



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
POSTGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA
Y USO INTEGRAL DEL AGUA

ENTUBAMIENTO DE LA RED MENOR EN EL MÓDULO No. 6
CANAL DEL CENTRO DEL DISTRITO DE RIEGO 100,
HIDALGO

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AGRÍCOLA
Y USO INTEGRAL DEL AGUA

PRESENTA:

ESUBERTO VILLAGÓMEZ NAVA

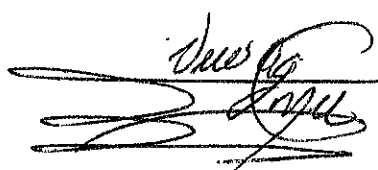
Chapingo México, Julio de 2007

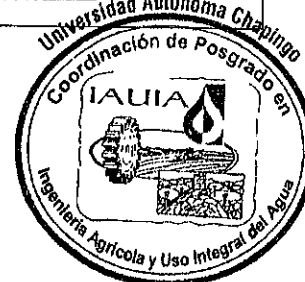


ENTUBAMIENTO DE LA RED MENOR EN EL MÓDULO No. 6 CANAL DEL CENTRO DEL DISTRITO DE RIEGO 100, HIDALGO.

Tesis realizada por Esuberto Villagómez Nava bajo la dirección del Comité Asesor indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AGRÍCOLA
Y USO INTEGRAL DEL AGUA**

DIRECTOR (A):	 _____ DRA. LAURA ALICIA IBÁÑEZ CASTILLO
ASESOR:	 _____ Dr. RAMÓN ARTEAGA RAMÍREZ
ASESOR:	 _____ Dr. VICENTE ÁNGELES MONTIEL



A G R A D E C I M I E N T O S

A la Universidad Autónoma Chapingo y en especial al Departamento de Irrigación. Por la formación profesional que siempre he recibido de esta Escuela.

Al programa de Postgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua por haber confiado en mi y darme la oportunidad de cumplir esta meta.

A la Comisión Nacional del Agua, Dirección Local en Hidalgo, por todo el apoyo recibido. Me siento orgulloso de formar parte de la plantilla de trabajadores de esta Dependencia.

Al Comité Asesor:

Dra. Laura Ibáñez Castillo por la paciencia y empeño en la dirección del presente trabajo.

Dr. Ramón Arteaga Ramírez por su paciencia y apoyo en la revisión y corrección de este documento.

Dr. Vicente Ángeles Montiel por su tiempo dedicado a la revisión y corrección de este trabajo.

A todas aquellas personas que directa o indirectamente apoyaron en este trabajo

DEDICATORIA

A mis padres:

Eugenio Villagómez (Finado)

Evangelina Nava

Siempre estaré agradecido con ellos. Me hubiera gustado compartir este logro también con mi Papá, se que le hubiera dado mucho gusto. Sus palabras y consejos me animarían para continuar conquistando nuevas metas.

Con amor y cariño para mi esposa Elena que con su apoyo y ternura motivaron mi espíritu en los momentos difíciles.

A mis hijos Euler, Elihud y Emily Sarahí a quien quiero mucho y son el afán de mi superación.

A mis hermanos por todo el tiempo que compartimos juntos y los grandes momentos felices que son inolvidables.

DATOS BIOGRÁFICOS DEL AUTOR

El autor de la presente tesis es originario de Cupareo, Municipio de Salvatierra, Guanajuato, nació el 26 de julio de 1966, la educación primaria la realizó en el lugar de origen, el nivel secundaria en la Escuela Secundaria Técnica No. 25 Antúnez, Michoacán y el nivel medio y superior en la Universidad Autónoma Chapingo. Egresó en 1990 de la especialidad de Irrigación. Labora desde 1990 en la Comisión Nacional del Agua, en donde se ha desempeñado como Jefe del Departamento de Ingeniería de Riego y Drenaje de los Distritos de Riego 008 Metztitlán y 028 Tulancingo (1990 - 1993); Jefe del Departamento de Ingeniería de Riego y Drenaje de los Distritos de Riego 003 Tula y 100 Alfajayucan (1993 - 2000); y como Jefe de Operación del Distrito de Riego 100 Alfajayucan (2000 - 2007). Obtuvo el Título de Licenciatura con la tesis *“Análisis probabilístico del régimen de la corriente del río metztitlán para diferentes planes de riego”*. En agosto de 2004 ingresó en el Programa de Postgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua para realizar estudios de Maestría.

CONTENIDO

Pág.

ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1 Generales.....	3
2.2 Específicos	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1 Balance de agua en el suelo.....	6
3.1.1 Herramientas para medir la evaporación y la precipitación.....	7
3.1.2 Balance de la humedad en el suelo.....	8
3.2 Formas de distribución del agua en las zonas de riego.....	9
3.2.1 Distribución continua.....	10
3.2.2 Distribución a demanda libre.....	10
3.2.3 Distribución por tandeos o turnos.....	10
3.2.4 Distribución a demanda controlada.....	10
3.3 Eficiencia del riego.....	11
3.3.1 Eficiencia de conducción.....	11
3.3.2 Eficiencia de distribución.....	12
3.3.3 Eficiencia de aplicación.....	12
3.4 Estimación de la evapotranspiración de referencia.....	13
3.5 Estimación de la evapotranspiración de cultivo máxima.....	16
3.6 La hidrología y su relación con la precipitación y evaporación.....	17
3.6.1 Probabilidad y estadística en precipitación y evaporación.....	17
3.6.1.1 Probabilidad.....	18
3.6.1.2 Variables aleatorias.....	19
3.6.1.3 Población y muestra.....	21

