



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

**FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS
TRATADAS DE PTAR ATAPANEO EN MÓDULOS II AL IV DEL DR020 MORELIA-
QUERÉNDARO UTILIZANDO SIG**

RAFAEL GAONA QUESADA

**T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN TECNOLOGÍA
EN HIDROCIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

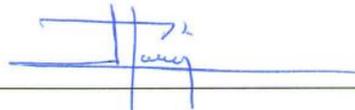
2013

La presente Tesis, Titulada: **“Factibilidad económica para el aprovechamiento de aguas tratadas de PTAR Atapaneo en módulos II al IV del DR020 Morelia-Queréndaro utilizando SIG”**, realizada por el Alumno: **Rafael Gaona Quesada**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN TECNOLOGÍA
EN HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. JESÚS CHÁVEZ MORALES

DIRECTOR



M.C. ANDRES PAREDES SANTAELLA

ASESOR:



DR. JORGE ARTURO SALGADO TRÁNSITO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Septiembre de 2013

RECONOCIMIENTOS

A la Comisión Nacional del Agua, a la Gerencia de Distritos de Riego, Organismo de Cuenca Lerma Santiago Pacífico y Dirección Local Michoacán por la oportunidad de participar en este proceso de postgrado.

A el Colegio de Postgraduados, en especial al Dr. Jesús Chávez Morales, de al Postgrado de Hidrociencias por ser parte medular de una institución dedicada a la formación de profesionales para el desarrollo del sector hidráulico en el país.

A la ANEI, A.C. en especial al Dr. Enrique Mejía Sáenz, por todo el apoyo prestado para la realización del presente postgrado.

A todos los colaboradores de la ANEI, A.C. y sus familias, por brindarnos su invaluable tiempo conocimientos y dedicación.

Al Ing. León Torres Aguilera, por ser un mentor para las nuevas generaciones de la CONAGUA.

DEDICATORIAS

A mi Padres, por darme la mejor de las herencias que se puede otorgar a un hijo, la formación académica.

A mi Esposa e Hijas al ser mi inspiración, por todo su apoyo, comprensión y tiempo,
Gracias

**Factibilidad económica para el aprovechamiento de aguas tratadas PTAR
Atapaneo en módulos II al IV de DR 020 Morelia-Queréndaro utilizando SIG**

**Gaona Quesada Rafael, MT.
Colegio de Postgraduados, 2013**

RESUMEN

Existe una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el río Grande de Morelia que tiene una capacidad para $2.19 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, cuya agua tratada se mezcla con el agua del río proveniente de la presa y luego se conduce para irrigar las superficies de los módulos II, III y IV del Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro, Michoacán. Los usuarios de estos módulos, tienen concesión para usar tanto el agua del río proveniente de la presa así como para usar el agua residual de la ciudad de Morelia. En este trabajo se evalúa la factibilidad económica de entubar el agua proveniente de la PTAR y llevarla hasta el punto de control de cada uno de los módulos. Con el proyecto se podrá evitar la mezcla de aguas residuales con agua proveniente de la presa y de tener menos pérdidas por evaporación e infiltración en la conducción, además tendría un beneficio adicional en la oportunidad del riego. Después de recopilar información, se realizó una propuesta de trazo para la conducción sobre el sistema de información geográfica del distrito de riego. Luego se identificaron los costos y los beneficios del proyecto, basados en un diseño hidráulico de la tubería principal, y se realizó una evaluación económica donde se obtuvieron indicadores de $R/B/C = 1.41$, $VPN = 71,795$ y $TIR = 16.5\%$. Finalmente se concluye que si es factible entubar el tramo de conducción desde la PTAR hasta la zona de riego de los módulos II, III y IV y es económicamente redituable.

Palabras clave: Aguas residuales, diseño hidráulico, indicadores económicos.

Economical feasibility for the use of treated water WWTP Atapaneo on modules II to IV of DR-020 Morelia-Queréndaro using GIS

**Gaona Quesada Rafael, MT.
Colegio de Postgraduados, 2013**

ABSTRACT

There is a waste water treatment plant (WWTP) on the “Grande de Morelia” river which has a capacity of $2.19 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, whose treated water is mixed with river water from the dam and then it leads to irrigate surfaces on modules II, III and IV of the Irrigation District 020 Morelia-Queréndaro, Michoacán. Users of such modules are granted to use both river water from the dam and to use wastewater from the city of Morelia. Currently the treated water mixes with river water from the dam and then it is ducted to flush the surfaces of downstream modules. This paper evaluates the economic feasibility of piping water from the WWTP and taking it to the handle of each of the modules. The project will prevent mixing sewage water and water from the dam and have less evaporation and infiltration losses in its conduction; it would also have an additional benefit in the timing of irrigation. After gathering information, a proposal was made for conduction line on the geographic information system of the irrigation district. There were identified the costs and benefits of the project, based on a main pipe hydraulic design, and performed an economic evaluation whose indicators are $B / C R = 1.41$, $NPV=71,795$ and $IRR = 16.5\%$. Finally, it is concluded that it is possible to pipe the conducting section from the WWTP to the irrigation module II, III and IV, and it is economically profitable.

Keywords: Wastewater, hydraulic design, economic indicators.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	3
2.1. Hipótesis.....	3
2.2. Objetivos.....	3
2.2.1. <i>Objetivo General.</i>	3
2.2.2. <i>Objetivos Particulares.</i>	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. Localización de la zona de estudio.	4
3.2. Distritos de riego.....	4
3.3. Distrito de Riego 020 “Morelia-Queréndaro”.....	5
3.3.1. <i>Recursos naturales.</i>	6
3.3.2. <i>Fuentes de abastecimientos de agua superficial y subterránea.</i>	8
3.3.3. <i>Calidad del Agua (física, química y bacteriológica).</i>	11
3.3.4. <i>Situaciones extremas (Sequías y/o inundaciones)</i>	12
3.3.5. <i>Estado de la infraestructura.</i>	14
3.3.6. <i>Producción agrícola.</i>	20
3.4. Aguas Residuales.....	23
3.4.1. <i>Generalidades.</i>	23
3.4.2. <i>Marco Jurídico de las Aguas Residuales.</i>	28
3.5. Sistemas de Información Geográfica.....	29
3.6. Diseño Hidráulico.....	30
3.6.1. <i>Diseño de la red hidráulica de conducción.</i>	30
3.6.2. <i>Trazo de redes de riego.</i>	32
3.6.3. <i>Optimización de la red.</i>	34
3.6.4. <i>Uso de software.</i>	35
3.6.5. <i>Instalación de tuberías.</i>	39
3.7. Evaluación Financiera y Económica de Proyectos.....	40
3.7.1. <i>Evaluación Financiera.</i>	40
3.7.2. <i>Evaluación Económica.</i>	41

4. MATERIALES, EQUIPO Y MÉTODOS.	45
5. RESULTADOS.	48
5.1. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atapaneo.....	48
5.2. Diseño Hidráulico.....	52
5.2.1. Gastos para diseño del tramo de tubería.	52
5.2.2. Diseño de la red hidráulica de conducción.....	53
5.3. Evaluación Económica del Proyecto.	57
5.3.1. Programación de inversiones.....	57
5.3.2. Consideraciones para la evaluación.....	58
5.3.3. Identificación de los costos y beneficios.....	59
5.3.4. Cuantificación de costos.....	59
5.3.5. Cuantificación de los beneficios.....	61
5.3.6. Indicadores de rentabilidad.	63
5.3.7. Análisis de Sensibilidad	64
5.3.8. Riesgos del Proyecto.	66
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	68
6.1. Conclusiones.....	68
6.2. Recomendaciones.	69
7. BIBLIOGRAFÍA.	71

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Ubicación de la zona de estudio.	4
Figura 3.2	Organización para la operación.	5
Figura 3.3	Temperaturas medias registradas en las estaciones meteorológicas.....	6
Figura 3.4	Precipitación total registrada en las estaciones meteorológicas.	6
Figura 3.5	Evaporación total registrada en las estaciones meteorológicas.	7
Figura 3.6	Región Hidrológica No. 12.....	9
Figura 3.7	Balance hídrico para la estación meteorológica Cointzio.....	13
Figura 3.8	Balance hídrico para la estación meteorológica Morelia.....	13
Figura 3.9	Distribución de Pozos en el DR020 Morelia-Queréndaro.....	16
Figura 3.10	Distribución de las Plantas de Bombeo en el DR020 Morelia-Queréndaro.	17
Figura 3.11	Distribución de canales en el DR020 Morelia-Queréndaro.....	17
Figura 3.12	Distribución de caminos en el DR020 Morelia-Queréndaro.	19
Figura 3.13	Distribución de drenes en el DR020 Morelia-Queréndaro.....	19
Figura 3.14	Trazo de la red de conducción.....	34
Figura 4.1	Obtención de Modelo Digital de Elevaciones.	46
Figura 5.1	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atapaneo.	48
Figura 5.2	Diagrama de flujo de la PTAR.	50
Figura 5.3	Superficies a beneficiar con el proyecto.....	53
Figura 5.4	Trazo de la red de conducción.....	54
Figura 5.5	Diseño hidráulico de la red de conducción en WCADI 2008.	55

INDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1	Organización para la operación.	5
Cuadro 3.2	Presas derivadoras en el Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro.	16
Cuadro 3.3	Distribución de Estructuras en el DR020 Morelia-Queréndaro.	18
Cuadro 3.4	Demanda evapotranspirativa de los principales cultivos.	22
Cuadro 3.5	Cobertura de la población con agua potable y alcantarillado en México.	24
Cuadro 3.6	Descarga de aguas residuales Municipales 2008 (*Dato de 2007).	25
Cuadro 3.7	Calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas para riego en casos estudiados.	26
Cuadro 3.8	Sistemas de tratamiento y disposición final de las aguas residuales en casos estudiados.	27
Cuadro 3.9	Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura.	27
Cuadro 3.10	Coefficiente de Hazen-Wiliams para algunos materiales.	38
Cuadro 5.1	Calidad del influente para estudio de alternativas.	49
Cuadro 5.2	Calidad del agua del efluente.	50
Cuadro 5.3	Parametros de calidad de agua residual permisible.	51
Cuadro 5.4	Gasto requerido por Módulo.	52
Cuadro 5.5	Diámetros obtenidos del diseño.	55
Cuadro 5.6	Presupuesto del proyecto.	57
Cuadro 5.7	Programa de ejecución de las acciones.	58
Cuadro 5.8	Resumen de Inversiones, precios privados y sociales.	60
Cuadro 5.9	Costos de Operación y Mantenimiento (Miles \$) a precios sociales.	60
Cuadro 5.10	Valor de la producción en la situación sin proyecto.	61
Cuadro 5.11	Situación actual optimizada.	62
Cuadro 5.12	Situación agrícola con proyecto.	62
Cuadro 5.13	Evaluación Financiera.	63
Cuadro 5.14	Indicadores obtenidos del análisis de la alternativa básica.	64
Cuadro 5.15	Variación de los indicadores de rentabilidad ante cambios en los Beneficios.	64
Cuadro 5.16	Variación de los indicadores de rentabilidad ante cambios en la magnitud de inversión.	65
Cuadro 5.17	Variación de los indicadores de rentabilidad ante cambios en los precios de los productos agrícolas.	65

Cuadro 5.18 Variación de los indicadores de rentabilidad ante cambios en los costos de producción.....66

1. INTRODUCCIÓN.

Dadas las condiciones actuales que son producto del crecimiento de las zonas urbanas, principalmente de la ciudad de Morelia, y del cambio climático, debido al detrimento ambiental de la cuenca del lago de Cuitzeo, ha sido una inquietud sobresaliente entre los usuarios de los Módulos de Riego así como de las comunidades de pescadores del lago, la cantidad y la calidad del agua con la que realizan sus labores. Éstos han tenido participaciones en diferentes foros y a diferentes niveles de gobierno, pero sin un concepto bien establecido y evaluado de los impactos económicos, sociales y medioambientales. Por otra parte, en concordancia al Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, en el eje 4 Sustentabilidad Ambiental, en el Objetivo 2 “Alcanzar un manejo integral y sustentable del agua”, en su Estrategia 2.4 dice “Propiciar un uso eficiente del agua en las actividades agrícolas que buscando alcanzar la sustentabilidad del agua de riego a través de la modernización y rehabilitación de la infraestructura hidroagrícola, no sólo aquella necesaria para tecnificar el riego y reducir el consumo de agua, sino también la relacionada con la extracción y transporte del líquido” (Presidencia de la República, 2007).

Actualmente los módulos de riego II, III y IV del Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro localizados en la cuenca del Lago de Cuitzeo dentro del Organismo de Cuenca Lerma Santiago Pacífico, cuentan con un título de concesión para el aprovechamiento del agua que proviene de la Presa de Almacenamiento “Cointzio” y de las aguas residuales de la ciudad de Morelia, Michoacán.

Las aguas residuales que se producen en la ciudad de Morelia alcanzan un gasto promedio aproximado de $2.7\text{m}^3\text{ s}^{-1}$, las cuales van encauzadas en el Río Grande de Morelia, hasta llegar a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Atapaneo, que aunque, tiene una capacidad instalada al momento para tratar hasta $2.190\text{m}^3\text{ s}^{-1}$, a este momento, solo trata un volumen de $0.9\text{m}^3\text{ s}^{-1}$. Esto es debido a que la PTAR Atapaneo, está diseñada para tratar únicamente agua proveniente de los colectores de agua residual de la ciudad de Morelia de los cuales solo un colector de drenaje sanitario, se encuentra en funciones actualmente.

Este volumen que se trata en la PTAR de Atapaneo, se incorpora nuevamente al cauce del río Grande de Morelia, el cual trae consigo el resto del agua que no se trata en la PTAR de

Atapaneo, tanto del agua residual sanitaria, como de la Ciudad Industrial de Morelia, y el gasto solicitado de la presa de Almacenamiento “Cointzio”, para hacerlo llegar a los puntos de entrega de los módulos II, III y IV, ser aprovechada por estos, y por ultimo drenar estos, hacia el lago de Cuitzeo, que es el punto final del recorrido.

Las condiciones antes mencionadas, propician que dichos módulos de riego no tengan la oportunidad de cambiar a cultivos más rentables como las hortalizas, puesto que el grado de contaminación del agua con la que se riega solo les permite sembrar cultivos de granos y algunos perenes como alfalfa para forraje. Así mismo, el impacto de la restauración ecológica en el cauce del Rio Grande de Morelia y del lago de Cuitzeo, no se ha hecho evidente puesto que solo se esta tratando aproximadamente una tercera parte del total del gasto del agua residual de Morelia, aunado al gasto en las descargas de las poblaciones que se encuentran aguas debajo de la ciudad de Morelia, las cuales en su mayoría tampoco reciben un tratamiento.

Debido a esta problemática, se realizara un estudio de factibilidad económica utilizando el modelo de información geográfica del Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro, para el aprovechamiento del agua que produce la PTAR de Atapaneo, mediante una línea colectora que tenga la capacidad de conducir el gasto a la que está diseñada la Planta, y ser entregado a los módulos de riego II, III y IV con condiciones para cambiar a cultivos más rentables y que produzca un impacto económico a favor de los usuarios de dichos módulos. Este estudio incluirá un análisis para comprobar su relación beneficio-costos, el cual nos indicara si es rentable y bajo que esquema se pueda desarrollar el mismo desde el punto de vista de los programas federalizados que al momento existen.

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DEL TRABAJO.

2.1. Hipótesis.

Para los módulos de Riego II, III y IV del Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro, se pueden establecer cultivos más rentables y Sistemas de Riego Tecnificados con el aprovechamiento del agua producida por la PTAR de Atapaneo.

2.2. Objetivos.

2.2.1. Objetivo General.

Evaluar la factibilidad económica para los módulos de riego II, III y IV del Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro de cambiar a cultivos más rentables y sistemas de riego tecnificados con el aprovechamiento del agua producida por la PTAR de Atapaneo.

2.2.2. Objetivos Particulares.

- Analizar la situación actual de la producción y servicio de riego de los módulos involucrados.
- Describir y analizar la situación actual de la PTAR Atapaneo.
- Diseñar una red de conducción desde la PTAR a los puntos de control de los módulos de riego, apoyándose del Sistema de Información Geográfica del Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro.
- Realizar una evaluación económica para obtener a Valor Presente Neto los indicadores, R B/C y TIR, para determinar su factibilidad de desarrollo.

3. REVISIÓN DE LITERATURA.

3.1. Localización de la zona de estudio.

El Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro, se encuentra ubicado en las coordenadas $19^{\circ}53'04''$ de latitud norte, $19^{\circ}29'14''$ de latitud sur, y $101^{\circ}28'00''$ longitud este, $100^{\circ}38'46''$ de longitud oeste, dentro de los Municipios de Álvaro Obregón, Charo, Indaparapeo, Morelia, Queréndaro, Tarimbaro y Zinapécuaro en el Estado de Michoacán.



Figura 3.1 Ubicación de la zona de estudio.

3.2. Distritos de riego.

En México, el área con infraestructura que permite el riego es de 6.5 millones de hectáreas, de las cuales 3.5 millones corresponden a 85 Distritos de Riego y las restantes 3.0 millones de hectáreas a más de 39 mil Unidades de Riego (CONAGUA, 2011).

Los Distritos de Riego son proyectos de irrigación desarrollados por el Gobierno Federal desde 1926, año de creación de la Comisión Nacional de Irrigación, e incluyen diversas obras, tales como vasos de almacenamiento, derivaciones directas, plantas de bombeo, pozos, canales y caminos, entre otros (CONAGUA, 2011).

3.3. Distrito de Riego 020 “Morelia-Queréndaro”.

Características de los módulos de riego II, III y IV del Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro.

El Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro, fue creado por acuerdo Presidencial del 3 de Mayo de 1938 y Ampliado con los Valles de San Bartolo y Queréndaro mediante acuerdo del 1 de Agosto de 1940 y Transferido a las Asociaciones Civiles de Usuarios en el año de 1995 (Colegio de Postgraduados, 2007). Para su operación se ha organizado en seis módulos de riego, sin embargo para los efectos del presente trabajo, se describirá lo relativo a los módulos de riego II, III y IV como se muestra en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Organización para la operación.

Módulo	Superficie (ha)	Usuarios
MÓDULO DE RIEGO II	794	400
MÓDULO DE RIEGO III	8813	2314
MÓDULO DE RIEGO IV	3651	884

La comparación entre la superficie de cada módulo se muestra a continuación:

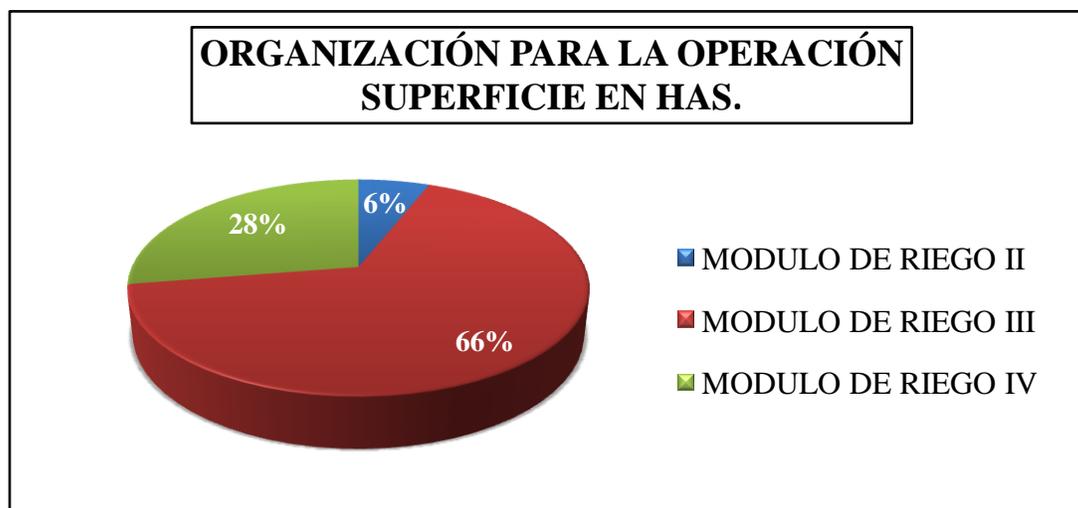


Figura 3.2 Organización para la operación.

