



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLOS

POSTGRADUADO EN HIDROCIENCIAS

**EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA MODERNIZACIÓN DEL MÓDULO
ANGAMACUTIRO DEL DISTRITO DE RIEGO 087 ROSARIO-MEZQUITE**

JOSÉ RODRÍGUEZ RÍOS

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: “**Evaluación Técnico-Económica de la Modernización del Módulo Angamacutiro del Distrito de Riego 087 Rosario-Mezquite**”, realizada por el Alumno: **José Rodríguez Ríos**, 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. ENRIQUE RUBIÑOS PANTA

ASESOR

DR. JESUS CHAVEZ MORALES

ASESOR:

M.C. ANDRÉS PAREDES SANTAELLA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, julio de 2013

RECONOCIMIENTOS

A la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) por el apoyo brindado para la realización de la Maestría tecnológica.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, por darnos la oportunidad para realizar los estudios correspondientes.

A mi Consejo de Tesis, Dr. Enrique Rubiños Panta y Asesores: Dr. Jesús Chávez Morales, Dr. y M.C. Andrés Paredes Santaella por el tiempo, apoyo y orientación que tuvieron a bien dedicar para sacar adelante el presente trabajo.

A mis compañeros de grupo, por compartir conmigo sus experiencias siempre en el sentido de apoyo y ánimo para el logro de esta meta.

A los maestros que sin reserva alguna nos orientaron y ofrecieron de forma entusiasta todos sus conocimientos.

A mis compañeros de trabajo por su respaldo desinteresado y pronta respuesta en el apoyo requerido.

DEDICATORIA

A Dios

por darme licencia de haber cumplido con esta etapa tan importante en mi desarrollo profesional.

A mi esposa Adela

por su comprensión y respaldo para el logro de esta importante meta.

A mis hijos Miguel Ángel, Andrea y José

por entender la razón de mis periodos de ausencia para atender mis compromisos académicos.

A mis Padres

por sus bendiciones y consejos.

A mis hermanos

por su cariño y apoyo.

Evaluación Técnico-Económica de la Modernización del Módulo Angamacutiro del Distrito de Riego 087 “Rosario-Mezquite”

José Rodríguez Ríos, MT.

Colegio de Postgraduados, 2012

RESUMEN

El Módulo de riego Angamacutiro del Distrito de Riego 087 Rosario-Mezquite, Michoacán tiene una superficie de riego de 7,686.30 ha y 2,162 usuarios, con una distribución media por usuario de 3.60 ha/usuario. Se abastece de la presa Melchor Ocampo a través de los canales principales margen derecha e izquierda. Los cultivos principales son sorgo y trigo; y en menor superficie, maíz, cebada, avena y fresa. El volumen disponible resulta insuficiente para cubrir las necesidades de riego de los cultivos en la superficie de riego dominada, razón por la cual se propone la Modernización de la red de conducción y de distribución y la mejora de la aplicación del riego en parcela, mediante la aplicación del riego con tubería por multicompuertas.

La modernización del Módulo Angamacutiro permite el rescate de 13 Hm³ de agua superficial que representa un 35% del volumen concesionado, con opción de mejorar la oportunidad de riego e incrementar la superficie regada.

El costo total del sistema de riego asciende a la cantidad de \$ 220, 968, 647.90 con un costo por hectárea de \$ 48, 120.35. Los resultados del análisis económico, presentan una relación beneficio/costo de 1.47 que es significativamente mayor a la unidad, un valor presente neto de \$ 93,242,739, un período de recuperación del capital de 5 años y una tasa interna de retorno de 17.15%, mayor a la tasa de descuento aplicada del 12%, por lo anterior se puede asegurar que el proyecto ofrece un buen nivel de rentabilidad, por lo que se recomienda ampliamente su ejecución.

Palabras clave: multicompuertas, eficiencia, indicadores económicos, rentabilidad.

Technical and Economical Evaluation of Modernization in the Angamacutiro Module from Irrigation District 087 “Rosario-Mezquite”

Jose Rodriguez Rios, MT.

Colegio de Postgraduados, 2012

ABSTRACT

The Angamacutiro irrigation module from Irrigation District 087 Rosario-Mezquite, Michoacán has an irrigation area of 7,686.30 ha and 2,162 users; its average distribution is 3.60 ha per user. It is supplied by the Melchor Ocampo dam through the main channels at both the left and right margins. The main crops are sorghum and wheat; and with a lesser area, there are corn, barley, oats and strawberry. Hydraulic flow is insufficient to meet the irrigation needs of crops in the irrigation area, on which it is proposed the modernization of the conduction and distribution system, improving the implementation of farm irrigation through the application using gated pipes.

Modernization in the Angamacutiro Module allows the rescue of 13 hm³ of surface water, which represents 35% of the volume concession, with an option to improve the timeliness of irrigation and increase the irrigated area.

The total cost of the irrigation system is \$ 220, 968, 647.90, which represents a cost of \$ 48, 120.35 per hectare. The results of the economic analysis show a benefit / cost ratio of 1.47, which is significantly greater than unity, a net present value of \$ 93,242,739, a capital recovery period of five years, and an internal rate of return of 17.15%, higher the discount rate of 12%. For the above reasons, it can be ensured that the project provides a good level of profitability, so its implementation is highly recommended.

Keywords: gated pipes, efficiency, economic indicators, profitability.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PÁGINA

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DEL TRABAJO	3
2.1	HIPÓTESIS	3
2.2	OBJETIVOS	3
2.2.1	<i>General</i>	3
2.2.2	<i>Particulares</i>	3
3.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	4
3.2	CLIMA	5
3.3	SUELOS	5
3.4	VEGETACIÓN	6
3.5	HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	6
3.6	INFRAESTRUCTURA HIDROGRÁFICA	6
3.7	FACTORES DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA	7
3.7.1	<i>Cultivos, Rendimientos y Costos de producción</i>	7
3.8	SITUACIÓN ACTUAL DEL MODULO DE RIEGO ANGAMACUTIRO	7
3.8.1	<i>Diagnóstico</i>	7
3.8.2	<i>Identificación de Soluciones</i>	8
3.9	ESTUDIO TOPOGRÁFICO	8
3.9.1	<i>Topografía de la zona de riego</i>	8
3.9.2	<i>Superficie de la zona de riego</i>	9
3.9.3	<i>Lotificación de la zona</i>	9
3.9.3.1	<i>Plano planimétrico y altimétrico de la zona</i>	9
3.10	DISEÑO AGRONÓMICO	10
3.10.1	<i>Requerimiento de riego</i>	10
3.10.1.1	<i>Evapotranspiración de referencia (ET_o)</i>	11
3.10.1.2	<i>Coeficientes de cultivos (K_c)</i>	14
3.10.2	<i>Capacidad del sistema</i>	15
3.11	DISEÑO HIDRÁULICO	16
3.11.1	<i>Diseño de la red hidráulica de conducción</i>	16
3.11.1.1	<i>Métodos para realizar el diseño hidráulico</i>	16
3.11.2	<i>Trazo de redes de riego</i>	18

3.11.3	<i>Optimización de la red</i>	20
3.11.4	<i>Uso de software</i>	21
3.11.4.1	EPANET	22
3.11.4.2	GESTAR	23
3.11.4.3	WCADI (Weizman Computer Aided Design Irrigation)	24
3.12	EVALUACIÓN FINANCIERA Y ECONÓMICA DE PROYECTOS	25
3.12.1	<i>Evaluación financiera</i>	26
3.12.2	<i>Evaluación económica</i>	27
3.12.3	<i>Indicadores de rentabilidad</i>	28
4.	MATERIALES, EQUIPO Y MÉTODOS.....	31
4.1	PROPUESTA TÉCNICA	31
4.1.1	<i>Análisis de alternativas</i>	31
4.1.2	<i>Estudio Topográfico</i>	32
4.1.2.1	Visita de campo	32
4.1.2.2	Levantamiento Topográfico	33
4.1.3	<i>Diseño Agronómico</i>	34
4.1.4	<i>Diseño Hidráulico</i>	35
4.1.5	<i>Diseño Electromecánico</i>	36
4.1.6	<i>Diseño de Obra Civil</i>	36
4.1.6.1	Obra de toma	37
4.1.6.2	Cárcamo de bombeo	37
4.1.7	<i>Operación del Sistema</i>	38
4.2	EVALUACIÓN TÉCNICA	38
4.2.1	<i>Análisis de alternativas</i>	38
4.2.2	<i>Estudio topográfico</i>	38
4.2.3	<i>Diseño agronómico</i>	38
4.2.4	<i>Diseño Hidráulico</i>	38
4.2.5	<i>Diseño electromecánico</i>	39
4.2.6	<i>Diseño de Obra Civil</i>	39
4.2.7	<i>Operación del Sistema</i>	39
4.3	EVALUACIÓN ECONÓMICA	40
4.3.1	<i>Evaluación económica del proyecto</i>	40
4.3.1.1	Identificación de Costos y Beneficios	40
4.3.1.2	Vida útil del proyecto y horizonte de evaluación	40
4.3.1.3	Situación sin proyecto	40
4.3.1.4	Optimización de la situación actual	41

4.3.1.5	Situación con Proyecto.....	41
4.3.1.6	Análisis de sensibilidad.....	41
5.	RESULTADOS.....	43
5.1	PROPUESTA TÉCNICA.....	43
5.1.1	<i>Análisis de alternativas</i>	<i>43</i>
5.1.1.1	Descripción de la alternativa seleccionada.....	46
5.1.2	<i>Estudio Topográfico.....</i>	<i>48</i>
5.1.3	<i>Diseño Agronómico.....</i>	<i>49</i>
5.1.4	<i>Diseño Hidráulico.....</i>	<i>53</i>
5.1.5	<i>Diseño Electromecánico.....</i>	<i>56</i>
5.1.6	<i>Diseño de Obra Civil.....</i>	<i>58</i>
5.1.7	<i>Operación del sistema.....</i>	<i>59</i>
5.2	EVALUACIÓN TÉCNICA.....	60
5.2.1	<i>Análisis de alternativas</i>	<i>60</i>
5.2.2	<i>Estudio Topográfico.....</i>	<i>60</i>
5.2.3	<i>Diseño Agronómico.....</i>	<i>60</i>
5.2.4	<i>Diseño Hidráulico.....</i>	<i>60</i>
5.2.5	<i>Diseño Electromecánico.....</i>	<i>60</i>
5.2.6	<i>Diseño de Obra Civil.....</i>	<i>61</i>
5.2.7	<i>Operación del Sistema.....</i>	<i>61</i>
5.3	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	61
5.3.1	<i>Evaluación económica del proyecto.....</i>	<i>61</i>
5.3.1.1	Identificación de costos y beneficios.....	61
5.3.1.2	Vida útil del proyecto y horizonte de evaluación.....	62
5.3.1.3	Situación sin proyecto.....	62
5.3.1.4	Optimización de la situación actual.....	65
5.3.1.5	Situación con proyecto.....	66
5.3.1.6	Análisis de Sensibilidad.....	72
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
6.1	CONCLUSIONES.....	74
6.2	RECOMENDACIONES.....	75
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 3.1 Cuenca Lerma-Chapala	4
Figura 3.2 Localización de los módulos dentro del Distrito Riego 087	5
Figura 3.3 Variación típica del coeficiente de cultivo durante el ciclo de un cultivo.....	15
Figura 3.4 Trazo de la red para unir cada hidrante con la fuente de abastecimiento.....	20
Figura 4.1 Recorrido de campo	32
Figura 4.2 Identificación de la zona de estudio	34
Figura 4.3 Conexión desde el repartidor.....	43
Figura 4.4 Conexión desde el canal principal margen derecha, Km 17+970	44
Figura 4.5 Conexión desde la presa.....	45
Figura 4.6 Conexión desde diferentes puntos.....	46
Figura 5.1 Levantamiento topográfico del Módulo Angamacutiro	49
Figura 5.2 Necesidades hídricas diarias del cultivo de Maíz en Primavera-Verano	51
Figura 5.3 Plano hidráulico de la zona	55
Figura 5.4 Diseño tipo de sistema mecánico	56
Figura 5.5 Diseño tipo del sistema eléctrico.....	57
Figura 5.6 Diseño tipo de la obra de toma.....	58
Figura 5.7 Diseño tipo del cárcamo de bombeo	59

ÍNDICE DE CUADROS

PÁGINA.

Cuadro 3.1	Coeficiente de Hazen-Wiliams para algunos materiales	25
Cuadro 4.1	Características de las zonas que comprenden el proyecto.....	48
Cuadro 5.1	Distribución de siembras del padrón de cultivos.....	50
Cuadro 5.2	Requerimientos diarios de riego.....	52
Cuadro 5.3	Eficiencias de la situación actual y con proyecto.....	53
Cuadro 5.4	Resultados del diseño hidráulico por zona	54
Cuadro 5.5	Características de los equipos de bombeo por zona	57
Cuadro 5.6	Operación del sistema	59
Cuadro 5.7	Superficie de riego Módulo “Angamacutiro”	62
Cuadro 5.8	Rendimiento de los cultivos	63
Cuadro 5.9	Precio medio rural 2012.....	63
Cuadro 5.10	Costos de conservación anuales, Precios Privados 2012.	64
Cuadro 5.11	Valor neto de la producción, Precios Sociales 2012.	64
Cuadro 5.12	Valor neto de la producción agrícola, Precios Sociales 2012.	65
Cuadro 5.13	Superficie con proyecto Módulo “Angamacutiro”	66
Cuadro 5.14	Rendimiento de los cultivos	67
Cuadro 5.15	Precio medio rural, 2012.	67
Cuadro 5.16	Costos de producción, Precios Sociales 2012.	68
Cuadro 5.17	Costo anual de operación y mantenimiento, Precios Sociales 2012.	68
Cuadro 5.18	Inversiones fijas, Precios Privados y Sociales 2012.....	69
Cuadro 5.19	Cálculo de valor presente neto (VPN), Precios Sociales 2012.....	70
Cuadro 5.20	Resumen de indicadores de rentabilidad, Precios Sociales 2012.....	71
Cuadro 5.21	Análisis de sensibilidad para el caso de Variación en los Beneficios Netos del Proyecto, Precios Sociales 2012.....	72
Cuadro 5.22	Análisis de sensibilidad para el caso de Variación en los Montos de Inversión del proyecto, Precios Sociales 2012.....	72
Cuadro 5.23	Análisis de sensibilidad para el caso de Variación en los Precios Medios Rurales de los insumos, Precios Sociales 2012.....	73
Cuadro 5.24	Análisis de sensibilidad para el caso de Variación en los Costos de Producción del proyecto, Precios Sociales 2012.....	73

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. PLANO TOPOGRÁFICO

ANEXO 2. PLANO HIDRÁULICO

1. INTRODUCCIÓN

El Distrito de Riego 087 Rosario-Mezquite, se creó mediante Decreto Presidencial del 14 de agosto de 1969, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 8 de mayo de 1970, que establece el Distrito de Riego Rosario–Mezquite y comenzó a operar a partir del año 1972. Posteriormente se anexó también el Distrito 022 “Zacapu”, así como el Módulo Pastor Ortíz y las obras y superficies que se irrigaban con las Presas Los Ángeles y Gonzalo.

En el Módulo de riego Angamacutiro DR 087 Rosario-Mezquite, Michoacán; se tiene una superficie de riego de 7,686.30 ha, de 2162 usuarios y con una distribución promedio de 3.6 ha/usuario. Se abastece de la presa Melchor Ocampo a través de los canales principales margen derecha e izquierda. Los cultivos principales son sorgo y trigo, aunque también se siembran pequeñas superficies de maíz, cebada, avena y fresa. Actualmente la red de conducción y de distribución está compuesta de canales revestidos y canales en tierra, teniendo bastantes pérdidas de agua por filtración. El gasto hidráulico resulta insuficiente para cubrir las necesidades de riego de los cultivos en la superficie de riego dominada, razón por la cual se propone en este proyecto la tecnificación de la red de conducción y de distribución y la mejora de la aplicación del riego en parcela, mediante el entubado de la red con un sistema de baja presión, y aplicar el riego con tubería de multicompuertas.