3.6.1.4	Cantidades estadísticas para comparar poblaciones.....	22
3.6.1.5	Selección de medidas descriptivas.....	23
3.6.1.6	Selección de datos.....	24
3.6.1.7	Estimación de los parámetros.....	24
3.6.1.8	Valores esperados.....	25
3.6.1.9	Funciones de distribución de probabilidad utilizadas.....	26
3.6.1.9.1	Función de distribución de probabilidad Normal.....	28
3.6.1.9.2	Función de distribución de probabilidad Log-Normal.....	30
3.6.1.9.3	Función de distribución de probabilidad Pearson III (Gama).....	32
3.6.1.10	Pruebas de bondad de ajuste.....	34
3.6.1.10.1	Prueba Kolmogorov-Smirnov.....	34
3.7	Determinación del gasto máximo.....	36
3.7.1	Software sistema para la elaboración de planes de riego (PLANDR).....	36
3.7.2	¿Qué es un plan de riegos?.....	37
3.8	Dimensionamiento de la red.....	37
3.9	Factibilidad económica de la inversión.....	44
3.9.1	Evaluación económica del proyecto	44
3.9.1.1	Costo del proyecto.....	45
3.9.2	Valor presente de un beneficio futuro.....	48
IV	MATERIALES Y MÉTODOS	52
4.1	Materiales.....	52
4.2	Descripción del área de estudio.....	52
4.2.1	Características generales del distrito de riego 100	53
4.2.1.1	Tipos de aprovechamiento	54
4.2.1.2	Plantas de bombeo	54
4.2.1.3	Superficie del distrito de riego 100 alfajayucan	54
4.2.1.4	Profundidad del suelo agrícola.....	55
4.2.2	Características generales del módulo 6 canal del centro.....	55
4.2.2.1	Antecedentes.....	55

	Pág.
4.2.2.2	Ubicación geográfica..... 56
4.2.2.3	Clima..... 57
4.2.2.4	Cuotas de riego vigentes..... 57
4.2.2.5	Estaciones climatológicas..... 57
4.2.2.6	Características del suelo..... 60
4.2.2.7	Inventario de regaderas..... 61
4.2.2.8	Superficie a nivel toma de riego..... 62
4.3	Métodos..... 62
4.3.1	Determinación de los valores de precipitación y evaporación..... 62
4.3.1.1	Precipitación..... 63
4.3.1.2	Evaporación..... 63
4.3.1.3	Probabilidad de Excedencia $P(X \geq x)$ con las funciones de distribución Normal, Log-Normal y Raíz cúbica..... 65
4.3.1.4	Probabilidad de Excedencia $P(X \geq x)$ con la función de distribución Pearson Tipo III..... 65
4.3.1.5	Prueba Kolmogorov-Smirnov..... 66
4.3.1.6	Cálculo de valores de precipitación y evaporación para una probabilidad del 75 % de excedencia..... 66
4.3.2	Necesidades de riego a los cultivos..... 67
4.3.2.1	Determinación de la evapotranspiración de referencia..... 67
4.3.2.2	Determinación de la evapotranspiración de cultivo máxima..... 68
4.3.2.3	Cálculo de la precipitación efectiva..... 68
4.3.2.4	Requerimiento de riego..... 69
4.3.3	Balance de la humedad del suelo..... 69
4.3.3.1	Textura del suelo..... 70
4.3.4	Formas de distribución del agua para riego..... 70
4.3.5	Eficiencia de conducción..... 70
4.3.6	Determinación del gasto máximo..... 71
4.3.7	Dimensionamiento de la red..... 75
4.3.7.1	Diseño hidráulico de la tubería..... 76

4.3.8	Factibilidad económica de la inversión.....	77
4.3.8.1	Utilidad del proyecto.....	78
4.3.8.2	Costo del proyecto.....	78
V	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	79
5.1	Prueba Kolmogorov-Smirnov.....	79
5.1.1	Prueba Kolmogorov-Smirnov a la precipitación.....	79
5.1.2	Prueba Kolmogorov-Smirnov a la evaporación.....	81
5.2	Valores estimados de precipitación y evaporación.....	81
5.2.1	Valores estimados de precipitación.....	82
5.2.2	Valores estimados de evaporación.....	84
5.3	Necesidades de riego para el cultivo de alfalfa.....	84
5.3.1	Coeficiente de riego.....	86
5.4	Balance de la humedad del suelo.....	87
5.4.1	Textura del suelo.....	88
5.5	Eficiencia de conducción.....	89
5.6	Cálculo del gasto máximo.....	89
5.7	Diseño del tubo.....	95
5.8	Factibilidad económica del entubamiento.....	99
5.8.1	Cálculo de la utilidad neta.....	99
5.8.1.1	Utilidad bajo condiciones actuales.....	99
5.8.1.2	Utilidad con la nueva tecnología.....	100
5.8.2	Costo del proyecto.....	100
5.8.3	Cálculo de los indicadores económicos.....	105
5.8.3.1	Valor presente de un beneficio futuro.....	105
5.8.3.2	Relación beneficio-costos.....	106
VI.	CONCLUSIONES	107
VII.	RECOMENDACIONES	108
VIII.	LITERATURA CITADA.....	109

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 3.1 Escenarios de probabilidad.....	19
Cuadro 3.2 Topología de la red.....	38
Cuadro 3.3 Diámetros comerciales.....	39
Cuadro 3.4 Velocidades máximas y mínimas permisibles.....	40
Cuadro 3.5 Diámetros y precios Durman-Esquivel	45
Cuadro 4.1 Superficie del distrito de riego 100 por municipios.....	54
Cuadro 4.2 Superficie del distrito de riego 100 por módulos de riego.....	54
Cuadro 4.3 Tenencia de la tierra del distrito de riego 100.....	55
Cuadro 4.4 Superficie del módulo de riego 6.....	56
Cuadro 4.5 Tenencia de la tierra del módulo de riego 6.....	56
Cuadro 4.6 Estaciones climatológicas aledañas al módulo 6.....	58
Cuadro 4.7 Estaciones climatológicas y área de influencia del módulo 6.....	59
Cuadro 4.8 Superficie por toma del lateral 5 M.I.....	62
Cuadro 5.1 Resultados de la prueba Kolmogorov-Smirnov para precipitación.....	80
Cuadro 5.2 Resultados de la prueba Kolmogorov-Smirnov para evaporación.....	81
Cuadro 5.3 Datos estimados de precipitación decenal.....	82
Cuadro 5.4 Datos estimados de precipitación decenal ajustados.....	83
Cuadro 5.5 Datos estimados de evaporación a nivel mensual.....	84
Cuadro 5.6 Datos estimados de evaporación a nivel decenal.....	84
Cuadro 5.7 Requerimiento de riego para la alfalfa.....	85
Cuadro 5.8 Estimación de los intervalos de riego para la alfalfa.....	87
Cuadro 5.9 Láminas netas para la alfalfa.....	88
Cuadro 5.10 Características físicas del espesor 0-30 cm.....	89
Cuadro 5.11 Características físicas del espesor 30-60 cm.....	89
Cuadro 5.12 Programa de riegos 2005-2006.....	90
Cuadro 5.13 Calendario de riegos teórico del cultivo de alfalfa.....	91