3.3.1. Recursos naturales.

Clima.

Los parámetros climáticos se tomaron de las estaciones meteorológicas Pátzcuaro, Malpaís, Cuitzeo, Cointzio y Morelia. Los datos de temperatura media se muestran en la Figura 3.3, la precipitación total en la Figura 3.4, así como la evaporación total en la Figura 3.5.

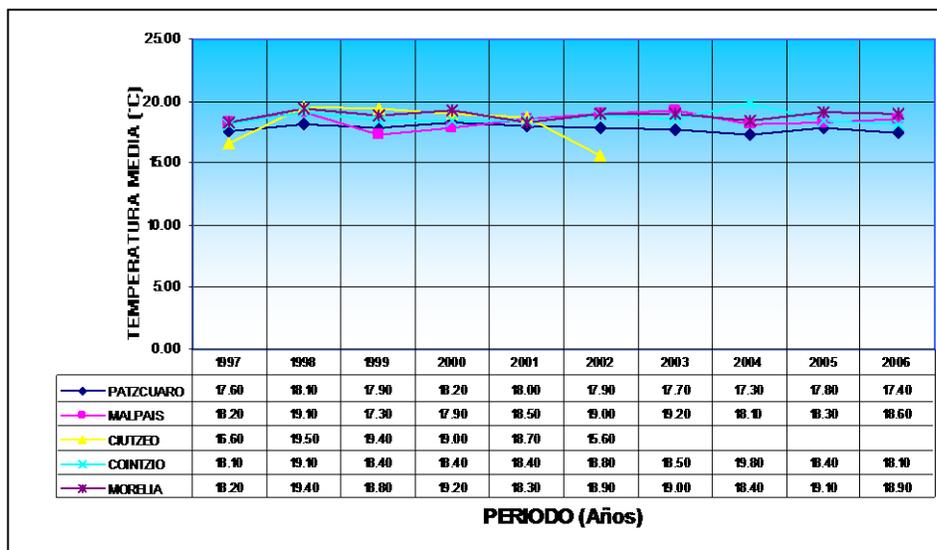


Figura 3.3 Temperaturas medias registradas en las estaciones meteorológicas.

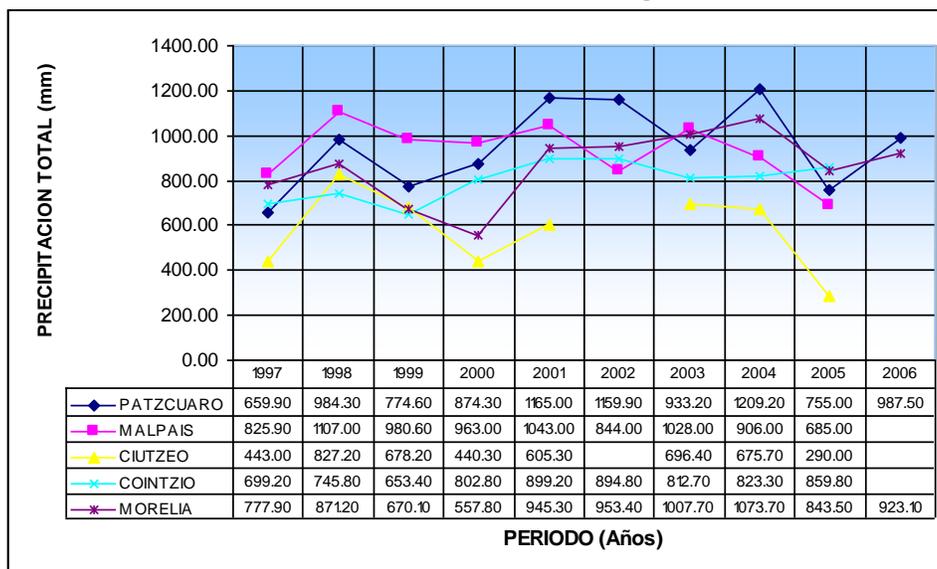


Figura 3.4 Precipitación total registrada en las estaciones meteorológicas.

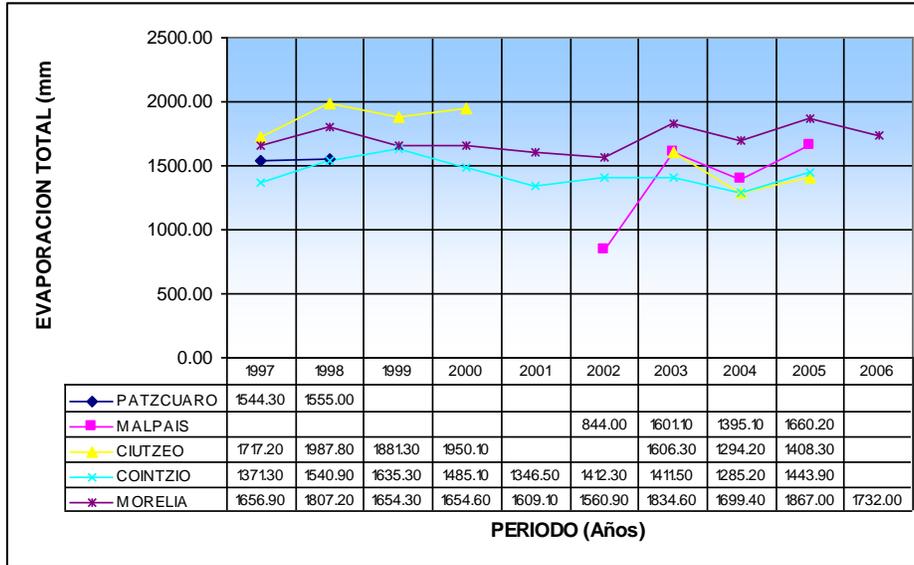


Figura 3.5 Evaporación total registrada en las estaciones meteorológicas.

El clima del Distrito de Riego 020 Morelia -Queréndaro es templado subhúmedo con lluvias en verano, la precipitación media anual es de 862.37 mm y la evaporación es de 1707.60 mm.

De acuerdo con el segundo sistema de clasificación de Thornthwaite, se clasifica como **PF HA TA VA** que se interpreta como Ligeramente Húmedo; con pequeña deficiencia de agua; Cálido, con régimen de concentración normal de calor en el verano. La temperatura media anual es de 17.6° C, la precipitación media anual es de 760.70 mm, distribuida en un período húmedo de junio a septiembre (591.80 mm) y otro seco de octubre a mayo (168.90 mm); con evaporación media anual de 780.50 mm, las heladas ocurren de noviembre a febrero y los vientos dominantes son regularmente de baja intensidad y se estiman en promedio en 1.2 ms⁻¹.

Suelos.

Los suelos, dentro de la zona del Distrito de Riego 020 Morelia - Queréndaro, se clasifican como vertisol espécicos, son suelos de lenta permeabilidad, duros en seco y en húmedo muy adherentes.

Para la clasificación taxonómica de los suelos del área del Distrito de Riego 020 Morelia - Queréndaro, se utilizó el sistema FAO/UNESCO, por medio del cual se obtuvo una clasificación de 6 series, las cuales se mencionan a continuación:

- Serie Queréndaro
- Serie Bartolilla.
- Serie Tzintzimeo
- Serie Indaparapeo
- Serie Álvaro Obregón
- Serie Cointzio

Vegetación.

De acuerdo a las características fisiográficas del Distrito de Riego 020 Morelia - Queréndaro, se han identificado tres principales tipos de vegetación:

Bosque de Coníferas.

En los municipios de Charo, Indaparapeo y Queréndaro la vegetación esta compuesta por Oyamel y Pino en el municipio de Zinapécuaro la vegetación se compone por Abeto y Pino.

Bosque Mixto.

El bosque mixto esta compuesto por Encino, Sabino y Sauce en Álvaro Obregón; Encino, Pino, Aile y Sauce en el municipio de Charo; Pino, Encino y Aile en el municipio de Indaparapeo; Pino y Aile en Queréndaro; y Pino y Encino en Zinapécuaro.

Pradera.

En todos los municipios antes mencionados se encuentra este tipo de vegetación el cual esta conformado por especies como: Nopal y Huizache.

3.3.2. Fuentes de abastecimientos de agua superficial y subterránea.

El Distrito de Riego 020 Morelia - Queréndaro que comprende los valles de Morelia, Álvaro Obregón y Queréndaro, se encuentra localizado en la región Hidrológica No. 12 Lerma-Chapala, zona B-Cuenca del Lago de Cuitzeo y Laguna de Yuriria y forman dos subcuencas menores constituidas por los Ríos Grande de Morelia y Queréndaro.

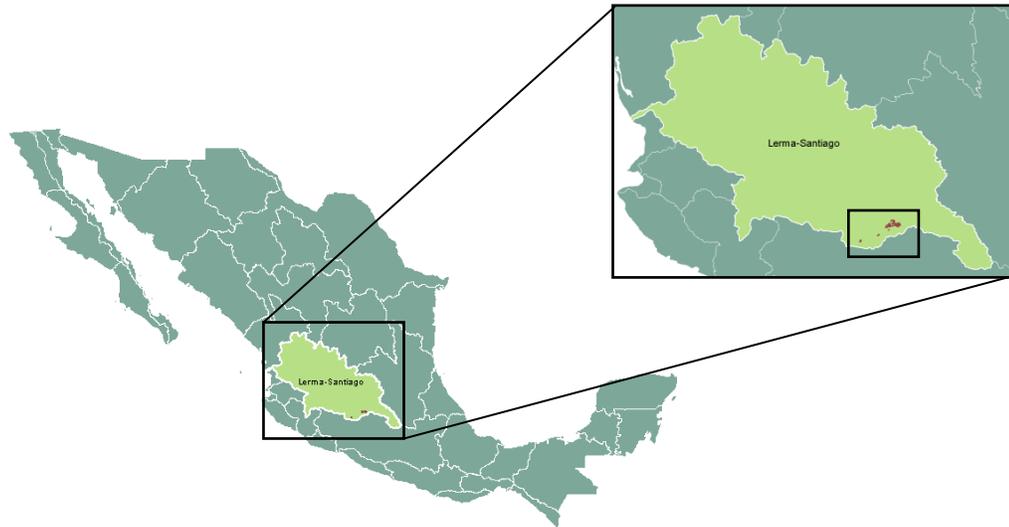


Figura 3.6 Región Hidrológica No. 12.

Cuenca Río Grande de Morelia.

La cuenca del río Grande de Morelia ocupa la porción sur de la del Lago de Cuitzeo y su nacimiento ocurre en la colindancia de algunas cuencas cerradas situadas entre la del Lago de Pátzcuaro y la del propio Lago de Cuitzeo, sus formadores son los ríos Tirepetío y Tirio que se juntan en un solo colector general, a 18 km antes de llegar a Morelia.

De la presa de Cointzio hasta el Lago de Cuitzeo, el río se utiliza como canal de conducción recibiendo varias aportaciones que se utilizan para el riego. El principal aportador lo constituye el río Chiquito que tiene una cuenca de 77 km² y que se une al río Grande a 11 km aguas debajo de la presa Cointzio donde éste cruza la ciudad de Morelia.

Sus últimos 12 km, lo constituye un tramo recto, que cruza los valles Álvaro Obregón-Queréndaro, con rumbo franco sur-norte, que se denomina río Rectificado de Morelia.

Cuenca Río Queréndaro.

La mayor parte de la cuenca del Río Queréndaro queda comprendida dentro del municipio de Queréndaro. Nace en el cerro de la Guajolota, recibiendo a partir de allí y antes de cruzar la población de Queréndaro a los ríos Frío y Caliente.

En lo que actualmente constituye el vaso de la presa Malpaís confluye el río Zinapécuaro que nace en las inmediaciones del municipio de Cd. Hidalgo, y cuya cuenca se desarrolla

dentro del municipio de Zinapécuaro. La dirección de su escurrimiento es francamente hacia el oeste y el total de su caudal, al igual que el del río Queréndaro, entra en el vaso de la Presa Malpaís, que tiene como propósito principal el almacenar agua para el riego.

Ríos y Corrientes.

Las principales fuentes de abastecimiento de agua superficial en el Distrito de Riego son las que escurren del Río Grande de Morelia y el Río Queréndaro, los cuales son almacenadas en la Presas Cointzio y Malpaís.

Río Grande de Morelia.

Es el río más importante en la zona, recibe ese nombre a partir de la confluencia de los ríos Tirio y Tirepetío que descargan en el vaso de la presa Cointzio; también cuenta con dos afluentes importantes que son: el río Charo y el río Chiquito, el río grande de Morelia sigue su trayectoria general hacia el sureste-noreste pasando por la zona urbana de la ciudad de Morelia, donde se une, por la margen derecha, el río Chiquito, continua con la misma dirección hasta la estación denominada El Plan, donde se divide en los ríos Viejo y Rectificado de Morelia, desembocando ambos en el lago de Cuitzeo, hasta este sitio, a el mencionado río se le estima un volumen medio anual de 153 millones de m³.

Río Queréndaro.

Se origina en la Sierra de Otzumatlán y recibe las aportaciones de los ríos San Lucas y Zinapécuaro, entra en la planicie al pie de las sierras mencionadas y después descarga en la presa Malpaís, a partir de ésta, prosigue un rumbo sensiblemente hacia el noreste hasta el poblado de Tzintzimeo, donde toma una dirección norte hasta descargar en el lago de Cuitzeo.

Asimismo, existen algunas corrientes de menor importancia, como son: los ríos Chiquito, Zinapécuaro, los Naranjos y los arroyos de La Huerta y de San Lucas.

Acuíferos.

En el Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro existen diferentes zonas denominadas valle de Morelia, Planicie Álvaro Obregón-Queréndaro y alrededores del Lago de Cuitzeo,

que corresponden al Acuífero Morelia Queréndaro, el cual tiene un área de 964 km²(96,400 ha), su recarga es a través de infiltración de aguas provenientes de lluvia y canales de riego, adicionalmente por movimientos de agua entre dichas zonas también llamado flujo horizontal, según estudios realizados se extrae un volumen total estimado de 202.85 millones de m³ anuales, mediante unos 1,038 pozos y norias, siendo la recarga estimada de 221.28 millones de m³ anuales, con lo cual se dispone de un caudal estimado en 18.42 m³.s⁻¹, y con base en ello se le considera en situación de semi-equilibrio (SEQ), cabe señalar que desde 1987, dicho acuífero fue vedado.

3.3.3. Calidad del Agua (física, química y bacteriológica).

La calidad del agua en las fuentes de abastecimiento tanto superficial como subterránea es de buena calidad, es decir, se clasifica como agua de riego C1-S1 que corresponde a: buena para riego agrícola, baja salinidad y baja en sodio y su calidad bacteriológica es tipo 3; en cuanto a las aguas residuales procedentes de colectores y emisores de la ciudad de Morelia, de acuerdo a la concentración de contaminantes se clasifican como municipales de concentración media.

Por lo anterior destaca que aguas abajo de la ciudad de Morelia, el agua para riego agrícola para el Distrito de Riego 020 Morelia Queréndaro, consiste en una mezcla integrada por agua de buena calidad procedente de la presa Cointzio y aguas residuales de la ciudad de Morelia y de las poblaciones que vierten sus descargas a el cauce del río Grande de Morelia.

Con respecto a su clasificación bacteriológica, indica que es de cuarta clase para uso agrícola ya que excede los valores permisibles en el contenido de coliformes fecales por lo que el patrón de cultivos a sembrar se restringe únicamente para granos básicos, forrajes y plantas de ornato. De lo cual podemos decir que el uso de aguas urbanas residuales en la agricultura, aunque mejora la fertilidad del suelo, genera paralelamente una serie de problemas ambientales debido a la contaminación biológica de coliformes fecales, y contaminación química básicamente por metales pesados.

Conforme a los análisis químicos realizados en el área de estudio, se consideraron los niveles de conductividad eléctrica y de relación de absorción de sodio para establecer su

clasificación, se observa que el 46.28% son aguas con muy alto contenido de salinidad, 47.59% con alto contenido de salinidad; 6.13% son de salinidad media, en cuanto a absorción de sodio; 8.58% tienen alto contenido; 12.28% son de alta sodicidad; 44.58% con niveles medios de sodio; y 34.66% con bajo contenido.

Además en los monitoreos realizados en las aguas de riego, se ha encontrado que existe una restricción por carbonatos y bicarbonatos. En relación a los valores de RAS (Relación de Adsorción de Sodio) y C.E., se clasifican como aguas de buena calidad. Se pueden usar para riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio.

3.3.4. Situaciones extremas (Sequías y/o inundaciones).

De las observaciones efectuadas en las estaciones representativas por un periodo de más de 10 años, se infiere que el fenómeno de heladas, el número medio anual de días con heladas es de 3.5, habiendo mayor incidencia en los meses de diciembre y enero, aparentemente por la relación inversa con la presencia de nublados. Existe un periodo libre de heladas en los meses de marzo a septiembre. En cuanto a granizadas, el promedio anual es de 3.8 días con granizo, existiendo una correlación estrecha con el número de días nublados por lo que el máximo anual acontece en los meses de mayo y junio.

Balance hídrico.

Con la información climática, se conocen los balances hídricos para cada una de las estaciones meteorológicas, mismos que se muestran en la Figura 3.7 y Figura 3.8

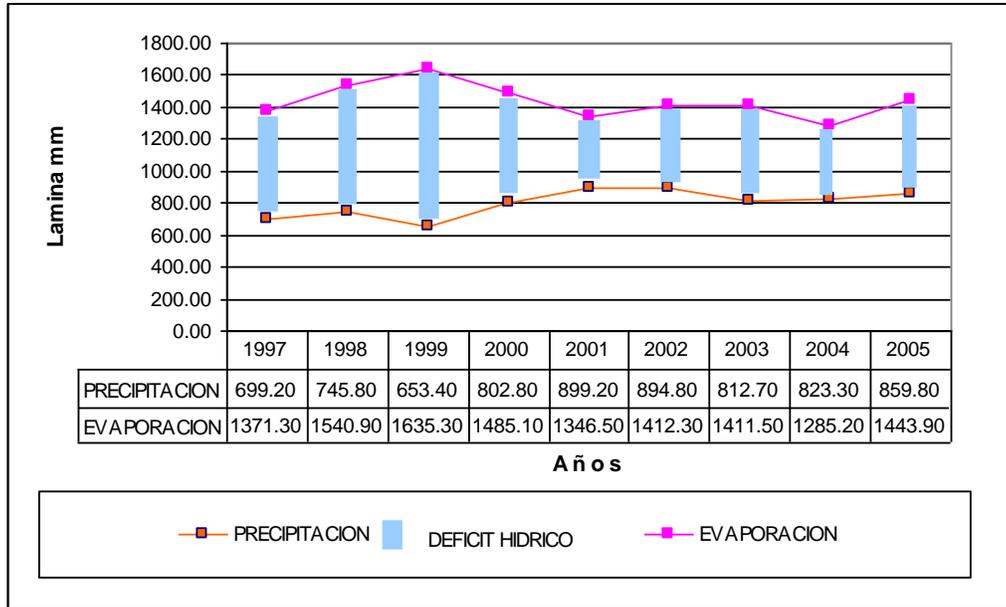


Figura 3.7 Balance hídrico para la estación meteorológica Cointzio.

