potasio si se emplea agua demasiado fría se corre el riesgo de que se formen cristales en las mangueras y las corroan.

Tabla 4.13. Porcentaje de composición de los fertilizantes.

COMPUESTOS	COMPOSICIÓN EN PESO
Nitrato de potasio	14% N, 39% K
Urea	32% N
Sulfato de magnesio	20% Mg
Nitrato de amonio	35% N
Nitrato de calcio	17% N, 25% CaO
Fosfato de monoamonio	12% N, 61% P ₂ O ₅

Fuente: Rivas, Samuel. 1985. Diseño de sistemas de almacenamiento y riego por goteo en zonas áridas y semiáridas. El autor, UNAM. México. pp. 81.

Determinado el sistema de riego a utilizar en distrito de riego de Zimapán, se procederá a buscar alternativas que solucionen el problema de abastecimiento de agua para el riego para el municipio, mismas que se plantearán en el capítulo 5.

²⁵ *Ibíd.* pp. 80-81.

CAPÍTULO 5.

ANTEPROYECTO DEL DISTRITO DE RIEGO PARA EL MUNICIPIO DE ZIMAPÁN, HIDALGO.

Este capítulo es la parte central del trabajo de estudio, se aborda el impacto que ejercerá el anteproyecto al municipio; además del planteamiento de fuentes potenciales para el abastecimiento de agua para el riego. Posteriormente se visualiza una evaluación técnica seguida de una evaluación económica la cual permitirá seleccionar la mejor alternativa como propuesta para el anteproyecto en cuestión.

5.1. IMPACTO DEL ANTEPROYECTO.

Los recursos que actualmente se dedican a lo social deberían destinarse predominantemente a los menos privilegiados. Así el abastecimiento de alimentos más económicos, es sin duda alguna la generación de los mismos por la población que los requiere y evitar en lo posible que se importen al municipio es una prioridad fundamental para la reducción del costo al momento de su adquisición.

La gran problemática del municipio de Zimapán es la producción y calidad de los cultivos, ocasionada por la falta de agua para el riego. Este trabajo de tesis busca solucionar el problema de la producción agrícola eficiente, para colocarla como un pilar económico de este municipio.

El presente proyecto busca beneficiar a agricultores que por su ubicación topográfica y características de sus tierras son las más aptas y apropiadas para el desarrollo de la agricultura, aunque no se descarta que las demás tierras puedan ser utilizadas en un futuro. A continuación se enumeran los beneficios del proyecto:

- 1) Con la creación del distrito de riego se evitará en parte la dependencia del cultivo de temporal y se regarán 500 hectáreas de terreno, beneficiando a un mismo número de productores.
- 2) Se crearán empleos directos e indirectos, con lo que se ocasionará que la emigración se siga dando y el nivel de vida sea mejor.
- 3) Tecnificación del riego agrícola utilizando el riego por goteo.
- 4) Los excedentes que se obtengan de los cultivos de maíz y frijol se exportarán con lo cual se busca abrir mercados en otros municipios.

- 5) El asentamiento de empresas se generaría más, pues la agricultura necesita de herramientas, fertilizantes y demás productos para los cultivos.
- 6) De forma indirecta los mantos freáticos subirían su nivel, propiciando que a largo plazo estos mantos aporten una cantidad adicional para el riego.

5.2. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA EL RIEGO.

Con base a los resultados obtenidos en el capítulo 4, se pretende cubrir la demanda de frijol al cien por ciento, por ser este cultivo el que presenta una mayor rentabilidad por hectárea; de esta manera se necesitan 264 Ha para cubrir la demanda del municipio. Considerando que se pueden obtener hasta dos ciclos para el frijol, se cultivarán 132 Ha de frijol por ciclo y la parte restante que suman la cantidad de 368 Ha, se sembrarán de maíz. En la tabla 5.1 se muestra el volumen total demandado para el distrito de riego,

Tabla 5.1. Volumen total demandado para el distrito de riego.

	CULTIVO	CICLO	NÚMERO DE HA	USO CONSUNTIVO M ³ /HA	VOLUMEN TOTAL POR CICLO M ³ /CICLO
500 Ha	maíz	Primavera-verano	368	4778	1,758,304
	frijol	Primavera-verano	132	2333	307,956
		Verano-otoño	132	1667	220,044
Volumen total demandado					2, 286,304 m³/año

Fuente: Elaboración propia con base a información de la FAO.

Con los resultados de la tabla 5.1 se determina que se necesitan 2, 286,304 m³/año, de los cuales se considera para abastecer la demanda un periodo de 7 meses (duración de dos ciclos del frijol) y una jornada de 20 hrs. (esto para permitir paros intermedios para dar mantenimiento a los equipos). Determinando el caudal en litros por segundo (l/s), se obtiene un caudal de 152 l/s. Para ello se requiere analizar y evaluar las alternativas disponibles, con la finalidad de seleccionar aquella que presente las mejores ventajas técnicas y económicas y que sea capaz de resolver en parte la problemática actual y futura que aqueja al municipio de Zimapán.

Se plantean 2 alternativas para solucionar el problema de abastecimiento de agua para el riego.

1. En la primera alternativa, se plantea aprovechar las aguas del río Tula, para llevar a cabo lo anterior, se requiere la construcción de un acueducto que permita conducir el agua desde del río hasta el distrito de riego y de dos tanques cuya ubicación está en función del estudio topográfico del distrito, pero para efectos del presente estudio se ubicará en la comunidad de Tinthé (TT) por poseer esta comunidad las tierras más altas del distrito.
2. En la segunda alternativa, se plantea aprovechar las aguas de la presa Ing. Fernando Hiriart Balderrama, al igual que la anterior se requiere la construcción de un acueducto y que de alguna manera beneficiará a ambos usuarios de esta agua (Comisión Federal de Electricidad y distrito de riego Zimapán), además de la construcción de un tanque en el mismo punto que el anterior.

Para los alcances que persigue este trabajo se requiere que las alternativas sean equiparables, esto con la finalidad de poder evaluarlas y seleccionar aquella que cumpla con las características que puedan solucionar el problema de generación de alimentos, por ello las fuentes seleccionadas deberán aportar el gasto mínimo requerido por el distrito, el cual de acuerdo al uso consuntivo del maíz y del frijol (cultivos base representativa para el cálculo de la demanda de agua) el caudal requerido es de 152 l/s de acuerdo con la tabla 5.1.

Con base a lo anterior, se analizarán las dos alternativas con las opciones que en ellas se mencionan, en la tabla 5.2 se presentan las alternativas y las propuestas de los proyectos necesarios para satisfacer las necesidades en materia de agua para el riego.

Tabla 5.2. Fuentes potenciales para el abastecimiento de agua para el riego por goteo al municipio de Zimapán.

ALTERNATIVA	FUENTE	UBICACIÓN	PROYECTO
1	Río Tula	Límites Tasquillo-Zimapán	Acueducto
2	Presa Ing. Fernando Hiriart Balderrama	Límites de los municipios de Tasquillo, Tecozautla y Zimapán, del Estado de Hidalgo, y Cadereyta de Montes del Estado de Querétaro	Acueducto

Fuente: Elaboración propia, con base a datos hidrológicos del estado de Hidalgo.

Una vez propuestas las dos alternativas y basándose en la demanda total requerida, se plantean las condiciones con las que deberá cumplir la infraestructura necesaria para el aprovisionamiento de aguas para el riego.

En cuanto a las alternativas en las que se propone la construcción de conducciones, es necesario que éstas se encuentren lo más cerca posible de las carreteras, caminos y líneas de alta tensión, con el fin de minimizar los costos de acceso a obras y limpieza de terrenos, así como aprovechar el derecho de vía con que cuentan, para evitar en lo posible afectaciones e indemnizaciones a los locatarios de los terrenos.