Cuadro 5.14	Volumen bruto máximo decenal.....	93
Cuadro 5.15	Gasto bruto máximo decenal.....	94
Cuadro 5.16	Velocidad media del agua.....	95
Cuadro 5.17	Gasto medio en tubería.....	95
Cuadro 5.18	Comparación entre carga hidráulica disponible y pérdida de carga en la tubería.....	98
Cuadro 5.19	Programa de producción bajo condiciones actuales.....	99
Cuadro 5.20	Programa de producción bajo condiciones óptimas.....	100
Cuadro 5.21	Relación diámetro de tubería-ancho de zanja.....	102
Cuadro 5.22	Relación de gastos en proyecto de entubamiento.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 4.1	Localización del área de estudio.....	53
Figura 4.2	Ubicación de estaciones climatológicas.....	58
Figura 4.3	Área de influencia de las estaciones climatológicas.....	59
Figura 4.4	Distribución de texturas en zona de riego del módulo 6.....	61
Figura 4.5	Interpolación de los datos mensuales de evaporación a decenales.....	64
Figura 4.6	Medición del caudal en el canal lateral 5 margen izquierdo.....	71
Figura 4.7	Ingreso de datos generales al Software PLANDR.....	72
Figura 4.8	Ingreso de la distribución decenal de siembras en el Software PLANDR.....	73
Figura 4.9	Ingreso del calendario de riegos al Software PLANDR.....	74
Figura 4.10	Ingreso de las eficiencias de conducción al Software PLANDR.....	75
Figura 5.1	Coeficiente Kc del cultivo de alfalfa.....	86
Figura 5.2	Resultados del software PLANDR.....	92
Figura 5.3	Resultados del Software PLANDR (Continuación).....	93
Figura 5.4	Diámetro en función del caudal medio.....	96
Figura 5.5	Tubería de PVC Rib Loc Durman-Esquivel.....	101
Figura 5.6	Corte transversal del relleno de zanja.....	103
Figura 5.7	Vista en planta de la caja repartidora donde estará la toma.....	104
Figura 5.8	Corte transversal de la caja repartidora.....	104

ENTUBAMIENTO DE LA RED MENOR EN EL MÓDULO No. 6 CANAL DEL CENTRO DEL DISTRITO DE RIEGO 100, HIDALGO.

Laura Alicia Ibáñez Castillo¹
Esuberto Villagómez Nava²

R E S U M E N

En el presente trabajo se realizó un análisis para cambiar de riego por gravedad a riego entubado en el cultivo de alfalfa, con el objetivo de recuperar volumen de agua en el módulo de riego número 6 canal del centro, localizado en el Valle del Mezquital, Hidalgo, utilizando tubería de PVC para conducir el agua y regar de acuerdo al calendario de riegos calculado.

La nueva tecnología se desarrolló mediante el análisis de la eficiencia de conducción actual (65 %) y la esperada con el sistema de entubamiento del canal lateral 5, km. 12+000 del canal principal del centro (98 %), así como de la comparación entre las láminas e intervalos de riego actual y los que se utilizarán en lo futuro. Del plan de riegos del distrito de riego 100, se obtuvo el calendario de riegos actual. Con datos de evaporación y precipitación a la probabilidad $P(X \geq x) = 75\%$ se generó el calendario teórico de riegos. Con ambos calendarios y eficiencias de conducción, se calculó el volumen máximo decenal.

Los resultados encontrados muestran que al realizar el entubamiento del canal lateral 5 y aplicar los riegos en base al calendario de riegos calculado, existe un ahorro de agua de 663.3 millares de m³. De esta manera el Valor Actual de un Beneficio Futuro es de \$6,746,140.86 y la Relación Beneficio Costo de 2.83.

PALABRAS CLAVE: ahorro de agua, entubamiento de canales de riego, beneficio económico.

¹Profesor-Investigador. Postgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Veracruz. CP. 56230 Correo electrónico: libanez@correo.chapingo.mx

²Estudiante de Maestría. Postgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Correo electrónico: esuberto1966@hotmail.com

PIPING OF THE MINOR NETWORK IN THE N0. 6 MODULE, THE CENTRE CHANNEL, IN WATER DISTRICT 100, HIDALGO

Esuberto Villagomez Nava

Director: Laura Ibanez Castillo

Postgrado en Ingenieria Agricola y uso Integral del Agua. Universidad Autonoma Chapingo

ABSTRACT

A plan was developed in this research project to change from gravity to pipe irrigation in the growing of alfalfa, with the objective of saving water in the number 6 irrigation module, known as the centre channel, located in the Mezquital Valley, Hidalgo, by utilizing PVC pipe to conduct the water and irrigate according to the calculated irrigation schedule.

The new technology was developed by using the analysis of the present conduction efficiency (65%) compared with the future conduction efficiency with the piping system of the number 5 lateral channel, located 12+000 km. from the main centre channel (98%), as well as the comparison between water depth and intervals of irrigation in present and future times. From the irrigation plan for irrigation district 100, the present irrigation schedule was obtained. Based on evaporation and precipitation data taken to the probability $P(X \geq x) = 75\%$, the theoretical irrigation schedule was generated. With both schedules and conduction efficiencies, the maximum decennial volume was calculated.

The results show that by installing piping in the number 5 lateral channel piping and applying water on the basis of the calculated irrigation schedule, a water saving of 663.3 thousands of m^3 is obtained. This, in turn, produces a Present Value of a Future Benefit of \$6,746,140.86 and a Cost Benefit Ratio of 2.83.

KEY WORDS: water saving, piping of irrigation channels, economic benefit.

I. INTRODUCCIÓN

En México, el uso consuntivo del agua para los diferentes usos, es cada vez más limitado, en particular lo que corresponde al riego agrícola es la actividad que más agua utiliza y su eficiencia de riego por gravedad, escasamente alcanza el 35 %, a causa de esta cifra tan baja, mucha superficie se queda sin sembrar y en el menor de los casos la oportunidad en el servicio no es el adecuado. Este problema es común para la mayoría de las zonas de riego del centro y norte de México, por lo que es necesario desarrollar propuestas de tecnología de riego que aumente la eficiencia y se pueda remediar al máximo este problema. De particular interés es la zona del distrito de riego 100-Alfajayucan, en el Estado de Hidalgo, en el que la mayor parte de superficie es regada con aguas residuales provenientes de la Ciudad de México y zona Metropolitana. En un principio se creía que al aumentar la población de los lugares anteriores y por ende los servicios de agua potable, crecería el volumen de descarga hacia el Valle del Mezquital en el Estado de Hidalgo, y así se dispondría de mayor volumen para los distritos de riego. Al pasar los años se observa que aunque la Ciudad de México y sus alrededores han crecido en población y extensión, el volumen de agua que descargan es similar, lo anterior se debe a que el volumen de agua potable del que disponen, sigue siendo afín año con año, para el 2005 fue de “2,790,936 millares de m³”, (Gerencia Regional de Aguas del Valle de México y S.C., 2006).