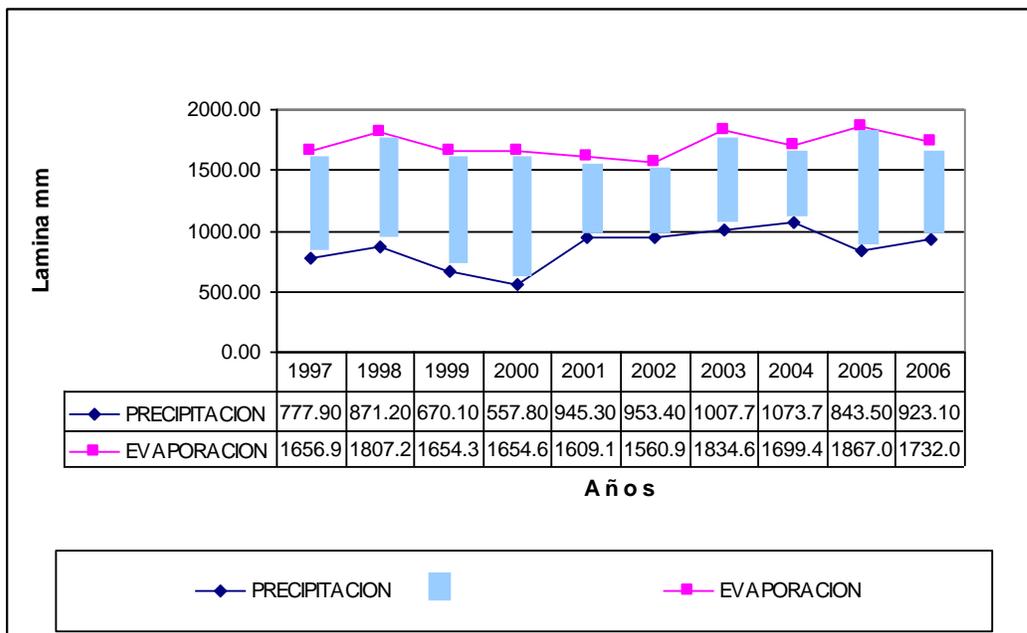


Figura 3.8 Balance hídrico para la estación meteorológica Morelia.

El balance hídrico de las estaciones meteorológicas muestra claramente que se presenta déficit hídrico en el Distrito de Riego 020 Morelia Queréndaro. Lo anterior significa que las precipitaciones que ocurren en la zona no son suficientes para satisfacer las necesidades de

agua de los cultivos, de tal manera que es imperativo el suministro de agua mediante riego a los cultivos para garantizar un desarrollo adecuado de los mismos.

Posibles conflictos de demanda por el recurso hídrico.

El incremento poblacional que se ha presentado en los últimos años en la ciudad de Morelia, Michoacán, ha generado una fuerte demanda de abastecimiento, lo que ha resultado en un aumento considerable de las extracciones de agua subterránea y un serio peligro de sobreexplotación de los acuíferos de la región.

Esta situación ha ocasionado abatimientos considerables en los niveles freáticos, y teniendo como consecuencia problemas hundimientos y fallas del suelo en diversas partes de la ciudad.

3.3.5. Estado de la infraestructura.

El Distrito de Riego 020, Morelia Queréndaro cuenta con dos presas de almacenamiento que se encuentra en la red mayor a cargo de la Comisión Nacional del Agua. Las presas existentes son Cointzio y Malpaís.

Presa de almacenamiento Cointzio.

La presa Cointzio fue construida por la Comisión Nacional de Irrigación durante el lapso de 1936 a 1939 para fines de irrigación, generación hidroeléctrica y control de avenidas a fin de proteger contra inundaciones a la ciudad de Morelia. A partir de la década de 1950, no genera energía eléctrica, por lo que actualmente solo se extraen volúmenes para abastecimiento de agua potable y de riego.

Consta de una cortina de tierra compactada protegida con material de enrocamiento, altura máxima de 46 m, longitud de 300 m, ancho de corona de 8 m e inclinación de taludes exteriores de 3:1 aguas arriba y 2:1 aguas abajo.

La obra de control de excedencias en la margen izquierda de la cortina consta de una cresta vertedora a la elevación 1990.15 msnm y 5 compuertas radiales de 5.5 x 3.5 m, que descargan a un canal en curva con ancho variable de plantilla de entre 29.9 y 16 m, en una longitud de 133 m.

En la margen derecha de la cortina, se encuentra la obra de toma dentro de un túnel excavado en la ladera, consta de 2 tuberías de acero a partir del tapón de concreto, con dos válvulas de mariposa de emergencia de 1.2 m de diámetro y dos de servicio en la descarga, también de mariposa de 0.76 m de diámetro.

La presa de almacenamiento Cointzio, se ubica a 13 km aguas arriba de la ciudad de Morelia, tiene capacidad para almacenar 84.84 millones de m³, y se conducen por el cauce del río Grande de Morelia hasta la zona de riego de los módulos I, II, III y IV, cabe destacar que en el trayecto, se mezclan con aguas contaminadas sin tratar, proveniente de colectores y emisores de la ciudad de Morelia y de las poblaciones aguas abajo de Morelia.

Presa de almacenamiento Malpaís

La presa Malpaís fue construida a principios del siglo XX y reconstruida en 1938 por particulares, con la finalidad de utilizar los escurrimientos de los ríos Queréndaro y Zinapécuaro, para riego de 4,100 ha del modulo de riego V, consiste en una cortina de tipo homogéneo de tierra de 4,500 m de longitud, con una altura máxima de 6.10 m y 5.0 m de corona a la elevación 1,830 msnm, con una capacidad de almacenamiento estimada de 24 Mm³ al NAME en la elevación 1828.50 msnm.

En el extremo noreste del vaso, el bordo forma una esquina en la que se localiza una estructura de concreto que funciona como obra de control toma principal, el umbral de esta toma al N.A.M.O., es la elevación 1824.98 msnm y se opera mediante una compuerta radial de 3.00 m de ancho por 4.5 m de altura, la descarga se efectúa al cauce rectificado del río Queréndaro revestido de mampostería en un tramo de 50.0 m; las extracciones se utilizan para fines de riego y los excedentes van al Lago de Cuitzeo; la capacidad máxima de descarga de esta obra, es de 40 m³s⁻¹ aproximadamente.

La presa dispone de otras dos obras de toma; una que se localiza en el cadenamiento 1+750 a partir del extremo izquierdo de los bordos a la que denominan “El Sifón”, cuenta con una tubería de 90 cm de diámetro alojada dentro de la sección del terraplén, con un puente de acceso y una compuerta deslizante de 1.20 x 1.20 m al pie del talud de aguas arriba para su operación, la descarga se efectúa hacia un tanque desde donde se puede derivar agua por medio de pequeñas compuertas tipo Miller hacia los canales para riego denominados “Sur de Queréndaro y las Paredes”, la capacidad de esta toma es de 5 m³s⁻¹.

Presas Derivadoras. Las obras de derivación para la entrega del servicio de agua en bloque en el Distrito de Riego 020 Morelia Queréndaro son las siguientes:

Cuadro 3.2 Presas derivadoras en el Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro.

Módulo	Numero de Presas de Derivación	Nombre de las Presas de Derivación
Módulo 1	2	COINTZIO Y EL SALTO
Módulo 2	2	LA GOLETA Y CORRALES
Módulo 3	1	QUIRIO
Módulo 4	1	ZACAPENDO

Pozos.

En el Distrito de Riego 020 Morelia Queréndaro no se reportan pozos oficiales, sin embargo existen 108 pozos particulares, que dan un gasto promedio de 63 l s^{-1} , del total de dichos pozos 90 están electrificados, 2 son de combustión interna y 16 están sin equipar.

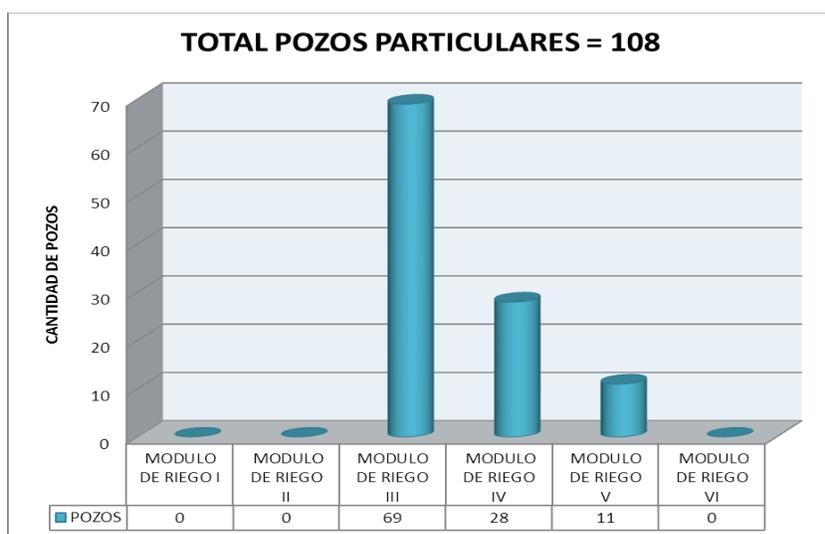


Figura 3.9 Distribución de Pozos en el DR020 Morelia-Queréndaro.

Plantas de bombeo.

En el Distrito de Riego 020 Morelia Queréndaro, se cuenta con un sistema de 14 plantas de bombeo, con un total de 33 unidades que dan un gasto de $11.050 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

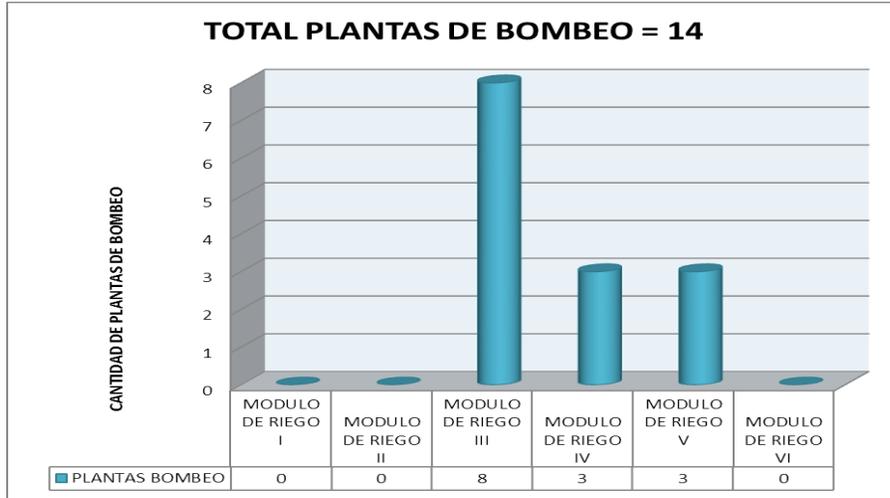


Figura 3.10 Distribución de las Plantas de Bombeo en el DR020 Morelia-Queréndaro.

Red de Conducción (Red mayor de canales).

El Distrito de Riego cuenta con una red de canales principales cuya longitud total es de 162.823 km, de los cuales 39.78 km se encuentran revestidos con concreto, 1.00 km está entubado y el resto 122.043 km son sobre tierra.

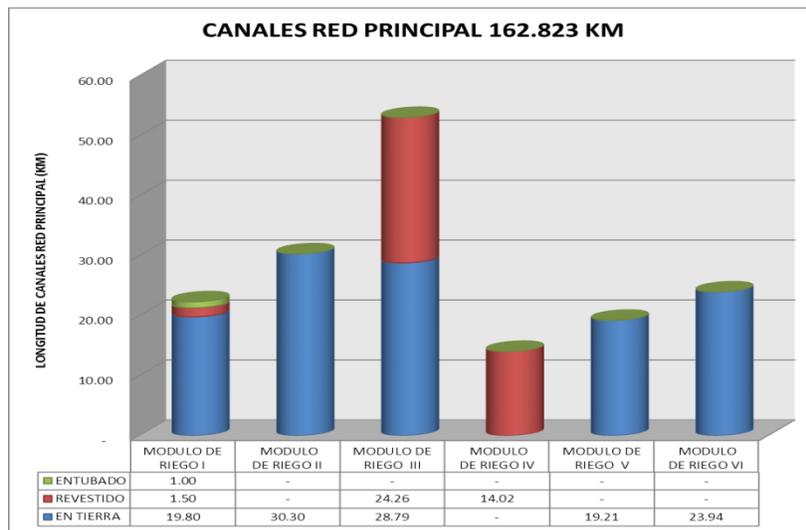


Figura 3.11 Distribución de canales en el DR020 Morelia-Queréndaro.

Estructuras de control y medición.

Se cuentan con diferentes estructuras sumando en todo el Distrito un total de 973.

Cuadro 3.3 Distribución de Estructuras en el DR020 Morelia-Queréndaro.

ESTRUCTURAS		MODULO					
		I	II	III	IV	V	VI
DE OPERACIÓN	ESTACIONES DE AFORO	1		12			
	REPRESAS		3	30	23	17	2
	TOMAS	1	1	3			
	TOMAS GRANJAS	34	6	105			
	CAJAS REPARTIDORAS						
	CAIDAS RAPIDAS						
DE PROTECCION	DESFOGUES	3		1			
	ENTRADAS DE AGUA			6			
	PASOS SUPERIORES	2		1			
	PASOS INFERIORES						
	MUROS DE RETENCIÓN						
	SIFONES	2	3	8	6	2	
	ALCANTARILLAS	6	5	14			
DE CRUCE	PUNTES	5	4	7	9	2	
	CANALES						
	PUNTES VEHICULOS	4	3	107	30	24	8
	PUNTES PEATONES	6		17			

Red de caminos: operación y servicio.

Dentro del Distrito de Riego 020 Morelia - Queréndaro, se tienen 575.21 km de caminos, de los cuales 263.20 km (45.75%) se encuentran revestidos y 312.01 km (54.25%) no cuentan con revestimiento. En el programa de conservación normal y/o funcional, los usuarios son los que se involucran de manera directa y toman las iniciativas para mantener los caminos en mejores condiciones.

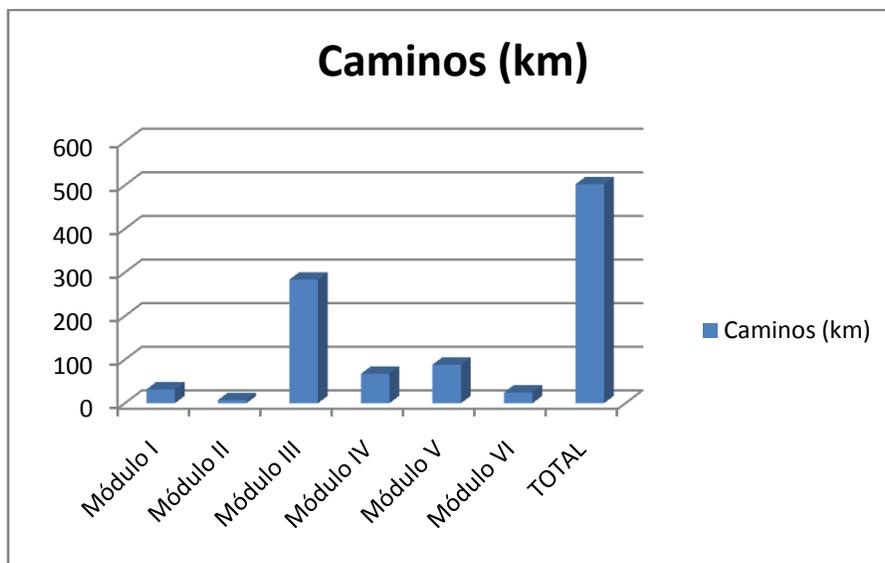


Figura 3.12 Distribución de caminos en el DR020 Morelia-Queréndaro.

Red de drenaje: Superficial (red mayor y menor).

En el Distrito de Riego se cuenta con una red de drenaje, cuya longitud total es de 387.02 km, entre los cuales 176.22 km son drenes principales y 211.80 km son de drenes secundarios, se encuentra en estado aceptable, además los usuarios se involucran en la participación para la conservación y el buen funcionamiento de los drenes.

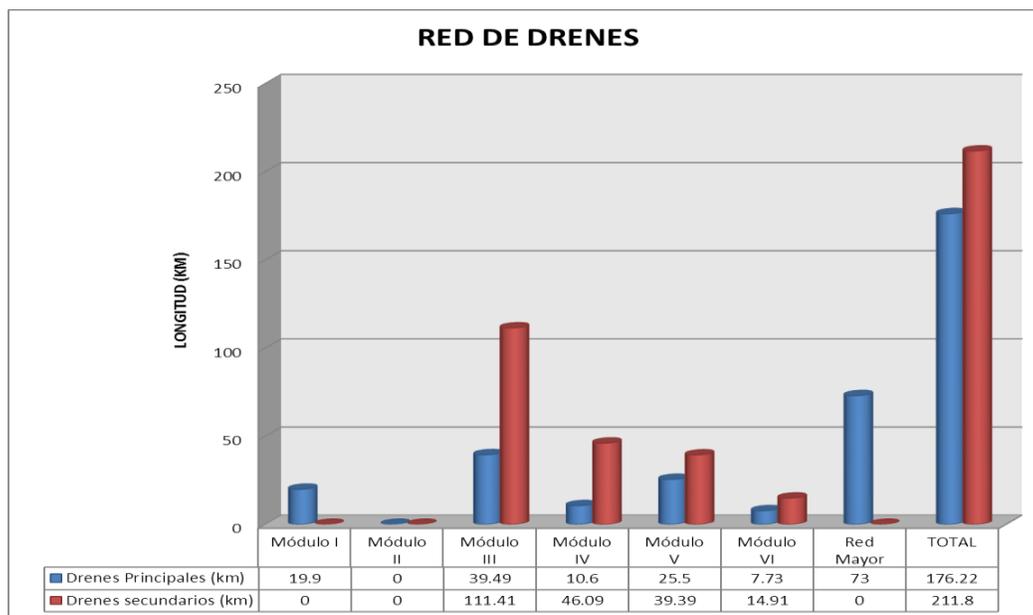


Figura 3.13 Distribución de drenes en el DR020 Morelia-Queréndaro.

3.3.6. Producción agrícola.

En el Distrito de Riego 020-Morelia-Queréndaro se tienen dos ciclos agrícolas Otoño-Invierno (O-I) y Primavera-Verano (P-V), así mismo se atienden segundos cultivos y cultivos perennes.

Los principales cultivos que destacan por la superficie cosechada en el ciclo Otoño-Invierno son: Trigo, Avena, Cebada, Garbanzo y Hortalizas; en los cultivos del Ciclo primavera-verano están: Maíz, Sorgo, Frijol y Hortalizas.

Cabe hacer mención que en lo relativo a las hortalizas son regadas con agua proveniente de pozo o de la presa de Malpaís que son aguas no contaminadas por la ciudad de Morelia.

Los cultivos de Trigo Grano y Avena Forrajera, en los últimos 10 años han representado la mayor superficie cosechada con respecto al resto de los cultivos sembrados en el ciclo Otoño-Invierno en el Distrito de Riego.

Manejo del suelo y del agua.

Las labores de manejo de suelo y del agua en el Distrito de Riego se describen a continuación:

Rotación de cultivos.

Se aplica en casi la totalidad de la superficie regada, pero no obedece a factores de protección a los suelos, sino que se hace por motivos económicos (demandas del mercado), sin considerar el desgaste y deterioro de los suelos, ni la vocación de éstos para los nuevos cultivos.

Mecanización.

Se aplica en la totalidad de la superficie sembrada, para las labores previas a la siembra, durante la siembra y en la cosecha, con maquinaria propia de los productores o alquilada (trilladora, etc.)

Empleo de fertilizantes.

Los productores que siembran en sus parcelas o aquellos que rentan para sembrar, en su totalidad aplican fertilizantes, del tipo que se menciona a continuación:

- Nitrogenados (sulfato de amonio, nitrato de amonio, urea, amoniaco anhidro).
- Fosfatados (superfosfato de calcio simple y triple).
- Potásicos (cloruro de potasio, sulfato de potasio, nitrato de potasio)
- Compuestos (18-46-0, 17-17-17, 15-30-15).