Para determinar el mejor trazo que deben seguir las conducciones, es necesario efectuarse estudios topográficos y geotécnicos. En la figura 5.1 se esquematizan las 2 alternativas propuestas, cabe señalar que el trazo de la alternativa 1 se propone utilizar infraestructura existente del acueducto La Cruz-Zimapán que abastece de agua potable al municipio, como lo es en línea de alta tensión y camino. El trazo del acueducto de la alternativa 2 se realizó paralelo a la carretera Presa Hidroeléctrica-Zimapán.

5.3. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.

Realizado el planteamiento de las alternativas el siguiente paso es analizar cada una de ellas, para ello es necesario identificar las características predominantes del proyecto en cuestión, a continuación se realizan los estudios necesarios para el análisis de las alternativas seleccionadas.

Respecto al agua superficial se detectó que a la salida de la cuenca del río Tula la disponibilidad del recurso es de 966 millones de m³/año, que corresponde a la exportación a la cuenca baja del Río Pánuco, región administrativa número IX, golfo Norte¹. Por lo que se determina que la fuente para abastecer al distrito de agua para el riego se limita a una, la cual dependiendo del lugar que se elija para extraerla se identificaron dos puntos los cuales se nombran a continuación:

Alternativa 1(Acueducto Río Tula-Zimapán)

El Río Tula tiene una elevación aproximadamente de 1600 msnm y se ubica a 9.5 kilómetros al sur del tanque que se pretende construir (TT). La elevación del tanque estará a 1840 msnm. Entre estos dos puntos se encuentran caprichosas formaciones naturales las cuales deben ser libradas. La mayor elevación se encuentra a 4.5 kilómetros partiendo del Río Tula con dirección a la cabecera municipal, alcanzando una elevación de 1960 msnm, de lo anterior se deduce que el nivel topográfico a vencer es de 360 metros.²

¹ www.ccvvm.org.mx/cuenca.htm - 20 Jun. 2004.

² Lara, Juan Antonio. 2003. Planeación y anteproyecto del sistema de abastecimiento de agua potable de la cabecera municipal de Zimapán en el Estado de Hidalgo. El autor. UNAM, México.

Al integrar todos los costos mencionados se obtiene la fórmula de Bresse que permite la obtención del diámetro económico de la forma siguiente:

Fórmula de Bresse:

$$D_o = \sqrt[6]{\frac{10C_2 \gamma f}{19C_1 \eta \pi^2 g}} \sqrt{Q}$$

Donde:

D_o = diámetro económico.

C_1 = costo de suministro e instalación por unidad de diámetro y longitud.

C_2 = costo de energía anual para bombeo por unidad de potencia.

γ = peso específico del agua Kg/m^3 .

f = coeficiente de pérdidas (adimensional).

η = eficiencia de la bomba.

g = aceleración de la gravedad.

Q = gasto en l/s.

Si el gasto se da en l/s el diámetro se obtiene en pulgadas, por lo que se escribe de la forma siguiente:

$$D_o = 1.5 \sqrt{Q(l/s)}$$

Donde:

D_o = diámetro económico.

Q = gasto en l/s.

En líneas de conducción largas, la resistencia por fricción o superficial, ofrecida por el interior del tubo es el elemento dominante en su diseño hidráulico, razón por la que es necesario contar con las herramientas para evaluar las repercusiones de este fenómeno en el acueducto, por ello se presentan los criterios utilizados para el diseño hidráulico.

Los lineamientos técnicos para la elaboración de estudios y proyectos de agua potable y alcantarillado sanitario (CNA 1994), sugieren el uso de la

fórmula Darcy-Weisbach en conductos que fluyen llenos. A continuación se presentan las fórmulas para el diseño hidráulico de las conducciones.

Fórmula de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \frac{L V^2}{d 2g} \qquad V = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

Donde:

- h_f = energía por unidad de peso perdida por fricción
- f = factor de fricción de Darcy
- L = longitud del tramo de la tubería en la cual se pierde h_f
- d = diámetro de la tubería
- V = velocidad (m/s)
- Q = caudal (m³/s)

Ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7d} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \qquad Re = \frac{Vd}{\nu}$$

Donde:

- k_s = rugosidad absoluta de la pared interna de la tubería (m)
- Re = número de Reynolds (adimensional)
- ν = viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

La ecuación de Swamee-Jain es una expresión explícita para el cálculo del coeficiente f ajustada a los resultados de la ecuación Colebrook-White.

Ecuación de Swamee-Jain:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{ks}{d3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right)^2}$$

Cuando el diámetro teórico da un valor muy cercano a un diámetro comercial se usa ese diámetro comercial para efectuar los cálculos, pero si este valor queda entre dos valores comerciales se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach. Las tablas 5.3 y 5.4 muestran los valores de ks y los diámetros comerciales.

Tabla 5.3. Rugosidad absoluta (ks) para diferentes materiales utilizados en la fabricación de tuberías.

MATERIAL	KS mm
Vidrio	0.0003
PVC, CPVC	0.0015
Asbesto cemento	0.03
GRP	0.03
Acero	0.046
Hierro forjado	0.06
CCP	0.12
Hierro fundido asfaltado	0.12
Hierro galvanizado	0.15
Arcilla vitrificada	0.15
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Madera cepillada	0.18-0.9
Concreto	0.3-3.0
Acero brindado	0.9-9

Fuente: Saldarriaga, Juan G. 2001. Hidráulica de tuberías. McGRAW-HILL. Colombia.

Tabla 5.4. Diámetros comerciales de tuberías.

DIÁMETROS COMERCIALES		DIÁMETROS COMERCIALES	
Pulg.	mm.	Pulg.	mm.
2	50.8	18	457.2
2 ½	63.5	20	508.0
3	76.2	24	609.6
4	101.6	30	762.0
6	152.4	36	914.4
8	203.2	42	1066.8
10	254.0	48	1219.2
12	304.8	60	1524.0
14	355.6	72	1828.8

Fuente: Saldarriaga, Juan G. 2001. Hidráulica de tuberías. McGRAW-HILL. Colombia.

Obteniéndose los valores anteriores se obtiene la carga total de bombeo, las pérdidas menores se consideran como una cantidad que fluctúa entre el 3 y 10% de las pérdidas de energía por fricción, según sea el número de deflexiones y condiciones que existan de la salida de la bomba y a la llegada del tanque.

$$h_{ft} = h_f + 0.05h_f$$

El desnivel que existe entre el nivel dinámico de pozo hasta la superficie libre del agua en el tanque es igual al desnivel topográfico D_t en metros más la profundidad del nivel dinámico (N. D.) en metros.

$$h = D_t + N.D.$$

Así se obtiene que la carga total de bombeo en metros es igual a:

$$H = h + h_f$$

La potencia requerida para el equipo de bombeo será:

$$P = \frac{rQH}{76\eta}$$

Donde:

P = potencia requerida por el motor en (HP).

Q = gasto en m^3/s .

r = peso volumétrico del agua ($1000 \text{ kg}/m^3$).

H = carga de bombeo en (m).

η = eficiencia bomba-motor (70% para bombas verticales).

76 = coeficiente para convertir (kw) a (PH).

Consideraciones para la elección del equipo de bombeo⁵.

Siempre debe hacerse un estudio para la selección de las bombas, para el requerimiento total de bombeo o la capacidad de la estación, las elevaciones pertinentes del agua superficial, el terreno, la localización de las facilidades municipales para la estación propuesta, los puntos de descarga, el método propuesto de operación. En las obras de irrigación, generalmente los costos iniciales son más importantes que, que los costos de operación. Los costos pueden reducirse al mínimo utilizando tan pocas bombas como sea posible. Sin embargo, las instalaciones de una sola bomba se usan muy raras veces, excepto en el caso de los pozos. Por razones de confiabilidad, debe instalarse un mínimo de dos bombas en las estaciones de bombeo.