En el esquema tradicional del manejo del agua superficial para el riego, el Módulo de Angamacutiro es deficitario, conforme a su disponibilidad y volumen concesionado. Esta condición se agrava por el estado actual de la infraestructura además de las prácticas inadecuadas en el manejo operativo de su red de distribución, derivando en disputa casi generalizada por el servicio, mismo que en ocasiones se manifiesta en maniobras directas a la infraestructura por parte de los usuarios.

Se han realizado diferentes acciones y operativos en los períodos de riego procurando una distribución equitativa del recurso, sin embargo, no ha sido del todo posible por la problemática descrita y debido a la propia idiosincrasia de los productores que están en la creencia de que toda el agua de la presa Melchor Ocampo les pertenece, por estar ubicada dentro de los límites del Municipio de Angamacutiro.

Para atenuar el desequilibrio entre oferta y demanda del agua, se considera indispensable mejorar de manera consistente la eficiencia en el uso de la misma, por lo que se determinó conveniente proceder con la implementación de un proyecto de modernización de la infraestructura de conducción, distribución y parcelaria. Ante esta situación autoridades directivas del módulo de Angamacutiro conjuntamente con técnicos del Distrito de Riego han tenido a bien, definir un proyecto para la tecnificación del Módulo Angamacutiro que contemple acciones concretas para mejorar la eficiencia en el uso del agua y permita atenuar el déficit entre oferta y demanda actual.

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DEL TRABAJO

2.1 HIPÓTESIS

Se considera factible técnica y económicamente la modernización del Módulo Angamacutiro del Distrito de Riego 087 “Rosario-Mezquite”.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 General

Determinar la factibilidad del proyecto de Modernización del Módulo de Angamacutiro mediante su evaluación Técnico-Económica.

2.2.2 Particulares

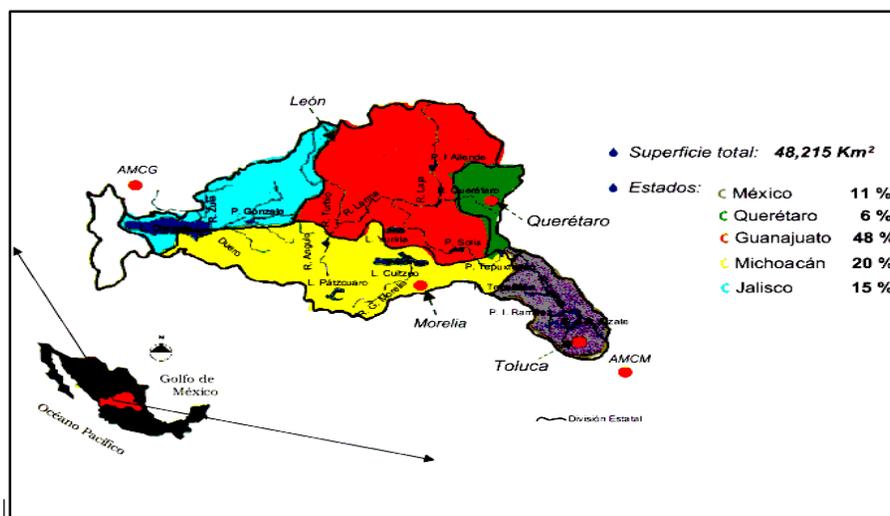
- ✚ Realizar una propuesta de Modernización del Módulo de Riego.
- ✚ Realizar la evaluación técnica de la propuesta de modernización del Módulo de Riego.
- ✚ Realizar la evaluación económica de la propuesta de modernización del Módulo de Riego.

3. REVISIÓN DE LITERATURA.

3.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El Distrito de Riego 087, se encuentra localizado dentro la Cuenca Lerma-Chapala, la cual tiene una superficie de 48,215 km² (Ver Figura 3.1). Esta cuenca se localiza en la región centro occidental de México, comprende porciones de cinco estados: Guanajuato, Michoacán, Jalisco, Estado de México y Querétaro; cada uno de ellos ocupa respectivamente el, 49%, 20%, 15%, 11% y el 5% del área con respecto al total de la superficie de la cuenca. Se localizan además del Distrito de Riego 087, otros ocho Distritos de riego más; la superficie bajo riego de estos totaliza 262,677.60 ha.

Geográficamente se encuentra asentado entre los paralelos 19°45' y 20°30' de latitud norte y entre los meridianos 101°25' y 102°30' de longitud oeste, a una altura media de 1,690 m.s.n.m.

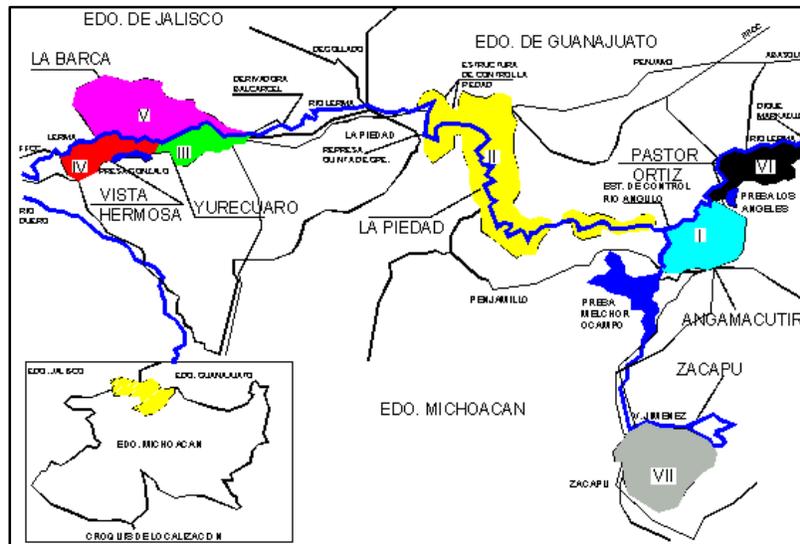


FUENTE: Distrito de Riego 087 Rosario Mezquite. (Plan Director)

Figura 3.1 Cuenca Lerma-Chapala.

Para fines operativos, este distrito de riego se divide en tres sistemas: Rosario-Mezquite, Pastor Ortiz y Zacapu, los que a su vez, se subdividen en seis unidades de riego constituidas en siete módulos que son administrados por los usuarios. En la FUENTE:, se muestra la localización de los módulos del Distrito de Riego 087 Rosario-Mezquite. El Módulo Angamacutiro es el primero del Sistema Rosario-Mezquite, su fuente de alimentación es la Presa Melchor Ocampo, misma

que abastece en forma directa a los canales Margen Izquierda y Margen Derecha que constituyen las principales obras de conducción de este módulo.



FUENTE: Distrito de Riego 087 Rosario Mezquite. (Plan Director)

Figura 3.2 Localización de los módulos dentro del Distrito Riego 087

3.2 CLIMA

El clima es, según la clasificación de Köppen y modificado por Enriqueta García (1973), subhúmedo con lluvias en verano y vegetación de estepa, con precipitación media que varía entre los 750 a los 820mm anuales

3.3 SUELOS

De acuerdo con el sistema de clasificación FAO-UNESCO (1970), los suelos del distrito de riego se clasifican en su mayoría, como vertisoles tanto pelícos como crómicos y en menor proporción existen unidades de suelos de otros tipos como luvisoles y feosem.

Por sus características textuales son suelos pesados que tienen la propiedad de expandirse y contraerse de acuerdo a los contenidos de humedad por lo que se forman grietas profundas cuando se secan, sin problemas de pedregosidad; su estructura es prismática y la capa superficial tiene un contenido rico en materia orgánica; son poco permeables y de drenaje lento, y debido a que no tienen pendiente presentan problemas de drenaje superficial.

3.4 VEGETACIÓN

La mayor parte de la superficie se encuentra abierta a la agricultura en la que se practican cultivos anuales principalmente; la vegetación natural de la zona es matorral subinermes que se encuentra en pequeños manchones en las áreas de agostadero y en menor proporción pastizales.

La vegetación natural de la zona fue importante, existiendo vestigios en los límites de las parcelas de mezquites y huizaches, cuyo desarrollo ha sido favorecido por el hombre, para que le proporcione sombra y que a la vez, sirva de cortinas rompevientos.

3.5 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.

Según la CONAGUA en el plan director para la modernización integral del Riego del Distrito de Riego 087, Rosario-Mezquite, Michoacán, El Módulo de riego Angamacutiro se encuentra en la Región Hidrológica No. 12, la principal fuente de abastecimiento es la presa Melchor Ocampo, que se encuentra ubicada en el Km. 9+000 del Río Angulo aguas arriba de la confluencia del río Lerma y a 3 km de la población de Angamacutiro. De una capacidad total de 200 Hm³ que tiene la presa Melchor Ocampo, el Módulo Angamacutiro dispone de una asignación máxima de 37.8 Hm³ de aguas superficiales.

Las características principales de la presa son las siguientes:

- ✚ Es una presa de materiales graduados.
- ✚ La capacidad de almacenamiento es 200 Hm³
- ✚ La cortina tiene una longitud de 126.0 m de base, y una altura total de 30.0 m sobre el cauce, con un ancho de corona de 8.0 m y una longitud total de 500.0 m de corona.
- ✚ La obra de toma tiene una capacidad de extracción de 25 m³/s en condición de carga mínima operativa.
- ✚ La obra de excedencias es un vertedor con capacidad de 110 m³/segundo.

3.6 INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA.

El Módulo Angamacutiro cuenta con una Infraestructura de Riego consistente en 106.6 Km de canales, de los cuales 33.5 km son revestidos y 73 km desplantados en tierra; una Red de drenaje

de 121.5 km. La red de caminos es de 166.1 km. Con sus respectivas estructuras de control, cruce y medición; 10 plantas de bombeo y 16 pozos oficiales.

3.7 FACTORES DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.

3.7.1 Cultivos, Rendimientos y Costos de producción

El Módulo Angamacutiro cuenta con suelos fértiles aptos para el desarrollo de cultivos, mismos que en primavera-verano son principalmente maíz y sorgo y en otoño-invierno trigo y cebada.

En primavera verano los rendimientos son de 9 y 8 ton/ha en maíz y sorgo respectivamente, con costos de producción muy similares que oscilan sobre los \$20,500.00/ha Para los cultivos de otoño invierno los rendimientos son de 7 y 6 ton/ha en trigo y cebada, con costos de producción también muy similares del orden de \$18,500.00/ha.

3.8 SITUACIÓN ACTUAL DEL MODULO DE RIEGO ANGAMACUTIRO.

3.8.1 Diagnóstico

Uno de los principales problemas en el Módulo Angamacutiro, es el mal estado en que se encuentra la infraestructura hidroagrícola, afectando la eficiencia del sistema de riego actual.

Un problema importante que confronta el Módulo Angamacutiro, es la gran presión social por el agua; la idea errónea de la población respecto a los derechos de uso del agua de la Presa Melchor Ocampo, por estar en las inmediaciones del módulo ha generado disputa y presión sobre este recurso.

Otro punto importante a tomar en cuenta es la falta de actualización de las cuotas de riego, esto implica insuficiencia de recursos para el mantenimiento y la adecuada operación del sistema, aunado al establecimiento de monocultivos o cultivos de hábito similar, es decir, en otoño-invierno trigo o cebada y en primavera-verano maíz o sorgo, lo que hace notar la necesidad de diversificación incluyendo cultivos alternativos, que permitirían la rentabilidad y un establecimiento de cuotas autosuficientes para atender las necesidades de operación, conservación y administración del sistema.

El constante fraccionamiento de la tenencia de la tierra implica el incremento en el padrón de usuarios, lo cual dificulta el adecuado suministro del recurso.

Además en el módulo Angamacutiro, se tiene la problemática de la baja disponibilidad de agua de gravedad concesionada en relación a la superficie con derecho.

3.8.2 Identificación de Soluciones

La solución a la problemática planteada, es un proyecto de modernización de la red de conducción, distribución y la mejora de la aplicación del riego en parcela, mediante el entubado de la red con un sistema de baja presión, y realizar el riego con tubería de multicompuertas.

A efecto de evitar el incremento de los costos de operación por consumo de energía eléctrica, en lo posible se tratará de aprovechar la carga hidráulica natural disponible que garantice el funcionamiento de al menos un sistema de riego de baja presión.

Con las acciones consideradas en el proyecto de modernización se logrará rescatar volúmenes que en condiciones tradicionales se pierden por conducción y operación mejorando sustancialmente la eficiencia global. Esto a su vez permite fortalecer la disponibilidad, mejorar el servicio y ejercer un adecuado control en la distribución, consecuentemente la disputa y presión social por el recurso se verán disminuidas.

3.9 ESTUDIO TOPOGRÁFICO.

Una de las actividades iniciales en la elaboración de proyectos ejecutivos es caracterizar el sitio del proyecto que incluye tres tipos de información: topografía de la zona de riego, caracterización del suelo y características de la fuente de abastecimiento.

3.9.1 Topografía de la zona de riego.

La base de un proyecto ejecutivo para sistemas de riego es el levantamiento topográfico de la zona de riego que debe contener la información planimétrica y altimétrica del terreno bajo la influencia del sistema, se deben identificar límites divisorios de las parcelas, caminos, construcciones, líneas de energía y fuentes de abastecimiento. Un plano detallado de la topografía del terreno es requerido, sobre todo en terrenos desnivelados para estimar la variabilidad

potencial de las presiones y los correspondientes gastos de los emisores. La pendiente del terreno es útil para definir la ubicación de tuberías, el sentido de flujo y detectar posibles problemas durante la aplicación del agua, especialmente en sistemas móviles de riego como pivotes y frontales, para conocer las restricciones en el avance de los componentes móviles (CNA, 2002).

3.9.2 Superficie de la zona de riego.

Se debe conocer con precisión la superficie total del proyecto, que es la base para determinar la capacidad del sistema. Es importante conocer no sólo la superficie total de la zona del proyecto sino también la superficie regable, cuantificando con precisión el área no regable absorbida por caminos, drenes, construcciones y cualquier otra superficie no agrícola. Se deben incluir superficies que consuman agua de la misma fuente de abastecimiento, como el caso de jardines, estanques de producción acuícola, albercas, etc. El proyecto debe considerar los requerimientos de agua para fines no agrícolas: doméstico, industrial, acuícola y abrevadero.

3.9.3 Lotificación de la zona.

La lotificación parcelaria debe ser producida por el levantamiento topográfico. La ubicación, forma y dimensiones de cada parcela es importante para ubicar y cuantificar con precisión los dispositivos del sistema de riego (hidrantes, emisores, red de distribución, etc.). La ubicación de singularidades topográficas, legales o sociales son de suma importancia durante la fase de diseño que involucra la ubicación de barrancas, canales, regaderas, bardas, carreteras, límites parcelarios, etcétera.

3.9.3.1 *Plano planimétrico y altimétrico de la zona*

El objetivo final del levantamiento topográfico de la zona de riego es la elaboración del plano topográfico que representa la altimetría y planimetría de la zona y en particular para cada uno de los lotes. El plano es usado para el diseño del sistema de riego y ubicar y dimensionar cada uno de sus componentes. El plano debe mostrar curvas de nivel espaciadas de 0.2 a 1.0 m, dependiendo del tipo de sistema de riego, para estimar las pendientes naturales y el relieve del terreno con precisión. Es importante incluir el sentido del riego actual en cada parcela (si existiese), ubicando sus tomas o hidrantes. Lo anterior no sólo es importante durante la

verificación del levantamiento topográfico sino para la selección, diseño y operación del tipo de sistema de riego.

La ubicación de la fuente de abastecimiento en el plano topográfico permite determinar la carga hidráulica disponible o necesaria para el sistema de riego, así como el dimensionamiento de la línea de suministro para llevar el agua de la fuente a la zona de riego. La localización de la fuente con información altimétrica y planimétrica es útil para localizar los dispositivos de seguridad, control y operación (CNA-IMTA, 2002).

3.10 DISEÑO AGRONÓMICO.

El diseño agronómico del proyecto de riego, consiste en obtener los siguientes parámetros: la capacidad total del sistema de riego, el gasto y presión por hidrante o emisor, localización y características de los mismos dentro de la parcela o sección de riego, el gasto y tiempo de aplicación por puesta o sección de riego. De manera que el diseño agronómico sea el proceso que garantice que el sistema de riego proyectado sea capaz de suministrar las necesidades hídricas del cultivo durante el periodo de máxima demanda (CNA-IMTA, 2002).