Uso de semillas mejoradas.

El uso de semillas mejoradas se aplica en toda la superficie sembrada con cultivos cíclicos, en especial el sorgo grano y el maíz donde se utilizan diferentes variedades de semilla y donde se siembran las mayores superficies en cada ciclo. Para el caso del sorgo se ha utilizado: Dekalb 064, Master 911, BJ 83, Topaz, WM, Rubí, Dorado M; en el maíz las principales variedades utilizadas fueron: H-507, H-509, H-422.

Manejo de labores culturales.

En los cultivos que se siembran, se aplican las labores culturales que indica el paquete tecnológico para cada cultivo, por lo tanto se aplica a la totalidad de la superficie sembrada. Para el caso de los granos, las principales labores culturales que aplican son: deshierbe manual, cultivo y escarda mecánica.

Para el caso de frutales, las principales labores culturales que se aplican son: replante, encalado, limpia, cajeteo, barbecho, trazo de huerta, poda de formación, limpia de canales, huertero, deshoje y desperille, deshije, horquetas, colocación de horquetas.

Operaciónen los módulos de riego.

La distribución y entrega del agua en el Distrito de Riego se hace por el método de “demanda semanal”, el cual consiste en programar las extracciones a las fuentes de abastecimiento con base en las solicitudes de los usuarios para el periodo de una semana. Por lo tanto, las extracciones y como consecuencia los gastos a entregar en los puntos de control, se definen para ese periodo. Dichos gastos no son mayores a la capacidad operativa de los canales y a lo programado en el plan de riegos. En aquellos módulos o parte de éstos donde se practica el monocultivo, el agua es distribuida por tandeo, por ser más eficiente este método.

Para la medición del agua en los canales principales y en algunos laterales de importancia, se cuenta con escalas y constantemente se están registrando a una base de datos. Para conocer las eficiencias se mide el agua en los puntos de control establecidos en canales únicamente, haciendo falta estructuras aforadoras a nivel parcelario, por lo que actualmente se tiene una eficiencia estimada de conducción del 65%, de distribución del orden del 60%. En lo relativo a eficiencia de aplicación a nivel parcelario son bajas (45%), por falta de conciencia entre los usuarios para mejorar el uso y manejo del agua de riego a nivel parcelario.

Demanda evapotranspirativa de los cultivos.

En el Cuadro 3.4, se muestran las láminas de riego para los principales cultivos en el Distrito de Riego 020 Morelia - Queréndaro. Estas láminas fueron calculadas empleando la información climática existente en las estaciones meteorológicas ubicadas dentro del Distrito de Riego. Para el cálculo de la demanda de riego de los cultivos se empleó el Método de Blanney-Criddle.

Cuadro 3.4 Demanda evapotranspirativa de los principales cultivos.

Cultivo/ciclo	Uso Consuntivo (cm)
Ciclo Otoño-Invierno	
Avena	55.0
Cebada	55.0
Garbanzo	19.0
Hortalizas	55.0
Trigo	73.0
Ciclo Primavera-Verano	
Frijol	37.0
Hortalizas	37.0
Maiz	19.0
Sorgo	19.0
Perennes	
Alfalfa	109.0
Frutales	109.0
Trébol	131.0

Riego Parcelario.

En el Distrito se utilizan fundamentalmente cuatro métodos de riego, que dependen del tipo de siembra del cultivo y que son el de surco, en cama melonera, en melgas, y cajete para frutales.

Para los cultivos en surco, como son el fríjol, maíz, etc., se usa el método tradicional, que consiste en abrir bocanas en las regaderas, distribuyendo el agua a lo largo de los surcos.

Los cultivos que se siembran en cama melonera (melón) requieren de eficiente labranza, acompañada de nivelación y/o tabloneras para uniformizar la superficie.

Para el caso de melgas (sorgo forrajero, pastos, sorgo grano), el procedimiento es similar al que utilizan para el cultivo de arroz, el cual requiere gran cantidad de mano de obra.

El método de riego para frutales (cajete), caso específico del limonero, ocasiona grandes desperdicios de agua, en especial cuando el agricultor cuenta con suficiente agua; además de la susceptibilidad del cultivo a las enfermedades bacterianas y fungosas.

En cuanto a los sistemas de riego presurizados empleados en el Distrito de Riego, existe solamente el 5% de la superficie donde se emplea, ya sea con riego por aspersión, goteo o micro aspersión, es decir el sistema de riego por gravedad es el que predomina en el Distrito de Riego.

3.4. Aguas Residuales.

3.4.1. Generalidades.

La importancia biológica, ambiental, productiva, económica, social y cultural del agua abre un abanico de situaciones y problemáticas relacionadas con el uso y manejo de este elemento natural. La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) califica al problema del agua como complejo, expresado en la reducción de la disponibilidad del recurso y la agudización de la competencia por el mismo, con los consecuentes conflictos sociales; una reducción derivada del crecimiento poblacional, de los cambios que ha experimentado la composición rural-urbana de la población, y de la contaminación de los recursos de agua dulce (Hernández, 2011).

En México la población aumentó, del año 1960 a 2008, de 34.4 a 106.1 millones de habitantes, impactando con una carga mayor sobre la infraestructura existente y un aumento en la producción de residuos domésticos. La tendencia de aumento en la población seguirá con la consecuente generación de aguas residuales (CONAGUA, 2009).

Las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales e industriales. Las primeras corresponden a las que son manejadas en los sistemas de alcantarillado municipales urbanos y rurales, en tanto que las segundas son aquellas descargadas directamente a los cuerpos receptores de propiedad nacional, como es el caso de la industria abastecida (CONAGUA, 2011).

Si revisamos las estadísticas del agua en México, podemos darnos cuenta que en los últimos años se ha incrementado la cobertura de agua potable y alcantarillado para los hogares, sobre todo urbanos, sin embargo el tratamiento de las aguas usadas por la población no ha aumentado en la misma proporción. Así, mientras se cubre el 90.3% de las necesidades de agua potable en el país, y el 86.4% del alcantarillado, tan sólo el 40.2 % de las aguas residuales son tratadas, (CONAGUA,2009).

Cuadro 3.5 Cobertura de la población con agua potable y alcantarillado en México.

Población	Agua Potable %	Alcantarillado %
Urbana	94.3	93.9
Rural	76.8	61.8
Total	90.3	86.4

En cuanto al destino del agua tratada, la mayoría se descarga en cuerpos de agua (esteros, lagunas, ríos, arroyos, etc.), barrancas y grietas. Los usos principales son riego de áreas verdes y zonas agrícolas, reúso industrial e infiltración al subsuelo (Lahera, 2009).

Cuadro 3.6 Descarga de aguas residuales Municipales 2008

(*Dato de 2007).

	m³/s	%
Total de aguas residuales	243*	
Se colectan en alcantarillado	208	100
Capacidad instalada en plantas	113	59.8
Se tratan	83.6	40.2

Fuente: Elaborado con información de CONAGUA (2009:46)

En México, el tratamiento de las aguas servidas para reúso, reincorporación a los cuerpos de agua superficiales o infiltración a los mantos freáticos no es una opción generalizada, por lo que para ir construyendo una infraestructura urbana sustentable, es necesario optar por tecnología alternativa que permita reutilizar los caudales y/o regresarlos a la naturaleza con buena calidad, sin hacer un uso intensivo de energía y sin producir contaminantes (Lahera, 2009).

Según CONAGUA 2011, en el país, hasta el año 2009, se contabilizaron 2,029 plantas de tratamiento en operación, las cuales trataron $88.1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, la capacidad instalada de estas plantas es de 113 metros cúbicos por segundo (m^3s^{-1}), sin embargo, el caudal procesado es de $83.6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, equivalente al 40.2% del total de las aguas residuales colectadas en los sistemas formales de alcantarillado municipal, estimado en $208 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. El rango del caudal tratado va desde 61.3 litros por segundo (l/s) en Campeche, hasta 11,646 l/s en Nuevo León. Sólo dos estados de la República tratan el 100% de las aguas que recogen en alcantarillas: Aguascalientes y Nuevo León. (CONAGUA, 2009).

Con la construcción y operación de un mayor número de plantas de tratamiento se generará un mayor volumen de agua tratada que se podrá destinar a sectores como el agrícola e industrial, liberándose importantes volúmenes de agua de primer uso en beneficio de los habitantes del país. (CONAGUA, 2009).

Según Mendoza (2009), la calidad del agua se define por sus características físicas, químicas y biológicas siendo los factores físicos y químicos de mayor importancia en aguas utilizadas para el riego. La calidad también cambia según el tipo, cantidad de sales disueltas, su movilidad y su acumulación en el perfil del suelo en la medida que se evapora el agua o es consumida por las plantas. Por lo tanto, la calidad del agua es una

consideración importante para la investigación de las condiciones de salinidad o contenido de sodio intercambiable en los suelos de cualquier zona de riego.

En países desarrollados el uso planificado (de agua residual tratada) es más común, como en los casos de Israel, Australia, Alemania y los Estados Unidos. Israel es el país que está a la vanguardia en el uso planificado de aguas residuales, se plantea que un 70 % del agua que demandará la agricultura en 2040 va a ser obtenida mediante el tratamiento de efluentes, así también se estima que una décima parte o más de toda la población mundial consume actualmente alimentos que se producen con aguas residuales, aunque no siempre de una manera segura (Veliz, et. al., 2009).

Veliz, et. al. (2009), Realizaron una reseña analítica en la que se muestran los parámetros de calidad microbiológica de las aguas residuales para riego (Cuadro 3.7), el sistema de tratamiento y disposición final de las aguas residuales (Cuadro 3.8), así como las directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica que deben cumplir las aguas residuales empleadas en la agricultura (Cuadro 3.9), ver datos basados en casos de estudio en los cuales aparece México.

Cuadro 3.7 Calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas para riego en casos estudiados.

Localización		Agua residual			Área de reúso					
País	Coliformes (NMP/100 mL)	Parásitos (huevos/L)	Área total (ha)	Cultivos (Porcentaje del área total)						
				Cultivos (Porcentaje del área total) (%)						
Argentina	2,5 E + 03	< 1	2 500	Vid	30	Hortalizas	30	Frutales	30	
Bolivia	2,1 E + 06	—	80	Maíz	—	Tomate	—	Pimienta	—	
Chile	1,0 E + 02	—	1 500	Maíz	28	Zanahoria	10	Algarrobo	9	
CT - CR	—	< 1	26 000	Algodón	25	Alfalfa	13	Trigo	12	
	6,1 E + 04	—	10 800	Maíz	49	Remolacha	—	Avena	—	
	5,0 E + 03	< 1	757 000	Maíz	7	Alfalfa	4	King grass	3	
Perú	2,5 E + 04	—	740	Maíz	47	Alfalfa	9	Eucalipto	5	
República Dominicana	5,0 E + 03	—	250	Arroz	100	—	—	—	—	

Cuadro 3.8 Sistemas de tratamiento y disposición final de las aguas residuales en casos estudiados.

Localización	Alcantarillado		Tratamiento			
	País	Población servida (%)	Caudal (L/s)	Descarga	Tipo de planta	Disposición final
Argentina		37	2 900	Planta de tratamiento	Lagunas facultativas	Riego agrícola
Bolivia		77	520	Planta de tratamiento	Lagunas facultativas	Riego agrícola
Chile		97	470	Planta y mar	Lodos activados	Riego agrícola
México		80	4 600	Canal riego y plantas	Floculación	Riego agrícola
CT - CR		90	28 000	Canal drenaje y plantas	Laguna facultativa y lodos activados	Riego agrícola y forestal
		80	1 500	Planta y mar	Laguna aireadas	Riego agrícola
Perú		84	370	Planta de tratamiento	Lagunas facultativas	Riego agrícola
República Dominicana		90	600	Planta de tratamiento	Laguna aireadas	Riego agrícola

Cuadro 3.9 Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura.

Categoría	Condiciones de aprovechamiento	Grupo expuesto	Nemátodos intestinales ² (media aritmética Huevos/L)	Coliformes fecales ³ (media geométrica /100 mL)	Tratamiento necesario para lograr la calidad microbiológica exigida
A	Riego de cultivos que se consumen crudos, campos de deportes o parques públicos.	Trabajadores, consumidores, público.	< 1	< 1 000	Serie de estanques de estabilización o tratamiento equivalente.
B	Riego de cultivos de cereales, industriales, forrajeros, praderas ⁴ y árboles. ⁵	Trabajadores.	< 1	No se recomienda ninguna norma.	Serie de estanques de estabilización por 8 ó 10 d o eliminación equivalente de helmintos.
C	Riego localizado de cultivos de la categoría B cuando los trabajadores ni el público están expuestos.	Ninguno.	No es aplicable.	No es aplicable.	Tratamiento previo según lo exija la tecnología de riego, no menos que sedimentación primaria.

En casos específicos, se deberán tener en cuenta los factores epidemiológicos, socioculturales y ambientales de cada lugar y modificar las directrices de acuerdo con ello, durante el periodo de riego, conviene establecer una directriz más estricta (<200

coliformes fecales por 100 ml), para prados públicos como los de los hoteles en los que el público puede entrar en contacto directo, en el caso de los árboles frutales, el riego debe cesar dos semanas antes de la cosecha de la fruta y ésta no se debe recoger del suelo y no es conveniente regar por aspersión (Veliz, et. al. 2009).

3.4.2. Marco Jurídico de las Aguas Residuales.

Según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, las Normas Oficiales Mexicanas en materia de Aguas Residuales, son las siguientes:

Con base en el acuerdo por el cual se reforma la nomenclatura de las normas oficiales mexicanas expedidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 23 de abril de 2003, se cambia la nomenclatura de la **NOM-001-ECOL-1996** que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales, se cambia por la Norma Oficial Mexicana **NOM-001-SEMARNAT-1996**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Publicada el 6 de enero de 1997.

Norma Oficial Mexicana **NOM-002-SEMARNAT-1996**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Publicada el 3 de junio de 1998.

Norma Oficial Mexicana **NOM-003-SEMARNAT-1997**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Publicada el 21 de septiembre de 1998.

Norma Oficial Mexicana **NOM-004-SEMARNAT-2001**, que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final. Publicada el 15 de agosto de 2003.

Dada la naturaleza del presente estudio, se hará especial énfasis en algunos apartados de la **NOM-001-SEMARNAT-1996** en las siguientes consideraciones.

Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de

1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario respectivamente.

Para determinar la contaminación por parásitos, se tomará como indicador los huevos de helminto, el número máximo permisible para las aguas para riego es de 5 huevos por litro para riego restringido.

El rango permisible del potencial de hidrógeno (Ph) es de 5 a 10 unidades.

3.5. Sistemas de Información Geográfica.

Un SIG integra hardware, software y datos para capturar, gestionar, analizar y presentar todo tipo de información geográficamente referenciada. Del mismo modo, permite ver, comprender, cuestionar, interpretar y visualizar los datos en muchos aspectos que revelan las relaciones, patrones y tendencias en forma de mapas, informes y gráficos (Núñez et al. 2009, Citado por Camacho, 2010).

Un sistema de información que está diseñado para trabajar con datos referenciados por coordenadas espaciales y geográficas, con capacidades para manejar datos espacialmente referenciados. También es un conjunto de operaciones para trabajar y analizar datos (Star y Estes, 1996, citado por Camacho, 2010).

Mejía *et al.*, (2003), citado por Camacho (2011), mencionan que en el manejo de un distrito de riego como un sistema de producción, es necesario considerar tres horizontes de tiempo: 1) Desarrollo histórico (evaluación), 2) Manejo en tiempo real (operación) y 3) Proyección de posibles cursos de acción (planeación). Una de las tecnologías para el manejo de la información es el empleo de los SIG; de tal forma que en la oportunidad requerida, técnicos y usuarios de los distritos y módulos de riego puedan disponer de información adecuada y suficiente para evaluar el desarrollo de sus actividades, así como para planear el mejor uso de los recursos a corto y mediano plazo.

Mejía (2007) citado por Camacho (2011), indica que, en la actualidad, el sector agropecuario se desarrolla dentro del contexto de mercados globalizados. Esto implica una mayor competitividad y mayores restricciones ambientalistas para producir productos de consumo humano. Sobre todo es imprescindible hacer un manejo adecuado del recurso agua en donde se logre la mayor productividad del mismo bajo un manejo sustentable.

3.6. Diseño Hidráulico.

3.6.1. Diseño de la red hidráulica de conducción.

El diseño hidráulico de la red de conducción y distribución de un sistema de riego constituye una etapa esencial en la elaboración de un proyecto de tecnificación del riego.

A continuación se presentan las etapas y los principales métodos para realizar el diseño hidráulico de redes de conducción y de distribución entubadas. Se presentan los siguientes métodos: (a) método que optimiza el costo de tubería y la operación del sistema, (b) método de la pérdida de carga unitaria (método gráfico).

Métodos de diseño hidráulico de la red de conducción y distribución.

El método de riego a utilizar en la parcela condiciona el caudal que es preciso derivar a ésta para su correcto funcionamiento. Un aspecto importante en este sentido es que todas las parcelas deben dividirse en un número entero de sectores o subunidades de riego en función de su tamaño. Otro aspecto a considerar es que la duración del riego de cada subunidad debe ser similar para una adecuada planificación y diseño de las instalaciones.(IMTA 2007).

La selección del diámetro de la red de distribución considera los siguientes factores: las velocidades máxima y mínima permisibles, los diámetros nominales disponibles comercialmente, el tipo de material y su resistencia, el tipo de sistema de riego a emplear, el costo inicial de la tubería y el costo de la energía consumida en su operación.

De acuerdo con la lógica comercial, una tubería fabricada con el mismo material y las mismas características de resistencia, su precio aumenta conforme el diámetro es mayor.

Por lo que para conducir un gasto determinado, la tubería más barata será aquella que lo conduzca con la máxima velocidad permisible, porque será la de menor diámetro. Sin embargo, a mayor velocidad del flujo mayores son las pérdidas de energía en la conducción, por tanto, la red diseñada con la máxima velocidad será la más barata pero también la de mayor requerimiento de energía, es por eso que la optimización hidráulica está ligada a la optimización económica.

El diseño óptimo de una red de distribución a presión, consiste en seleccionar el diámetro de tubería de cada tramo de la red, que satisfacen las condiciones hidráulicas de

funcionamiento. Esto es, que el agua sea entregada en la cantidad y con la presión hidráulica requerida, con el menor costo total de inversión en materiales y en la operación del sistema de riego.

La experiencia en el diseño y revisión de proyectos de baja presión indican un rango de velocidades que varían de 1.0 a 2.0 m/s en diámetros promedio desde 6 a 24 pulgadas.

Cuando los sistemas de riego aprovechan la carga hidráulica natural disponible, la velocidad de diseño puede ser mayor. Sin embargo, cuando se requiere aplicar presión utilizando un sistema de bombeo, la velocidad oscila entre 1.0 y 1.5 m/s. La utilización de velocidades inferiores a 1.5 m/s permite reducir los costos de operación al aumentar los diámetros de tubería. Esto origina un aumento en los costos de inversión inicial.

Método de la pérdida de carga unitaria (método gráfico).

Cuando no se dispone de software para el diseño hidráulico de la red de conducción y distribución para seleccionar el diámetro de la tubería, se pueden utilizar tablas y gráficos que para un gasto y un diámetro dado proporcionen el valor del gradiente unitario o pérdida de carga unitaria (m/m). Este valor se compara con la pérdida de carga permisible por unidad de longitud para cada tramo.

Con la pérdida de carga permisible por unidad de longitud se obtiene el diámetro teórico, sin embargo, sólo en caso de que este diámetro coincida con un diámetro comercial será susceptible de utilizarse; de lo contrario el tramo en cuestión resulta de la combinación de dos diámetros comerciales.