El número de bombas finalmente utilizadas debe ser consistente con las demandas del proyecto. Por ejemplo, cuando la instalación se localiza en un área de agricultura, debe preverse una bomba de emergencia, ya que estas instalaciones deben estar siempre dispuestas a cumplir con los requerimientos del proyecto durante los periodos de mayor consumo.

Si durante la selección de una bomba se encuentra que la potencia nominal de la unidad motriz primaria excede en mucho los requerimientos máximos de potencia de la bomba, debe aumentarse o reducirse el número estimado de bombas, siempre que el cambio proporciones una mejor equivalencia de potencia sin aumentar el costo total de la instalación.

⁵ Karassik, Igor. 1983. Manual de bombas. Diseño, aplicación, especificaciones, operación y mantenimiento. McGraw-Hill. México. Pp. 10.42-10.53.

Siempre que sea posible, todas las bombas en una instalación de bombas múltiples deberán ser la misma capacidad. Esto es ventajoso desde el punto de vista de los costos, así como de mantenimiento.

El acueducto debe diseñarse para resistir en cada punto una presión interna correspondiente a la máxima y mínima producida por rápidas fluctuaciones en el gasto debido a la apertura o cierre repentino de una válvula o por paro o arranque de bombas. Para el cálculo de la sobrepresión se ha adoptado la fórmula de N. Joukovsky, pues ésta fórmula fue deducida considerando las condiciones más críticas para el cierre de una válvula. En la tabla 5.5 se dan los módulos de elasticidad para diferentes materiales⁶.

Fórmula de N. Joukovsky:

$$hi = \frac{ao}{g} \Delta V$$

$$hi = \frac{145\Delta V}{\sqrt{1 + \frac{Ea * d}{E_1 * e}}}$$

Donde:

hi = sobrepresión de inercia por golpe de ariete(m)

ΔV = gradiente de velocidad (m/s)

Ea = módulo de elasticidad del agua (kg/cm²)

E_1 = modulo de elasticidad del material de la tubería (kg/cm²)

L = longitud de la tubería (m)

ao = celeridad de la onda de presión (1425 m/s)

145 = coeficiente resultante de dividir ao/g en (s)

Los elementos como: válvulas aliviadoras de presión, cámaras de aire y otras, absorben una parte de esta sobrepresión, esto está en función de las dimensiones de la conducción y de funcionamiento. Como es una línea larga, la sobrepresión absorbida por la conducción será del orden del 20%.

⁶ Saldarriaga, Juan G. 2001. Hidráulica de tuberías. McGraw-Hill. Colombia

$$h_s = 0.20(h_i)$$

De la fórmula anterior se obtiene la carga total a la que se somete la tubería, cuya expresión es la siguiente:

$$C.T. = D_t + h_f + h_s$$

Donde:

C.T. = Carga total.

Dentro de la infraestructura necesaria se encuentran los tanques de cambio de régimen y las cajas rompedoras de presión, los primeros tienen como función cambiar el régimen de bombeo al régimen por gravedad, mientras que los segundos tienen como finalidad disminuir la carga hidráulica y con ello romper la línea piezométrica entre dos puntos.

La capacidad de los tanques está en función del gasto y de la demanda del distrito y es posible calcularla por métodos analíticos.

$$Cap.Tanque = Q(T.R.)$$

Donde:

T. R. = tiempo de retención para cajas rompedoras de presión 5 minutos, cárcamos de bombeo 30 minutos.

Tabla 5.5 Módulos de elasticidad.

MATERIAL	E (Kg/cm ²)
Acero	2100000
Hierro fundido	930000
Concreto simple	125000
Asbesto-cemento	328000
Polietileno	Está relacionado con el tiempo ya que no es estático en este tipo de material. Puede adoptarse 5200
PVC	28100
Agua	20670

Fuente: Saldarriaga, Juan G. 2001. Hidráulica de tuberías. McGraw-Hill. Colombia.

5.5. PREDIMENSIONAMIENTO DE ALTERNATIVAS.

Las fórmulas descritas anteriormente se utilizan en la tabla 5.6 y 5.7 para el predimensionamiento de las líneas de conducción, equipos de bombeo, cárcamos de bombeo.

Tabla 5.6. Determinación del factor de Darcy.

Caudal Q		Do		ks	v	V	Re	Factor de Darcy
m ³ /s	l/s	(in)	M	m	m ² /s	m/s	Adimensional	f
0.152	152	18	0.4572	4.60E-05	1.41E-06	0.926	300364.4963	0.01544

Fuente: Elaboración propia utilizando fórmulas del punto 5.4.

Tabla 5.7. Potencia de los equipos de bombeo.

Planta de bombeo	Longitud (L)	h _f	h _{ft}	D _t	N.D.	h	H	h _i	h _s	C.T	P de cada bomba	Capacidad cárcamos de bombeo
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(HP)	(m ³)
PB1	2000 (PB1-PB2)	2.954	3.102	180	10	190	192.954	110.69	22.14	205.240	293.2	275
PB2	4500 (PB2-TCR)	6.646	6.979	180	10	190	196.646	110.69	22.14	209.117	298.74	275

$$E_a = 20670 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_1 = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$e = 0.925 \text{ cm.}$$

Fuente: Elaboración propia utilizando fórmulas del punto 5.4.

La característica más predominante en la elección del número de bombas es la potencia requerida; así que, debido al desnivel topográfico que existe, éste se dividirá en dos para determinar el número de bombas. De manera que se tendrán dos plantas de bombeo en el sistema de bombeo denominadas PB1 y PB2. Como se explicó anteriormente no son convenientes las instalaciones de un solo equipo de bombeo, por lo que se determina que se emplearán tres bombas en cada planta, con la consideración de que dos estarán operando y una estará de emergencia. De manera que el gasto también se dividirá en dos por lo que se obtienen las potencias de los equipos de bombeo para las dos alternativas en la tabla 5.7 se observan las potencias de los equipos y la capacidad de los cárcamos de bombeo.

5.6. EVALUACIÓN TÉCNICA.

Se evaluará la factibilidad técnica presentando las fortalezas y debilidades de cada uno de los proyectos propuestos, para llevar a cabo lo anterior se enumeran las características más favorables y las más desfavorables y con ello se hace una comparativa entre cada uno, permitiendo así seleccionar el proyecto que ofrezca las mejores ventajas respecto al otro.

En esta etapa la selección no es fácil, pues la evaluación se hace en forma cualitativa, por tal motivo es necesario presentar un panorama de lo que se

pretende llevar a cabo y los posibles inconvenientes que se presentarán en cada uno de los proyectos. Se presenta en las tablas 5.8 y 5.9 las fortalezas y debilidades de cada alternativa propuesta.

Tabla. 5.8 Alternativa 1 (Acueducto Río Tula-Zimapán).

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ La fuente presenta potencial lo que permite proporcionar un gasto mayor que el requerido por el distrito. ▪ El acueducto se construirá siguiendo el trazo de la carretera Pachuca-Zimapán, evitando pagos por indemnización y facilitando su construcción y operación. ▪ Se dispone de energía eléctrica en las inmediaciones del acueducto. ▪ Es posible abastecer en ruta a diez comunidades. ▪ Existen estudios topográficos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La distancia de la fuente de abastecimiento al distrito de riego es de 9.5 Km. aproximadamente. ▪ Se requiere vencer un desnivel de 360 m aproximadamente⁷. ▪ La concesión del agua del Río Tula está otorgada a la Comisión Federal de Electricidad (CFE)⁸.

Fuentes: Comisión Nacional del Agua (CNA), Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Tabla. 5.9 Alternativa 2 (Acueducto presa Ing. Fernando Hiriart Balderrama -Zimapán).