A consecuencia de lo anterior y en vista de que en este distrito de riego la superficie que año con año se siembra en cierta época del año (periodo abril-junio) sufre de escasez de agua y al cultivo de alfalfa se llega al límite de suspender el servicio; en este trabajo se propone buscar una alternativa en la cual con el mismo volumen de agua anual que actualmente se utiliza, los cultivos cuenten con el servicio de riego en cantidad y oportunidad, de tal manera que desarrollen al máximo su potencial productivo.

Después de analizar la alternativa de conducir el agua a través de tubería de PVC en el canal lateral No. 5 M. I. km. 12+000, y entregar el recurso al cultivo de alfalfa en función del calendario de riegos calculado, se logrará ahorrar agua y entregar oportunamente el servicio de riego, de tal manera que la inversión que se realice en esta nueva tecnología, con el aumento del rendimiento del cultivo, se logrará recuperar en un plazo no mayor de 20 años.

II. OBJETIVOS

2.1 Generales

Estimar el volumen de agua ahorrado mediante el entubamiento de la red menor de canales en el Módulo No. 6.

Estimar los parámetros económicos que determinen la viabilidad del proyecto.

2.2 Específicos

Estimar el volumen de agua recuperado, con la propuesta de tuberías en lugar de la actual forma de distribución en el Módulo Canal del Centro.

Estimar los costos de la implementación de esta nueva tecnología.

Estimar el valor de la producción adicional con esta nueva tecnología.

Determinar el valor actual de un beneficio futuro y la relación beneficio-costos, como indicadores de viabilidad económica del proyecto.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

El problema principal en la distribución del agua, sobre todo en una zonas de riego que comprenden miles o cientos de miles de ha, consiste en entregar el agua a los usuarios en forma oportuna, cuando el cultivo lo necesite. El combinar una buena eficiencia global del riego con la entrega oportuna del agua a veces no es posible y en este caso debe darse preferencia a la oportunidad del riego, ya que esa es la finalidad de un Distrito de Riego, pues como se sabe, esto es fundamental en la mejora del rendimiento de los cultivos (Palacios, 1989).

Arreguín (1997), establece que es necesario mejorar la captación y conducción, mediante la disminución de la filtración y el control automatizado de canales. También afirma que es necesario el mejoramiento de las técnicas de riego, como el riego intermitente, el riego con déficit y el reuso del agua.

Por su parte Gorantiwar and Smout (2003) desarrollaron un proyecto denominado “Suministro de agua escasa usando déficit de riego en sistemas rotacionales” para el cultivo del trigo en la India. Sobre el proyecto dan a conocer que cuando el recurso agua es escaso, es necesario suministrarla óptimamente en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo, tomando en cuenta los diferentes tipos de suelo que se tienen en el área de estudio. El suministro óptimo del agua es el aplicar menos agua que la necesaria y obtener un rendimiento máximo. Sugieren que en la 3ra. etapa de desarrollo del cultivo, se debe suministrar el agua de manera óptima de un reservorio, el déficit de riego en el suelo se debe dar seguimiento a través de un modelo de simulación-optimización.

Encontraron que en este proyecto al utilizar la práctica de “Suministro de agua escasa usando déficit de riego en sistemas rotacionales”, aumentó el área

regada y la producción total de 30-45 % y del 20-40 %, respectivamente, en comparación con la práctica de entregar un volumen constante para cada riego, y por 50 y 45 %, respectivamente, sobre la práctica de regar el primer riego a capacidad de campo y los siguientes a intervalos cortos.

Una parte medular de este trabajo, es el diseño de la tubería que conducirá el caudal necesario para abastecer de riego al cultivo de alfalfa, por lo que es significativo mencionar que dentro de los factores más importantes que influyen en el diseño de la infraestructura de riego, destacan los siguientes, Magaña (2004).

- ⇒ Climatología (Temperatura, lluvias, viento, etc).
- ⇒ Suelos (Topografía, textura, estructura, capacidad de retención del agua, infiltración, conductividad hidráulica, etc.).
- ⇒ Recurso hídrico (Origen, calidad, cantidad, etc.).
- ⇒ Tecnologías disponibles
- ⇒ Forma de distribución del agua (Continua, por turno, demanda libre, demanda controlada).
- ⇒ Recursos humanos (Población, experiencia en el riego, nivel socio-cultural, etc.).
- ⇒ Disponibilidad de fondos para inversión en infraestructura.
- ⇒ Vocación productiva y adaptación de los productos a los mercados naturales.
- ⇒ Factores varios.
 - Costos de insumos.
 - Tradición local
 - Sistemas de tarifas para el cobro del agua.
 - Tipo de tenencia de la tierra
 - Asentamientos
 - Grado de organización de los regadores.

En los últimos años se han propuesto algunos elementos técnicos que han contribuido de manera importante en la optimización y manejo del recurso agua, como son:

- Aplicación de sistemas informáticos para el diseño de redes de distribución a baja presión o en régimen de superficie libre.
- Solución de las ecuaciones representativas del movimiento del agua en el suelo.
- Introducción de tuberías de baja presión para riego por gravedad.
- Aplicación de métodos de riego presurizado.
- Aplicación de encuestas sociológicas y debates para conocer la opinión de los usuarios.

A continuación se presenta una breve revisión sobre aspectos considerados en el diseño de una red de distribución de agua.

3.1 Balance de agua en el suelo

Palacios (2002) da a conocer que un programa de riegos para el futuro, se basa en información de la historia meteorológica; sin embargo, para definir el momento de regar un cultivo que se tenga establecido se requiere un procedimiento más preciso. Para ello se utiliza un muestreo de campo para conocer cual es el contenido de humedad en un tiempo dado, o bien el método del balance de humedad del suelo, como un procedimiento más expedito. También se usan los dos métodos combinados.