Para facilitar la selección de los diámetros comerciales, se propone la utilización de las gráficas donde se muestra el gasto (Q) vs pérdidas de carga por unidad de longitud, para un cierto rango de diámetros internos.

Método de Clement.

Planellset *al.*, (1999) menciona que, la base teórica para el cálculo de caudales por línea en redes de distribución a la demanda fue establecida por Clement (1966) utilizando un método probabilístico. Éste supone una distribución aleatoria de caudales, de manera que si una red tiene N tomas con una dotación d, que pueden estar abiertas o cerradas en un momento dado, es improbable que todas estén abiertas a la vez, y por tanto, que el caudal en cabecera (Q_0) sea $Q_0 = N*d$. Lo que pretende el método es calcular el caudal de diseño

que puede circular por cada línea para una determinada garantía de suministro o calidad de funcionamiento, buscando reducir el diámetro necesario respecto al requerido con todas las tomas abiertas.

En Francia, España, Portugal y algunos otros países de Europa se ha utilizado este método desde hace varios años para dimensionar la capacidad la conducción de redes de tubería.

Para aplicar este método se necesita la superficie total, la lotificación de las parcelas, la evapotranspiración diaria, la localización, el número de tomas parcelarias y la capacidad de las mismas (IMTA, 2007).

Según esta información el método no parte de un análisis directo del plan de riegos para un patrón de cultivos dado. Sin embargo si considera un nivel tecnológico en el manejo del riego, ya que dos parámetros importantes del cálculo son el número de tomas parcelarias y su caudal modular. Por otra parte, tiene la ventaja de considerar de manera explícita aspectos cuantitativos de flexibilidad en el servicio de riego.

3.6.2. Trazo de redes de riego.

El trazado de las redes de riego constituye una de las etapas clave de desarrollo del proyecto, ya que de él depende buena parte de la economía del sistema de riego y sobre todo la operación futura de la zona de riego. El objetivo del proyectista, durante la etapa de trazado de la red interparcelaria, es lograr el diseño óptimo en planta que conecte cada uno de los hidrantes o tomas parcelarias de riego con la fuente de suministro de agua.

Aun cuando las redes interparcelarias y parcelarias se proyectan casi de manera sistemática como redes ramificadas, en general el diseño de una red de distribución podría también tener un trazado en red cerrada; es decir, desde el punto de vista teórico, en el trazado de la red se puede elegir entre dos modalidades básicas de diseño: redes cerradas y redes abiertas ramificadas.

La adopción de redes cerradas en sistemas colectivos de riego es muy poco frecuente, ya que implica una mayor longitud de tubería, sin embargo, el diámetro de la red es menor en algunos de sus tramos. Esta situación debe ser analizada en cuanto a los costos de tubería que representa cada uno de los casos.

El método más empleado en el trazo de redes ramificadas o cerradas, consiste en ubicar las líneas de conducción a lo largo de los linderos de las parcelas, y en los caminos de la zona de riego.

Como regla general se procura que la tubería atraviese lo menos posible los terrenos, cruzándolos únicamente cuando se obtiene un ahorro significativo en la longitud de la tubería de conducción.

Para lograr un trazado funcional y económico es importante que el proyectista siga de manera general las siguientes sugerencias:

- Las líneas de conducción deben trazarse de forma que en todos sus tramos el sentido de avance del agua no retornen hacia la fuente de abastecimiento.
- El avance del agua debe realizarse preferentemente desde las zonas topográficamente más altas hacia las más bajas. Con ello se consigue que las pérdidas de carga de la red se compensen con la pérdida de cota altimétrica, abaratando la red y equilibrando las presiones en los hidrantes.
- La idea de trazar las líneas de conducción por los linderos de las parcelas debe tenerse siempre presente, pero no hasta el punto obsesivo de mantenerlas a todo rigor. Es más, cuando existen irregularidades topográficas, el trazado de la red debe sentar las bases para proceder a la rectificación de caminos, desagües, linderos de las parcelas o incluso toda la topología parcelaria de la zona.
- Previamente al trazado de la red, deben ser localizadas las áreas o puntos con mayor exigencia de presión. Hacia éstos habrán de ser orientadas algunas de las líneas de conducción y de distribución principales, de manera que se transporte el agua hasta los mismos con la mínima pérdida de carga posible.

En la Figura 3.14 se presenta un ejemplo del trazado de una red de conducción y de distribución de baja presión. El trazado indicado es considerando los linderos de las parcelas, esto es, en ningún caso se cruzan parcelas.

Es importante señalar que en a veces será necesario cruzar lotes para de esta manera reducir la longitud de tubería. La decisión final es de los usuarios del sistema de riego y del proyectista, principalmente.

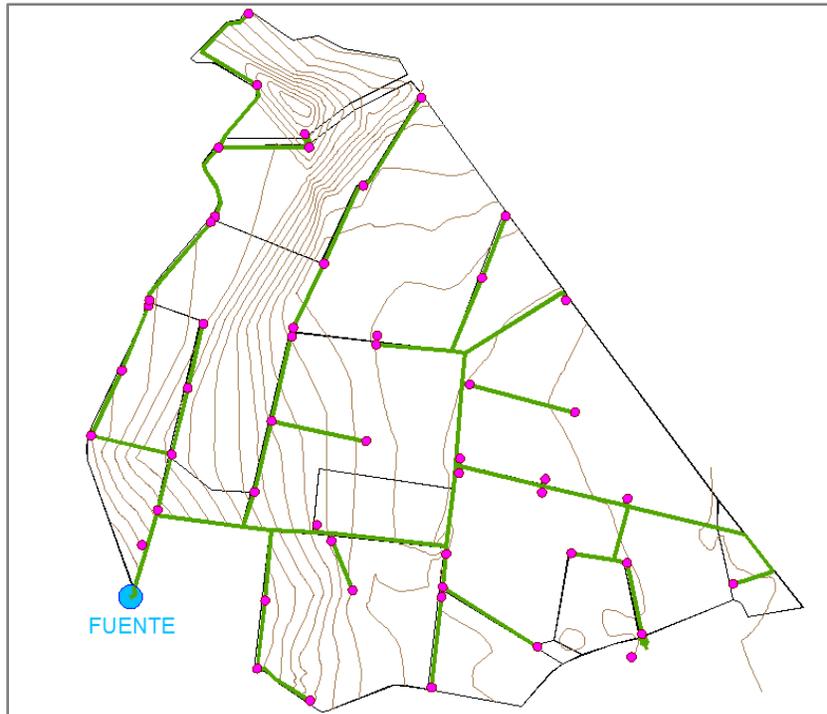


Figura 3.14 Trazo de la red de conducción.

3.6.3. Optimización de la red.

Actualmente se utilizan con cierta frecuencia métodos prácticos de diseño de las redes de distribución que generalmente conducen a soluciones factibles pero no de costo mínimo. Dado un problema de diseño, se seleccionan diferentes combinaciones de diámetros a criterio del diseñador, luego se evalúan las características hidráulicas para determinar si se cumplen o no las restricciones de gasto y presión en los puntos de entrega del agua. En caso de no cumplirse alguna condición, se modifican algunos diámetros y se recalculan los requerimientos de gasto y presión. Este proceso se repite hasta que la red es hidráulicamente aceptable. En el mejor de los casos, se obtienen los costos de algunas soluciones factibles y se selecciona la de menor costo.

A continuación se presenta un listado de los diferentes conceptos que se requieren para formular el modelo de programación lineal para diseñar una red hidráulicamente factible con el menor costo total de inversión en tuberías y de operación (cuando la energía es por bombeo). Si la carga hidráulica disponible es natural, únicamente se minimiza el costo de inversión.

La función objetivo que se desea minimizar está compuesta de dos tipos de costos: el costo anualizado de la tubería y el costo anual de operación del equipo de bombeo por metro de carga de operación.

- a) Costo anualizado (CA) de la tubería
- b) Costo anual de operación por metro de carga
- c) Restricción de carga de presión
- d) Restricción de longitud
- e). Determinación de las pérdidas de carga

Un fenómeno que se debe de considerar para proteger a la tubería de conducción es el efecto producido por el fenómeno denominado "golpe de ariete". El golpe de ariete es un fenómeno transitorio hidráulico que se presenta en tuberías que conducen fluidos a presión. Consiste en variaciones oscilatorias de presión a lo largo de la tubería las cuales se inician al accionar ciertos dispositivos de control de bombeo presentes en la instalación de tuberías tales como bombas (paro o arranque) y válvulas. Se puede considerar al golpe de ariete como positivo cuando la primera variación de presión es mayor a la existente en la línea o negativo en caso de que la variación de presión sea menor. El golpe de ariete positivo se presenta en una instalación, cuando al cerrar la admisión de agua al tanque mediante una válvula, se genera una variación positiva de presión tal como indica la línea piezométrica. La oscilación continúa entre las líneas disminuyendo gradualmente hasta estabilizarse en la línea piezométrica correspondiente a la carga estática.

3.6.4. Uso de software.

Actualmente existen en el mercado diversos programas que permiten hacer estos cálculos de manera rápida, utilizando el mismo principio que aquí se expuso. Los programas que a continuación se mencionan, principalmente son un auxilio en el diseño en si del riego; puede ser presurizado o no, debido a que el cálculo de caudales y pérdidas de carga son similares. Todos ellos utilizan la misma metodología que aquí se ha descrito; evitar que los límites de presión y caudal excedan los permisibles.

Los siguientes paquetes de software son libres y pueden ser descargados de la web con mínimos requerimientos.

- EPANET
- GESTAR

También existen los que si necesitan una licencia para ser ejecutados, por ejemplo:

- WCADI
- IRRICAD

Para el caso de diseño de redes cerradas se sugiere la utilización del programa de cómputo EPANET, desarrollado por el Laboratorio Nacional de Investigación para la Prevención de Riesgos (NRMRL) de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de USA (USEPA). Es un software gratuito que se puede bajar de Internet.

Este software es un programa de computadora para Windows 95/98/NT/2000 que realiza simulaciones en periodos prolongados del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de suministro a presión. EPANET efectúa un seguimiento de la evolución de los gastos en las tuberías y las presiones en los nodos.

EPANET.

Es un programa de ordenador que realiza simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución de a presión. En general, una red consta de tuberías, nudos, bombas, válvulas y tanques de almacenamiento o depósitos.

EPANET determina el caudal que circula por cada una de las conducciones, la presión de cada uno de los nodos, el nivel de agua en cada tanque y la concentración de diferentes componentes químicos a través de la red durante un determinado periodo de simulación analizando en diferentes intervalos de tiempo.

Además del conocimiento de la concentración de diferentes componentes químicos, es posible determinar el tiempo de permanencia del agua en las tuberías, así como estudios de la procedencia del agua en cada punto de la red.

Características hidráulicas del sistema de cómputo EPANET.

1. No existe límite en cuanto al tamaño y el tipo de la red (red abierta y red cerrada) a procesar.
2. Las pérdidas de carga pueden calcularse mediante las fórmulas de Hazen-Williams, de Darcy-Weisbach y de Chezy-Manning.
3. Considera pérdidas localizadas de piezas y accesorios.
4. Determina el consumo energía y sus costos.
5. Permite considerar diferentes tipos de demanda en los nodos, por lo tanto, revisar varios escenarios para la operación de la red.

WCADI (Weizman Computer Aided Design Irrigation).

Otra sugerencia para el diseño hidráulico de redes hidráulicas es el WCADI (Weizman Computer Aided Design Irrigation), este programa dimensiona y optimiza tuberías principales y secundarias en redes abiertas o cerradas en base a datos proporcionados por el usuario, tales como trayectoria de la red, topografía, ubicación de las tomas parcelarias y presión requerida en la salida de las mismas.

Además, dicho Software también es capaz de dimensionar tuberías secundarias en sistemas de riego localizado basándose en información proporcionada por el usuario en cuanto a tipo y acomodo de los emisores, parámetros de operación del emisor (presiones mínimas y máximas). El sistema calcula el gasto por sección en base a la curva Carga-Gasto del emisor, proporcionada por el fabricante y a la presión suministrada en el emisor ya sea por presión de un equipo de bombeo o por la diferencia de alturas del terreno, o las dos.

Para el cálculo de las pérdidas de carga por fricción el programa tiene la opción de utilizar la fórmula de Hazen-Williams, la de Chezy-Manning o la de Darcy-Weisbach.

Por ejemplo para el caso de Hazen-Williams, WCADI utiliza la siguiente fórmula:

$$H = 1.131 (1012Q^{1.852} C^{-1.852} D^{-4.87}) \dots\dots\dots (Ec. 3.1)$$

Donde:

H = Pérdida de Carga m/100m

Q = Gasto del tramo en m³/h.

D = Diámetro Interior de la tubería (mm)

C = Coeficiente de Hazen-Williams, que varía con el material.

Cuadro 3.10 Coeficiente de Hazen-Williams para algunos materiales.

MATERIAL DEL TUBO	C
Plástico	150
Acero Cubierto con epóxico	145
Asbesto Cemento	140
Hierro Galvanizado	135
Aluminio	130
Fierro nuevo	130
Fierro (15 años de uso) o concreto	100

Características hidráulicas del sistema de cómputo WCADI.

1. No existe límite en cuanto al tamaño y el tipo de la red (red abierta o red cerrada) a procesar.
2. Las pérdidas de carga pueden calcularse mediante las fórmulas de Hazen-Williams, de Darcy-Weisbach y de Chezy-Manning.
3. Considera pérdidas localizadas de piezas y accesorios, pueden introducirse manualmente para cada uno.
4. Optimiza el diseño de las redes principales, tomando en cuenta el costo por consumo de energía o bien por la presión requerida en el sistema.
5. Optimiza redes secundarias en los sistemas de riego localizado tomando en cuenta la presión y gasto del emisor.
6. Permite considerar diferentes tipos de demanda en los nodos, por lo tanto, revisar varios escenarios para la operación de la red.

Una de las grandes bondades de este software es que permite el diseño completo de un sistema de riego localizado es decir desde el emisor hasta la tubería principal.

3.6.5. Instalación de tuberías.

Un último aspecto por considerar en el diseño de líneas de conducción es la instalación. En esta sección se mencionan los aspectos más comunes. El conocimiento del material tanto en sus características generales, como propiedades específicas (resistencia y limitaciones) son condiciones indispensables para la realización de un buen proyecto, pero es en la instalación donde se pueden aprovechar al máximo las bondades tanto del producto, como del proyecto, o donde se modifiquen ambas. Las tuberías se instalan sobre la superficie, enterradas o combinando estas dos formas. Esto depende de la topografía, clase de tubería y geología del terreno, por ejemplo, en un terreno rocoso es probable que convenga llevarla superficialmente. En el tipo de instalación que se adopte, también se deben considerar otros factores relacionados con la protección de la línea. Así, una tubería que está propensa al deterioro o mal trato de personas y animales es preferible instalarla enterrada. Cualquiera que sea la forma de instalación, se deberá evitar en lo posible los quiebres, tanto horizontales como verticales, con el objeto de eliminar codos y otras piezas especiales necesarias para dar los cambios de dirección. Estos quiebres aumentan las pérdidas de carga, el costo de la instalación y en ocasiones puede propiciar el confinamiento del aire mezclado con el agua.

Se acostumbra clasificar a las tuberías por la forma de instaladas en visibles y enterradas; dependiendo de si llevan juntas de dilatación o no, se clasifican en abiertas y cerradas. En general, cuando se utilizan tuberías de acero se prefieren las visibles y abiertas. No es por demás recordar que para la instalación de tuberías se consulten los catálogos e instructivos de los fabricantes, con el fin de eliminar la posibilidad de alguna falla durante la operación del sistema. En Proyecto ejecutivos es conveniente hacer un plano de la instalación de la línea de conducción que indique claramente la ubicación de las válvulas de protección (check, alivio, eliminadoras de aire, etc) y control, así como codos, atraques o machones, silletas y juntas de dilatación.

3.7. Evaluación Financiera y Económica de Proyectos.

La evaluación de proyectos es aplicable tanto a los proyectos privados, como a los públicos. Consecuentemente, existen dos tipos de evaluación de acuerdo con la clase de costos y beneficios que se van a considerar.

3.7.1. Evaluación Financiera.

La evaluación financiera, es aquella que permite determinar si el proyecto es capaz de generar un flujo de recursos positivos para hacer frente a todas las obligaciones del proyecto y alcanzar una cierta tasa de rentabilidad esperada (CEFP, 2010).

Bajo esta perspectiva se deben incluir todos los costos y beneficios privados que genera el proyecto, incluidos los costos financieros por préstamos de capital, pago de impuestos e ingresos derivados de subsidios recibidos. Los precios empleados son los de mercado.

Dentro de la evaluación financiera algunos de los conceptos más utilizados son los siguientes:

Flujo de caja.

Por lo general el flujo de caja de un proyecto significa entrada y salida de dinero y corresponde más bien a la evaluación privada de un proyecto, por lo general un negocio específico, que compra insumos y vende productos. Aquí por ejemplo la depreciación del equipo no se incluye dentro de los componentes de los gastos del proyecto porque no significa una salida de dinero. El flujo de caja puede o no incluir las entradas por préstamos de un banco o los pagos por amortizaciones o intereses, dependiendo del enfoque de la evaluación que se esté realizando. Es conveniente que en los proyectos de inversión pública también se realice la evaluación desde el punto de vista privado de la propia entidad promotora (cuando en efecto existan flujos de caja), con el objeto de saber cómo se modificará la situación patrimonial de la entidad o dependencia que realice el proyecto, como es el caso de los organismos operadores de los servicios de agua potable y alcantarillado (Fontaine, 2008).

Tasa social de descuento.

La tasa social de descuento representa el costo para la sociedad de utilizar recursos hoy en día, para obtener beneficios en el futuro. Si un proyecto rinde solamente dicha tasa social, su VPN es de cero, es decir, la riqueza social no cambia a lo largo del tiempo. La tasa social de descuento es un promedio ponderado (por los porcentajes de cada monto en relación a la inversión total de la economía) de la tasa de rendimiento de la inversión privada (bruta de impuestos), la tasa de rendimiento al ahorro nacional (bruta de impuestos), y la tasa marginal del costo del endeudamiento externo, actualmente este valor se estima en 12% (Diario Oficial de la Federación, marzo 2008).

3.7.2. Evaluación Económica.

Es la evaluación del proyecto desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto; para conocer el efecto neto de los recursos utilizados en la producción de los bienes o servicios sobre el bienestar de la sociedad. Dicha evaluación debe incluir todos los factores del proyecto, es decir, sus costos y beneficios independientemente del agente que los enfrente. Ello implica considerar adicionalmente a los costos y beneficios monetarios, las externalidades y los efectos indirectos e intangibles que se deriven del proyecto (Baca, 2004).

Precios sociales.

También conocidos como precios “de cuenta” o precios “sombra”, representan el “verdadero” valor que para la sociedad significa contar con una unidad adicional de un bien o servicio, o el verdadero costo en que incurre cuando utiliza una unidad de un bien o servicio para la producción de otros bienes o servicios. Pueden ser muy diferentes de los precios de mercado cuando existen distorsiones en la economía originadas por la acción del gobierno (subsidios o impuestos), por la inacción del gobierno (monopolios o sindicatos), o bien, puede simplemente no existir un mercado y por tanto tampoco un precio, aunque sea distorsionado (por ejemplo el hecho de contaminar el medio ambiente, o congestionar el tráfico ocasiona efectos en la sociedad para los que no existe todavía un mercado) (CEPEP, 2004).