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ La fuente presenta un gran potencial lo que permite proporcionar un gasto mayor que el requerido por el distrito. ▪ El acueducto se construirá siguiendo el trazo de la carretera Querétaro-Zimapán, evitando pagos por indemnización y facilitando su construcción y operación. ▪ Es posible abastecer a diez comunidades contempladas. ▪ La obtención del agua para conducción se hará directamente de la presa, sin la necesidad de la construcción de otras obras. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La distancia de la fuente de abastecimiento al distrito de riego es de 21 Km. aproximadamente. ▪ Se requiere vencer un desnivel de 400 m aproximadamente (incluyendo el desnivel hasta el sitio de entrega). ▪ No se dispone de energía eléctrica en las inmediaciones del acueducto. ▪ Considerando que la presa es una extensión del río tula, el agua está concesionada a la CFE. ▪ No existen estudios topográficos.

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CNA), Comisión Federal de Electricidad (CFE).

5.7. PRESUPUESTO DE ALTERNATIVAS.

Con la finalidad de evaluar las alternativas que pretenden dar solución al problema de abastecimiento de agua para el riego al distrito de Zimapán, se procede a obtener sus costos con base en precios índice, los cuales vienen dados por dependencias como son: dirección de obras públicas de Zimapán, la Comisión Nacional de Agua (CNA) y de empresas dedicadas al suministro de tuberías y de bombas.

⁷ Lara, Juan Antonio. 2003. Planeación y anteproyecto del sistema de abastecimiento de agua potable de la cabecera municipal de Zimapán en el Estado de Hidalgo. El autor. UNAM, México. INEGI.

⁸ www.cna.org.mx. – 35 Mar. 2005.

Dada la cantidad de caudal que se requiere transportar, se decide que la tubería para el presente proyecto será de acero al carbón cedula 40 de Ø18" y 3/8" de espesor, con costura considerando que la que existe en el mercado; ésta se supone que se instalará sobre la superficie del terreno natural con lo cual se evitará la excavación, pero no así los costos por suministro, trazo, colocación y nivelación, obteniéndose así el costo de la conducción por metro lineal (tabla 5.10).

Tabla 5.10. Costo por metro lineal de tubería para ambas alternativas.

CONCEPTO	COSTO
Estudio topográfico por m.	\$ 4.50
Estudio geotécnico en m.	\$ 7.00
Colocación de tubería de Ø18" por m.	\$ 453.6
Precio de tubería Ø18" en m	\$ 1360.82
Costo de conducción por metro lineal	\$1825.92

Fuente: Elaboración propia con base a cotizaciones a la empresa Tubacero, SA de CV.

La bomba que se cotizó se pretende utilizar en los dos cárcamos de bombeo, la importancia de la misma capacidad estriba en el hecho de que se tendrán menos costos de mantenimiento y de su posible incorporación en ambas alternativas (ver figura 5.2 para las características de la bomba en cuanto eficiencia, potencia, carga y caudal).

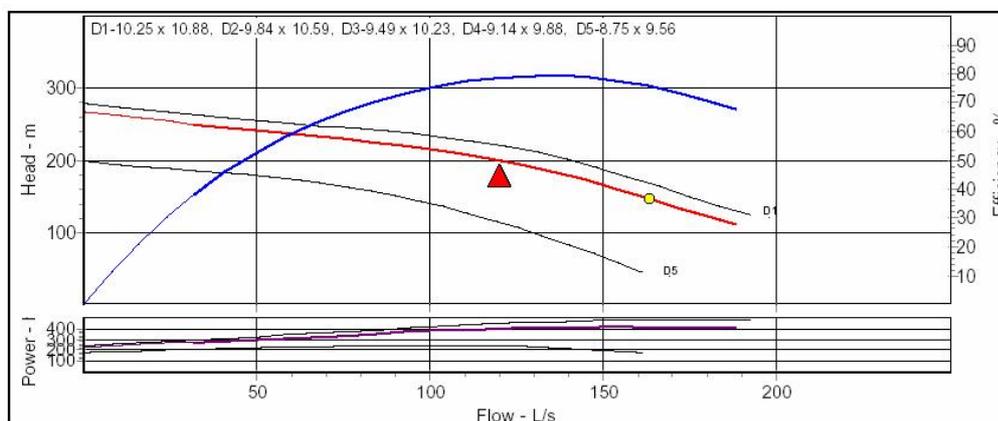


Figura 5.2. Características de la bomba cotizada.

Fuente: www.perlesspump.com.

El costo de la obra civil, que incluye construcción de cárcamos de bombeo e instalaciones para albergar al operario (se propone una construcción para el operario de 150 m³) se estimó en \$1,430 por m³.

Una vez descritos los costos para cada componente de las dos alternativas planteadas, se procede a calcular el costo total de cada alternativa, para ello es necesario tomar como base el predimensionamiento de cada una, pues en él se plasma la cantidad de cada uno de componentes que dan lugar al sistema en su totalidad, se considera una construcción para albergar las bombas y a la persona encargada de la operación de los equipos, las tablas 5.11 y 5.12 muestran el costo de cada alternativa y los conceptos que la componen.

Tabla 5.11. Costo de alternativa No. 1

ACUEDUCTO RÍO TULA-ZIMAPÁN.				
Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Importe
1) Obras de captación (PB1)				
Equipamiento electromecánico	HP	450	3,369	\$1,496,640.00
Obra civil	m ³	425	1,430.02	\$607,758.50
Total				\$2,104,398.50
2) Conducción PB1-PB2-TCR-TT				
Tubería	m	9,500	1825.92	\$17,346,240.00
Total				\$17,346,240.00
3) PB2				
Obra civil	m ³	425	1,430.02	\$607,758.50
Equipamiento electromecánico	HP	450	3,369	\$1,496,640.00
Total				\$2,104,398.50
4) TCR				
Obra civil	m ³	275	1,430.02	\$393,255.50
Total				\$393,255.50
6) Tanque TT				
Obra civil	m ³	275	1,430.02	\$393,255.50
Total				\$393,255.50
Costo total de la alternativa				\$22,341,548.00

Fuente: Elaboración propia con base a resultados obtenidos en predimensionamiento.

Tabla 5.12. Costo de alternativa No. 2

ACUEDUCTO PRESA ING. FERNANDO HIRIART BALDERRAMA - ZIMAPÁN				
Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Importe
1) Obras de captación (PB1)				
Equipamiento electromecánico	HP	450	3,369	\$1,496,640.00
Obra civil	m ³	425	1,430.02	\$607,758.50
Total				\$2,104,398.50
2) Conducción PB1-PB2-TCR-TT				
Tubería	m	21000	1825.92	\$38,344,320.00
Total				\$38,344,320.00
3) PB2				
Obra civil	m ³	425	1,430.02	\$607,758.50
Equipamiento electromecánico	HP	450	3,369	\$1,496,640.00
Total				\$2,104,398.50
3) TCR				
Obra civil	m ³	275	1,430.02	\$393,255.50
Total				\$393,255.50
5) Tanque de almacenamiento (TT)				
Obra civil	m ³	275	1,430.02	\$393,255.50
Total				\$393,255.50
Costo total de la alternativa				\$43,339,628.00

Fuente: Elaboración propia con base a resultados obtenidos en predimensionamiento.

5.8. EVALUACIÓN ECONÓMICA⁹.

Para conocer cual de las alternativas planteadas resulta ser más viable en términos económicos, es necesario realizar una evaluación que nos permita conocer la ventaja de cada una, por ello se requiere el uso de un procedimiento que permita evaluar las alternativas en igualdad de circunstancias, por ese motivo se opta por el método de valor presente, el

⁹ Coss Bu, R. (2000). Análisis y evaluación de proyectos de inversión. Limusa, México 2a. ed.

cual considera que cantidades iguales de dinero no tienen el mismo valor, si se encuentran en puntos diferentes a lo largo del tiempo.

El modelo de valor presente permite determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto, para ello considera que el dinero produce un cierto interés, cuando se invierte por un cierto periodo de tiempo, de aquí puede apreciarse que un peso que se reciba en el futuro valdrá menos que un peso que se tenga actualmente, esta relación entre interés y tiempo es la que lleva al concepto del valor del dinero a través del tiempo.