3.10.1 Requerimiento de riego.

Los requerimientos de riego para la época de máxima demanda son indispensables para estimar la capacidad del sistema de riego (Q_s).

Los requerimientos de riego (RR) se definen como la suma de necesidades hídricas de los cultivos menos las aportaciones naturales o artificiales de agua que alcanzan la zona radical durante un periodo de tiempo, lo cual se puede calcular con la expresión (3.1).

$$RR = ET_r + LL - Pe - Am \quad (3.1)$$

donde:

E_r: Evapotranspiración real de los cultivos (mm)

LL: Lámina de lavado (mm)

Pe: Precipitación efectiva (mm)

Am: Aportación del manto freático (mm)

RR: Requerimientos de riego (mm)

La estimación periódica de la evapotranspiración real de un cultivo (E_t) en una zona de riego constituye la base para estimar los requerimientos hídricos de los cultivos. Como es difícil generar una metodología para estimar directamente la evapotranspiración real (E_t) es necesario estimar primeramente la evapotranspiración de un cultivo de referencia (E_{t_0}) para aislar el efecto del tipo del cultivo. Posteriormente, se ajusta el valor de E_{t_0} con un factor que toma en cuenta el tipo y etapa del cultivo, este factor se conoce como coeficiente de cultivo (K_c) (IMTA, 2007).

3.10.1.1 Evapotranspiración de referencia (E_{To}).

La evapotranspiración de referencia es la evapotranspiración potencial de un cultivo con características específicas (de referencia), usualmente pasto o alfalfa, que tiene sentido físico ya que su evapotranspiración se puede calcular directamente a través de estimaciones directas de los cambios en peso de un tanque lisimétrico. El concepto de evapotranspiración de referencia permite aislar exclusivamente las demandas evapotranspirativas de la atmósfera de otros factores como prácticas de manejo, tipo y fase de cultivo al definir un cultivo fijo bajo condiciones óptimas de humedad (CNA-IMTA, 2002).

El concepto de evapotranspiración incluye tres diferentes definiciones: Evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{To}), evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (E_{Tc}) y evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar ($E_{Tc aj}$). E_{To} es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera. E_{Tc} se refiere a la evapotranspiración en condiciones óptimas presentes en parcelas con un excelente manejo y adecuado aporte de agua y que logra la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas. E_{Tc} requiere generalmente una corrección, cuando no existe un manejo óptimo y se presentan limitantes ambientales que afectan el crecimiento del cultivo y que restringen la evapotranspiración, es decir, bajo condiciones no estándar de cultivo (Willits, 2003).

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina E_{To} . La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas.

Los únicos factores que afectan ETo son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ETo es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. ETo expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo. Desde este punto de vista, el método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación de ETo con parámetros climáticos (IMTA, 2007).

Este método ha sido seleccionado debido a que aproxima de una manera cercana la ETo de cualquier localidad evaluada, tiene bases físicas sólidas e incorpora explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos.

A. Método de FAO Penman-Monteith. El método FAO Penman-Monteith se recomienda actualmente como el método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia, ET_o. Este fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia como un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12m, con una resistencia superficial de 70 s m⁻¹ y un albedo de 0,23 y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado. El método reduce las imprecisiones del método anterior de FAO Penman y produce valores más consistentes con datos reales de uso de agua de diversos cultivos (Willits, 2003).

La ecuación combinada de FAO Penman-Monteith está dada con la expresión (3.2).

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (3.2)$$

donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia (mm /día),

R_n = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹),

R_a = radiación extraterrestre (mm/ día),

G = flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹),

T = temperatura media del aire a 2 m de altura (°C),

u₂ = velocidad del viento a 2 m de altura (m /s),

- e_s = presión de vapor de saturación (kPa),
- e_a = presión real de vapor (kPa),
- $e_s - e_a$ = déficit de presión de vapor (kPa),
- Δ = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/ °C),
- γ = constante psicrométrica (kPa/ °C).

La ecuación utiliza datos climáticos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. Para asegurar la precisión del cálculo, los datos climáticos deben ser medidos o ser convertidos a 2 m de altura, sobre una superficie extensa de pasto verde, cubriendo completamente el suelo y sin limitaciones de agua.

a. Datos necesarios.

Localización. La altura sobre el nivel del mar (msnm) de la zona para la que se determina la ET_o y su latitud (grados norte o sur) deben ser especificados. Estos datos son necesarios para ajustar algunos parámetros climáticos al valor medio local de la presión atmosférica (función de la elevación del sitio sobre nivel del mar) y para calcular la radiación extraterrestre (R_a) y, en algunos casos, la duración máxima de la insolación (N). En los procedimientos del cálculo para R_a y N, la latitud se expresa en radianes (grados decimales $\pi/180$). Un valor positivo se utiliza para el hemisferio norte y un valor negativo para el hemisferio sur.

Temperatura. Para la aplicación de la fórmula FAO Penman-Monteith, se requiere información de temperatura diaria (promedio) máxima y mínima en grados centígrados (°C).

Humedad. El valor de la presión real (promedio) diaria de vapor, (e_a), en kilopascales (kPa) se requiere como dato de entrada para la aplicación de la ecuación FAO Penman-Monteith. En caso de que los valores de presión real de vapor no estén disponibles, estos pueden ser derivados de la humedad relativa máxima y mínima (%), de los datos psicrométricos (temperaturas de bulbo seco y mojado en °C) o de la temperatura del punto de rocío (°C).

Radiación. La radiación neta diaria (promedio) está expresada en Mega Joules por metro cuadrado por día ($MJ\ m^{-2}\ día^{-1}$). Estos datos no están disponibles comúnmente en forma directa pero pueden derivarse de la radiación de onda corta (promedio) medida con un piranómetro o de la duración real diaria (promedio) del sol brillante (horas por día) medida con el heliógrafo.

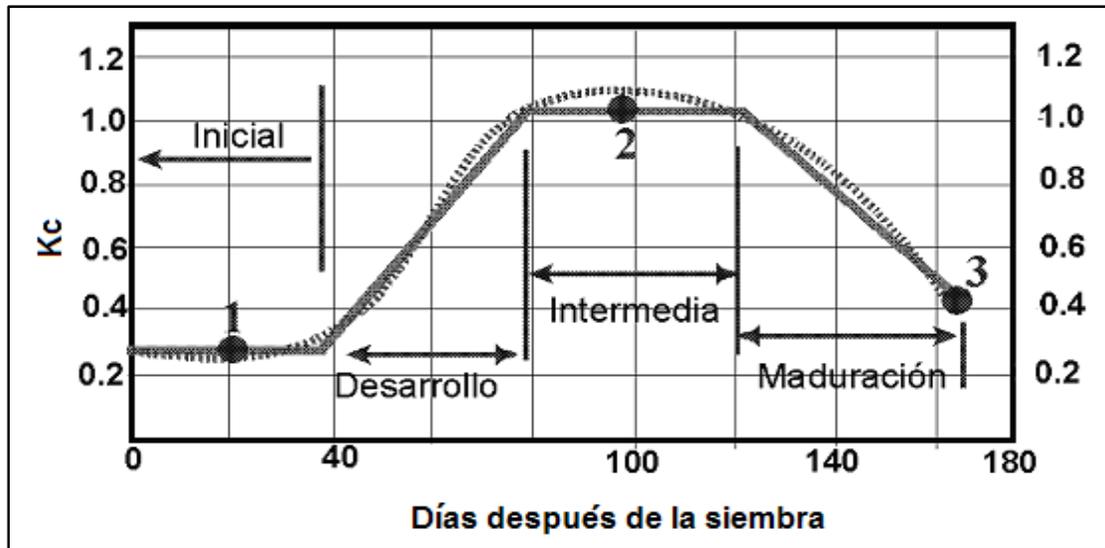
Viento. Para la aplicación de la ecuación FAO Penman-Monteith se requiere contar con la velocidad del viento (promedio) diaria en metros por segundo (ms^{-1}) medida a 2m de altura sobre el nivel del suelo. Es importante verificar la altura a la cual se mide velocidad del viento, pues velocidades del viento medidas a diversas alturas sobre la superficie del suelo presentan con seguridad valores diferentes.

3.10.1.2 Coeficientes de cultivos (K_c)

El coeficiente de cultivo (K_c) relaciona la evapotranspiración potencial (E_t_p) de un cultivo con la evapotranspiración de un cultivo de referencia (E_t_0). Se han realizado una gran cantidad investigaciones en diversas partes del mundo para obtener simultáneamente tanto E_t_p como E_t_0 y obtener el coeficiente de cultivo con la expresión (3.3).

$$K_c = \frac{E_t_p}{E_t_0} \quad (3.3)$$

Para simplificar la variación del coeficiente de cultivo con respecto al tiempo, se usan cuatro líneas para representar la variación de K_c , tal como se muestra en la Figura 3.3. Las cuatro líneas rectas corresponden a cuatro fases o etapas fenológicas del cultivo. Durante la fase inicial el valor de K_c es constante, durante la fase de desarrollo el valor de K_c es lineal, para la fase intermedia o de máximo consumo el valor de K_c es constante, para finalmente tener un relación inversa lineal entre el valor de K_c y la duración del cultivo (CNA, 2002).



FUENTE: CNA, 2002

Figura 3.3 Variación típica del coeficiente de cultivo durante el ciclo de un cultivo

3.10.2 Capacidad del sistema.

La capacidad requerida de un sistema para satisfacer las demandas de riego de una zona agrícola con fines de elaboración de proyectos ejecutivos se le conoce como capacidad del sistema (Q_s), y se define como el gasto que el sistema de riego debe suministrar, en la temporada de máxima demanda, a la zona del proyecto.

Para poder satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, un sistema de riego debe proveer del caudal necesario, conocido como la capacidad del sistema (Q_s), expresada en unidades de volumen/tiempo. La ecuación general para calcular la capacidad del sistema (Q_s) en l/s para una zona de riego está dada con la expresión (3.4):

$$Q_s = K \frac{(RR_{dd})_{ZR} A_T}{E_g HPD} \quad (3.4)$$

donde:

K : Constante con un valor de 277.8 para la unidades usadas.

$(RR_{dd})_{ZR}$: Requerimiento de riego diario de diseño de la zona de riego (mm/día) estimado con la ecuación.(3.1).

A_T : Área total (ha) a regar.

E_g : Eficiencia global de riego (porcentaje) desde la fuente a la zona radical.

HPD : Horas por día que el sistema opera (h).

3.11 DISEÑO HIDRÁULICO

3.11.1 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 ejecutivo de tecnificación del riego.

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).

3.11.1.1 Métodos para realizar el diseño hidráulico.

B. Método que optimiza el costo de tubería y la operación del sistema. 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, aumenta su precio 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.

C. 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). Mismo que 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.

a. Método de Clement. Planells *et 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 $Q_0 = N \cdot d$. 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 de conducción en 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.

3.11.2 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 (Planells, 1999).

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 sacacosechas 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 retorne 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 3.4 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 algunas veces será necesario cruzar lotes para que de esta manera se pueda reducir la longitud de la tubería. La decisión final es de los usuarios del sistema de riego y del proyectista, principalmente.

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.

- ✚ Costo anualizado (CA) de la tubería
- ✚ Costo anual de operación por metro de carga
- ✚ Restricción de carga de presión
- ✚ Restricción de longitud
- ✚ Determinación de las pérdidas de carga

3.11.4 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 XP/7 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.

3.11.4.1 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 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.

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

3.11.4.2 *GESTAR*

Es un paquete informático para la ingeniería de sistemas de riego a presión (redes de distribución colectivas y sistemas de aplicación del riego en parcela). Sus herramientas y módulos, específicamente concebidos para el contexto de los riegos a presión, y largamente contrastados, faculta su mejor diseño, ejecución y gestión, con una amplia integración de recursos, muchos de ellos disponibles de forma exclusiva, y una larga trayectoria de innovaciones y aplicaciones a grandes y pequeños sistemas, siendo algunas de sus principales características resumidas a continuación.

- ✚ **Integración de módulos de optimización, análisis hidráulico y energético en un mismo entorno:** Permite hallar soluciones mucho más económicas y fiables que las encontradas mediante procesos que simplemente se basan en rutinas de optimización.
- ✚ **Elevadas prestaciones de optimización para redes ramificadas:** Para facilitar encontrar soluciones con reducciones importantes de costos del sistema.
- ✚ **Módulo de análisis:** desarrollado específicamente y con capacidades exclusivas, tales como Análisis Inverso, tratamiento eficaz de Elementos de baja resistencia y válvulas reguladoras, modelización general de emisores puntuales y laterales emisores con caudal emitido dependiente de la presión, curvas características de bombas con puntos de inflexión, modelización de estaciones de bombeo directo.
- ✚ **Entorno “inter-operable”:** utilizando el estándar ACCESS como intermediario de comunicación, con todo tipo de sistemas CAD/GIS o programas terceros, a lo que se unen utilidades para la comunicación bidireccional con AutoCAD.
- ✚ **Disponibilidad de bases de datos:** Para tuberías, válvulas, pérdidas singulares, aspersores, ramales de goteo, fluidos, tarifas eléctricas, bombas.

Aunque este software aparece entre los de libre acceso, es necesario mencionar que las versiones gratuitas tienen una limitante de componentes de la red a analizar, teniendo que recurrir a la versión Premium para proyectos extensos.

3.11.4.3 WCADI (*Weizman Computer Aided Design Irrigation*).

Ésta es otra sugerencia para el diseño hidráulico de redes hidráulicas, 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 expresión (3.5)

$$H = 10.62L \frac{\left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852}}{D^{4.871}} \quad (3.5)$$

donde:

H = Pérdida de carga o de energía (m)

L = Longitud de tubería (m)

Q = Gasto del tramo en m³/s.

D = Diámetro Interior de la tubería (m)

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

Cuadro 3.1 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

FUENTE: CNA-IMTA, 2002.

Características hidráulicas del sistema de cómputo WCADI.

- ✚ No existe límite en cuanto al tamaño y el tipo de la red (red abierta o red cerrada) a procesar.
- ✚ Las pérdidas de carga pueden calcularse mediante las fórmulas de Hazen-Williams, de Darcy-Weisbach y de Chezy-Manning.
- ✚ Considera pérdidas localizadas de piezas y accesorios, pueden introducirse manualmente para cada uno.
- ✚ 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.
- ✚ Optimiza redes secundarias en los sistemas de riego localizado tomando en cuenta la presión y gasto del emisor.
- ✚ 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.

3.12 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.

3.12.1 Evaluación financiera

En este concepto se deben analizar todos los aspectos monetarios del proyecto, en cuanto a la estructura para su financiamiento como: si las fuentes son las más adecuadas y confiables, así como los beneficios económicos que pueden llegar a generarse con la puesta en marcha del proyecto en cuestión (CEFP, 2010).

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.

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:

D. 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).

E. 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 Valor Presente Neto 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).

3.12.2 Evaluación económica

Este concepto se trata de un análisis metodológico que permite comparar los costos y los beneficios presupuestados a fin de determinar si el proyecto generará una adecuada rentabilidad financiera, y así definir en base a los indicadores de rentabilidad si es conveniente o no la realización del proyecto en estudio.

La **evaluación social o 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).

F. Precios sociales. Los precios denominados 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.

3.12.3 Indicadores de rentabilidad.

G. 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 (3.6):

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} \quad (3.6)$$

donde:

B_t = beneficios totales en el año t

C_t = costos totales en el año t

B_t - C_t = 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.

H. 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 (3.7).

$$\sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (3.7)$$

I. Costo Anual Equivalente (CAE). 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 (3.8):

Costo Anual Equivalente (CAE):

$$CAE = (VPC) \left[\frac{r(1+r)^m}{(1+r)^m - 1} \right] \quad (3.8)$$

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 expresión (3.9):

$$VPC = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (3.9)$$

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.

J. 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.

El material utilizado para la realización de la tesina, se enlista a continuación:

- ✚ Cartografía
- ✚ Equipo Topográfico
- ✚ Equipo de cómputo, software y papelería
- ✚ Medios de transporte
- ✚ Medios de comunicación
- ✚ Bibliografía

Para la realización del trabajo se recopiló, depuró y analizó la información disponible del área de estudio en las oficinas del Módulo, así como la que fue proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y Cartografía de INEGI.