A continuación se explican mas a detalle estos procedimientos que miden con herramientas muy simples la humedad del suelo, la evaporación y precipitación, de tal manera que el seguimiento a estos elementos climáticos y a la humedad del suelo, estén al alcance de cualquier agricultor con el menor esfuerzo.

3.1.1 Herramientas para medir la evaporación y la precipitación

Cuando no se encuentre cerca del área de estudio una estación climatológica que cuente con un evaporómetro tipo A y un pluviómetro, la evaporación y precipitación se miden con algunos recipientes con aceptable precisión.

Para medir la evaporación se usa un molde de aluminio para hacer pasteles, de unos 30 cm de diámetro, de ser usado este molde se debe hacer un ajuste por el diámetro, con la siguiente ecuación (Palacios, 2002):

$$TA = 0.18 + 0.19Tc \quad (3.1)$$

Donde,

TA – Lectura medida en tina tipo A, mm

Tc – Lectura medida en recipiente auxiliar, mm

La medición se hace diariamente o con intervalos de tiempo mayores si es que se acaba de aplicar un riego. Se lleva a cabo utilizando una regla graduada hasta milímetros; sin embargo, se torna difícil para lecturas pequeñas, por lo que es posible mejorar dicha precisión si se utiliza un procedimiento volumétrico para medir dicha variable.

Para medir la lluvia, se utiliza un bote cilíndrico de unos 15 cm de diámetro, o una cuña de plástico que se fabrica específicamente para este fin y la cual es bastante precisa. Midiendo con un recipiente graduado el volumen precipitado. Para el caso de cultivos perennes, como la caña de azúcar, Palacios (2002) reporta que se ha visto que el momento del riego se estima midiendo directamente la evaporación en una tina y relacionándola con la lámina que consume del suelo. Por ejemplo, si la relación es 1:1 y la lámina que almacena el suelo en la zona radical es de 20 cm, se debe regar al consumirse 50 % y se aplicará el riego cuando se consuman 10 cm en la tina. En la caña se ha observado que la relación evapotranspiración/evaporación en tina A es casi 1.

3.1.2 Balance de la humedad en el suelo

Palacios (2002) da a conocer que el balance de la humedad en el suelo tiene como base la ley de la conservación de la materia, por lo que si se denomina La_i a la lámina de agua disponible en el suelo en el día i , E_i , a la entrada de agua el mismo día y S_i a la salida de agua el mismo día, la siguiente igualdad es válida:

$$La_i = La_{i-1} + E_i - S_i \quad (3.2)$$

Sujeto a:

La_i menor o igual que $La_{m\acute{a}x}$, Si La_i es mayor que $La_{m\acute{a}x}$, entonces

$$D_i = La_i - La_{m\acute{a}x} \quad (3.3)$$

Donde:

$La_{m\acute{a}x}$ es la lámina máxima útil que almacena el suelo a la profundidad de las raíces y D_i es la lámina drenada abajo de la zona radical.

Debido a la complejidad del movimiento del agua en el suelo cuando hay un manto freático cercano a la superficie, se supondrá que dicho manto es lo suficientemente profundo como para que no proporcione agua al balance, también se supondrá que la salida de agua es por percolación profunda o por evapotranspiración.

Los balances calculados consideran que es posible hacer un rápido estimado del contenido de humedad en el suelo tomando en cuenta las características de la textura del mismo; sin embargo, en muchos casos será conveniente verificar dicho contenido mediante un muestreo directo del suelo, determinando el contenido de humedad por el método gravimétrico.

Magaña (1994) indica que en el balance de humedad del suelo por lo general se considera una sola capa, que es en donde se desarrollan las raíces, y se aplica el principio de conservación de la masa para estimar la humedad del suelo en el tiempo. El modelo global algebraicamente se representa de la siguiente manera:

$$H_i = H_{i-1} + EN_i - SA_i \quad (3.4)$$

Donde:

H_i - Contenido de humedad en el período i , en cm.

H_{i-1} - Contenido de humedad en el período $i-1$, en cm.

EN_i - Entradas de agua al suelo en el período i , en cm.

SA_i - Salidas de agua del suelo en el período i , en cm.

La mayoría de los trabajos que estudian el régimen hídrico del suelo con fines de diseño, se han realizado siguiendo este enfoque debido a su aplicación práctica y a que no se requiere de mucha precisión. En la Ec. 3.4, en el término EN_i se consideran básicamente la lluvia, el riego y el aporte del manto freático, y en el término SA_i se considera la evapotranspiración, el escurrimiento superficial y la percolación.

En cuanto al número de términos de dicha ecuación y los métodos para determinar cada uno de ellos, el manejo que le dan los diferentes autores depende de las condiciones en que se va a aplicar el modelo, de la información disponible y del criterio del autor.

3.2 Formas de distribución del agua en las zonas de riego

En el diseño de la infraestructura hidráulica, la forma de distribución es un factor determinante en el que deben tomarse en cuenta las tradiciones y costumbres de los usuarios, lo cual rara vez se hace. Los métodos de distribución pueden clasificarse de la siguiente forma (Palacios,1989).

3.2.1. Distribución continua. Se da en áreas muy grandes o en uso industrial y doméstico. En México esto ocurre en un pequeño porcentaje de los distritos de Riego. Consiste en entregar en forma más o menos continua un gasto fijo durante el ciclo agrícola.

3.2.2. Distribución a demanda libre. Este método faculta al usuario a utilizar el recurso agua con una gran libertad: en el momento en que lo desee y el tiempo que estime necesario. Este solo se establece en Distritos con abundancia de agua, canales con capacidad excesiva, y en donde la demanda no es muy grande. En México prácticamente no existe esta forma de distribución. Sin embargo, es muy funcional en sistemas de riego a base de tuberías. En este caso solo se le limita al usuario la presión y el caudal máximo.

Este método se maneja en España en redes modernas de tubería a presión, y precisa de equipos sofisticados para medir el volumen usado y el momento en que se dispuso de él, pues el sistema de tarifas pretende incentivar el gasto en horas de menor demanda. Sus ventajas principales son su flexibilidad de funcionamiento, fomento al ahorro y su adaptación a los requerimientos de los usuarios.