Se considera que el interés es la renta que se genera al invertir el dinero y su principal característica es que los intereses a su vez generan intereses "interés compuesto". Se presenta de manera esquemática el modelo del valor presente en la figura 5.3.

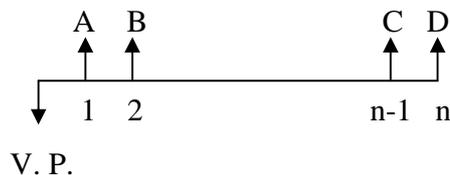


Figura 5.3. Modelo de valor presente.

Fuente: Coss BU, R. (2000). Análisis y evaluación de proyectos de inversión. Limusa, México 2a. ed.

La figura anterior es un diagrama que relaciona una cantidad en el presente con una serie de flujos de efectivo en el futuro. Para determinar la equivalencia en el tiempo cero de estos flujos al final de cada periodo durante n periodos se obtiene la siguiente ecuación:

$$V.P. = A \frac{1}{(1+i)} + B \frac{1}{(1+i)^2} + C \frac{1}{(1+i)^3} + \dots + D \frac{1}{(1+i)^{n-1}} + E \frac{1}{(1+i)^n}$$

La fórmula anterior considera el valor del dinero a través del tiempo al seleccionar un valor adecuado de i .

En la evaluación económica se toman en cuenta todos los costos que se generan en cada alternativa, estos costos están integrados por la inversión inicial obtenidos en el presupuesto de alternativas y los costos de operación que deberán ser analizados para cada una de las alternativas que se han presentado.

Se presenta el análisis de los costos de operación para las alternativas en las tablas 5.13 y 5.14.

Tabla 5.13. Costo de operación (acueducto Río Tula-Zimapán).

PERSONAL	SALARIO BASE (\$)	F.S.R.	SALARIO REAL (\$)	SALARIO ANUAL (\$)	CANTIDAD DE PERSONAL POR AÑO	MILES (\$/AÑO)
Operador de bomba	62.75	1.831	114.92	41947.19	6.0	\$251.68
Electromecánico	188.25	1.831	344.77	125841.56	0.5	\$62.92
Ingeniero Sup.	300.00	1.831	549.44	200544.32	0.5	\$100.27
					Total	\$414.87

Fuente: www.funcionpublica.gob.mx.

Tabla 5.14. Costo de operación (acueducto presa Ing. Fernando Hiriart Balderrama – Zimapán).

PERSONAL	SALARIO BASE (\$)	F.S.R.	SALARIO REAL (\$)	SALARIO ANUAL (\$)	CANTIDAD DE PERSONAL POR AÑO	MILES (\$/AÑO)
Operador de bomba	62.75	1.831	114.92	41947.19	6.0	\$251.68
Electromecánico	188.25	1.831	344.77	125841.56	0.5	\$62.92
Ingeniero Sup.	300.00	1.831	549.44	200544.32	0.5	\$100.27
					Total	\$414.87

Fuente: www.funcionpublica.gob.mx.

Costo de la energía eléctrica¹⁰

Tarifa 9-N (2005 - 2006)

Tarifa de estímulo nocturna para bombeo de agua para riego agrícola

- 1) Aplicación: Esta tarifa de estímulo nocturna se aplicará para la energía eléctrica utilizada en la operación de los equipos de bombeo y rebombeo de agua para riego agrícola por los sujetos productivos inscritos en el padrón de beneficiarios de energéticos agropecuarios, hasta por la Cuota Energética determinada por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). La inscripción a esta tarifa será a solicitud del usuario.

¹⁰ www.cfe.gob.mx/- 20 Mar. 2006.

- 2) Cuotas aplicables: Se aplicará para los años 2005 y 2006 los siguientes cargos por energía consumida, hasta por la cuota energética (ver tabla 5.15).

Tabla 5.15. Cargos por energía consumida.

AÑO	CARGO POR KILOWATT-HORA DE ENERGÍA CONSUMIDA EN EL PERIODO DIURNO	CARGO POR KILOWATT-HORA DE ENERGÍA CONSUMIDA EN EL PERIODO NOCTURNO
2005	\$0.340	\$0.170
(*) 2006	\$0.360	\$0.180

(*) El ajuste para 2006 se aplicará a partir del día primero de enero de ese año.

Fuente: www.cfe.gob.mx.

- 3) Energía excedente: La energía eléctrica consumida que exceda la Cuota Energética, será facturada con los cargos de la Tarifa 9 o 9M, Servicio para Bombeo de Agua para Riego Agrícola en Baja o Media Tensión, según corresponda. Para los efectos del párrafo anterior, en caso de que durante algunos meses del año calendario el usuario haya recibido el servicio con la tarifa 9-CU, Tarifa de Estímulo para Bombeo de Agua para Riego Agrícola con Cargo Unico, la energía eléctrica facturada con el cargo del numeral 2 de dicha tarifa se agregará a la contabilizada con la tarifa 9-N.
- 4) Periodo nocturno y periodo diurno: El periodo nocturno comprenderá de las 0:00 horas a las 08:00 horas y será aplicable todos los días. El periodo diurno comprenderá de las 08:00 horas a las 24:00 horas y será aplicable todos los días. Para los efectos de la aplicación de esta tarifa, se utilizarán los horarios locales oficialmente establecidos.
- 5) Tensión y capacidad de suministro: El suministrador sólo está obligado a proporcionar el servicio a la tensión y capacidad disponibles en el punto de entrega.
- 6) Demanda contratada: La Demanda Contratada la fijará inicialmente el usuario, y su valor no será menor de la carga total conectada. Cualquier fracción de kilowatt se tomará como kilowatt completo.
- 7) Depósito de garantía: Para los años 2005 y 2006, el depósito de garantía será de \$17.00 (uno siete punto cero cero pesos) y \$18.00 (uno ocho punto cero cero pesos) por cada kilowatt de demanda contratada, respectivamente.
- 8) Los ajustes para 2006 se aplicarán a partir del día primero de enero de ese año.

Existe también un límite de energía anual (LEA), en Kwh., se determinará de la siguiente manera:

$$9) \quad LEA = 438 + K + V * \frac{C}{e}$$

Donde:

K = es una constante cuyo valor es igual a 0.0026.

V = es el volumen de extracción de agua, en metros cúbicos por año, establecido en el título de concesión.

C = es la carga dinámica, igual a la profundidad de la perforación.

e = es la eficiencia electromecánica mínima del equipo de bombeo cuyo valor es 0.52

438 = es el consumo promedio anual correspondiente al alumbrado del local donde se encuentre instalado el equipo de bombeo.

Como un HP=0.7475 kw/h, el consumo de energía eléctrica en un año queda definido por la ecuación:

$$E = P * 0.7475 * 4200$$

Donde:

E = Energía eléctrica.

4200 = número de horas por el ciclo de 7 meses, 20 hrs./día.

Se presentan en las tablas 5.16 y 5.17, los datos y valores obtenidos para cada alternativa, utilizando como base los costos obtenidos anteriormente, dentro de dichas tablas de resumen, se incluyen el volumen de agua al año que requiere el distrito, los costos de energía eléctrica y operación, al final de cada una de ellas se presentan los costos de inversión y operación por metro cúbico para el tiempo cero (es decir a valor presente), esto último se hace con la finalidad de comparar cada alternativa y mostrar aquella que resulta ser más factible en términos económicos.

La evaluación económica se hace con base a la vida útil de los equipos que son de diez años.