Se llevaron a cabo visitas de campo, reuniones con los usuarios y los estudios topográficos del Módulo Angamacutiro.

4.1 PROPUESTA TÉCNICA

4.1.1 Análisis de alternativas

Tomando como base la información disponible así como la obtenida a través de los estudios básicos, y considerando la experiencia y planteamientos de los beneficiados, se realizaron cuatro propuestas para resolver la problemática, de cuyo análisis se determinó la más conveniente.

Las propuestas son:

- ✚ Conexión desde el repartidor.
- ✚ Conexión desde el canal principal margen derecha, km 17+970.
- ✚ Conexión desde la presa.
- ✚ Conexión desde diferentes puntos

4.1.2 Estudio Topográfico.

4.1.2.1 *Visita de campo*

El recorrido preliminar tuvo como objetivo reconocer las características de la zona de estudio y las condiciones en que se encuentra la infraestructura hidroagrícola tales como, la Presa Melchor Ocampo, los canales principales Margen Derecha y Margen Izquierda para determinar la estrategia de trabajo a seguir, el personal necesario, así como la cantidad y tipo de equipo necesario para realizar el levantamiento topográfico. En la Figura 4.1 se muestra las condiciones actuales del canal.



Figura 4.1 Recorrido de campo

4.1.2.2 Levantamiento Topográfico

Un levantamiento topográfico permite hacer una representación gráfica que cumpla con todos los requerimientos necesarios para ubicar un proyecto y plasmar una obra en terreno, ya que éste da una representación completa, tanto del terreno en su relieve como en las obras existentes. Ver Figura 4.2 .

El estudio topográfico consistió en realizar el levantamiento detallado de la zona de riego del Módulo Angamacutiro, obteniéndose información planimétrica y altimétrica del área de estudio, identificando límites divisorios de las parcelas, caminos, construcciones, cruces, alcantarillas, vías férreas, poblaciones, líneas de energía y fuentes de abastecimiento. Mediante esta información se obtuvieron los planos detallados de la topografía del terreno. El material utilizado para la realización de la tesina, se enlista a continuación:

- ✚ Cartografía
- ✚ Equipo Topográfico
- ✚ Equipo de cómputo, software y papelería
- ✚ Medios de transporte
- ✚ Medios de comunicación
- ✚ Bibliografía

Para la realización del trabajo se recopiló, depuró y analizó la información disponible del área de estudio en las oficinas del Módulo, así como la que fue proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y Cartografía de INEGI.

Se llevaron a cabo visitas de campo, reuniones con los usuarios y los estudios topográficos del Módulo Angamacutiro.



Figura 4.2 Identificación de la zona de estudio

4.1.3 Diseño Agronómico

Una vez elegida la propuesta se prosiguió a realizar el diseño agronómico, el cual consiste en obtener los siguientes parámetros: la capacidad total del sistema de riego, el gasto y presión por hidrante o emisor, localización y características de los mismos dentro de la parcela o sección de riego, el gasto y tiempo de aplicación por puesta o sección de riego. De manera que el diseño agronómico sea el proceso que garantice que el sistema de riego proyectado sea capaz de suministrar las necesidades hídricas del cultivo durante el periodo de máxima demanda.

Para realizar el diseño agronómico se utilizó la siguiente información:

- ✚ Localización (longitud, latitud y altitud)
- ✚ Datos del clima (se tomó la estación Angamacutiro, cuya clave es 16005)
- ✚ Patrón de cultivos

Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o) se utilizó el método FAO Penman-Monteith dada por la expresión (3.2).

Posteriormente se procedió al cálculo de los requerimientos de riego de los cultivos establecidos en la zona de estudio, cuya fórmula utilizada fue la expresión (3.1), adicional a los datos anteriores, para este cálculo se requieren los datos de la distribución de precipitación a lo largo del año para la determinación de la precipitación efectiva.

Con el requerimiento de riego se determinó el gasto requerido en el sistema, cuya ecuación es la expresión (3.4), para lo cual fue necesaria la siguiente información:

- ✚ Área: Determinada por el estudio topográfico
- ✚ Requerimiento de riego: Calculado anteriormente
- ✚ Eficiencia global del sistema
- ✚ Tiempo de riego

Una vez que se realizó lo anterior, se procedió a determinar los parámetros de diseño a nivel de parcela. Para el diseño de multicompuertas se usaron datos como la superficie total, la pendiente media del terreno, el espaciamiento entre compuertas, la eficiencia de aplicación y conducción que se espera lograr, el requerimiento de riego (obtenido anteriormente con el método de Penman-Monteith)

4.1.4 Diseño Hidráulico

El diseño hidráulico del sistema de riego a baja presión por multicompuertas comprende la ubicación de los hidrantes, considerando que tengan una distribución promedio de 2 ha por hidrante, además de que estén ubicados estratégicamente en las partes más altas del terreno, y que los tendidos de riego, tengan una distancia acorde al tipo de textura del suelo.

Asimismo el trazo de la tubería de conducción, se considera conectando todos los hidrantes, tratando que la tubería no atravesase los terrenos agrícolas, minimizando los cruces de caminos, canales, drenes, etc., y evadiendo construcciones u otros tipo de configuración natural del terreno que dificulte la instalación de la misma.

Posteriormente se calculan los diámetros y clases de tubería óptimos para el buen desempeño hidráulico del sistema, en función de los gastos y las presiones requeridas en los hidrantes parcelarios, dichos cálculos se realizaron con el software para diseño de redes hidráulicas, WCADI.

El diseño hidráulico de la línea de conducción se realizó utilizando la técnica de Clement asegurando un gasto constante de 40 L/s en cada hidrante, pudiendo funcionar un número máximo de hidrantes dependiendo del cálculo de la capacidad del sistema.

4.1.5 Diseño Electromecánico.

Para el caso de las zonas que utilizan bombeo, se procedió a realizar el diseño electromecánico, el cual consiste en un sistema de impulsión encargado de proporcionar energía cinética; para lo cual, transforma la energía mecánica en energía de movimiento.

El sistema de impulsión tiene dos elementos básicos: el motor y la bomba. El motor puede ser eléctrico o de combustión interna; pero en general, la bomba es tipo centrífuga. En consecuencia, el sistema de impulsión, según sus elementos, puede tener dos tipos de configuración: mecánico-mecánico o eléctrico-mecánico. Para estas zonas, se utilizará el sistema de impulsión cuya configuración es eléctrico-mecánico, conocido simplemente como equipo electromecánico; pues este tipo de sistema desarrolla la máxima eficiencia de conversión de energía.

En esta etapa se determinó el cálculo y selección del equipo de bombeo, la caracterización del tren de descarga y la subestación eléctrica.

Para el cálculo del equipo de bombeo se debe conocer el gasto de operación total del sistema y la carga requerida por el mismo, estos datos se obtuvieron del diseño hidráulico, posteriormente a través de software se eligió el equipo de bombeo que cumple con los requerimientos del sistema. De esta manera se obtuvieron los parámetros y capacidades de los elementos del sistema electromecánico, tales como potencia de la bomba y capacidad de la subestación eléctrica, entre otros.

Una vez obtenidas las características del equipo de bombeo, éste se acopló a un tren de descarga que servirá como enlace con el sistema de conducción, además de permitir que se instalen elementos o dispositivos de seguridad, control y medición del sistema.

Para el diseño electromecánico se planteó la construcción de 7 plantas de bombeo tipo, las cuales contienen el sistema mecánico y el sistema eléctrico de cada una de estas plantas.

4.1.6 Diseño de Obra Civil

En esta etapa se diseña el cárcamo de bombeo y en algunos casos sólo la obra de toma, el canal de llamada, las instalaciones en donde se alojará el equipo eléctrico, la caseta de controles, los atraques y otros elementos adicionales. El cárcamo de bombeo es la obra civil más importante, ya

que es esencial para la correcta operación del sistema de impulsión; el cárcamo de bombeo y el resto de las obras se diseñan para satisfacer la demanda de agua del sistema de riego.

4.1.6.1 *Obra de toma*

En general, se puede decir que esta obra permite tomar el agua del canal, las partes de la obra de toma son: el acceso, la estructura de entrada, las rejillas, el mecanismo de control y el conducto. La obra de toma se caracteriza porque la longitud del conducto a la descarga debe ser la mínima, en el que no resulten grandes volúmenes de excavación, en un tramo lo más recto posible y alejado de curvas, con pendiente suave y uniforme, evitando lugares cercanos a caídas y rápidas. La obra de toma consta de la obra civil construida para la extracción del agua de la fuente de abastecimiento.

El cálculo hidráulico de la obra de toma y el conducto se realiza, de tal forma que, pueda conducir el gasto máximo del sistema de riego generando la mínima pérdida de energía posible. Ya que este gasto es el necesario para satisfacer la demanda de la zona de riego, para la máxima demanda evapotranspirativa del cultivo.

Así pues, el diseño estructural de la obra de toma consiste en determinar los espesores y el armado necesario en muros y losas; así como, el cálculo del conducto.

En este caso se planteó la construcción de 5 obras de toma tipo, con la capacidad suficiente para abastecer cada zona.

4.1.6.2 *Cárcamo de bombeo.*

El cárcamo de bombeo es un depósito enterrado, en general de concreto, la función básica del cárcamo es tomar el agua de la fuente de abastecimiento; eliminar la mayor cantidad de sólidos en suspensión y azolves del agua; y ponerla a disposición del equipo de bombeo para que éste la impulse al sistema de riego. Las partes básicas del cárcamo de bombeo son: la obra de toma, el sedimentador, el sistema de pre filtrado y el foso de bombeo.

En este rubro se planteó la construcción de 7 cárcamos de bombeo tipo, con la capacidad suficiente para abastecer cada zona.

4.1.7 Operación del Sistema

La operación del sistema de riego comprende las actividades necesarias para establecer un adecuado control en el manejo de los métodos y equipos utilizados, con base en las especificaciones del diseño agronómico e hidráulico.

En los sistemas de baja presión y multicompuertas es necesario definir el número de hidrantes o frentes de riego que se tienen de manera simultánea a nivel de lateral y de toda la red. Así como la presión y el gasto en cada punto de entrega del agua.

4.2 EVALUACIÓN TÉCNICA

Para la realización de la evaluación técnica se analizaron las diferentes partes que contempla la propuesta técnica, las cuales se presentan a continuación.

4.2.1 Análisis de alternativas

De acuerdo a las bondades de cada una de las alternativas propuestas, considerando la opinión de los propios beneficiados y en base a un análisis técnico, se evaluó la alternativa de solución.

4.2.2 Estudio topográfico

Con el estudio topográfico se evaluaron las cargas naturales disponibles para poder definir las zonas que requieren bombeo y las que disponen de carga natural. Así mismo se evaluará que los trazos de los diseños de las líneas de conducción y distribución sean los más convenientes.

4.2.3 Diseño agronómico

Para la evaluación del diseño agronómico se compararon los volúmenes requeridos por los cultivos del proyecto contra la disponibilidad de los volúmenes concesionados.

4.2.4 Diseño Hidráulico

En el diseño hidráulico se evaluó que los diámetros obtenidos en la red de conducción y distribución del sistema sean suficientes para conducir los gastos de operación y presión requerida en cada uno de los hidrantes del sistema.

4.2.5 Diseño electromecánico

Una vez definidas las zonas que requieren bombeo, se evaluaron los equipos verificando que los puntos de operación cumplan con los requerimientos de gasto y presión obtenidos en el diseño hidráulico y además se evaluarán las características del tren de descarga y subestación eléctrica que garanticen la seguridad y funcionalidad del sistema.

4.2.6 Diseño de Obra Civil

La propuesta de obra de toma y cárcamo de bombeo se evaluaron acorde a los gastos de operación del sistema.

4.2.7 Operación del Sistema

La operación del sistema se evaluó tomando en cuenta que el gasto de los hidrantes operando en un turno sea congruente con la capacidad del sistema.

4.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.3.1 Evaluación económica del proyecto.

Para llevar a cabo la evaluación económica del proyecto se tomaron como base los lineamientos establecidos en el método de evaluación de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) para programas y proyectos de inversión (PPI's) 2012.

El análisis se presenta bajo tres escenarios: situación actual, situación sin proyecto optimizada y situación con proyecto. Los beneficios y costos evaluados en el proyecto se calculan por la diferencia entre los escenarios de situación sin proyecto optimizada y la situación con proyecto.

4.3.1.1 Identificación de Costos y Beneficios.

Esta etapa de la evaluación económica se considera como una de las más importantes y trascendentes en el proceso ya que explica de forma detallada cómo identificar, cuantificar y valorar los costos.

Para el caso del proyecto los costos identificados van relacionados a la inversión en los componentes propuestos y a la puesta en marcha de los mismos, es decir se generan costos de operación y mantenimiento atribuibles a la nueva infraestructura, los beneficios atribuibles al presente proyecto se dan por el incremento de la valoración de la producción agrícola al pasar de la situación sin proyecto optimizada a la situación con proyecto.

4.3.1.2 Vida útil del proyecto y horizonte de evaluación.

Para el horizonte de evaluación del proyecto se consideran 30 años, que corresponden al tiempo de vida útil de la infraestructura propuesta.

4.3.1.3 Situación sin proyecto.

En la situación sin proyecto se presenta un análisis de las condiciones actuales del patrón de cultivos, tanto productivas como económicas.

4.3.1.4 Optimización de la situación actual.

En esta etapa se describen las medidas administrativas, técnicas, operativas, así como inversiones de bajo costo (menos del 10% del monto total de inversión), entre otras, que serían realizadas en caso de no llevar a cabo el programa o proyecto de inversión.

4.3.1.5 Situación con Proyecto.

En esta etapa se incluye el análisis de la situación esperada en caso de que se realice el proyecto, es decir se muestran los impactos positivos en los beneficios cuantificados monetariamente contemplando los costos de inversión en los que se incurrirá y los costos de operación y mantenimiento a lo largo del horizonte de evaluación.

En esta etapa se describen los siguientes elementos:

- A.** El cambio para lograr la rentabilidad.
- B.** Superficie proyectada.
- C.** Proyección de los rendimientos.
- D.** Precios medios rurales.
- E.** Costos y valor neto de la producción.
- F.** Costos de operación y mantenimiento.
- G.** Inversión fija.
- H.** Flujo de costos y beneficios.
- I.** Rentabilidad del proyecto y análisis de sensibilidad.

4.3.1.6 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad tiene el objetivo de identificar aquellas variables que, en caso de presentar cambios significativos durante la ejecución u operación, provocarían cambios en los

indicadores de rentabilidad y de esta manera determinar si el VPN podría ser negativo y la TIR menor a la tasa social de descuento. Para tal efecto se analizan los siguientes escenarios:

1. Variación en los Beneficios Netos del Proyecto.
2. Variación en los Montos de Inversión.
3. Variación en los Precios Medios Rurales.
4. Variación en los Costos de Producción.

B. Conexión desde el canal principal margen derecha, km 17+970.

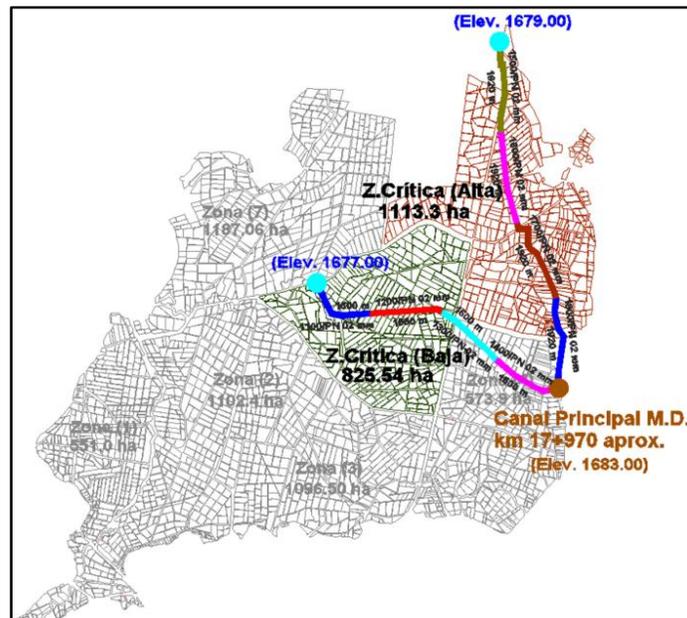


Figura 4.4 Conexión desde el canal principal margen derecha, Km 17+970

Ventajas

- ✚ No se requiere de energía eléctrica para su funcionamiento.