3.2.3. Distribución por tandeos o turnos. Este método se basa en el criterio de estricta igualdad; se considera el reparto con cierta periodicidad a cada usuario según un calendario de riego previamente establecido, de aceptación general. Este aprovecha de una forma racional la infraestructura y el recurso agua. Con este sistema el usuario tiene que regar cuando le corresponda y no precisamente cuando el cultivo lo requiera. Este inconveniente de mínima flexibilidad y la obligación de regar en un determinado momento (noches, días festivos). Es adecuado en zonas con suelos homogéneos y ocupados por un solo cultivo.

3.2.4. Distribución a demanda controlada. Consiste en programar la extracción del agua de la fuente de abastecimiento de acuerdo con la solicitud hecha por el

usuario. En este caso, con fines de mejorar en la mayor medida posible la eficiencia de distribución, la solicitud debe hacerse con varios días de anticipación y en la medida de que haya una mayor coordinación entre los usuarios y los operarios del distrito, este período puede acortarse. Su inconveniente es que no siempre se entrega de manera oportuna el agua, sin embargo, es el más usado en México.

3.3 Eficiencia del riego

La eficiencia global en una zona de riego se define como la relación entre el volumen de agua puesto a disposición de los cultivos en la capa radical, y el volumen total suministrado a la zona. Este es un concepto importante en el diseño o rehabilitación de una zona de riego, así como en el mejoramiento de su operación.

En la evaluación de la eficiencia global de riego para una determinada zona, se consideran las eficiencias de conducción, de distribución y de aplicación. Estas corresponden a la red de conducción, red de distribución y parcelas de riego respectivamente (Lujan, 1992, citado por Magaña, 1994).

3.3.1 Eficiencia de conducción

Corresponde al tramo recorrido desde la captación hasta las estructuras de derivación a las estructuras terciarias, que son generalmente la conducción de mayor orden en que el usuario toma el agua. Incluye las conducciones en tramo muerto y canal principal, y se expresa por la relación entre el volumen derivado a todas las conducciones terciarias y el volumen suministrado al inicio de la red.

De acuerdo con una encuesta realizada por la Internacional Comisión on Irrigation and Drainage en 54 países, las eficiencias de conducción son menores del 20 % en el 50% de los países encuestados, la de distribución varía entre 30 y 50% en la misma proporción de países, y las globales entre el 10 y 40 % en el 80 % de esos países (Lujan, 1992, citado por Magaña, 1994).

Arreguín (1997) determina que se pierde mucha agua en la conducción desde las presas o pozos hasta las parcelas. Estima que en promedio, la eficiencia mundial de los sistemas de riego por gravedad es del 37 %.

3.3.2 Eficiencia de distribución

Ésta corresponde a la relación entre el volumen entregado a todas las parcelas y el volumen derivado a la red terciaria. Esta eficiencia, al igual que la de conducción, considera las siguientes pérdidas.

- Por infiltración en los canales terciarios.
- Por evaporación, y por transpiración cuando haya vegetación dentro o muy cerca del canal.
- Por operación, por ejemplo, por desbordamiento, a través de estructuras de control y por coleos.

3.3.3 Eficiencia de aplicación

Corresponde a la relación entre el volumen de agua puesto en la zona radical del cultivo y el volumen entregado en las tomas de las parcelas. Los tipos de pérdidas que se consideran en la determinación de esta eficiencia, son; Esguerrimiento superficial, percolación y evaporación durante el riego.

En Estados Unidos de Norteamérica, se han hecho numerosos estudios para justificar la aplicación de modernos métodos de riego en lugar de los tradicionales, tal es el que presentan: Venn, Johnson y Pochop (2004) al formular un estudio de la cuenca del Río Salt, al oeste de Wyoming, Estados Unidos, que iniciaron a finales de los 60s y terminaron a mediados de los 70s. Su trabajo consistió en determinar el impacto que ocasiona en las cuencas, el hecho de cambiar de riego por gravedad a aspersión. Los resultados que obtuvieron es que el flujo de los ríos incrementa al implementar estas tecnologías, ya que al disponer de menor volumen de agua de la fuente de

abastecimiento, ésta se vió reflejada en el incremento de volumen de agua del río. Esta conversión del riego también impactó en los tributarios a esta corriente. El incremento del volumen del Río SALT fue en promedio de 65.62 MCM/año. Los tributarios también reflejaron un incremento del 34 % en mayo y 50 % en junio, mientras que disminuyó 15 y 14 % en agosto y septiembre. Otro factor que también observaron al utilizar el riego por aspersión en lugar de gravedad, es que con el primer método se evita el arrastre de partículas de suelo.

El motivo de este trabajo coincide con lo que presentan Venn, Johnson y Pochop (2004). Ya que cuando se inicie el tratamiento de las aguas residuales de la Ciudad de México y su Zona Metropolitana, parte del volumen que en la actualidad envían al Valle del Mezquital, ya no llegará y lo van a reutilizar para otras actividades, tales como inyectado al acuífero, riego de jardines, enfriamiento de maquinas en la industria, entre otras.

3.4 Estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_o)

Se han desarrollado numerosos métodos útiles para la estimación de la evapotranspiración; los cuales se dividen en:

a).- Métodos directos. Proporcionan directamente el consumo total del agua requerido por el cultivo, utilizando para ello aparatos e instrumentos para la determinación; se cita los siguientes:

⇒ Método disimétrico.

- Pesada
- Drenaje

⇒ Método del evapotranspirómetro.

⇒ Gravimétrico en parcelas experimentales.

⇒ Atmómetro

⇒ Micrometeorológicos

- b).- Métodos indirectos o con datos meteorológicos. Estos obtienen en una forma indirecta una estimación del agua requerida por el cultivo, a través de todo el ciclo vegetativo, mediante fórmulas.

Se han desarrollado muchas fórmulas para el cálculo o estimación de la evapotranspiración de referencia basadas en ciertos datos meteorológicos promedio, como temperatura media, tensión de vapor, humedad relativa, viento, radiación, etc. Se citan los siguientes métodos:

⇒ Blaney y Criddle

⇒ Blaney y Criddle simplificado por USDA

⇒ Blaney y Criddle ajustado por Phelan

⇒ Curva Única de Hansen.

⇒ Grassi-Christianse.

⇒ Thornthwaite

⇒ Penman ajustado

⇒ Hargreaves

⇒ Turc (simplificado)

⇒ Papadakis.