El ajuste más simple que se hace en la evaluación social de proyectos consiste en eliminar tanto de los costos como de los beneficios el efecto de cualquier impuesto (IVA) o subsidio que afecten o reciban los bienes o servicios involucrados. Por supuesto, si existen impuestos a pagar a otro país por importar un bien o servicio, esto no puede descontarse puesto que refleja un costo para el país. De manera similar, si la importación de un bien o servicio tuvo un subsidio pagado por otro país la evaluación social deberá considerar únicamente el pago efectivo en divisas que se hizo por el país comprador (Diario Oficial de la Federación, marzo 2008).

Los precios sociales se utilizan en el flujo de un proyecto debido a que los precios sociales tratan de representar “verdaderos” costos o beneficios de los bienes o servicios que produce o que utilizan los proyectos, será necesario realizar ajustes a fin de utilizar, en la evaluación social de proyectos, dichos precios en vez de los precios de mercado o privados.

Indicadores de rentabilidad.

Valor Presente Neto (VPN).

El VPN es la suma de los flujos netos anuales, descontados por la tasa social. Para el cálculo del VPN, tanto los costos como los beneficios futuros del Proyecto son descontados, utilizando la tasa social para su comparación en un punto en el tiempo o en el “presente”. Si el resultado del VPN es positivo, significa que los beneficios derivados del Proyecto son mayores a sus costos. Alternativamente, si el resultado del VPN es negativo, significa que los costos del Proyecto son mayores a sus beneficios (CEPEP, 2004).

La fórmula para calcular el Valor Presente Neto, se define con la expresión siguiente:

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1 + r)^t} \dots\dots\dots (Ec. 3.2)$$

Donde:

- Bt = beneficios totales en el año t
- Ct = costos totales en el año t
- Bt- Ct= Flujo neto en el año t
- r = tasa social de descuento.

n = número de años del horizonte de evaluación.

t = año calendario, en donde el año 0 será el del inicio de las erogaciones.

Tasa Interna de Retorno (TIR).

La TIR se define como la tasa de descuento que hace que el VPN de un Proyecto sea igual a cero, es decir, el valor presente de los beneficios netos del Proyecto son iguales a cero y se debe comparar contra una tasa interna de retorno deseada (CEPEP, 2004).

La TIR se calcula de acuerdo a la expresión:

$$\sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad \dots\dots\dots (Ec. 3.3)$$

Costo Anual Equivalente.

El costo anual equivalente es una medida que estandariza los costos para seleccionar la más barata de las alternativas que rinden el mismo beneficio, pero que pueden tener diferentes costos de operación y mantenimiento, adquisición, vida útil, etc. El CAE significa precisamente un gasto anual “equivalente” para comparar alternativas y decidir por la más barata que entrega el mismo beneficio deseado (CEPEP, 2004).

La fórmula para calcular el Costo Anual Equivalente se define con la expresión:

$$CAE = (VPC) \left[\frac{r(1+r)^m}{(1+r)^m - 1} \right] \quad \dots\dots\dots (Ec. 3.4)$$

Donde:

m = número de años de vida útil del activo

VPC = valor presente del costo total del proyecto (esto es, monto total de inversión, gastos de operación y mantenimiento y otros gastos asociados) y se calcula con la Ec. 3.5.

$$VPC = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad \dots\dots\dots (Ec. 3.5)$$

Donde:

C_t = costos totales en el año t

r = tasa social de descuento

t = año calendario, en donde el año 0 será el del inicio de las erogaciones.

n = número de años del horizonte de evaluación.

La alternativa más conveniente será aquella con el menor CAE. Si la vida útil de los activos bajo las alternativas analizadas es la misma, la comparación entre éstas se realizará únicamente a través del valor presente de los costos de las alternativas.

Relación Beneficio-Costo.

La relación B/C es un coeficiente, que mide la relación numérica entre el valor actual de los beneficios y el valor actual de los costos atribuibles a la realización de un proyecto. Por ejemplo, si en un determinado proyecto esta relación es de uno, quiere decir que los beneficios son exactamente iguales a los costos. Por lo contrario, si el coeficiente es de dos, esto significará que los beneficios derivados de un proyecto son exactamente el doble de los costos (CEPEP, 2004).

4. MATERIALES, EQUIPO Y MÉTODOS.

Para la realización del presente trabajo se inició con la recopilación y análisis de la información de las características del Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro, en especial lo correspondiente a los módulos de riego II, III y IV. Se analizaron las siguientes características:

- Características de superficie.
- Recursos naturales como clima, suelos y vegetación.
- Fuentes de abastecimientos de agua superficial y subterránea.
- Calidad del agua (física, química y bacteriológica).
- Fenómenos de sequías y/o inundaciones.
- Balance hídrico.
- Posibles conflictos de demanda por el recurso hídrico.
- Estado de la infraestructura.
- Producción agrícola.
- Manejo del suelo y del agua.
- Operación en los módulos de riego.
- Demanda evapotranspirativa de los cultivos.
- Riego parcelario.

De manera paralela, se recopiló y analizó la información relativa a la PTAR Atapaneo en cuanto a calidad del influente, proceso de tratamiento y calidad de agua del efluente.

Enseguida se analizó el sistema de información geográfica del DR020 Morelia-Queréndaro por medio de un equipo de cómputo con procesador DDR2 de 667 Mhz; esto con la finalidad de localizar la PTAR Atapaneo, y los puntos de entrega a los módulos de Riego II, III y IV para estar en condiciones de establecer el posible trazo de la línea de conducción. Para conocer las elevaciones de los puntos sobre la línea referida se usaron los modelos de elevación digital del USGS (United States Geological Survey, 2012). Se buscó, en lo posible, que el perfil del terreno y su localización sea la más favorable, con respecto al costo de construcción y las presiones resultantes. Además el trazo se hizo paralelo al cauce del río Grande de Morelia, ya que es posible hacer uso de la zona federal aprovechando el desnivel natural para evitar en lo posible el uso de bombeo. Es importante recalcar que para

la elaboración de un proyecto ejecutivo, en ningún caso estas acciones sustituyen al trabajo de campo que es necesario realizar para el cálculo hidráulico de un proyecto. Sin embargo, el uso de los sistemas de información geográfica nos permite tener una visión más clara y objetiva de las situaciones a las que se tengan que enfrentar al momento de realizar el trabajo de campo.

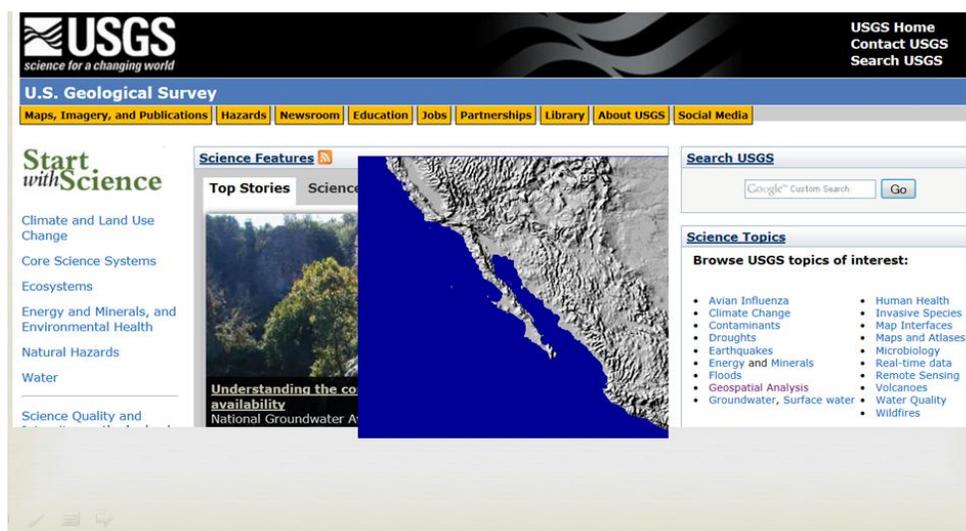


Figura 4.1 Obtención de Modelo Digital de Elevaciones.

Para los alcances del presente trabajo, con la información anterior se procedió a procesar los datos con los programas Autocad, Excel y WCADI 2008.

En general, dicho cálculo hidráulico se realizó tomando en cuenta el parámetro de velocidad de 2.5 m s^{-1} , y tomando una carga de 1.00 m en la descarga de la PTAR Atapaneo.

Al tener los datos anteriores, se visualizaron las posibles estructuras y equipos necesarios para la operación de la línea de conducción. Enseguida se procedió al cálculo aproximado de cantidades de obra para determinar un costo y programa de ejecución del total de proyecto, es decir, uno que incluya la obra civil, la obra de instalación, suministro de tubería, estructuras y equipamiento.

Después se identificaron los beneficios del proyecto, estos beneficios son analizados a partir de la hipótesis planteada.

La metodología utilizada para el análisis económico fue en la fase de perfil. Una vez que la idea la transformamos en proyecto, se analizaron las ideas más promisorias, teniendo claro

el objetivo, el propósito y los componentes del proyecto. Se identificaron, cuantificaron y valoraron los costos y beneficios con información secundaria, haciendo uso de la información disponible, con criterios en base a otras experiencias o proyectos.

En primer término se realizó la descripción del sitio de estudio, considerando un diagnóstico actual del distrito de riego, en especial lo relativo a los módulos de riego II, III y IV. En ello se consideraron los principales problemas, amenazas y debilidades de dichos módulos de riego y se identificaron las posibles soluciones.

Después se formuló la propuesta de modernización de la conducción del agua tratada de la PTAR Atapaneo hacia los módulos de riego II, III y IV. Se analizaron diferentes alternativas de solución y se tomó en cuenta la posibilidad de que la ejecución del proyecto se realice en diferentes etapas, en función del financiamiento con el que se pueda ejecutar el mismo.

Al tener la propuesta definida, se procedió a la identificación de los costos y beneficios, realizando un resumen claro y concreto, en lo posible, de la cuantificación y valoración de los costos y beneficios del proyecto. Éstos serán los datos de partida para la evaluación económica. Los costos que generalmente se originan con un proyecto de infraestructura hidroagrícola son: costos por inversión de la infraestructura y costos por operación y mantenimiento de la nueva infraestructura. Los beneficios serán el incremento en la utilidad neta agrícola.

A continuación se realizó la evaluación económica en base al cálculo a Valor Presente Neto (VPN) de los indicadores Tasa Interna de Retorno (TIR) y Relación Beneficio-Costo (R B/C).

Posteriormente, se realizó el análisis de la sensibilidad, determinando la rentabilidad ante los cambios de ritmo de inversión, rentabilidad ante los cambios en la magnitud de la inversión y la rentabilidad ante los cambios en los precios de los cultivos. Para la elaboración de los cálculos mencionados se utilizó la información de las estadísticas agrícolas de los módulos mediante el uso del software Excel.

Para finalizar, se realizaron las conclusiones pertinentes sobre la factibilidad o no factibilidad de la realización del proyecto de aprovechamiento de las aguas tratadas de la PTAR Atapaneo mediante la línea de conducción a los módulos de riego II, III y IV del DR020 Morelia-Queréndaro.

5. RESULTADOS.

5.1. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atapaneo.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atapaneo se encuentra en la población de Atapaneo Michoacán, aguas abajo de la ciudad de Morelia, a una distancia de 7 km aproximadamente con coordenadas UTM 279505.00 m E y 2183778.00 m N.

Para su operación, su estructura legal es una concesión por 20 años a la empresa Consorcio Ticsa-Dursa, Constituidos en Aquasol Morelia, S.A. de C.V. El periodo de construcción y pruebas duró 24 meses, y se puso oficialmente en operación el 28 de febrero de 2007, y su costo de construcción fue de 27.6 millones de dólares.

La planta tendrá una capacidad para tratar hasta $2.19 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, de los cuales a la fecha trata solo $0.90 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Lo anterior es debido a que la PTAR está diseñada para tratar únicamente agua proveniente de los colectores de agua residual sanitaria de la ciudad de Morelia, de los cuales sólo un colector de drenaje sanitario se encuentra en funciones actualmente.



Figura 5.1Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atapaneo.

La calidad del influente se tomó de los resultados obtenidos por el laboratorio particular Montgomery Watson México, S.A. de C.V. durante el monitoreo de las 60descargas más importantes que generan el agua residual de la ciudad de Morelia(Cuadro 5.1).

Cuadro 5.1 Calidad del influente para estudio de alternativas.

Parámetro	Valor	Unidades
Temperatura de verano	28	°C
Temperatura de invierno	14.4	°C
Sólidos suspendidos totales	259	mg L ⁻¹
Sólidos suspendidos volátiles	187	mg L ⁻¹
DBO ₅ total	272	mg L ⁻¹
DBO ₅ disuelta	154	mg L ⁻¹
DQO total	530	mg L ⁻¹
DQO disuelta	230	mg L ⁻¹
P H	7.12	Unidades pH
PO ₄ ⁻³	16	mg L ⁻¹
NTK	31	mg L ⁻¹
NH ₃	21	mg L ⁻¹
Grasas y Aceites	62	mg L ⁻¹

La planta de Atapaneo tiene el sistema de filtros biológicos, con un gasto de diseño inicial de 1,200 l s⁻¹, aplicados en un arreglo de tres módulos con un gasto de 400 l s⁻¹ cadauno. El proceso de tratamiento es el siguiente:

- Tratamiento preliminar
- Sedimentador primario
- Filtros biológicos
- Reactor biológico
- Sedimentador secundario
- Unidades de desinfección
- Unidad de recirculación
- Tratamiento de lodos

El diagrama de flujo del proceso de tratamiento es como se muestra en la siguiente figura.

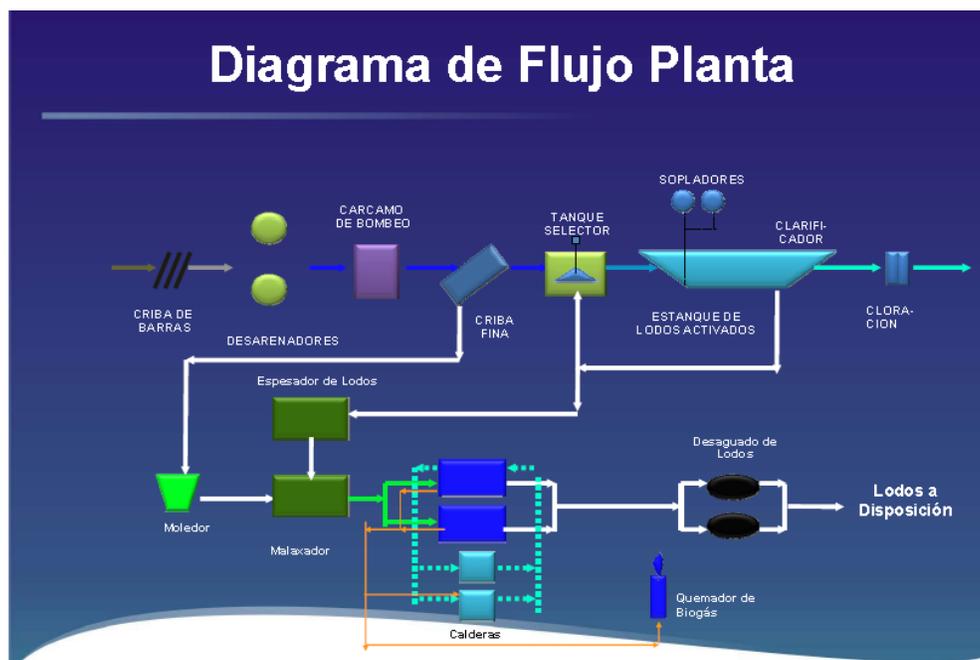


Figura 5.2 Diagrama de flujo de la PTAR.

La calidad del agua en el efluente se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 5.2 Calidad del agua del efluente.

CALIDAD DEL AGUA								
Parámetro	Concentraciones en efluente de PTAR de Morelia de acuerdo a resultados de análisis del laboratorio externo							Condiciones de descarga (NOM-001-SEMAR NAT)
	34° Periodo	35° Periodo	36° Periodo	37° Periodo	38° Periodo	39° Periodo	40° Periodo	
Grasas y aceites (mg/l)	5.04	9.32	8.52	5.92	7.88	1.98	5.59	15
Materia flotante	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables (mg/l)	<0.1	<0.1	<0.1	0.4	<0.1	<0.1	<0.1	1
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	12	15	17	10	15	9	4	75
Demanda Química de oxígeno (mg/l)	20.9	67.5	76.4	32.1	28.05	44.45	15	NA
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	23.1	33.8	27.8	21.56	20.35	21.5	12.42	75
Nitrógeno Total (mg/l)	2.4	1.64	2.39	5.53	3.58	3.61	1.45	40
Fósforo Total (mg/l)	0.26	0.39	0.25	0.2	0.46	0.26	0.51	20

La norma NOM-001-ECOL-1996 (NOM-001-SEMARNAT) menciona en sus especificaciones que la concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible en el Cuadro 5.3. El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente.

Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego restringido.

Cuadro 5.3 Parametros de calidad de agua residual permisible.

Parámetros	Ríos					
	Uso en riego agrícola		Uso público urbano		Protección de vida acuática	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C	N.A.	N.A.	40	40	40	40
Grasas y aceites (mg ^l ⁻¹)	15	25	15	25	15	25
Materia flotante (mg ^l ⁻¹)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables (mg ^l ⁻¹)	1	2	1	2	1	2
Sólidos suspendidos totales (mg ^l ⁻¹)	150	200	75	125	10	60
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg ^l ⁻¹)	150	200	75	150	30	60
Nitrógeno total (mg ^l ⁻¹)	40	60	40	60	15	25
Fósforo total (mg ^l ⁻¹)	20	30	20	30	5	10

P.D. =Promedio Diario; P.M. = Promedio mensual;

N.A. = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos

- (1) Instantáneo
- (2) Muestra Simple Promedio Ponderado
- (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006

La PTAR Atapaneo para cumplir con lo que marca la NOM-001-ECOL-1996, del cuadro anterior, debe asegurar esta calidad de agua, con un proceso de filtración que reciba el efluente del sedimentador secundario, garantizando la remoción y ausencia de estos huevos hasta los niveles deseados.

5.2. Diseño Hidráulico.

En WCADI 2008, haciendo uso de la información topográfica (curvas de nivel) y del trazo propuesto en AutoCAD se realizó el diseño hidráulico de la línea principal para conducir un gasto de $2.19 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a través de 22.99 km.

Para dicho diseño se propusieron tubos de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) con diámetros de 1600, 1500 y 800 mm.

5.2.1. Gastos para diseño del tramo de tubería.

En la planta de tratamiento se tienen disponibles $2.19 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para regar una superficie total entre los Módulos II, III y IV de 3650 ha.

El gasto disponible por hectárea es de 0.6 lps, por lo tanto el gasto requerido por cada módulo se observa en el Cuadro 5.4. Se puede apreciar también que el Módulo III requiere más agua por ser el de mayor superficie, y en contraste, el Módulo II es el que menos agua requiere al tener una superficie menor.

Cuadro 5.4 Gasto requerido por Módulo.

MÓDULO	SUPERFICIE (ha)	GASTO REQUERIDO (l s^{-1})
II	240	144.00
III	1724	1034.40
IV	1686	1011.60
TOTAL	3650	2190

El gasto requerido se obtuvo multiplicando los 0.6 l s^{-1} por la superficie de cada módulo.