Desventajas

- ✚ Alto costo de inversión inicial por unidad de superficie
- ✚ La superficie que se domina hidráulicamente es reducida
- ✚ Tramo muerto de tubería que servirá sólo de conducción
- ✚ Requiere bombes en las áreas no dominadas

C. Conexión desde la presa.

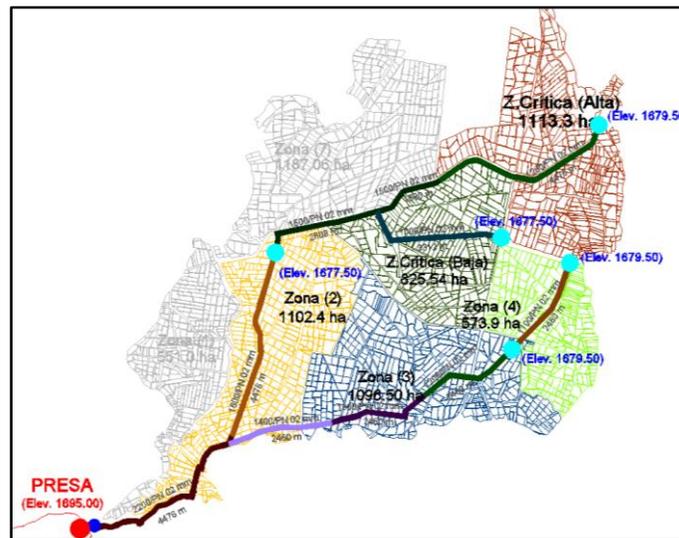


Figura 4.5 Conexión desde la presa

Ventajas

- ✚ No habrá limitaciones de riego por falta de carga hidráulica.
- ✚ El tramo muerto de tubería de conducción es mínimo.
- ✚ Mayor control en el suministro y distribución de los volúmenes con el consecuente mejoramiento de la eficiencia global

Desventajas

- ✚ Altos costos para la adecuación de la obra de toma de la presa, ya que actualmente está diseñada para trabajar a presión atmosférica

D. Conexión desde diferentes puntos

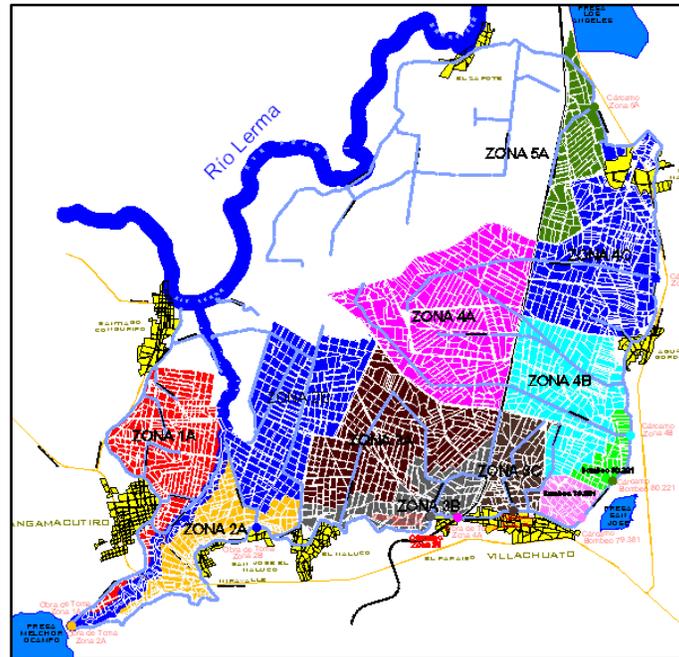


Figura 4.6 Conexión desde diferentes puntos

Ventajas

- ✚ Considera las necesidades planteadas por los usuarios
- ✚ Se aprovecha la carga hidráulica natural disponible en puntos estratégicos
- ✚ Se eliminan tramos muertos de conducción de gran diámetro
- ✚ Menores costos de inversión

Desventajas

- ✚ Se requiere sistema de bombeo en las partes altas
- ✚ Esta alternativa está constituida por varios sistemas independientes

5.1.1.1 Descripción de la alternativa seleccionada.

Para la presente alternativa el proyecto contempla la tecnificación del Módulo Angamacutiro a nivel parcelario a través de un sistema de riego a baja presión por multicompuertas, de tal manera que el área de estudio se dividió en 12 zonas, obedeciendo por una parte, a las necesidades de los usuarios, y por otra, aprovechando la carga hidráulica natural disponible en algunos puntos

estratégicos. Resultando 5 zonas que funcionarán con carga hidráulica natural y 7 que requieren de bombeo.

Los puntos de conexión que se utilizaron como fuente de abastecimiento fueron: el repartidor ubicado a la salida de la presa Melchor Ocampo y distintos puntos a lo largo del Canal Margen Derecha, cabe mencionar que este canal actualmente se encuentra revestido.

Los componentes principales del proyecto son los siguientes:

- ✚ Equipo de bombeo (para los 7 proyectos de bombeo)
- ✚ Tren de descarga
- ✚ Cárcamo
- ✚ Cajas de protección, atraques y cruces
- ✚ Movimientos de tierras
- ✚ Suministro e instalación de tuberías
- ✚ Obra eléctrica
- ✚ Pruebas

Las características principales por cada zona de proyecto se muestran en el Cuadro 4.1

Cuadro 4.1 Características de las zonas que comprenden el proyecto

ZONA	SUPERFICIE (ha)	PUNTO DE CONEXIÓN	FUENTE DE ENERGÍA	TIPO DE SISTEMA
ZONA 1A	452.965	Repartidor	Carga hidráulica natural	Multicompuertas
ZONA 2A	274.953	Repartidor	Carga hidráulica natural	Multicompuertas
ZONA 2B	545.658	Canal	Carga hidráulica natural	Multicompuertas
ZONA 3A	589.185	Canal	Carga hidráulica natural	Multicompuertas
ZONA 3B	252.099	Canal	Equipo de bombeo	Multicompuertas
ZONA 3C	178.129	Canal	Equipo de bombeo	Multicompuertas
ZONA 4A	820.01	Canal	Carga Hidráulica Natural	Multicompuertas
ZONA 4B	472.447	Canal	Equipo de bombeo	Multicompuertas
ZONA 4C	607.191	Canal	Equipo de bombeo	Multicompuertas
ZONA 5A	239.739	Canal	Equipo de bombeo	Multicompuertas
A79.381	79.381	Canal	Equipo de bombeo	Multicompuertas
A80.221	80.221	Canal	Equipo de bombeo	Multicompuertas
TOTAL	4,591.98			

5.1.2 Estudio Topográfico.

Para caracterizar el sitio del proyecto se elaboró un plano general donde se aprecian las zonas de riego (ANEXO 1), indicando obstáculos presentes en la zona de proyecto y los puntos de entrega del agua a nivel parcelario, el tipo y la fuente de abastecimiento, además de contar con información útil para el diseño del sistema de riego y ubicar y dimensionar cada uno de sus componentes. Ver Figura 5.1.

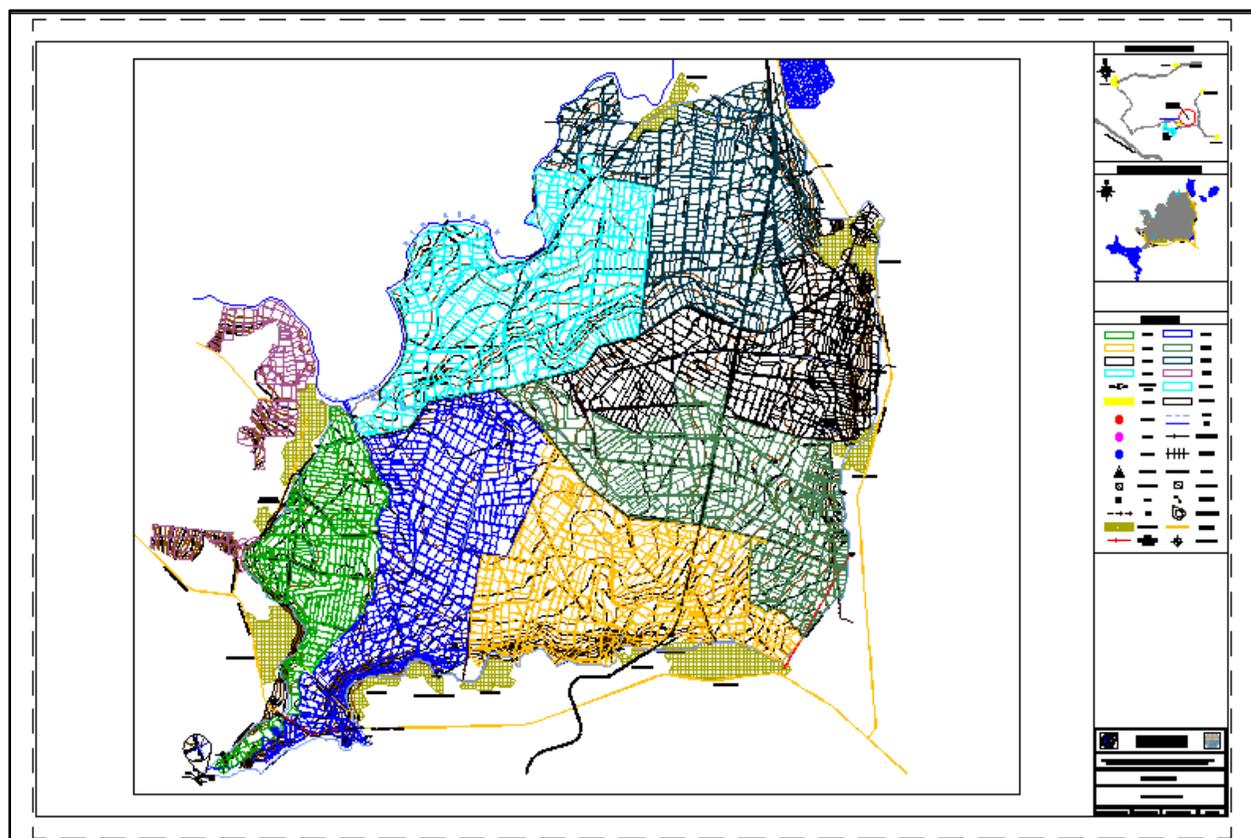


Figura 5.1 Levantamiento topográfico del Módulo Angamacutiro

5.1.3 Diseño Agronómico.

El requerimiento de riego se obtuvo en base al padrón de cultivos del Módulo Angamacutiro, utilizando el método de la FAO Penman–Monteith por ser considerado uno de los métodos más precisos para determinar la evapotranspiración de referencia; una vez obtenido este parámetro se multiplicó la evapotranspiración de referencia por un coeficiente de cultivo (k_c) que depende de su ciclo de desarrollo y de la fecha en que se siembra dicho cultivo para obtener un valor de evapotranspiración del cultivo o uso consuntivo. Ver Cuadro 5.1.

Para el cálculo por este método se requieren valores de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima y evaporación de la estación meteorológica más cercana o representativa del área de estudio.

Estos valores se obtuvieron del Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC III) desarrollado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Datos del lugar

✚ Estado:	Michoacán
✚ Estación:	Angamacutiro
✚ Clave:	16005
✚ Zona:	Interior del país
✚ Clima:	Templado
✚ Vel. del viento:	2 m/s
✚ Longitud:	-107.717
✚ Latitud:	20.15
✚ Altitud:	1,500 msnm

Cuadro 5.1 Distribución de siembras del padrón de cultivos

CICLO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUPERFICIE (ha)
O - I	TRIGO												1,820
	CEBADA												60
	AVENA												110
P - V						SORGO							1,790
				MAÍZ									315
		OTRAS ESPECIES											60
PERENNES	FRESA												130
SEGUNDOS		SORGO											1,790
CULTIVOS		MAÍZ											315

De acuerdo a la distribución de siembras del padrón de cultivos y al cálculo de la evapotranspiración de referencia se determinó la evapotranspiración real del cultivo y con ello sus requerimientos de riego.

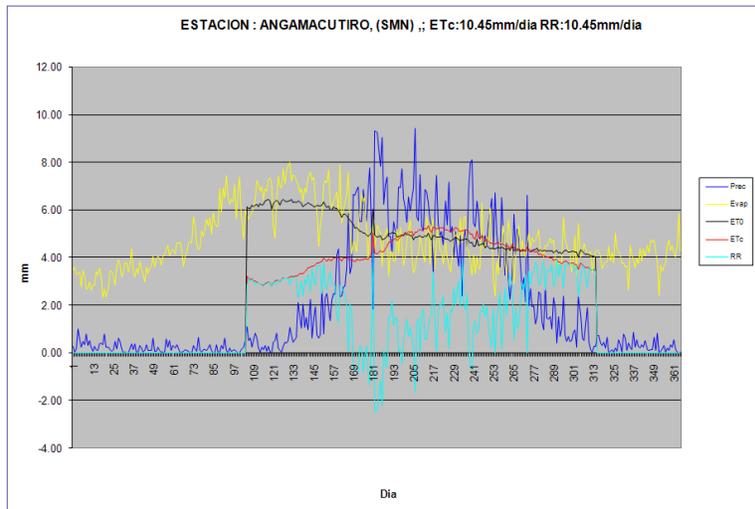


Figura 5.2 Necesidades hídricas diarias del cultivo de Maíz en Primavera-Verano

Para el cálculo de la capacidad del sistema se consideraron los siguientes valores:

- ✚ Eficiencia de aplicación 75%
- ✚ Eficiencia de conducción y distribución 99%
- ✚ Tiempo de riego por día 24 horas

Se calculó el requerimiento de riego diario, para obtener el CUR y el gasto de diseño en L/s, los datos se presentan en el Cuadro 5.2.

Cuadro 5.2 Requerimientos diarios de riego

CULTIVO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Trigo	3.28	6.46	10.63	10.12	6.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06
Cebada	3.28	6.46	10.63	10.12	6.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06
Avena	3.14	6.19	10.19	9.71	5.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01
Sorgo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.27	1.43	2.81	2.33	0.00
Maíz	0.00	0.00	0.00	3.05	3.32	1.28	0.24	1.62	1.65	3.71	3.55	0.00
Garbanzo	3.42	3.97	4.34	3.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.39	2.36
Fresa	2.94	3.07	3.85	3.70	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	2.38	2.80	2.85
Sorgo	0.00	0.00	2.17	4.21	7.09	3.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maíz	0.00	0.00	0.00	3.05	3.32	1.28	0.24	1.62	1.65	3.71	3.55	0.00
Superficie (ha)	2,174.19	2,174.19	3,961.53	4,591.98	4,532.68	4,335.51	4,335.51	4,335.51	2,548.16	2,548.16	2,607.47	2,174.19
Req Riego (mm/día)	1.46	4.02	5.05	5.91	3.29	0.17	0.03	0.35	0.62	0.90	0.13	0.60
Lámina bruta (mm/día)	2.19	6.01	7.56	8.85	4.92	0.25	0.04	0.53	0.92	1.35	0.19	0.90
Gasto Requerido (l/s)	550.78	1,512.80	3,468.29	4,703.97	2,582.27	127.44	21.99	264.84	272.72	398.56	58.08	225.96
CUR (l/s/ha)	0.25	0.70	0.88	1.02	0.57	0.03	0.01	0.06	0.11	0.16	0.02	0.10
Volumen Bruto (Hm3)	1.48	3.66	9.29	12.19	6.92	0.33	0.06	0.71	0.71	1.07	0.15	0.61

Volumen Total Requerido = 37.16 Hm³

De acuerdo al Cuadro 5.2, se observa que el mes más crítico es abril, con un requerimiento de riego de 5.91 mm/día, un CUR de 1.02 l/s/ha y un gasto de 4,703.9 l/s.

Lo anterior nos indica que para regar una superficie de 4,591.9 ha y satisfacer los requerimientos de riego de los cultivos considerando un sistema de riego por multicompuertas se requiere un gasto de 4,703.9 L/s.

En el Cuadro 5.3, se muestran las eficiencias de la situación actual y con proyecto.