⇒ Davydov

⇒ Meyer

⇒ Makkink

⇒ Tanque de Evaporación “Tipo A”

Para este trabajo, el método utilizado para determinar la evapotranspiración de referencia fue el del Tanque de Evaporación “Tipo A”, debido a la facilidad y disponibilidad de la información que se requiere y porque diferentes autores llegan a la conclusión que es un buen método con el cual se reportan buenos resultados. Este método establece que:

$$ET_0 = K_t E_v \quad (3.5)$$

Donde

ET_0 – Evapotranspiración de referencia, mm/día.

K_t – Coeficiente de tanque, adimensional.

E_v – Evaporación medida en tanque, en mm/día.

El valor de K_t , se determina a partir de datos experimentales, a partir de información de humedad relativa y velocidad del viento promedios, así como de las características que rodean dicho tanque. Palacios (2002), considera que de 70 a 80 % de la lámina evaporada en los evaporómetros tipo A, que son tinajas cilíndricas de aluminio de 1.22 m de diámetro, es un buen estimado de la evapotranspiración de referencia para periodos mayores de 5 días.

La evapotranspiración de referencia y la evaporación a partir de una superficie de agua libre están afectadas por los mismos factores meteorológicos: radiación, humedad, viento y temperatura. Aunque existen diferencias en

cuanto a la rugosidad de la superficie, su albedo y posiblemente otros factores involucrados, la evaporación de agua libre debe ser un mejor índice de la evapotranspiración de referencia que la temperatura del aire. Por lo tanto constituye el mejor método para calcular la evapotranspiración de referencia.

3.5 Estimación de la evapotranspiración de cultivo máxima

La evapotranspiración máxima de un cultivo, es la cantidad de agua evaporada desde el suelo más el agua transpirada por la planta, cuando no existe limitante de humedad en el suelo. Para fines de planeación, esta variable se estima a partir de métodos indirectos, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$ETM = K_c ET_0 \quad (3.6)$$

Donde:

K_c - Coeficiente de consumo de agua por las plantas, adim.

ETM – Evapotranspiración de cultivo máxima, en mm/día.

ET_0 – Evapotranspiración de referencia, en mm/día.

El Coeficiente K_c varía según el cultivo y su porcentaje de desarrollo. El modelo considerado para el cultivo de alfalfa, se obtuvo mediante un procedimiento de regresión polinomial, con base en datos experimentales reportados por Palacios (2002).

La evapotranspiración real (ETR), es la que se da en las condiciones reales del suelo, considerando fluctuaciones que expresan niveles variables en la humedad del suelo, y son influenciados por la etapa de crecimiento, porcentaje de cobertura, altura de la planta y total superficie foliar.

La evapotranspiración se limita por la humedad disponible dentro de la zona radicular, por las enfermedades de los cultivos y por algunas características morfológicas externas e internas del cultivo.

3.6 La hidrología y su relación con la precipitación y evaporación

Al tratar de explicar un fenómeno hidrológico, es necesario primeramente entender el ciclo hidrológico, ya que este hecho no es aislado, es decir, la cantidad de agua que escurre de una cuenca, es directamente proporcional a la precipitación, evaporación, extensión de la cuenca, pendiente, vegetación, tipo de suelo, entre otros. La distribución e intensidad de la precipitación es muy importante, para predecir el escurrimiento, al combinar las otras variables se determina el agua que se infiltra al suelo y que va a beneficiar la agricultura.

De esta manera, se concluye que las características hidrológicas de una región están definidas por:

- a). Estructura geológica. La caracterización geológica se hace con la finalidad de conocer las estructuras geológicas tales como oquedades, fracturas y fallas abiertas, cuerpos permeables, etc; así como la capa superficial de la tierra.
- b). Localización geográfica. Es importante desde el punto de vista que ciertas regiones se caracterizan en zonas áridas, subhúmedas y húmedas, esto de acuerdo a la latitud del lugar.
- c). Clima. Los elementos que determinan el clima de una región son principalmente: la temperatura, humedad, los vientos, la evaporación y la precipitación.

3.6.1 Probabilidad y estadística en precipitación y evaporación

Cuando se quiere saber la naturaleza que gobierna a cualquier fenómeno con fines de predicción, se debe partir del hecho de que todos los fenómenos son diferentes y que por simple razonamiento no se podrán predecir. La mejor manera de hacerlo es contar con un registro de datos del comportamiento del fenómeno, y darles un tratamiento estadístico adecuado, de tal manera que los resultados se aproximen a lo que se espera de él.

Debido a que la precipitación es uno de los principales factores que intervienen en el escurrimiento superficial, y también a que este elemento climático está mal distribuido tanto espacial como temporalmente. Es razón suficiente para que se deba estudiar desde un punto de vista probabilístico, de tal manera que el valor que se tome para planear algún proyecto tenga cierta seguridad que ocurra y los resultados que se esperen de cualquier trabajo, sean satisfactorios.

La evaporación es un fenómeno climático que al igual que la precipitación, se debe determinar para un cierto nivel de probabilidad de excedencia, cabe aclarar que aunque no varía de manera drástica como la precipitación, es conveniente asegurar la ocurrencia.

3.6.1.1 Probabilidad

La planeación de los sistemas de riego y diseño de obras hidroagrícolas están siempre relacionadas a eventos climatológicos futuros. De estos sucesos también es cierto que su magnitud y ocurrencia no se conoce en forma precisa, es por esto que se recurre a la herramienta de la probabilidad o frecuencia, con la cual un determinado evento es igualado o excedido en un tiempo y espacio determinado.

La selección del nivel de probabilidad apropiado para la planeación de la operación de sistemas de riego y diseño de obras hidroagrícolas, depende de condiciones económicas, políticas y sociales.

En el cuadro 3.1, se presentan los diferentes escenarios de probabilidad que utiliza la Comisión Nacional del Agua para planear la ocurrencia del escurrimiento superficial; lo cual también debe ser aplicado para las variables precipitación y evaporación, en virtud de que estas últimas participan directamente en la magnitud del escurrimiento.

Cuadro 3.1. Escenarios de probabilidad.

No.	Criterio	Prob. de ocurrencia (%)
1	Seco	98
2	Medio seco	75
3	Normal	50
4	Medio húmedo	25
5	Húmedo	2

Los escurrimientos esperados para integrar el plan de riegos, la Comisión Nacional del Agua, normalmente utiliza el criterio medio seco, es decir, a la probabilidad de ocurrencia del 75 %.