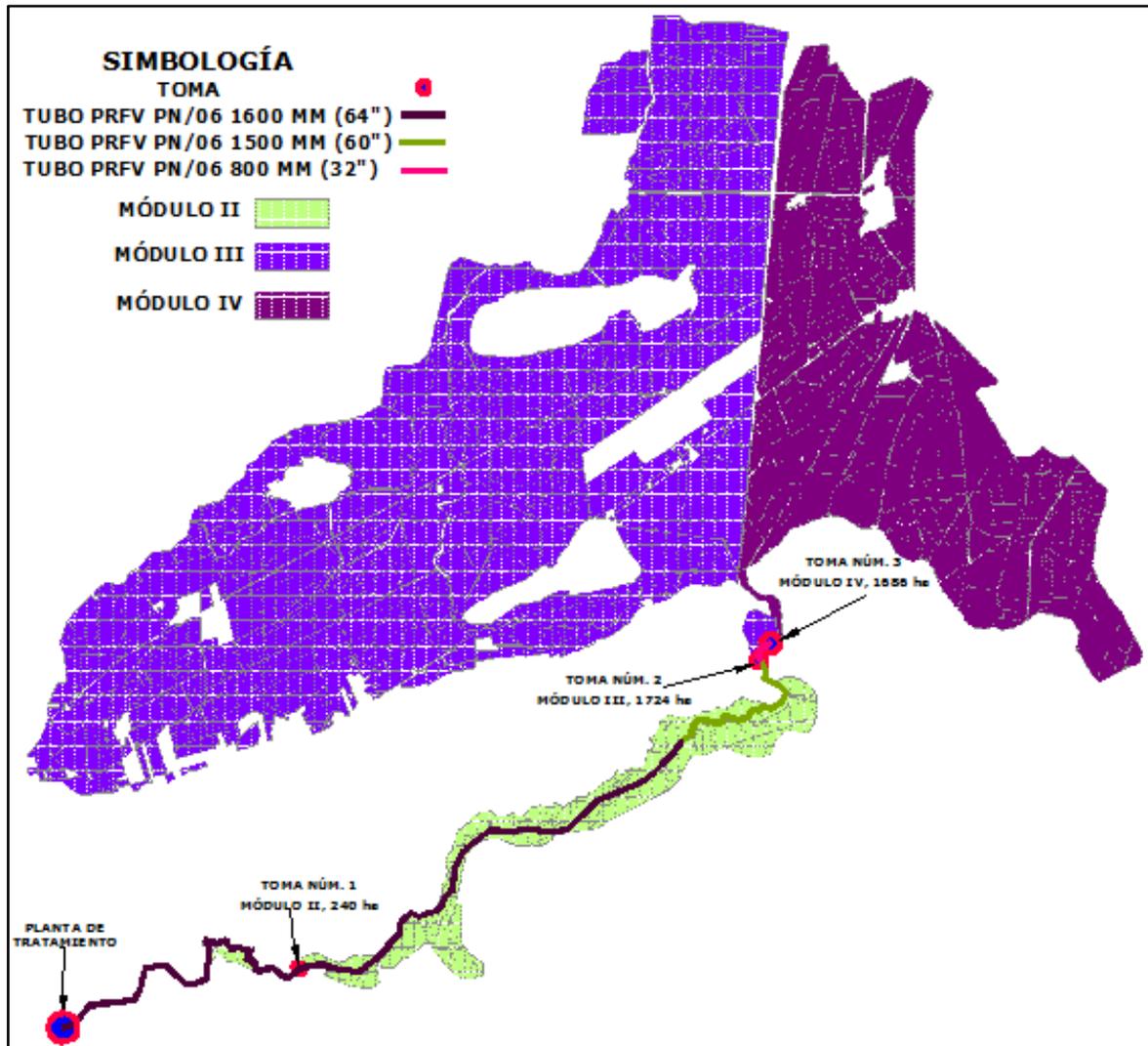


Figura 5.3 Superficies a beneficiar con el proyecto.

FUENTE: Elaboración propia.

5.2.2. Diseño de la red hidráulica de conducción.

Se decidió como primera opción utilizar la tubería PRFV, debido a que el gasto a conducir requiere diámetros que comercialmente son solo disponibles en este tipo de material, descartando RibLock, Acero, Concreto o PEAD. Además el PRFV, presenta como ventaja adicional, un coeficiente de rugosidad muy parecido al PVC, lo que permite que las

perdidas de carga por fricción sean menores a las que se presentan en otro tipo de materiales.

La línea de conducción constituye el conjunto de tuberías que llevan el agua desde la planta de tratamiento hasta los puntos de entrega de los módulos II, III y IV. La red está compuesta por tuberías de PRFV de 1600, 1500 y 800 mm, con una resistencia de 6 kg.cm^{-2} , con sus diferentes accesorios tales como conectores, válvulas de control, válvulas de admisión y expulsión de aire, válvulas de alivio de presión y válvulas de desfogue.

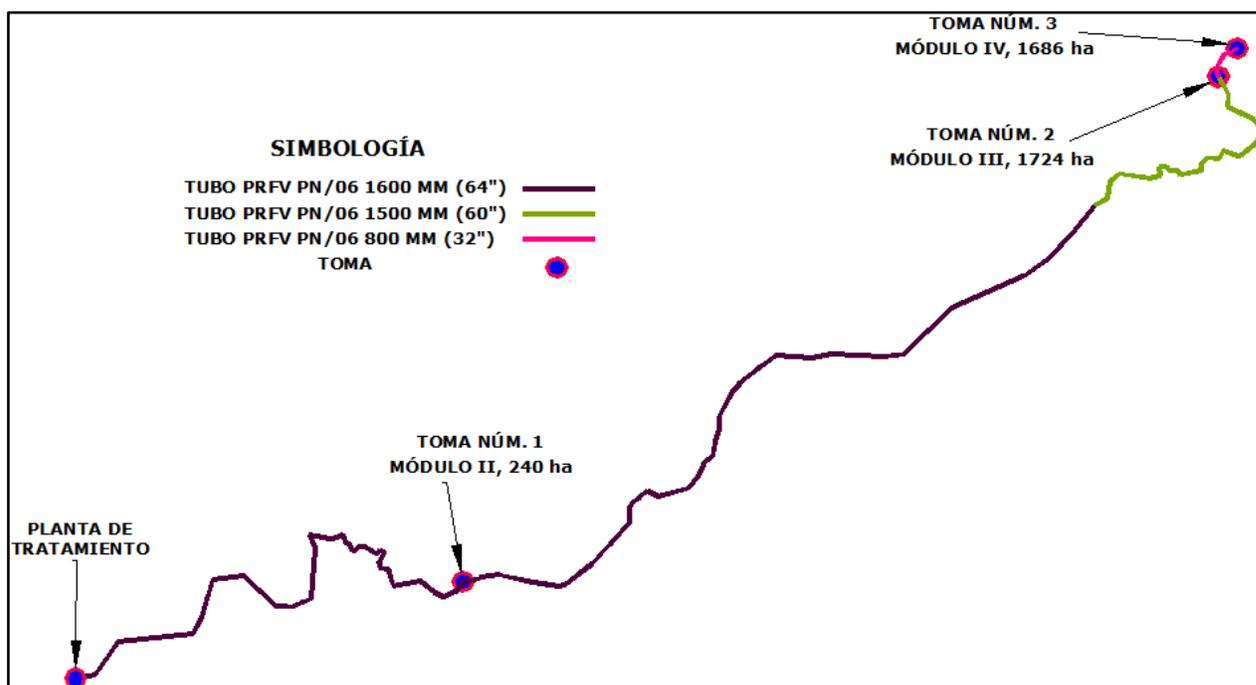


Figura 5.4 Trazo de la red de conducción.

FUENTE: Elaboración propia.

El diseño hidráulico se realizó asegurando la entrega de los gastos requeridos ya antes mencionados para cada Módulo.

La operación del sistema se realizó conduciendo el gasto total desde la planta tratadora hasta los tres puntos de entrega, con una carga de 1 metro, lo cual nos arrojó un diámetro de diseño al inicio de 64".

En la Figura 5.5 se presentan los resultados gráficos del diseño hidráulico obtenidos del programa WCADI 2008.

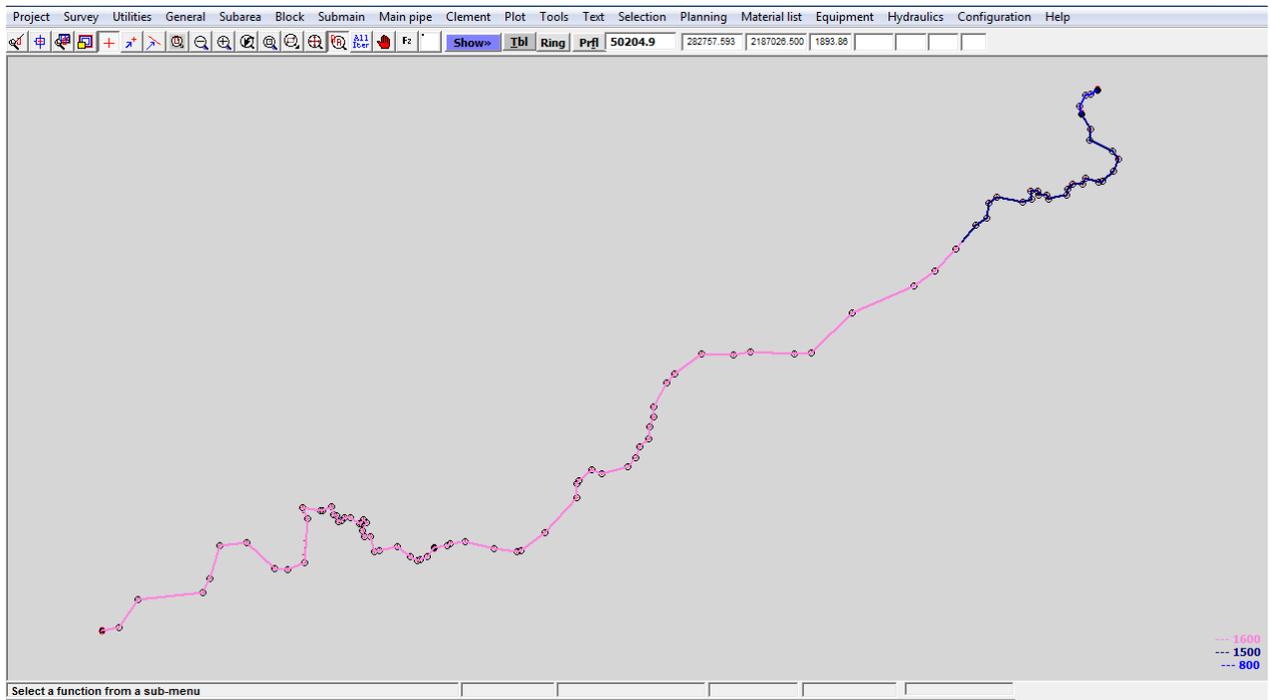


Figura 5.5 Diseño hidráulico de la red de conducción en WCADI 2008.

FUENTE: Elaboración propia.

En lo que se refiere a línea de conducción principal, sus diámetros y longitudes se pueden observar en el Cuadro 5.5.

Cuadro 5.5 Diámetros obtenidos del diseño.

TRAMO	DIAM. (mm)	LONG. (m)	TRAMO	DIAM. (mm)	LONG. (m)	TRAMO	DIAM. (mm)	LONG. (m)
A-1	1600	265.2	A-34	1600	120	A-67	1500	191
A-2	1600	517.8	A-35	1600	164.5	A-68	1500	231.5
A-3	1600	991.9	A-36	1600	210.8	A-69	1500	149.1
A-4	1600	241.3	A-37	1600	41.1	A-70	1500	408.9
A-5	1600	520.6	A-38	1600	242	A-71	1500	141
A-6	1600	417.3	A-39	1600	449.4	A-72	1500	116.7
A-7	1600	580.9	A-40	1600	354.3	A-73	1500	96.6
A-8	1600	203.4	A-41	1600	59.4	A-74	1500	63.4
A-9	1600	273.8	A-42	1600	464.2	A-75	1500	116.9

TRAMO	DIAM. (mm)	LONG. (m)	TRAMO	DIAM. (mm)	LONG. (m)	TRAMO	DIAM. (mm)	LONG. (m)
A-10	1600	662.1	A-43	1600	716.7	A-76	1500	65.8
A-11	1600	191.6	A-44	1600	208.9	A-77	1500	286.4
A-12	1600	278.8	A-45	1600	50.3	A-78	1500	94.8
A-13	1600	34.9	A-46	1600	270.2	A-79	1500	108.8
A-14	1600	154.4	A-47	1600	164.9	A-80	1500	147.5
A-15	1600	114.9	A-48	1600	404.7	A-81	1500	113.1
A-16	1600	57.8	A-49	1600	196.3	A-82	1500	204.1
A-17	1600	95.6	A-50	1600	173.1	A-83	1500	69.4
A-18	1600	46.2	A-51	1600	181.4	A-84	1500	227.2
A-19	1600	55.3	A-52	1600	183.4	A-85	1500	190.9
A-20	1600	103.4	A-53	1600	169.6	A-86	1500	162.9
A-21	1600	156.4	A-54	1600	159	A-87	1500	380.1
A-22	1600	28	A-55	1600	409.4	A-88	1500	170.1
A-23	1600	55.8	A-56	1600	184.4	A-89	1500	266.8
A-24	1600	72.9	A-57	1600	520.6	Subtotal		4002.9
A-25	1600	135.3	A-58	1600	484	A-90	800	118
A-26	1600	97.7	A-59	1600	264.2	A-91	800	193.2
A-27	1600	87.1	A-60	1600	682.3	A-92	800	75.1
A-28	1600	230.9	A-61	1600	261.3	A-93	800	124.5
A-29	1600	69.6	A-62	1600	878.3	Subtotal		510.8
A-30	1600	285.9	A-63	1600	1028.7	TOTAL TUBERIA		22992.3
A-31	1600	243.9	A-64	1600	392			
A-32	1600	128	A-65	1600	468.1			
A-33	1600	48.7	A-66	1600	473.8			
Subtotal					18478.6			

En el Cuadro 5.5, se puede observar que el diámetro nominal PRFV 1600 mm es el de mayor longitud con un total de 18.47 km el cual representa aproximadamente el 80.36 % del total de tubería del diseño. En segundo lugar está la tubería PRFV de 1500 mm con 4.0

km que representa aproximadamente el 17.4 % del total de la tubería, finalmente tenemos un tramo de tubería de PRFV con diámetro de 800 mm y este último sólo representa el 2.24 % de la tubería.

Con base en el diseño hidráulico, se generó el siguiente catálogo de conceptos con su respectivo presupuesto, el cual sirvió para realizar la evaluación económica.

Cuadro 5.6 Presupuesto del proyecto.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	IMPORTE M.N. (\$)
TUBO PRFV C/C C-5 1000 mm (40").	Mts.	511	179,334,437.48
TUBO PRFV C/C C-5 1500 mm (60").	Mts.	4,003	
TUBO PRFV C/C C-5 1600 mm (64").	Mts.	18,479	
Subtotal			179,334,437.48
ACCESORIOS Y CONEXIONES	LOTE	1	10,896,861.36
MOVIMIENTO DE TIERRAS	LOTE	1	15,651,313.92
Subtotal			26,548,175.28
OBRA DE TOMA	LOTE	1	2,138,882.24
CONEXIÓN A ESTRUCTURA DE ENTREGA	LOTE	1	1,996,846.85
Subtotal			4,135,729.09
TOTAL			210,018,341.85

5.3. Evaluación Económica del Proyecto.

5.3.1. Programación de inversiones.

Como ya fue expuesto, el proyecto establece que para garantizar una mejor productividad en el recurso hídrico incrementando con ello la productividad de los cultivos y por lo tanto los beneficios a los productores, es necesario que se realicen inversiones públicas, las cuales, se determinó, deberán ejecutarse en un plazo de dos años. Como se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro 5.7 Programa de ejecución de las acciones.

Concepto	Monto Total	Programa de ejecución (miles \$)	
	(miles \$)	2013	2014
Tubería (incluye instalación y trazo)	140,544.23	70,272	70,272
Accesorios y conexiones	8,539.86	4,270	4,270
Movimiento de tierras (incluye acarreos)	12,265.92	6,133	6,133
Obra de toma	1,676.24	1,676	0
Conexión a estructura de entrega	1,564.93	0	1,565
Subtotal de Inversiones	164,591.18	82,351	82,240
Ingeniería, Administración y Supervisión (5%)	8,229.56	4,118	4,112
Imprevistos (5%)	8,229.56	4,118	4,112
Subtotal	181,050.29	90,586	90,464
IVA (16%)	28,968.05	14,494	14,474
Total	210,018.34	105,080	104,938

FUENTE: Elaboración propia.

5.3.2. Consideraciones para la evaluación.

Para llevar a cabo la evaluación del proyecto se tomo en cuenta la metodología de evaluación de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público establecida en los “Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión”, en ella se establecen tres situaciones, una “Sin proyecto”, otra “Sin proyecto optimizada”, en esta situación se optimiza la situación actual, esto corresponde al escenario en el que existe la posibilidad de solucionar la totalidad o parte del problema identificado, mediante la ejecución de acciones de tipo administrativo, como por ejemplo, utilizar la maquinaria en doble jornada o modificarla utilización de algunos espacios físicos, situaciones que no involucran gran desembolso de recursos adicionales. De esta manera, es importante recalcar que la situación actual optimizada constituye la base para partir a la situación con proyecto. La tercera es la “Situación con proyecto”, en la que se

manifiestan los resultados tanto en costos de inversión como en beneficios atribuibles al mismo.

Una consideración importante para llevar a cabo la evaluación económica del proyecto son los precios sociales, los cuales se calculan a partir de los precios privados descontando el Impuesto al Valor Agregado (IVA) en un horizonte de planeación de 30 años, el cual se establece en función de la vida útil de los componentes del proyecto.

En la estimación del valor presente de los flujos de costos y beneficios se asume una tasa social de descuento del 12% recomendada por la SHCP para reflejar el valor real de los recursos públicos y privados a ser empleados durante la ejecución y operación del programa.

5.3.3. Identificación de los costos y beneficios.

Los costos que se originan por el proyecto son:

- Costos por inversión del proyecto.
- Costos por operación y mantenimiento de la infraestructura.

Y de los beneficios del proyecto encontramos los que se mencionan a continuación:

- Aumento en la Producción Agrícola.
- Reactivación de la economía en la región.

5.3.4. Cuantificación de costos.

En el cuadro siguiente se muestran las inversiones tanto a precios privados como sociales, el mayor monto de inversión por concepto es la adquisición, instalación y trazo de la tubería con un monto de 140,544 miles de pesos.

Asimismo, se considera el monto correspondiente a los costos de operación y mantenimiento que generará la implementación de la inversión en cada uno de los rubros que la componen. A continuación se muestran los costos de operación y mantenimiento considerados para la inversión y evaluación económica.

Cuadro 5.8 Resumen de Inversiones, precios privados y sociales.

Concepto	P. Privados (Miles \$)	P. Sociales (Miles \$)
Tubería (incluye instalación y trazo)	140,544	140,544
Accesorios y conexiones	8,540	8,540
Movimiento de tierras (incluye acarreos)	12,266	12,266
Obra de toma	1,676	1,676
Conexión a estructura de entrega	1,565	1,565
Subtotal	164,591	164,591
Ingeniería, Administración y Supervisión (5%)	8,230	8,230
Imprevistos (5%)	8,230	8,230
Subtotal	181,050	181,050
Impuesto al valor agregado IVA (16%)	28,968.05	0
Total Inversión	210,018.34	181,050

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 5.9 Costos de Operación y Mantenimiento (Miles \$) a precios sociales.

Inversiones	Unidad	Total	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023-2042
Mantenimiento tubería	a Miles de \$	12,538	0	118	142	165	189	213	236	260	283	307	531
Mantenimiento conexiones y accesorios	a y Miles de \$	5,405	0	22	29	36	54	61	68	72	86	100	244
Deshierbe y acarreo de desechos	Miles de \$	1,125	0	21	23	25	27	29	31	33	35	37	43
Operación mantenimiento obra de toma	y a Miles de \$	1,314	0	4	6	7	11	12	13	14	17	20	61
Mantenimiento a conexión de estructura entrega	a de Miles de \$	1,271	0	0	5	7	10	11	4	13	16	18	59
Total	Miles de \$	21,654	0	164	204	239	290	317	352	392	437	483	938

FUENTE: Elaboración propia.