Cuadro 5.3 Eficiencias de la situación actual y con proyecto

Tipo de eficiencia	Situación Actual	Situación con proyecto
Conducción	90%	90%
Distribución	70%	99%
Aplicación	50%	75%
Global	32%	67%

Considerando que se tiene un volumen concesionado de 37.79 Hm³ de aguas superficiales, y de acuerdo a la mejora en la eficiencia en la situación con proyecto, se obtiene un ahorro de 13 Hm³

5.1.4 Diseño Hidráulico.

Para el diseño hidráulico primero se ubicaron hidrantes a nivel parcela considerando la pendiente del terreno con una densidad aproximada de un hidrante por cada 2 ha aproximadamente, posteriormente se realizó un trazo considerando que la configuración de la red fuera abierta asegurando un gasto de 40 l/s en cada hidrante y asegurando una carga mínima de 3 mca en cada toma.

Los resultados del diseño hidráulico, se pueden ver en el Cuadro 5.4, lo cuales fueron obtenidos con el software WCADI, el cual calculó los diámetros de tubería óptimos de la red, cuyos resultados se encuentran en el plano que muestra la Figura 5.3.

Cuadro 5.4 Resultados del diseño hidráulico por zona

ZONA	SUPERFICIE (ha)	PRESIÓN EN LA FUENTE (m)	GASTO (l/s)
ZONA 1A	452.965	1.7	480
ZONA 2A	274.953	1.9	280
ZONA 2B	545.658	1.4	560
ZONA 3A	589.185	1.2	600
ZONA 3B	252.099	15	280
ZONA 3C	178.129	15	200
ZONA 4A	820.01	1.3	840
ZONA 4B	472.447	15	480
ZONA 4C	607.191	15	640
ZONA 5A	239.739	15	240
A79.381	79.381	25	80
A80.221	80.221	25	80
TOTAL	4,591.98		4,760

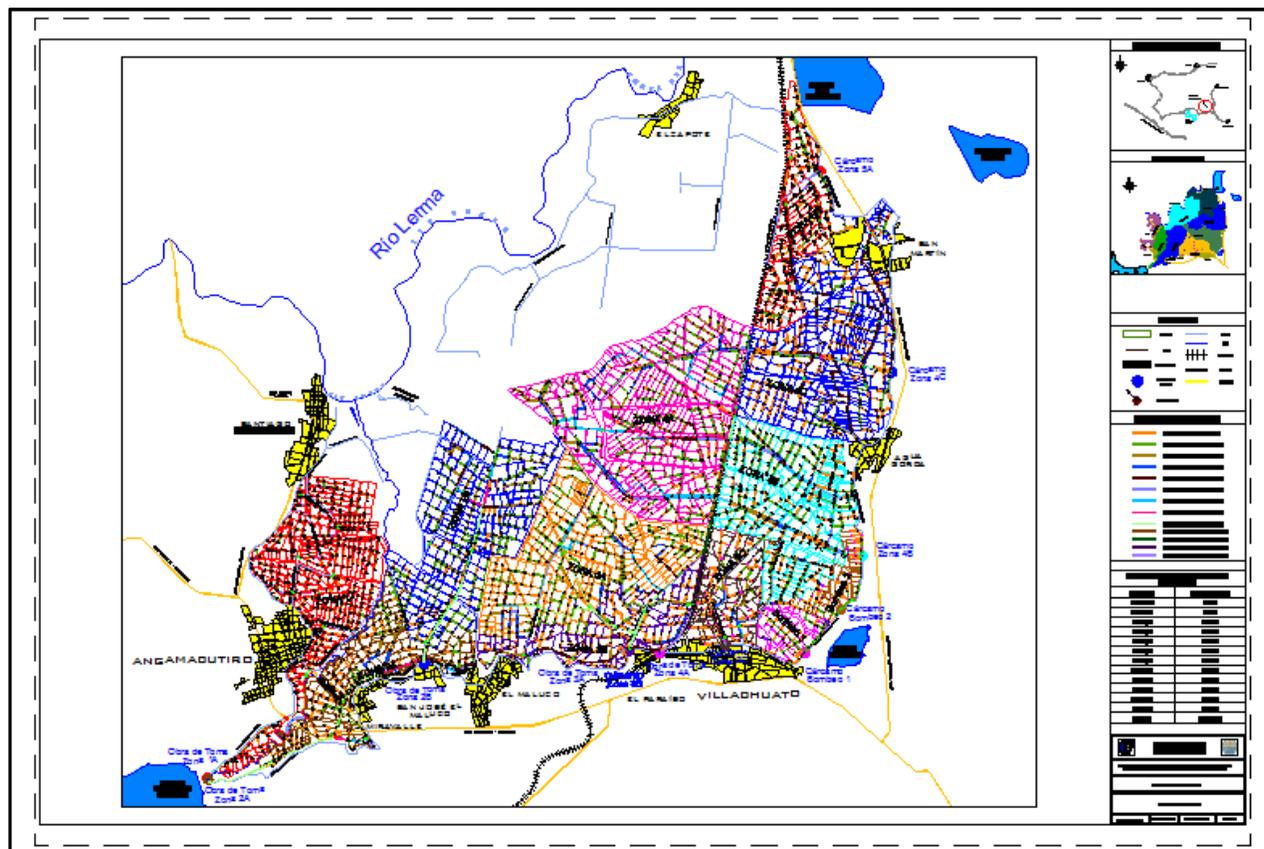


Figura 5.3 Plano hidráulico de la zona

5.1.5 Diseño Electromecánico.

En la Figura 5.4, se presentan los resultados del diseño tipo del sistema mecánico.

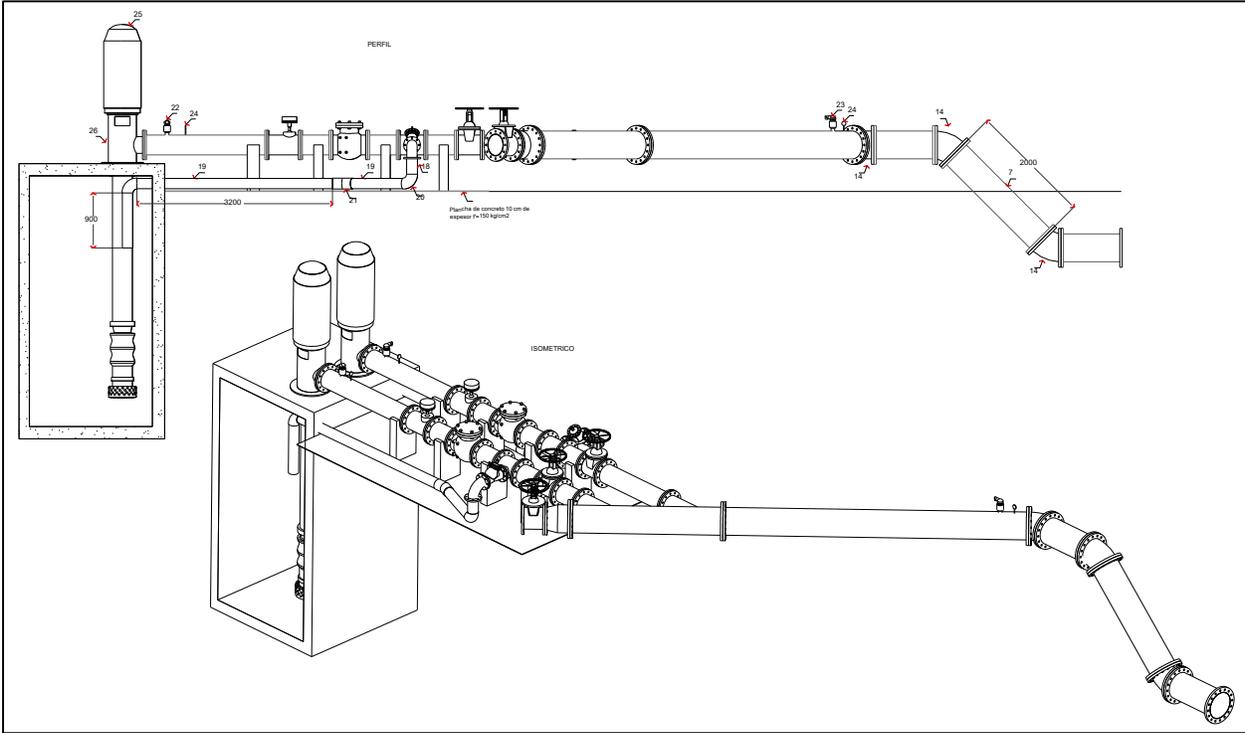


Figura 5.4 Diseño tipo de sistema mecánico

En la Figura 5.5, se presentan los resultados del diseño tipo del sistema eléctrico.

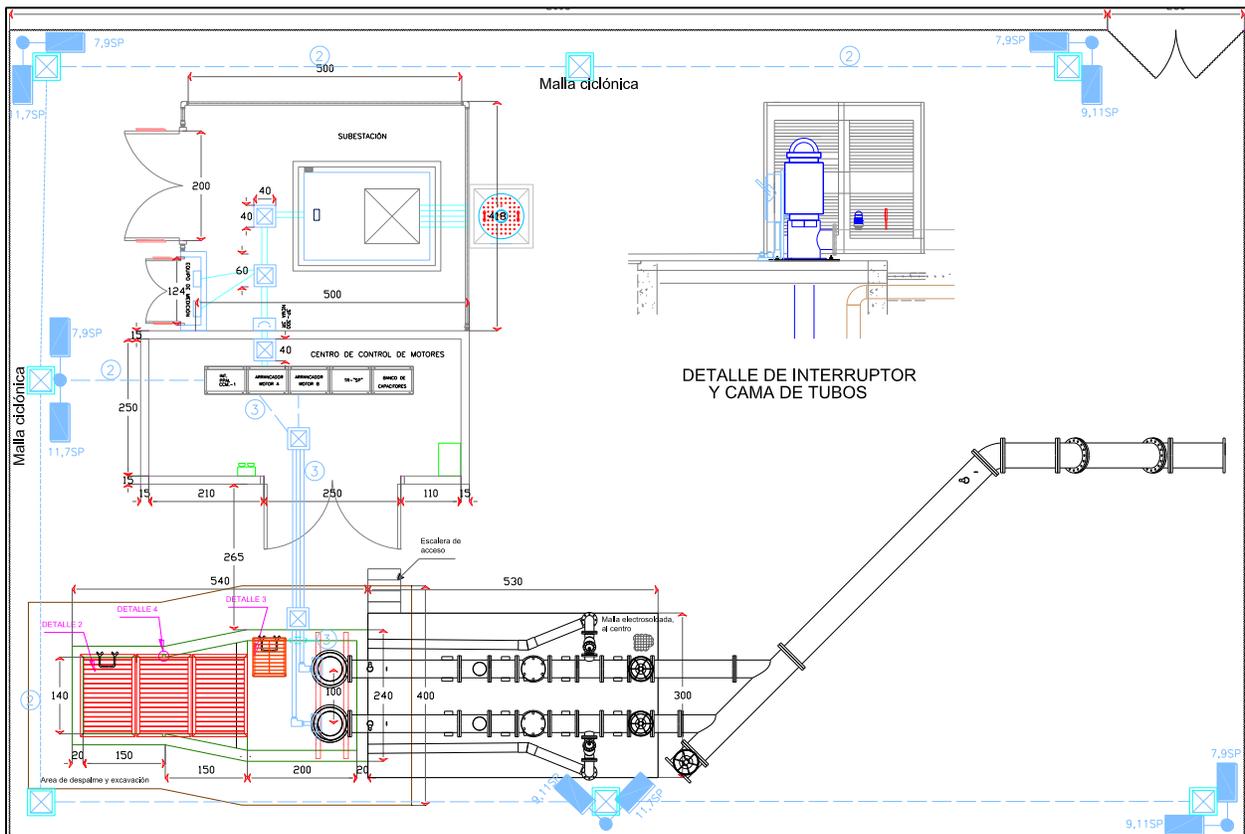


Figura 5.5 Diseño tipo del sistema eléctrico

En el Cuadro 5.5, se presentan los resultados de los equipos de bombeo.

Cuadro 5.5 Características de los equipos de bombeo por zona

Zona	Bombas			Diámetro de conducto de la obra de toma (mm)
	Tipo	Cantidad	Potencia (hp)	
3B	Turbina vertical	2	40	500
3C	Turbina vertical	2	40	450
4B	Turbina vertical	4	40	630
4C	Turbina vertical	4	60	800
5A	Turbina vertical	2	50	300
A79.381	Turbina vertical	1	80	315
A80.221	Turbina vertical	1	80	315

5.1.6 Diseño de Obra Civil.

En la Figura 5.6, se presentan los resultados del diseño tipo de las obras de toma.

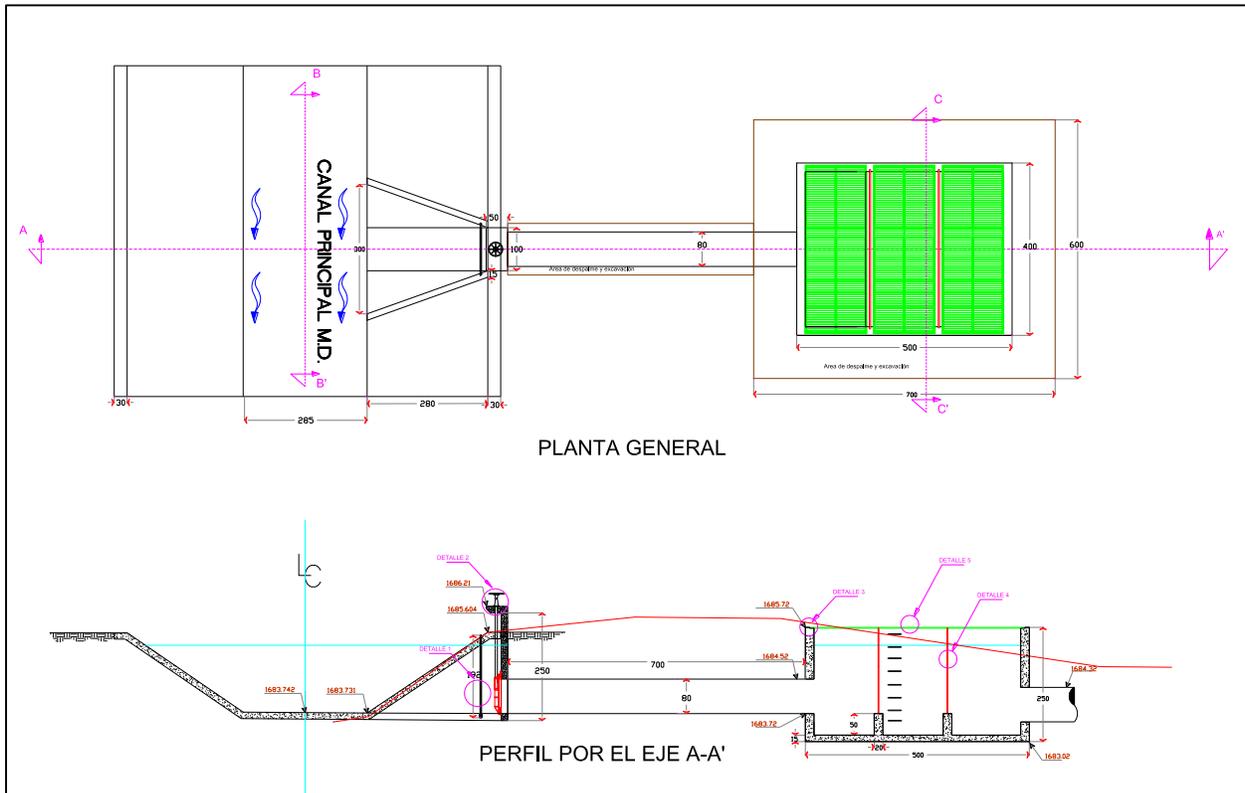


Figura 5.6 Diseño tipo de la obra de toma

En la Figura 5.7, se presentan los resultados del diseño tipo del cárcamo de bombeo.