Tabla 5.16. Alternativa 1 (Acueducto Río Tula-Zimapán)

Año	No. de (Hectáreas)	Gasto (l/s)	Volumen (miles m ³)	Horas de operación		Costo anual de energía eléctrica (miles \$)		Costo anual de personal (miles \$)	Inversión	Costo de operación (miles \$)	Factor de actualización (Tasa del 10 %)	Costos actualizados (miles \$)	Inversión (miles \$)	Volumen actualizado (m ³)
				(año-día)	(año-ciclo)	P. B. 1	P. B. 2							
2006	500						Personal		22341.55		1		22341.55	
2007	500	152	2,286.304	4200		678.13	678.13	433.75		1790.01	0.909	1627.12		2078.25
2008	500	152	2,286.304	4200		678.13	678.13	433.75		1790.01	0.826	1478.55		1888.49
2009	500	152	2,286.304	4200		678.13	678.13	433.75		1790.01	0.751	1344.30		1717.01
2010	500	152	2,286.304	4200		678.13	678.13	433.75		1790.01	0.683	1222.58		1561.55
2011	500	152	2,286.304	4200		678.13	678.13	433.75		1790.01	0.621	1111.60		1419.79
2012	500	152	2,286.304	4200		678.13	678.13	433.75		1790.01	0.564	1009.57		1289.48
2013	500	152	2,286.304	4200		678.13	678.13	433.75		1790.01	0.513	918.28		1172.87
2014	500	152	2,286.304	4200		678.13	678.13	433.75		1790.01	0.466	834.15		1065.42
2015	500	152	2,286.304	4200		678.13	678.13	433.75		1790.01	0.424	758.97		969.39
2016	500	152	2,286.304	4200		678.13	678.13	433.75		1790.01	0.385	689.16		880.23
												10994.27	22341.55	14042.48

Fuente: elaboración propia con base a costos obtenidos en el presente trabajo.

Costo por m³ de inversión \$ 1.59
 Costo por m³ de operación \$ 0.78
 Costo total por m³ \$ 2.37

Tabla 5.17. Alternativa 2 (Acueducto presa Ing. Fernando Hiriart B alderama -Zimapán)

Año	No. de (Hectáreas)	Gasto (l/s)	Volumen (miles m ³)	Horas de operación (h/año-ciclo)	Costo anual de energía eléctrica miles(\$)	Costo anual de personal miles(\$)	Inversión miles (\$)	Costo de operación miles (\$)	Factor de actualización (Tasa del 10 %)	Costos actualizados miles (\$)	Inversión miles (\$)	Volumen actualizado (m ³)
2006	500				P. B. 1	Personal	43339.63		1		43339.63	
2007	500	152	2,286.304	4200	678.13	433.75		1790.01	0.909	1627.12		2078.25
2008	500	152	2,286.304	4200	678.13	433.75		1790.01	0.826	1478.55		1888.48
2009	500	152	2,286.304	4200	678.13	433.75		1790.01	0.751	1344.30		1717.01
2010	500	152	2,286.304	4200	678.13	433.75		1790.01	0.683	1222.58		1661.56
2011	500	152	2,286.304	4200	678.13	433.75		1790.01	0.621	1111.60		1419.79
2012	500	152	2,286.304	4200	678.13	433.75		1790.01	0.564	1009.57		1289.48
2013	500	152	2,286.304	4200	678.13	433.75		1790.01	0.513	918.28		1172.87
2014	500	152	2,286.304	4200	678.13	433.75		1790.01	0.466	834.15		1065.42
2015	500	152	2,286.304	4200	678.13	433.75		1790.01	0.424	768.97		969.39
2016	500	152	2,286.304	4200	678.13	433.75		1790.01	0.385	689.16		880.23
										10994.27	43339.63	14042.48

Fuente: elaboración propia con base a costos obtenidos en el presente trabajo.

Costo por m³ de inversión \$ 3.08
 Costo por m³ de operación \$ 0.78
 Costo total por m³ \$ 3.87

Los valores obtenidos en las tablas anteriores muestran los resultados en cuanto al costo de las dos alternativas propuestas para resolver las necesidades de agua para el riego en el municipio, se presenta un resumen de estos resultados en la tabla 5.18.

Tabla. 5.18. Costo promedio de agua por m³ para cada alternativa.

ALTERNATIVA	GASTO (l/s)	INVERSIÓN (MILES \$)	OPERACIÓN (MILES \$)	TOTAL (MILES \$)	COSTO DE AGUA (\$/m ³)	ÍNDICE DE COSTOS
1	152	22,341.548	10994.27	33,335.82	1.62	1
2	152	43,339.628	10994.27	54,333.898	2.65	1.6

Fuente: Elaboración propia con base a resultados obtenidos en las tablas 5.16 y 5.18 del presente trabajo.

5.9. SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA EL RIEGO.

Una vez que se han llevado a cabo las evaluaciones económicas y técnicas de las alternativas, es posible determinar cual de ellas representa la mejor elección para satisfacer las necesidades de abastecimiento de agua para el riego al municipio de Zimapán, considerando los costos de inversión y operación, así como las ventajas que representa su construcción.

De acuerdo con el análisis económico realizado la alternativa que presenta los costos de inversión y el costo por m³ de agua más bajo, es la número uno (acueducto Río Tula-Zimapán), así como y según la información presentada en la tabla 5.18, ésta alternativa presenta un costo total menor del 60% que la alternativa dos, lo que refleja que es la mejor opción hablando en términos económicos.

En cuanto a lo referente al análisis técnico, la alternativa que representa las mejores ventajas para cubrir, las necesidades del municipio de Zimapán es la número uno (acueducto Río Tula-Zimapán), tomando como base de decisión la distancia para su construcción la cual es de aproximadamente de 9.5 Km. de tubería.

En conclusión, la alternativa que presenta las mejores ventajas económicas y técnicas para su elaboración, es la construcción del acueducto Río Tula-Zimapán.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.

La actividad de la agricultura de temporal en la actualidad ha sido abandonada por los escasos periodos de lluvia, las personas que se dedicaban a esta actividad han abandonado sus tierras y emigrado principalmente a los Estados Unidos de América, dejando en total descuido a las tierras, provocando su deterioro.

En el capítulo uno se hizo notar que en la actualidad el agua es un recurso escaso, que ha venido tomando una gran relevancia en las últimas décadas debido principalmente al descenso de la disponibilidad.

Como se mencionó en este trabajo, en volumen tres cuartas partes del planeta están compuestas por agua, contenida en los mares y océanos, motivo por el que puede asegurarse que el hombre no perecerá por la falta de este recurso. Sin embargo, como el caso de Zimapán existen muchos, dado que para el traslado de este líquido se requieren realizar construcciones de grandes dimensiones para el abastecimiento de las diferentes actividades y necesidades donde se le requiere.

De acuerdo a las características geográficas del municipio se precisa en el capítulo dos sobre la importancia de la generación de alimentos para el ser humano en cantidad y calidad. Los estudios realizados al agua de la región, demuestran que la presencia de arsénico afecta de manera directa a la población de Zimapán. Este problema se resolvió en parte por la construcción de un acueducto que abastece de agua potable al municipio.

La metodología del capítulo tres es aplicable a diferentes estudios que pretendan diseñar un sistema de riego y de las posibles obras que son necesarias para desarrollar eficientemente el sistema de riego.

El sistema de riego por goteo es el más apropiado para el distrito de riego que se pretende formar debido a su eficiencia. Esto se determina a partir de la información recopilada en el capítulo cuatro.

En el capítulo cinco se concluye que la construcción del acueducto Río Tula-Zimapán beneficiará de manera directa a 500 agricultores, permitirá la generación de empleos y de alimentos principalmente.

Cabe mencionar que durante el desarrollo del estudio se encontraron dificultades en la cotización de materiales y equipos, esto debido a que las empresas dan prioridad a organismos o instituciones establecidas. También

debido a la falta de información de las características químicas del suelo del municipio se recabaron muestras de tierra que se mandaron al estado de Querétaro para su estudio, los datos obtenidos de estas muestras ayudaron a determinar la cantidad de agua para los cultivos y la regionalización de los mismos.