5.3.5. Cuantificación de los beneficios.

Para llevar a cabo la evaluación de las inversiones planteadas, se integra dentro del análisis la estimación de los incrementos del Valor Marginal de la producción agrícola, el cual, representa el flujo principal de beneficios del proyecto.

Bajo la situación sin proyecto el valor total de la producción es de 52,400.523 miles de pesos; por otra parte los costos de producción totales ascienden a 16,150.428 miles de pesos, dejando una utilidad neta total de 36,250.095 miles de pesos.

Cuadro 5.10 Valor de la producción en la situación sin proyecto.

Cultivos	Superficie media (ha)	Rendimiento (ton/ha)	Producción Total (ton)	Precio Medio R. (\$/ton)	Valor Bruto (\$)	Costos Sociales (\$)	Valor Neto Sociales (\$)
Avena forrajera seca	479	14.33	6,864	502	3,445,763	1,408,260	2,037,503
Avena forrajera en verde	384	15.50	5,952	605	3,600,960	1,128,960	2,472,000
Garbanzo forrajero	200	10.00	2,000	750	1,500,000	436,800	1,063,200
Garbanzo grano	187	0.70	131	7,000	916,300	408,408	507,892
Trigo grano	1,000	5.00	5,000	3,500	17,500,000	3,192,000	14,308,000
Maiz	1,000	4.00	4,000	3,800	15,200,000	3,906,000	11,294,000
Alfalfa	350	60.00	21,000	450	9,450,000	5,292,000	4,158,000
Trebol	50	45.00	2,250	350	787,500	378,000	409,500
Total	3,650		47,197		52,400,523	16,150,428	36,250,095

FUENTE: Elaboración propia, con datos del SIAP.

Bajo la situación sin proyecto optimizada, el valor total de la producción es de 52,594.405 miles de pesos; por otra parte los costos de producción totales ascienden a 16,150.428 miles de pesos, dejando una utilidad neta total de 36,443.977 miles de pesos, como se puede observar la diferencia del valor de la producción entre la situación sin proyecto y la situación sin proyecto optimizada asciende a 193.882 miles de pesos, la cual es mínima debido a la nula inversión en infraestructura. Cabe mencionar que la situación actual optimizada es la base para la comparación con la situación con proyecto.

En cuanto a la situación con proyecto se plantea alcanzar un valor de la producción de 76,880.682 miles de pesos. De esta manera se logrará un aumento en el valor de la producción de 40,436.705 miles de pesos como se muestra en el cuadro 5.12.

Cuadro 5.11 Situación actual optimizada.

Cultivos	Superficie media (ha)	Rendimiento (ton/ha)	Producción Total (ton)	Precio Medio R. (\$/ton)	Valor Bruto (\$)	Costos Sociales (\$)	Valor Neto Sociales (\$)
Avena forrajera seca	479	14.38	6,889	502	3,458,512	1,408,260	2,050,252
Avena forrajera en verde	384	15.56	5,974	605	3,614,284	1,128,960	2,485,324
Garbanzo forrajero	200	10.04	2,007	750	1,505,550	436,800	1,068,750
Garbanzo grano	187	0.70	131	7,000	919,690	408,408	511,282
Trigo grano	1,000	5.02	5,019	3,500	17,564,750	3,192,000	14,372,750
Maiz	1,000	4.01	4,015	3,800	15,256,240	3,906,000	11,350,240
Alfalfa	350	60.22	21,078	450	9,484,965	5,292,000	4,192,965
Trebol	50	45.17	2,258	350	790,414	378,000	412,414
Total	3,650.00		47,372		52,594,405	16,150,428	36,443,977

FUENTE: Elaboración propia, con datos del SIAP.

Cuadro 5.12 Situación agrícola con proyecto.

Cultivos	Superficie media (ha)	Rendimiento (ton/ha)	Producción Total (ton)	Precio Medio R. (\$/ton)	Valor Bruto (\$)	Costos Sociales (\$)	Valor Neto Sociales (\$)
Avena forrajera seca	479	15.00	7,185	502	3,606,870	1,408,260	2,198,610
Avena forrajera en verde	384	17.00	6,528	605	3,949,440	1,128,960	2,820,480
Garbanzo forrajero	100	11.00	1,100	750	825,000	218,400	606,600
Garbanzo grano	87	1.00	87	7,000	609,000	190,008	418,992
Trigo grano	1,000	5.00	5,000	3,500	17,500,000	3,192,000	14,308,000
Maiz	1,000	4.00	4,000	3,800	15,200,000	3,906,000	11,294,000
Hortalizas	600	7.50	4,500	10,500	47,250,000	2,016,000	45,234,000
Total	3,650		28,400		88,940,310	12,059,628	76,880,682

FUENTE: Elaboración propia, con datos del SIAP.

Cabe señalar que al poner en marcha el proyecto se pretende incorporar una superficie de 600 ha de hortalizas supliendo los cultivos de alfalfa y trébol y con ello se busca incrementar los beneficios económicos a los usuarios.

De lo anterior se determinó el flujo de efectivo en el horizonte de evaluación y en base a ello, los principales indicadores con los resultados expuestos más adelante, ver cuadro siguiente.

Cuadro 5.13 Evaluación Financiera.

Tasa de descuento = 12%										
Año	Factor de Inversión	Costos de operación y Costo	Beneficio	Costo total	Beneficio	Flujo	Neto			
2013	1.0000	90,586	168	90,755	0	90,755	0	-90,755		
2014	0.8929	90,464	204	90,668	0	80,953	0	-80,953		
2015	0.7972		239	239	20,214	191	16,114	15,923		
2016	0.7118		290	290	25,205	206	17,940	17,734		
2017	0.6355		325	325	29,007	207	18,434	18,227		
2018	0.5674		352	352	32,801	200	18,612	18,412		
2019	0.5066		392	392	36,593	198	18,539	18,341		
2020	0.4523		437	437	40,437	198	18,292	18,094		
2021	0.4039		483	483	40,437	195	16,332	16,137		
2022	0.3606		938	938	40,437	338	14,582	14,244		
2023	0.3220		938	938	40,437	302	13,020	12,717		
2024	0.2875		938	938	40,437	270	11,625	11,355		
2025	0.2567		938	938	40,437	241	10,379	10,138		
2026	0.2292		938	938	40,437	215	9,267	9,052		
2027	0.2046		938	938	40,437	192	8,274	8,082		
2028	0.1827		938	938	40,437	171	7,388	7,216		
2029	0.1631		938	938	40,437	153	6,596	6,443		
2030	0.1456		938	938	40,437	137	5,889	5,753		
2031	0.1300		938	938	40,437	122	5,258	5,136		
2032	0.1161		938	938	40,437	109	4,695	4,586		
2033	0.1037		938	938	40,437	97	4,192	4,095		
2034	0.0926		938	938	40,437	87	3,743	3,656		
2035	0.0826		938	938	40,437	78	3,342	3,264		
2036	0.0738		938	938	40,437	69	2,984	2,915		
2037	0.0659		938	938	40,437	62	2,664	2,602		
2038	0.0588		938	938	40,437	55	2,379	2,323		
2039	0.0525		938	938	40,437	49	2,124	2,074		
2040	0.0469		938	938	40,437	44	1,896	1,852		
2041	0.0419		938	938	40,437	39	1,693	1,654		
2042	0.0374		938	938	40,437	35	1,512	1,477		
Inversión Total (miles \$) =181,050							VPN=	71,795		
							TIR=	16.52%		
							B/C=	1.41		

FUENTE: Elaboración propia en base a lineamientos de la SHCP.

5.3.6. Indicadores de rentabilidad.

Valor presente neto (VPN).

El VPN para el proyecto, arrojó resultados positivos (71,795 miles de pesos) por lo que se considera un proyecto aceptable o rentable.

Tasa interna de retorno (TIR).

Se calculó una TIR para el presente proyecto de 16.52 %. Para la evaluación del presente proyecto, se definió un valor mínimo de la TIR del 12%. Por lo que en base a este indicador el proyecto se considera rentable.

Relación beneficio – costo (R B/C).

La relación Beneficio – Costo resultó de 1.41, es decir, que se obtienen 0.41 pesos de ingreso por cada peso invertido en el Proyecto que nos ocupa.

5.3.7. Análisis de Sensibilidad.

Rentabilidad de la alternativa básica.

Con respecto a la rentabilidad que se obtiene en el análisis de la alternativa básica, esto es en condiciones de integralidad de los supuestos establecidos en la evaluación, se obtienen los siguientes valores:

Cuadro 5.14 Indicadores obtenidos del análisis de la alternativa básica.

VPN (Miles \$)	TIR (%)	R B/C
71,795	16.52	1.41

FUENTE:Elaboración propia.

Rentabilidad ante cambios en los beneficios.

Para el análisis de sensibilidad ante cambios en los beneficios, se hicieron variar en -7%, -14%, -21%, hasta una disminución límite de 28.9 %, donde la R B/C = 1.

Cuadro 5.15 Variación de los indicadores de rentabilidad ante cambios en los Beneficios.

Variación de los Beneficios (%)	TIR (%)	R B/C	VPN (miles de \$)
0%	16.52%	1.41	71,795
-7%	15.49%	1.31	54,452
-14%	14.42%	1.21	37,108
-21%	13.31%	1.11	19,765

-28.9%	12.00%	1.00	0
--------	--------	------	---

FUENTE: Elaboración propia.

Rentabilidad ante cambios en los montos de inversión.

Con el fin de definir la rentabilidad del proyecto con respecto a posibles incrementos en el monto de la inversión, se hizo variar el monto en un 10 %, 20 %, 30 % y 40.8 %, el límite para que el Proyecto siga siendo rentable.

Cuadro 5.16 Variación de los indicadores de rentabilidad ante cambios en la magnitud de inversión.

Variación de la inversión (%)	TIR (%)	R B/C	VPN (miles de \$)
0%	16.52%	1.41	71,795
10%	15.17%	1.28	54,198
20%	14.00%	1.17	36,601
30%	12.98%	1.08	19,004
40.80%	12.00%	1.00	0

FUENTE: Elaboración propia.

Rentabilidad ante cambios en el precio medio rural.

Para definir la rentabilidad del proyecto ante posibles cambios en los precios de venta de los productos agrícolas, se obtuvo el límite máximo ante una disminución del 13%, lo que nos indica relativa sensibilidad ante cambios en este rubro.

Cuadro 5.17 Variación de los indicadores de rentabilidad ante cambios en los precios de los productos agrícolas.

Variación de los precios (%)	TIR (%)	R B/C	VPN (miles de \$)
0%	16.52%	1.41	71,795
-4%	15.22%	1.28	50,101
-8.0%	13.87%	1.16	28,407
-12.0%	12.45%	1.04	6,713
-13.24%	12.00%	1.00	0

FUENTE: Elaboración propia.

Rentabilidad ante cambios en los costos de producción.

Con respecto a los resultados de la evaluación del proyecto ante los cambios en los costos de producción, se obtuvieron los resultados que aparecen en el cuadro siguiente, 97 % de incremento es el límite para que el proyecto siga siendo rentable.

Cuadro 5.18 Variación de los indicadores de rentabilidad ante cambios en los costos de producción.

Variación de los costos de producción (%)	TIR (%)	R B/C	VPN (miles de \$)
0%	16.52%	1.41	71,795
30%	15.20%	1.28	49,733
40%	14.75%	1.24	42,379
60%	13.82%	1.16	27,672
97.63%	12.00%	1.00	0

FUENTE: Elaboración propia.

5.3.8. Riesgos del Proyecto.

Además de tomar en cuenta los factores de variación antes mencionados los cuales indican que el proyecto no es sensible a variaciones que pudieran presentarse durante su construcción y su aprovechamiento, deberán tomarse en cuenta los siguientes factores de riesgo:

Administración de proyecto.- Llevar a cabo el control y seguimiento de la operación y que CONAGUA no desatienda el proyecto.

Organización de productores.- Deberá llevarse a cabo el uso adecuado de los sistemas de riego paquetes tecnológicos que se adquieran.

Flujos de inversión anual.- Que los flujos anuales de inversión por parte del gobierno federal y de los productores se lleve a cabo de acuerdo al programa de inversión.

Plan de financiamiento compartido.- Que se asegure con antelación al inicio del proyecto, que el Plan de financiamiento por parte de los participantes sea factible, a fin de evitar alterar o suspender la continuación de las obras una vez iniciadas. Por lo mismo, será condición necesaria disponer del instrumento y de las reglas que lo hagan factible.

Incremento inesperado de costos.- No se prevé en el mediano plazo una situación de devaluación ni de alta inflación, sin embargo habrá que prever escenarios diferentes a partir del tercer año de iniciadas las obras.

Prever los conflictos sociales por el uso del agua. Dar seguimiento de los beneficios a la comunidad local en relación a la ejecución del proyecto.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. Conclusiones.

La red mayor de conducción hacia los módulos de riego II, III y IV tiene baja eficiencia en la conducción por ser el cauce del río Grande de Morelia, el cual no se encuentra revestido, y presenta altos niveles de contaminación.

La producción de los módulos de riego II, III y IV se limita únicamente a sembrar granos y forraje debido a la contaminación del agua, esto invariablemente obliga a tener bajos beneficios de producción.

El agua tratada en la PTAR Atapaneo cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996, en cuanto a los parámetros permisibles para descargas a ríos para uso agrícola.

El costo de la ejecución de la obra, para la línea de conducción del agua tratada desde la PTAR Atapaneo hasta los módulos de riego, es de 210,018.34 miles de pesos.

La ejecución del proyecto ejecutivo es compatible con el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 con el eje 4 Sustentabilidad Ambiental, Objetivo 2 Alcanzar un manejo integral y sustentable del agua, Estrategia 2.4 Propiciar un uso eficiente del agua en las actividades agrícolas y con el Plan Director del DR020 Morelia-Queréndaro.

Se evidenció las bondades del uso tecnologías de sistemas de información geográfica y modelos de elevación digital para un primer análisis y definición de escenarios en la elaboración un proyecto, sin necesidad de realizar un levantamiento topográfico in situ.

De acuerdo a la evaluación económica y financiera del proyecto, se considera viable su ejecución. Los beneficios con la ejecución del proyecto son la conversión a cultivos más rentables, tecnificación del riego, oportunidad al riego y menores pérdidas de agua en la conducción.

Las acciones que se plantean en el presente proyecto, permiten el incremento de 40,436.705 miles de pesos. La ejecución de las inversiones se plantea en un periodo de dos años (2013-2014). Los indicadores que presenta son un VPN de 71,795 miles de pesos, una TIR de 16.52 % y una R B/C de 1.41.

El proyecto no es sensible a variaciones que pudieran presentarse durante su construcción y su aprovechamiento, pero deberán tomarse en cuenta los siguientes factores de riesgo: administración de proyecto, organización de productores, flujos de inversión anual, plan de financiamiento compartido, incremento inesperado de costos, prever los conflictos sociales y medioambientales.

6.2. Recomendaciones.

Debe llevarse a cabo el proyecto para que las condiciones de producción de los Módulos II, III y IV no sean cada vez más desfavorables.

Para obtener el beneficio de la conversión a cultivos más rentables como hortalizas, es necesario que se le dé puntual seguimiento a lo que marca la norma en cuanto al límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), que es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego restringido.

Es necesario que los municipios aguas abajo de la PTAR Atapaneo, incluyendo la ciudad de Morelia, aumenten la cobertura del agua tratada.

Así mismo es necesario tomar las medidas precisas para que el agua residual producida en la ciudad industrial de Morelia, que es la que contiene la mayor parte del contenido de metales pesados y otros agentes contaminantes, cumplan al 100% con el tratamiento obligado.

Para la realización y ejecución del proyecto ejecutivo de la línea de conducción para el aprovechamiento de las aguas tratadas de la PTAR Atapaneo, se recomienda usar los apoyos del gobierno federal, a través de la Comisión Nacional del Agua, para la tecnificación y modernización de infraestructura.

Se recomienda que con la ejecución del proyecto los usuarios de riego se preocupen por la tecnificación y modernización de los sistemas de riego dentro de los módulos de riego. Además, las parcelas a las que se beneficien con la entrega de agua tratada deben estar confinadas en áreas compactas, de manera que la distribución sea menos extendida y se reduzca el costo de la misma.

7. BIBLIOGRAFÍA.

Baca, U., G. 2004. Evaluación de proyectos. Quinta Edición. Ed. McGraw-Hill. México, D.F.

Camacho M., P. 2010. Los Sistemas de Información Geográfica como herramientas para el diagnóstico integral y el mejoramiento de la operación del Distrito de Riego 014 Río Colorado, B.C. y Son. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, México.

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2000. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental. Diario Oficial de la Federación. México, D.F. p.2-3.

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2012. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación. México, D.F. p.22-23.

Centro de Estudio de las Finanzas Públicas, CEFP, 2010. Manual de procedimientos para la Presentación y Registro de Programas y Proyectos de Inversión en la cartera de la SHCP. México, D.F.

CEPEP. 2004. Evaluación Social de Proyectos. 2da Edición. Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos.

CNA-IMTA. 2002. Manual para la elaboración y revisión de proyectos ejecutivos de sistemas de riego parcelario. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos, México. 526p.

Colegio de Postgraduados (CP) 2007. Formulación del Plan Director para la Modernización Integral del Riego del Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro, Michoacán. 235p.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2009. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. México. 139p.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2011. Estadísticas del Agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. 181p.

D. H. Willits, 2003. The Penman-Monteith Equation As a Predictor of transpiration in a Greenhouse Tomato Crop. Bio and Ag EngDept, North Carolina State University, Raleigh, NC. ASAE Annual International Meeting. Las Vegas, Nevada, USA. Paper No. 034095.

De León. M., B. 2007. Manual para diseños de zonas de riego pequeñas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2007.

Diario Oficial de la Federación. Marzo 2008. Lineamientos para la Elaboración y Presentación de los Análisis Costo y Beneficio de los Programas y Proyectos de Inversión. México, D.F.

Fontaine, R., E. 2008. Ingeniería Económica. Decimotercera Edición. Ed. Pearson Educación, México, D.F. 624p

Grupo Multidisciplinar de Modelación de fluidos. EPANET 2.0, Manual de Usuario. Universidad Politécnica de Valencia.

Hernández S., C. 2011. Nueva Política del Agua y Herencias Centralizadoras: El Consejo de Cuenca del Valle de México. Agricultura, Sociedad y Desarrollo. San Luis Potosí, México. p. 303-325.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 2007. Manual para Diseño de Zonas de Riego Pequeñas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2da Edición. Morelos, México.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2007. Manual para Diseño de Zonas de Riego Pequeñas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2da Edición. Morelos, México.

Lahera R., V. 2010. Infraestructura Sustentable: Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Revista Quivera. 12 (2): 58-69. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.

Mendoza S., I. 2009. Calidad de las aguas residuales urbano-industriales que riegan el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Tesis Doctoral, Colegio de Postgraduados, México. 195p.

Planells, P.; Ortega, J.F.; Valiente, M.; Montero, J.; Tarjuelo, J.M. 1999. Criterios Para el Diseño de Redes Colectivas de Riego.

Presidencia de la Republica. 2007. Plan Nacional de Desarrollo. Talleres de Impresión de Estampillas y Valores (TIEV) de la SHCP. México. 324p.

Roblero M., E. 2011. Diagnóstico integral y análisis del padrón de usuarios de los distritos de riego de la cuenca Lerma-Chapala, Mediante los Sistemas de Información Geográfica. Tesis de Maestría, Colegio de Postrgraduados, México.

UnitedStates Geological Survey (USGS). 2012. Consultado en línea Octubre 2012. <http://earthexplorer.usgs.gov/>

Veliz L., E.; Llanes O., J. G.; Asela F., L.; Bataller V., M. 2009. Ciencias Biológica, Vol. 40, Num. 1. Pp35-44. Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Ciudad de la Habana, Cuba.