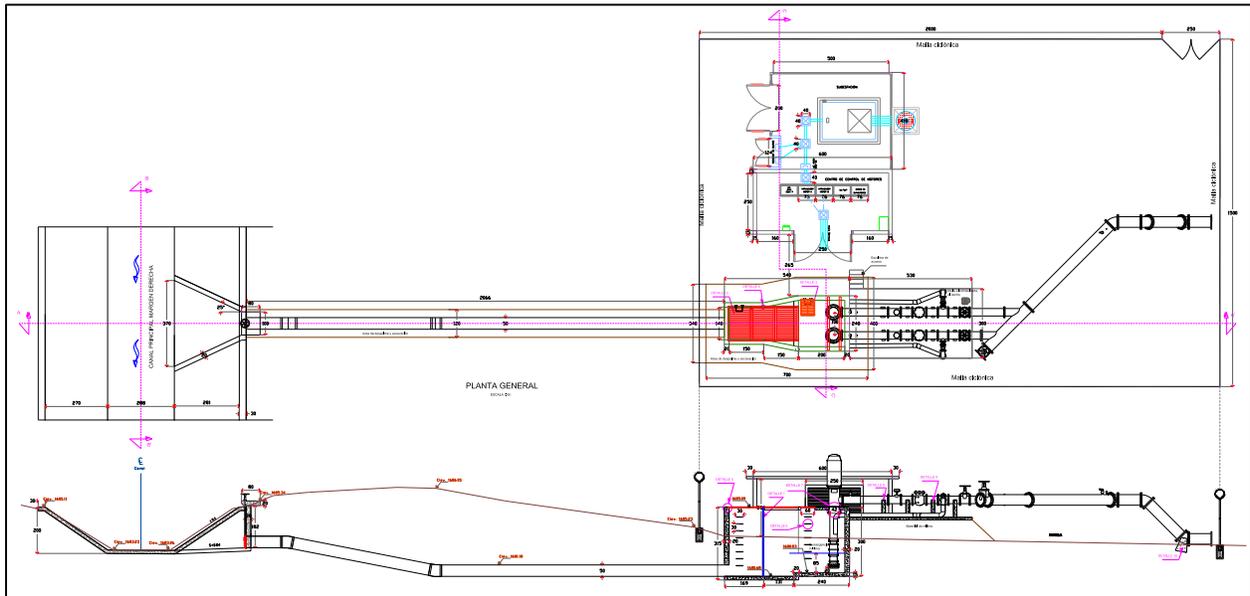


Figura 5.7 Diseño tipo del cárcamo de bombeo

5.1.7 Operación del sistema

En el Cuadro 5.6, se presenta el esquema de operación de las zonas comprendidas dentro del proyecto.

Cuadro 5.6 Operación del sistema

ZONA	SUPERFICIE (ha)	PRESIÓN EN LA FUENTE (m)	GASTO (l/s)	HIDRANTES EN OPERACIÓN	TOTAL HIDRANTES
ZONA 1A	452.965	1.7	480	12	379
ZONA 2A	274.953	1.9	280	7	258
ZONA 2B	545.658	1.4	560	14	244
ZONA 3A	589.185	1.2	600	15	357
ZONA 3B	252.099	15	280	7	167
ZONA 3C	178.129	15	200	5	126
ZONA 4A	820.01	1.3	840	21	457
ZONA 4B	472.447	15	480	12	291
ZONA 4C	607.191	15	640	16	388
ZONA 5A	239.739	15	240	6	144
A79.381	79.381	25	80	2	69
A80.221	80.221	25	80	2	67
TOTAL	4,591.98		4,760	119	2,947

5.2 EVALUACIÓN TÉCNICA.

5.2.1 Análisis de alternativas

De acuerdo a los resultados mostrados anteriormente de la alternativa seleccionada, la cual contempla 5 zonas que funcionarán con carga hidráulica natural y 7 que trabajarán con equipos de bombeo, esta cumple con las condiciones de funcionamiento hidráulico, de operación y satisface los requerimientos de riego de los cultivos en la condición más crítica; además dicha alternativa permite hacer un uso eficiente del agua. Por lo que, resulta ser la más viable desde el punto de vista técnico.

5.2.2 Estudio Topográfico

Habiendo obtenido los resultados altimétricos y planímetros de la zona de estudio se definieron las zonas del proyecto, obteniéndose 7 de ellas con bombeo y 5 por gravedad de acuerdo a la carga disponible en cada una de ellas, además los trazos obtenidos de las líneas de conducción y distribución son los más convenientes y están acorde con el estudio topográfico.

5.2.3 Diseño Agronómico

De acuerdo al patrón de cultivos propuesto en el módulo y los requerimiento de riego calculados; se requiere un volumen total de 37.15 Hm^3 , que si se compara con el volumen disponible de 37.79 Hm^3 resulta factible la propuesta debido a que el volumen disponible es suficiente.

5.2.4 Diseño Hidráulico

Los diámetros resultantes del diseño hidráulico son suficientes para proporcionar las cargas y gastos requeridos en las zonas propuestas por gravedad y bombeo. Por lo que el diseño hidráulico resulta ser técnicamente factible.

5.2.5 Diseño Electromecánico

Los equipos de bombeo propuestos tienen la capacidad suficiente para proporcionar las condiciones de carga y gasto en cada uno de los hidrantes del sistema. De la misma forma los trenes de descarga cuentan con los dispositivos mínimos necesarios para la correcta operación de

los equipos de bombeo. Por otra parte cada una de las subestaciones eléctricas cuenta con la capacidad suficiente para proporcionar la energía requerida por los equipos. De tal manera que estos equipos se consideran técnicamente factibles.

5.2.6 Diseño de Obra Civil

Para el caso de las zonas con carga natural disponible se diseñó una obra de toma, de acuerdo a la capacidad del sistema. Para el caso de las zonas de bombeo adicionalmente se diseñó un cárcamo de bombeo el cual también cumple con la capacidad requerida. Por lo cual, se considera correcto el diseño de la obra civil.

5.2.7 Operación del Sistema

De acuerdo a los resultados del diseño hidráulico se obtuvieron el número necesario de hidrantes que estarán operando simultáneamente en cada una de las zonas; así como también las condiciones de carga y gasto requeridas.

5.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA.

5.3.1 Evaluación económica del proyecto.

5.3.1.1 Identificación de costos y beneficios.

Para la evaluación del proyecto de riego se distinguen tres situaciones, una “sin proyecto”, otra denominada “Sin proyecto optimizada” y otra “con proyecto”, cada una con sus respectivos costos y beneficios.

La diferencia de costos y beneficios entre la “situación sin proyecto optimizada” y la situación “con proyecto”, permite obtener los beneficios netos atribuibles al proyecto. La conveniencia de su materialización dependerá de si los beneficios asociados a él son mayores que sus costos; o en caso contrario, si no es rentable no deberá llevarse a cabo.

Los costos que se originan por el proyecto son:

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

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

- + Ahorro de un volumen de agua.
- + Aumento de la superficie sembrada bajo riego.
- + Incremento del valor neto de la producción.

5.3.1.2 Vida útil del proyecto y horizonte de evaluación.

El horizonte de evaluación corresponde a los años de vida útil económica del proyecto. En este tipo de obras es común usar un valor igual a 30 años. Todos los beneficios netos adicionales, que podrían obtenerse con posterioridad al término de la vida útil económica del proyecto, deben incorporarse como beneficio en ese momento del tiempo, calculándose como un valor actual neto.

5.3.1.3 Situación sin proyecto

A. Superficie actual. El productor actualmente está limitado a regar la superficie máxima de cultivo en forma tradicional, sin embargo, no es posible cubrir eficientemente las necesidades hídricas del cultivo, el productor requiere un servicio adecuado de una infraestructura de riego, acorde con las normas de diseño con la finalidad de elevar la productividad agrícola.

La superficie actual y su distribución por ciclos fue proporcionada por el Módulo de riego Angamacutiro. La superficie regada se puede observar en el Cuadro 5.7.

Cuadro 5.7 Superficie de riego Módulo “Angamacutiro”.

DATOS DEL CULTIVO		FECHA DE SIEMBRA		SUPERFICIE
Cultivo	Ciclo	Mes	Día	(Ha)
Trigo	Largo	Diciembre	1	1,820
Cebada	Largo	Diciembre	1	60
Avena	Largo	Diciembre	1	110
Sorgo	Largo	Junio	15	3,580
Maíz	Largo	Abril	15	630
Otras Especies	Largo	Noviembre	15	60
Fresa	Perenne	Mayo	1	130
SUPERFICIE TOTAL				6,390

B. Rendimientos del cultivo. Los rendimientos del padrón de cultivos que actualmente alcanza el productor van de 6 a 25 ton/ha, y están acorde al tipo de cultivo y a las condiciones de tecnificación, como se observa en el Cuadro 5.8, los cuales fueron proporcionados y analizados por los mismos productores del Módulo de riego “Angamacutiro”.

Cuadro 5.8 Rendimiento de los cultivos

RENDIMIENTO DEL CULTIVO			
Cultivos	Superficie media (Ha)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción Total (Ton)
Trigo	1,820	6.00	10,920
Cebada	60	6.50	390
Avena	110	9.00	990
Sorgo	3,580	9.00	32,220
Maíz	630	9.00	5,670
Otras especies	60	10.00	600
Fresa	130	25.00	3,250
TOTAL	6,390		54,040

C. Precios medios rurales. Los precios medios se rigen por la oferta y demanda del mercado. Para efectos de evaluación económica se tomaron los precios medios rurales y se determinó el valor de la producción de la situación sin proyecto. Ver Cuadro 5.9.

Cuadro 5.9 Precio medio rural 2012.

PRECIOS MEDIO RURAL			
Cultivos	Producción Total (Ton)	Precio M. Rural (\$/Ton)	Valor Bruto (\$)
Trigo	10,920	3,800	41,496,000
Cebada	390	4,800	1,872,000
Avena	990	2,000	1,980,000
Sorgo	32,220	3,800	122,436,000
Maíz	5,670	4,500	25,515,000
Otras especies	600	4,200	2,520,000
Fresa	3,250	10,000	32,500,728
TOTAL	54,040		228,319,728

D. Costos de operación y mantenimiento. En los costos actuales, es decir, los que eroga el productor con su sistema de riego tradicional en la situación sin proyecto; se consideraron los costos de conservación correspondientes al Módulo Angamacutiro, indicados en el documento de Plan Director del DR 087 y ponderados acorde a la superficie contemplada en el proyecto ejecutivo. Ver Cuadro 5.10.

Cuadro 5.10 Costos de conservación anuales, Precios Privados 2012.

DESCRIPCION	IMPORTE (\$)
PLANTAS DE BOMBEO	35,845.60
RED DE DISTRIBUCION	459,457.50
RED DE DRENAJE	367,727.03
RED DE CAMINOS	650,661.04
ESTRUCTURAS	248,754.09
SUMA TOTAL	1,762,445.26

E. Utilidad aparente. La utilidad aparente del cultivo se determinó como la diferencia entre el valor total de la producción y el costo total de producción. No obstante, los costos de producción para cultivo consideran los siguientes rubros: insumos, labores culturales, fertilización, control de plagas y enfermedades, cosecha y costos indirectos. Ver Cuadro 5.11.

Cuadro 5.11 Valor neto de la producción, Precios Sociales 2012.

VALOR NETO DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA A PRECIOS PRIVADOS SIN PROYECTO							
Cultivos	Superficie media (Ha)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción Total (Ton)	Precio Medio R. (\$/Ton)	Valor Bruto (\$)	Costos de Producción (\$)	Valor Neto de la Producción (\$)
Trigo	1,820	6.00	10,920	3,800	41,496,000	27,834,862	13,661,138
Cebada	60	6.50	390	4,800	1,872,000	917,633	954,367
Avena	110	9.00	990	2,000	1,980,000	757,680	1,222,320
Sorgo	3,580	9.00	32,220	3,800	122,436,000	58,429,896	64,006,104
Maíz	630	9.00	5,670	4,500	25,515,000	11,305,300	14,209,700
Otras especies	60	10.00	600	4,200	2,520,000	417,816	2,102,184
Fresa	130	25.00	3,250	10,000	32,500,728	8,632,779	23,867,949
Total	6,390		54,040		228,319,728	108,295,965	120,023,763

5.3.1.4 Optimización de la situación actual.

La evaluación del proyecto se determina en base a los flujos de costos y beneficios, originados al comparar las situaciones sin y con proyecto.

La situación sin proyecto corresponde a la situación actual optimizada, la cual se logra mediante la incorporación de los proyectos que ya se ha decidido su ejecución; y la aplicación de medidas de gestión, que mejoren las condiciones de operación y de infraestructura.

Con esto se consigue que en la evaluación de los proyectos planteados, no se sobreestimen los beneficios atribuibles a su ejecución, por considerar beneficios correspondientes a la optimización de la situación actual.

En muchos casos la “situación optimizada” implica incurrir en costos adicionales con respecto a la situación actual, los que requerirían también de una evaluación antes de ser realizados. Es decir, se debe comprobar que lo que se propone como “situación actual optimizada” es mejor que la situación actual.

Cuadro 5.12 Valor neto de la producción agrícola, Precios Sociales 2012.

Cultivos	Superficie media (Ha)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción Total (Ton)	Precio Medio R. (\$/Ton)	Valor Bruto (\$)	Costos de Producción (\$)	Valor Neto de la Producción (\$)
Trigo grano	1,820	6.02	10,960	3,800	41,649,535	27,834,862	13,814,674
Cebada	60	6.52	391	4,800	1,878,926	917,633	961,294
Avena	110	9.03	994	2,000	1,987,326	757,680	1,229,646
Sorgo	3,580	9.03	32,339	3,800	122,889,013	58,429,896	64,459,117
Maíz	630	9.03	5,691	4,500	25,609,406	11,305,300	14,304,106
Otras especies	60	10.04	602	4,200	2,529,324	417,816	2,111,508
Fresa	130	25.09	3,262	10,000	32,620,981	8,632,779	23,988,201
Total	6,390.00		54,240		229,164,511	108,295,965	120,868,546

5.3.1.5 Situación con proyecto

A. El cambio para lograr la rentabilidad. La evaluación económica del proyecto de riego tecnificado pretende alcanzar una rentabilidad mínima aceptable, para lograrla se requiere un cambio gradual y sistematizado del actual sistema de riego. La rentabilidad se logrará mediante un manejo adecuado y racional del cultivo y de los insumos.

Lo anterior obliga al productor a revisar el comportamiento del nuevo sistema productivo, supervisando algunos aspectos tales como: mercado, preferencias del consumidor y cuestiones técnicas. El objetivo primordial es lograr mayores rendimientos, haciendo un balance entre el menor consumo de agua y energía.

B. Superficie proyectada. La superficie máxima regable que domina el sistema se ha proyectado en función de la superficie física, la demanda de agua y la capacidad del sistema. Así, la superficie se mantendrá constante con respecto a la situación sin proyecto y por consiguiente se tendrá un potencial ahorro de agua. Ver Cuadro 5.13.

Cuadro 5.13 Superficie con proyecto Módulo “Angamacutiro”

DATOS DEL CULTIVO		FECHA DE SIEMBRA		SUPERFICIE
Cultivo	Ciclo	Mes	Día	(Ha)
Trigo	Largo	Diciembre	1	1,820
Cebada	Largo	Diciembre	1	60
Avena	Largo	Diciembre	1	110
Sorgo	Largo	Junio	15	3,580
Maíz	Largo	Abril	15	630
Otras Especies	Largo	Noviembre	15	60
Fresa	Perenne	Mayo	1	130
SUPERFICIE TOTAL				6,390

C. Proyección de los rendimientos. Los rendimientos de los cultivos proyectados han sido comprobados con estadísticas de productores exitosos e información con la que cuenta el Módulo y el Distrito de Riego. Sin embargo, el rendimiento máximo esperado es conservador y con un manejo adecuado del sistema no será difícil de alcanzar. Ver Cuadro 5.14.

Cuadro 5.14 Rendimiento de los cultivos

RENDIMIENTOS DE LOS CULTIVOS (PROYECTO)			
Cultivos	Superficie media (Ha)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción Total (Ton)
Trigo	1,820	7.50	13,650
Cebada	60	7.50	450
Avena	110	12.00	1,320
Sorgo	3,580	11.00	39,380
Maíz	630	12.00	7,560
Otras especies	60	12.00	720
Fresa	130	30.00	3,900
Total	6,390		66,980

D. Precios medios rurales. Los precios medios rurales de los cultivos corresponden a precios privados y se tomaron de la misma fuente citada en el punto anterior. Como puede observarse en el Cuadro 5.15, el promedio general se mantiene por arriba de los \$2000/ton.