Por último, con base a la experiencia obtenida en el desarrollo de la presente tesis es necesario incluir una serie de recomendaciones que permitan obtener información y un seguimiento al anteproyecto del acueducto Río Tula-Zimapán y que garanticen el adecuado funcionamiento del mismo.

RECOMENDACIONES.

a) Elaboración de un estudio de mecánica de suelos.

Se recomienda elaborar un amplio estudio de mecánica de suelos con la finalidad de establecer el marco geológico regional, la definición estratigráfica, levantamiento de discontinuidades, determinación de la agresividad del suelo y análisis geomorfológicos, así como contemplar una revisión de las condiciones de estabilidad en cortes y taludes y evaluar la factibilidad para utilizar los materiales como banco de préstamo.

El estudio tendrá como fin definir el tipo de materiales de excavación, estabilidad en las zanjas para alojar la tubería, así como la definición de las condiciones de taludes en cortes y laderas naturales, además en las estructuras funcionales permitirá seleccionar el tipo de cimentación más adecuado, así como los materiales de relleno adecuados.

b) Estudio a detalle de los cruzamientos.

Si el trazo que se obtenga del estudio topográfico plantea la necesidad de cruzar arroyos, secciones de la carretera 85 Tasquillo-Zimapán. Para lograr lo anterior debe elaborarse un análisis exhaustivo de las formas más adecuadas para conseguirlo, pues cada una de ellas requiere de un estudio especializado en el que debe de hacerse alusión a las alternativas que más se adapten al proyecto en cuanto a los recursos técnicos y económicos disponibles.

c) Elaboración de un manual de operación y mantenimiento.

Se requiere elaborar un manual de operación que permita conocer el funcionamiento del acueducto en condiciones normales y en el caso de una interrupción en el suministro de la energía eléctrica, así como

plantear un esquema de procesos para mantener en óptimas condiciones la infraestructura y garantizar así una vida útil de acuerdo con el periodo de diseño propuesto en el proyecto.

d) Estudios de distribución y agronómicos.

Debido a la falta de recursos hidráulicos en la región, es necesario llevar a cabo un estudio que permita determinar el correcto aprovechamiento del agua, pues se requiere preparar a la población en cuanto a su uso; con la finalidad de brindar un adecuado servicio y asegurar la continuidad del suministro.

Asimismo la realización de un estudio agronómico que determine los tipos de cultivos que pueden producirse en el distrito de riego, los cuales se apeguen a la cantidad de agua disponible. Los estudios deben hacer referencia a los usos, costumbres y nivel socioeconómico de las localidades beneficiadas.

e) Estudios para la incorporación de una planta tratadora de agua.

Esto con la finalidad de dar un tratamiento al agua que se utiliza para el riego y de alguna manera diversificar los cultivos y disminuir la contaminación del agua del Río Tula y por ende reducir el riesgo de perjudicar el suelo que se regará.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

DOCUMENTOS IMPRESOS.

Armienta Ma., Rodriguez R, Aguayo A, Cenicerros N, Villasenor G, Cruz O. (1997). Arsenic contamination of groundwater at Zimapán, México. Hydrogeol J.

Armienta Ma., Rodriguez R, Cruz O. (1997) Arsenic content in hair of people exposed to natural arsenic polluted groundwater at Zimapán, México.- Bull Environ Contam Toxicol.

Comisión Nacional del Agua (CNA). (1999). Estudio de Infraestructura existente en la ciudad de Zimapán, estado de Hidalgo. THORSA Ingenieros S. A. de C. V.

Coss Bu, R. (2000). *Análisis y evaluación de proyectos de inversión*. Limusa, México 2a. ed.

García, Alfonso. (1997). Distribución y especiación del arsénico en sedimentos fluviales del Río Tolimán en Zimapán, Hgo. El Autor. UNAM, México.

INEGI. Cartografía Censal, 1:50 000, (1990). Inédita.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). "IX Censo General de Población y Vivienda 1970, Estado de Hidalgo". México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). "XII Censo General de Población y Vivienda 2000, Estado de Hidalgo". México.

Karassik, Igor. (1983). *Manual de bombas. Diseño, aplicación, especificaciones, operación y mantenimiento*. McGraw-Hill. México.

Lara, Juan Antonio. (2003). Planeación y anteproyecto del sistema de abastecimiento de agua potable de la cabecera municipal de Zimapán en el Estado de Hidalgo. El autor. México.

Núñez, Javier. (1987). Metodología en la planeación para el desarrollo de sistemas de riego. El autor. UNAM, México.

Manuales para educación agropecuaria. (1985). *Riego y Drenaje*. Editorial Trillas. México.

Ortiz, Enrique. (1998). Monografía del municipio de Zimapán. El municipio. México.

Pérez, Héctor Fernando. (1996). Estudio químico de la remoción de arsénico en aguas potables contaminadas en el Distrito minero de Zimapán, Hidalgo. El autor. UNAM, México.

Plan Estatal de Desarrollo 1999- 2005. Lic. Manuel Ángel Núñez Soto, Gobernador Constitucional del Estado de Hidalgo.

Rivas, Samuel. (1985). Diseño de sistemas de almacenamiento y riego por goteo en zonas áridas y semiáridas. El autor, UNAM. México.

Saldarriaga, Juan G. (2001). *Hidráulica de tuberías*. McGraw-Hill. Colombia

DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS.

Biología. Revista: número 5 (Julio 2001). [En línea]: <http://www.biologia.org/revista/pdfs/39.pdf> (consulta: Octubre 2004).

Camacho, Carlos. Agosto 2005. Zimapán: el agua potable tiene arsénico. Periódico la Jornada. (Sin fecha). [En línea]: <http://www.jornada.unam.mx/2001/ago01/010822/034n2est.html> (consulta: Octubre 2004).

Comisión federal de electricidad. (Sin fecha). [En línea]: www.cfe.gob.mx/ (consulta: Marzo 2006).

Comisión nacional del agua. (Sin fecha). [En línea]: <http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Directorio/Default.aspx> (consulta: Octubre 2004).

Consejo de cuenca del valle de México. (Sin fecha). [En línea]. <http://www.ccvn.org.mx/cuenca.htm> (consulta: Junio 2004).

Embajada de Francia en México. (Sin fecha). [En línea]: <http://www.francia.org.mx/coopcyt/CoopeAgua/AguaMexPanoDesaf.htm> (consulta: Febrero 2005).

Estación Experimental de Aula Dei (EEAD). España. (Sin fecha). [En línea]: <http://www.web.eead.csic.es/oficinaregante/riego/a1/riego1.html> (consulta: Enero 2005).

H. Ayuntamiento de Zimapán, Hgo. (Sin fecha). [En línea]: http://www.zimapan.gob.mx/wb2/municipios/13084_Datos_Demograficos (consulta: Octubre 2004).

INTER-FORUM. (Sin fecha). [En línea]: www.revistainterforum.com/espanol/articulos/101402Naturamente_agua.html (consulta: Octubre 2004).

México tercer milenio. (Sin fecha). [En línea]: http://www.mexicotm.com/interior/pn/pn_ideologia_ncp.html (consulta: Octubre 2004).

Monografías.com. (Sin fecha). [En línea]: <http://www.monografias.com/trabajos/nutricion/nutricion.shtml> (consulta: Octubre 2004).

Oficina Internacional del Agua (OIEAU). (Sin fecha). [En línea]: <http://www.oieau.fr/ciedd/contributions/at2/contribution/rendon.htm> (consulta: Agosto 2004).

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2004). [En línea]: http://www.fao.org/agl/aglw/docs/unlocking_s.pdf (consulta: Octubre 2004).

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (Sin fecha). [En línea]: http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/005/Y3918S/y3918s10.htm (consulta: Febrero 2005).

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (Sin fecha). [En línea]: http://www.unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/rodriguez.html (consulta: Febrero 2005).

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (Sin fecha). [En línea]: http://www.unesco.org/science/waterday2000/WNO-No.857_S.pdf (consulta: Agosto 2004).