Cuadro 5.15 Precio medio rural, 2012.

PRECIOS MEDIO RURAL			
Cultivos	Producción Total	Precio M. Rural	Valor Bruto
Trigo	13,650	3,800	51,870,000
Cebada	450	4,800	2,160,000
Avena	1,320	2,000	2,640,000
Sorgo	39,380	3,800	149,644,000
Maíz	7,560	4,500	34,020,000
Otras especies	720	4,200	3,024,000
Fresa	3,900	10,000	39,000,874
TOTAL	66,980		282,358,874

El comportamiento de los precios medios rurales a pesar de ligeras variaciones en los últimos 10 años ha tendido a la alza aún en porcentajes menores a la inflación.

E. Costos y valor neto de la producción. Los costos de producción de los cultivos consideran en esencia los mismos rubros de la situación actual: fertilización, labores culturales, control de

plagas y enfermedades, cosecha, y costos indirectos; un resumen de dichos costos se presenta en el Cuadro 5.16.

Cuadro 5.16 Costos de producción, Precios Sociales 2012.

VALOR NETO DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA A PRECIOS PRIVADOS CON PROYECTO							
Cultivos	Superficie media (Ha)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción Total (Ton)	Precio Medio R. (\$/Ton)	Valor Bruto (\$)	Costos de Producción (\$)	Valor Neto de la Producción (\$)
Trigo	1,820	7.5	13,650	3,800	51,870,000	27,834,862	24,035,138
Cebada	60	7.5	450	4,800	2,160,000	917,633	1,242,367
Avena	110	12.0	1,320	2,000	2,640,000	757,680	1,882,320
Sorgo	3,580	11.0	39,380	3,800	149,644,000	58,429,896	91,214,104
Maíz	630	12.0	7,560	4,500	34,020,000	11,305,300	22,714,700
Otras especies	60	12.0	720	4,200	3,024,000	417,816	2,606,184
Fresa	130	30.0	3,900	10,000	39,000,874	8,632,779	30,368,094
Total	6,390		66,980		282,358,874	108,295,965	174,062,908

F. Costos de operación y mantenimiento. Por lo que respecta al costo de operación y mantenimiento para la situación con proyecto, éste fue considerado en las inversiones anuales, debido a la alta sensibilidad a las variaciones de los precios, la cual se ve reflejada en los indicadores económicos. Los costos de operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del proyecto se resumen en el Cuadro 5.17.

Cuadro 5.17 Costo anual de operación y mantenimiento, Precios Sociales 2012.

COSTOS DE OPERACIÓN Y CONSERVACIÓN CON PROYECTO		
Conceptos	Unidades	Monto
Equipo de bombeo	Miles de \$	2,447
Tren de descarga	Miles de \$	1,057
Cárcamo	Miles de \$	639
Cajas de protección atraques y cruces	Miles de \$	1,503
Mantenimiento de tuberías	Miles de \$	49,988
Operación y mantenimiento de obra eléctrica	Miles de \$	4,921
Costo Total	Miles de \$	60,555

El cálculo anual de energía eléctrica se revisó sobre la base de el volumen de bombeo, el tiempo de bombeo y el consumo de energía anual; y se compone de: el costo de la energía eléctrica, el

salario del operador del equipo de bombeo, el mantenimiento preventivo (grasas, aceite, fusibles, empaques, luminarias, cables, abrazaderas, etc.), y el mantenimiento correctivo (refacciones, grúas, asistencia electromecánica, presupuestos, etc.).

G. Inversión fija. La inversión fija total del proyecto se calculó a precios actuales; comprende la unidad de control general y sistema estructural; la red ínterparcelaria conformada por la línea de conducción, líneas principales, secundarias y accesorios; la línea de emisores conformada por las líneas regantes y accesorios; la obra civil constituida por el cárcamo, cuarto de máquinas, excavaciones, rellenos, compactaciones, atraques y silletas (sin considerar la instalación de todo el sistema); a la red ínter parcelaria se le asignó una vida útil de 30 años con propósitos económicos. Ver Cuadro 5.18.

Cuadro 5.18 Inversiones fijas, Precios Privados y Sociales 2012.

CONCEPTOS	MONTOS TECNIFICACIÓN A PRECIOS PRIVADOS (\$)	MONTOS TECNIFICACIÓN A PRECIOS SOCIALES (\$)
Equipo de bombeo	2,135,658.40	2,135,658.40
Tren de descarga	3,202,245.51	3,202,245.51
Cárcamo	1,927,456.65	1,927,456.65
Cajas de protección atraques y cruces	4,538,170.17	4,538,170.17
Movimientos de tierras	22,441,922.72	22,441,922.72
Suministro e instalación de tuberías	151,219,556.12	151,219,556.12
Obra eléctrica	4,510,357.35	4,510,357.35
Pruebas	514,846.80	514,846.80
SUBTOTAL	190,490,213.72	190,490,213.72
Ingeniería, Administración y supervisión (5%)	9,524,510.69	9,524,510.69
Imprevistos (5%)	9,524,510.69	9,524,510.69
SUBTOTAL	209,539,235.09	209,539,235.09
IVA (16%)	33,526,277.61	0.00
TOTAL	243,065,512.71	209,539,235.09

H. Flujo de costos y beneficios. El procedimiento a seguir será evaluar para cada uno de los 30 años, el valor presente de los beneficios netos del productor. Así para el año 0, habrá que considerar la suma de los beneficios actualizados a partir de ese año hasta el año 30.

El flujo de costos queda constituido por la inversión fija que representa el costo del sistema, los costos anualizados de operación y mantenimiento. El flujo anual está representado en el Cuadro 5.19.

Cuadro 5.19 Cálculo de valor presente neto (VPN), Precios Sociales 2012.

Año	Factor de actualización.	Inversión (miles \$)	Costos de operación y mantenimiento (miles \$)	Costo total (miles \$)	Beneficio Neto Marginal (miles \$)	Costo total Actualizado (miles \$)	Beneficio marginal actualizado (miles \$)	Flujo Neto actualizado (miles \$)
2013	1.0000	62,621	456	63,077	0	63,077	0	-63,077
2014	0.8929	58,220	613	58,833	0	52,529	0	-52,529
2015	0.7972	58,220	776	58,996	0	47,031	0	-47,031
2016	0.7118	30,479	1,148	31,627	15,669	22,511	11,153	-11,358
2017	0.6355	0	1,314	1,314	30,232	835	19,213	18,378
2018	0.5674	0	1,362	1,362	44,829	773	25,437	24,664
2019	0.5066	0	1,441	1,441	52,429	730	26,562	25,833
2020	0.4523	0	1,873	1,873	52,350	847	23,680	22,833
2021	0.4039	0	2,171	2,171	53,194	877	21,484	20,607
2022	0.3606	0	2,469	2,469	53,194	890	19,182	18,292
2023	0.3220	0	2,469	2,469	53,194	795	17,127	16,332
2024	0.2875	0	2,469	2,469	53,194	710	15,292	14,582
2025	0.2567	0	2,469	2,469	53,194	634	13,654	13,020
2026	0.2292	0	2,469	2,469	53,194	566	12,191	11,625
2027	0.2046	0	2,469	2,469	53,194	505	10,885	10,379
2028	0.1827	0	2,469	2,469	53,194	451	9,718	9,267
2029	0.1631	0	2,469	2,469	53,194	403	8,677	8,274
2030	0.1456	0	2,469	2,469	53,194	360	7,747	7,388
2031	0.1300	0	2,469	2,469	53,194	321	6,917	6,596
2032	0.1161	0	2,469	2,469	53,194	287	6,176	5,890
2033	0.1037	0	2,469	2,469	53,194	256	5,514	5,258
2034	0.0926	0	2,469	2,469	53,194	229	4,924	4,695
2035	0.0826	0	2,469	2,469	53,194	204	4,396	4,192
2036	0.0738	0	2,469	2,469	53,194	182	3,925	3,743
2037	0.0659	0	2,469	2,469	53,194	163	3,505	3,342
2038	0.0588	0	2,469	2,469	53,194	145	3,129	2,984
2039	0.0525	0	2,469	2,469	53,194	130	2,794	2,664
2040	0.0469	0	2,469	2,469	53,194	116	2,494	2,379
2041	0.0419	0	2,469	2,469	53,194	103	2,227	2,124
2042	0.0374	0	2,469	2,469	53,194	92	1,989	1,896

I. Rentabilidad del proyecto y análisis de sensibilidad. El análisis económico y de sensibilidad considera los marcadores más representativos de la rentabilidad del proyecto como son: la relación beneficio/costo (B/C), el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno.

La evaluación económica del sistema de riego se realiza en un horizonte de planeación de 30 años, que como ya se comentó el periodo se establece en función de la vida útil de la red parcelaria, y en base a los propósitos económicos.

En la estimación del valor presente de los flujos de costos y beneficios se asume una tasa social de descuento del 12% y un horizonte de evaluación de 30 años. La tasa adoptada del 12% corresponde a aquella 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. El horizonte de evaluación es compatible con la vida útil de las principales obras por ejecutar con el programa.

En el Cuadro 5.20, se muestran los valores obtenidos para cada uno de los indicadores de rentabilidad obtenidos en la evaluación del proyecto.

Cuadro 5.20 Resumen de indicadores de rentabilidad, Precios Sociales 2012.

INDICADORES	
VAN (miles de pesos)	93,243
TIR	17.15 %
R B/C	1.47

En lo que respecta al Proyecto evaluado la relación Beneficio Costo arroja un resultado de 1.47 lo que representa un beneficio por encima de los Costos en un 47%. De tal forma que a través de este indicador se observa que el proyecto es rentable.

En lo que se refiere al Valor Presente Neto (VPN), se obtiene un valor positivo de \$ 93'242,739 millones de pesos en 30 años.

En referencia a la Tasa Interna de Retorno (TIR), los cálculos indican un valor del 17.15% para el proyecto, cifra que es superior en 5.15 puntos porcentuales con respecto al 12% de rendimiento que recomienda la SHCP.

En lo que refiere al periodo de recuperación de la inversión se tiene que para el proyecto en cuestión se logra dicho indicador a partir de los primeros 5 años después del año 0. En este punto la suma de los beneficios acumulados actualizados resulta mayor que la suma de los costos.

5.3.1.6 Análisis de Sensibilidad.

En el Cuadro 5.21, el Cuadro 5.22, el Cuadro 5.23 y el Cuadro 5.24, se presentan los resultados del análisis de sensibilidad para los casos de Variación en los Beneficios Netos del Proyecto, Variación en los Montos de Inversión, Variación en los Precios Medios Rurales y Variación en los Costos de Producción.

Cuadro 5.21 Análisis de sensibilidad para el caso de Variación en los Beneficios Netos del Proyecto, Precios Sociales 2012.

Variación (%)	TIR	RBC	VPN (Miles \$)
0%	17.15%	1.47	93,243
-7%	16.11%	1.37	72,943
-14%	15.03%	1.27	52,644
-20%	14.07%	1.18	35,244
-32.15%	12.00%	1.00	0

Cuadro 5.22 Análisis de sensibilidad para el caso de Variación en los Montos de Inversión del proyecto, Precios Sociales 2012.

Variación (%)	TIR	RBC	VPN (Miles \$)
0%	17.15%	1.47	93,243
10%	15.79%	1.34	73,568
20%	14.61%	1.23	53,892
30%	13.56%	1.13	34,217
47.39%	12.00%	1.00	0

Cuadro 5.23 Análisis de sensibilidad para el caso de Variación en los Precios Medios Rurales de los insumos, Precios Sociales 2012.

Variación (%)	TIR	RBC	VPN (Miles \$)
0%	17.15%	1.47	93,243
-1%	16.38%	1.40	78,090
-2.0%	15.59%	1.32	62,938
-3.0%	14.77%	1.24	47,785
-6.15%	12.00%	1.00	0

Cuadro 5.24 Análisis de sensibilidad para el caso de Variación en los Costos de Producción del proyecto, Precios Sociales 2012.

Variación (%)	TIR	RBC	VPN (Miles \$)
0%	17.15%	1.47	93,243
4%	15.96%	1.36	69,996
8%	14.71%	1.24	46,750
12%	13.40%	1.12	23,504
16.04%	12.00%	1.00	0

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

1. Con base en los resultados de la Evaluación Técnico-Económica, El Proyecto de Modernización del Módulo Angamacutiro resulta factible.

2. Con los proyectos propuestos para la Modernización del Módulo Angamacutiro, se tendrá una recuperación de volúmenes de agua del orden de 13 Hm³ que fortalece el volumen concesionado de agua superficial de 37.79 Hm³ con el consecuente incremento en la eficiencia global.

3. Entre otros beneficios, con la modernización se obtiene un mejor control sobre el agua superficial, mismo que se refleja en una mejora en la oportunidad del servicio de riego.

4. Con los volúmenes ahorrados se logra un incremento en la superficie regada y consecuentemente una mayor producción y productividad.

5. El proyecto favorece que los usuarios cambien de un sistema de riego tradicional a uno moderno.

6. De acuerdo a los resultados de la Evaluación Económica, a Precios Sociales 2012, el proyecto de Modernización del Módulo Angamacutiro se considera rentable ya que se tiene un VPN de \$93,242,739 , una TIR de 17.15% y una relación Beneficio Costo de 1.47, es decir, por cada peso invertido se tiene una ganancia de \$0.47, por lo que la recuperación de la inversión se llevará a cabo en un plazo de 5 años.

7. Del Análisis de Sensibilidad se concluye que el Proyecto de Modernización del Módulo Angamacutiro tiene un margen de estabilidad ante los cambios en la magnitud de inversión de hasta un 47.39%. Esto quiere decir que los beneficios obtenidos con el proyecto a lo largo del período de amortización son los suficientemente grandes para soportar y amortiguar los posibles incrementos de la inversión.

8. Otra conclusión del Análisis de Sensibilidad, es que el proyecto mantiene sus niveles de rentabilidad ante una caída de los Precios Medios Rurales de hasta un 6.15% y un aumento en los costos de producción del 16.04%.

6.2 RECOMENDACIONES

1. Con base en los resultados de la Evaluación Técnico-Económica se recomienda la Modernización del Módulo Angamacutiro del Distrito de Riego 087 “Rosario-Mezquite” Michoacán.

2. Con los volúmenes rescatados se pueden ampliar las expectativas de riego del Módulo Angamacutiro.

3. Se recomienda actualizar el plan de riegos en función de los nuevos parámetros del sistema.

4. Se recomienda una reconversión de cultivos a fin de obtener mayor rentabilidad.

5. Se recomienda la capacitación técnica de los usuarios para la operación y mantenimiento del sistema.

6. Se recomienda la actualización de las cuotas de riego hacia el nivel de autosuficiencia a fin de garantizar la operación, conservación, mantenimiento y administración del sistema.

7. Se recomienda la capacitación para fortalecer la organización de los productores para lograr el éxito del proyecto.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Baca, U. G. 2004. Evaluación de proyectos. Quinta Edición. Ed. McGraw-Hill. México, D. F.
2. 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.
3. Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de los Proyectos. CEPEP. 2004. Evaluación Social de Proyectos. 2da Edición. Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos.
4. 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.
5. De León. M., B. 2007. Manual para diseños de zonas de riego pequeñas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2007.
6. D. H. Willits, 2003. The Penman-Monteith Equation As a Predictor of transpiration in a Greenhouse Tomato Crop. Bio and Ag Eng Dept, North Carolina State University, Raleigh, NC. ASAE Annual International Meeting. Las Vegas, Nevada, USA. Paper No. 034095.
7. 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.
8. Fontaine, R. E. 2008. Ingeniería Económica. Decimotercera Edición. Ed. Pearson Educación, México, D.F. 624 p
9. 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.
10. 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.
11. Grupo Multidisciplinar de Modelación de fluidos. EPANET 2.0, Manual de Usuario. Universidad Politécnica de Valencia.
12. Planells, P.; Ortega, J.F.; Valiente, M.; Montero, J.; Tarjuelo, J.M. 1999. Criterios Para el Diseño de Redes Colectivas de Riego.

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