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (Sin fecha). [En línea]: http://www.unesco.org/water/index_es.shtml-27k (consulta: Octubre 2004).

Órgano de la Confederación Nacional del Trabajo (CNT). (Sin fecha). [En línea]: <http://www.periodicocnt.org/279may2002/ecologia/archivos/eco02.htm> (consulta: Agosto 2004).

Peerless Pump, Inc. Bombas verticales. (Sin fecha). [En línea]: <http://www.peerlesspump.com>(consulta: Septiembre 2005).

Perú ecológico. Perú. (Sin fecha). [En línea]: http://www.peruecologico.com.pe/lib_c25_t03.htm (consulta: Octubre 2004).

Publicación del Population Information Program, Center for Communication Programs, The Johns Hopkins School of Public Health, 111 Market Place, Suite 310, Baltimore, Maryland 21202-4012, USA. Volumen XXVI. Número 1. (Septiembre de 1998). [En línea]: <http://www.infoforhealth.org/pr/prs/sm14/sm14chap2.shtml> (consulta: Agosto 2004).

Publicación del Population Information Program, Center for Communication Programs, The Johns Hopkins School of Public Health, 111 Market Place, Suite 310, Baltimore, Maryland 21202-4012, USA. Volumen XXVI. Número 1. (Septiembre de 1998). [En línea]: http://www.infoforhealth.org/pr/prs/sm14/sm14chap3_3.shtml (consulta: Agosto 2004).

Red Temática de Ciencias de la Tierra de España. Interconexión de los Recursos InformáticoS (RedIRIS). España. (Sin fecha). [En línea]: http://www.tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_01.pdf (consulta: Octubre 2004).

Revista científica y tecnológica de medio ambiente: Ecosistemas. (2003). [En línea]: <http://www.aeet.org/ecosistemas/031/informe1.htm> (consulta: Febrero 2005).

Revista Glocal. La expansión del riego: consumo de agua y eficiencia. (Sin fecha). [En línea]: http://www.eurosur.org/medio_ambiente/bif56.htm (consulta: Febrero 2005)

Revista Hypatia. (Sin fecha). [En línea]: <http://www.hypatia.morelos.gob.mx/No12/latas.html>(consulta: Octubre 2004).

Riego localizado o riego por goteo. (Sin fecha). [En línea]: <http://www.planthogar.net/releases/00000076.htm> (consulta: Febrero 2005)

Secretaría de la función pública (SFP). (Sin fecha). [En línea]: www.funcionpublica.gob.mx (consulta: Febrero 2006)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (Sin fecha). [En línea]: www.semarnat.gob.mx/estadisticas_2000/informe_2000/04_Agua/4.4_Disponibilidad/index.shtml (consulta: Agosto 2004).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (Sin fecha). [En línea]: www.semarnat.gob.mx/estadisticas_2000/informe_2000/04_Agua/4.5_Usos/index.shtml (consulta: Agosto 2004).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (Sin fecha). [En línea]: http://www.semarnat.gob.mx/sniarn/recursos_hidraulicos.shtml (consulta: Agosto 2004).

Tecnología de riegos. (Sin fecha). [En línea]: http://www.infoagro.com/riegos/tecnologia_riego2.asp (consulta: Febrero 2005).

Unión mundial para la naturaleza (UICN). (Sin fecha). [En línea]: <http://www.generoyambiente.org/ES/metodologias/docs/desiertos/cap1.pdf> (consulta: Febrero 2005).

United Nations Environment Programme (UNEP). (Sin fecha). [En línea]: <http://www.unep.org/geo/geo3/spanish/268.htm#fig152a> (consulta: Agosto 2004).

Web oficial del Sector Salud en Costa Rica. (Sin fecha). [En línea]: <http://www.netsalud.sa.cr/aya/club/chapt06.htm> (consulta: Octubre 2004).

OTROS DOCUMENTOS CONSULTADOS.

Arias Galicia, Fernando. (2001). *Introducción a la metodología de investigación en ciencias de la administración y del comportamiento*. Trillas. México.

Baca Urbina, Gabriel. (1990). *Evaluación de proyectos: análisis y administración del riesgo*. McGraw-Hill. México.

Baca Urbina, Gabriel. (1995). *Evaluación de proyectos*. McGraw-Hill. Colombia.

Bernal Torres, Cesar Augusto. (2000). *Metodología de la investigación para administración y economía*. Pearson Educación. Santa Fe de Bogotá, Colombia.

Cerda Gutiérrez, Hugo. (2001). *Como elaborar proyectos: diseño, ejecución y evaluación de proyectos sociales y educativos*. Cooperativa Editorial Magisterio. Santa Fe de Bogotá, Colombia.

Cohen, Ernesto. (2003). *Evaluación de proyectos sociales*. Siglo XXI. México.

Espinoza Vergara, Mario. (1993). *Evaluación de proyectos sociales. Humanitas*. Buenos Aires, Argentina.

García Casillas, Ignacio G. (1986). *Riego por aspersión y goteo*. UAAAN. Saltillo, Coah. México.

García Casillas, Ignacio. (1997). *Sistemas de riego: por aspersión y goteo*. Trillas. México.

Hernández Sampieri, Roberto. (2003). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Interamericana. México.

México. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Coordinación General de Desarrollo Agroindustrial. (1998). *Guía para la formulación, evaluación y presentación de proyectos agroindustriales / Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Coordinación General de Desarrollo Agroindustrial*. SARH. México.

Musto, Stefan A. (1975). *Análisis de eficiencia: metodología de la evaluación de proyectos sociales de desarrollo*. Tecnos. Madrid España.

Niremberg, Olga. (2000). *Evaluar para la transformación: innovaciones en la evaluación de programas y proyectos sociales*. Paidós. Argentina.

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. (1984). *Manual para la elaboración de proyectos industriales*. Naciones Unidas. Austria.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Acueducto. Conducto artificial por donde va el agua al lugar determinado, y especialmente el que tiene por objeto abastecer de aguas a una población.

Andesitas. Roca volcánica compuesta de cristales de andesina, que se encuentra principalmente en los Andes.

Anticlinales. Se dice del plegamiento de las capas del terreno en forma de A o de V invertida

Azolve. Lodo o basura que obstruye un conducto de agua.

Canalero. Persona encargada de regularizar el caudal de una conducción.

Conflictos por el agua. Enfrentamientos o disputas de carácter jurídico, administrativo, político o social, que tienen su origen en disputas por la propiedad y no llegan a expresarse en términos violentos.

Guerra por el agua. Enfrentamiento violento entre dos o más países, o comunidades, que tienen por origen un conflicto por el agua que no pudo ser resuelto de otra forma

Hiperpigmentación. El término se refiere a la piel que se ha oscurecido más de lo normal, sin que el cambio se relacione con la exposición al sol.

Hiperqueratosis. Crecimiento córneo del tegumento, como una verruga o una callosidad.

Limonitas. Hidrato férrico hidratado, de color amarillo; es muy abundante y se utiliza como mena de hierro.

Lutita. Roca detrítica, es decir, formada por detritos, y está integrada por partículas del tamaño de la arcilla y del limo. Las lutitas de color negro son las más comunes y su color se debe a la presencia de carbono (material orgánico).

Meteorología. Ciencia que estudia los fenómenos que ocurren en la atmósfera, tales como: viento, precipitación, temperatura, etc.

Sinclinales. Dicho de un plegamiento de las capas de un terreno: En forma de V.

Toba. Piedra caliza, muy porosa y ligera, formada por la cal que llevan en disolución las aguas de ciertos manantiales y que van depositándola en el suelo o sobre las plantas u otras cosas que hallan a su paso.

Uso consuntivo. Es la cantidad de agua absorbida por un cultivo durante su ciclo vegetativo, para ser transpirada o empleada directamente en la edificación de los tejidos de las plantas unida a la cantidad de agua evaporada desde el suelo en que está vegetando el cultivo.