En la planeación de la operación de los sistemas de riego, si se quiere un alta probabilidad de que el evento suceda, los costos de la obra se elevarán, en cambio si la probabilidad de que un evento se presente es baja, el costo disminuirá, pero se corre el riesgo de que los resultados esperados no sean satisfactorios e incluso son catastróficos.

La recopilación, ordenamiento y procesamiento estadístico de los datos de fenómenos tales como la precipitación y evaporación, tienen como finalidad sacar modelos estadísticos que los representen y de esta manera predecir con cierto riesgo el comportamiento, para finalmente planear la operación de sistemas de riego, presas de almacenamiento, entre otras obras.

3.6.1.2 Variables aleatorias

Aparicio (2001) establece que “cuando un evento A, en presencia de un conjunto de condiciones S, a veces ocurre y a veces no, se llama aleatorio con respecto al conjunto S, es natural suponer que, cuando esto sucede, no se han tomado en cuenta en el conjunto S todas las condiciones necesarias para la ocurrencia o no ocurrencia del evento, y no, como a veces se hace que no exista una ley física que conduzca a esta ocurrencia y no ocurrencia. Esas

condiciones o leyes que no se incluyan en el análisis del evento A se suplen entonces por una ley de probabilidades que dirá, en general, con que frecuencia se presenta el evento dadas las condiciones S”.

Las variables aleatorias al igual que los espacios muestrales, se clasifican en discretas y continuas. Las discretas son aquellas que toman un número infinito de valores, las continuas toman cualquier valor en un intervalo dado.

Cuando el conjunto de datos que se está analizando es muy grande, sus variaciones son representadas en forma resumida mediante una tabla de frecuencias, las cuales clasifican los conjuntos de observaciones de acuerdo al número de variaciones que caen dentro de ciertos límites.

Sturges, citado por Guillén (1991) recomienda que el número de clases se determinan por la fórmula siguiente:

$$K = 1 + 3.3 \log(n) \quad (3.7)$$

Donde:

K – Número de clases

n – Número de observaciones

Para conocer el intervalo de clase es con la siguiente fórmula:

$$I = \frac{\text{Rango}}{K} \quad (3.8)$$

Donde:

I – Intervalo de clase

Rango = Valor máximo – Valor mínimo.

El número de variaciones que caen dentro de un intervalo de clase dado se llama la frecuencia absoluta de clase, o simplemente frecuencia absoluta.

El conjunto de frecuencias absolutas con sus respectivas clases o puntos medios de clase se llama distribución de frecuencias.

La frecuencia acumulativa para una clase dada es la suma de las frecuencias absolutas de todas las clases.

3.6.1.3 Población y muestra

Una población es desde el punto de vista estadístico un conjunto de todos los resultados posibles de un experimento aleatorio, si éste se repitiera en todas las unidades que se quiere investigar.

Una muestra es un subconjunto de la población, y en si es el conjunto de resultados estadísticos que se colectan al estar realizando el experimento, el tamaño y distribución dentro de la población, depende de lo que se quiera investigar, condiciones políticas, económica y sociales.

Ostlé (1963), citado por Guillén (1991), define que “una población es la totalidad de los valores posibles (mediciones o conteos) de una característica particular de un grupo especificado de objetos. Tal grupo especificado de objetos se llama un universo, obviamente, un universo tiene varias poblaciones asociadas con él, y una muestra es parte de la población, seleccionada de acuerdo con una regla o plan”.

De lo anterior, se resume que en poblaciones finitas es posible tomar todo el espacio muestral para realizar el experimento; no así en las poblaciones infinitas en las que para realizar un experimento es necesario tomar una muestra de la población objetivo.

Infante y Zárate (1984), indican que una muestra de una población estadística “es el conjunto de resultados que se colectan de hecho en una investigación. Una muestra debe ser un subconjunto de la población”.

Las cosas más importantes que se deben saber acerca de las muestras es:

Qué objetivo se persigue con la muestra.

Qué población ha sido muestreada.

En la práctica se han encontrado varias clases o tipos de muestras y las características que distinguen a un tipo de otro son:

La manera de obtención de la muestra

El número de variables consideradas

El fin para el que fue extraída la muestra

De acuerdo al método de selección las muestras se clasifican en dos grandes clases que son las que se seleccionan por criterio y la que se seleccionan por medio de un mecanismo casual. Las muestras elegidas de acuerdo al mecanismo casual, son llamadas muestras de probabilidad, si cada elemento de la población tiene una probabilidad conocida de pertenecer a la muestra.

3.6.1.4 Cantidades estadísticas para comparar poblaciones

Guillén, (1991) establece que “un conjunto de datos, distribución de frecuencias o histogramas presentan formas muy variadas por lo que no es práctico comparar dos o más conjuntos de datos mediante una inspección general, ya que se llegaría a conclusiones erróneas”.

Debido a lo anterior es necesario obtener cantidades que de una manera ayuden a comparar los datos de una población a otra. Del conjunto de datos analizado, se deben obtener las cantidades que cuantifiquen la tendencia central, la dispersión de los datos y la simetría de los mismos.

⇒ Las medidas de tendencia central que se determinan son:

- Media aritmética
- Mediana
- Moda

Con el propósito de medir la variabilidad de las observaciones entre conjuntos de datos, generalmente se toma en cuenta las siguientes medidas de dispersión:

- La varianza
- Desviación estándar
- Coeficiente de variación
- Amplitud
- Desviación media.

⇒ Medidas de asimetría.

De éstas la más comúnmente usada es el coeficiente de asimetría, se utiliza para cuantificar la simetría de la distribución de frecuencias de una característica x .

3.6.1.5 Selección de medidas descriptivas

De las medidas de tendencia central mencionadas anteriormente, la media aritmética es sin lugar a dudas la más usada. La razón principal de su popularidad es que posee propiedades teóricas que la vuelven indispensable en los métodos de la estadística inductiva. Sin embargo cuando solo se trata de describir los datos, la moda y especialmente la mediana son mejores medidas. Cuando la distribución de frecuencias es marcada asimétrica, la mediana da una idea más exacta del centro de la distribución que la media. Otra de las desventajas de la media, es que cuando se tienen tablas de frecuencias con el

primer y/o último intervalo de clase abierto, no es posible calcular la media, por lo que se debe acudir a calcular la mediana o moda como medida de tendencia central.

En lo que respecta a las medidas de dispersión, la más usada es la desviación estándar, ya que ésta comparte las ventajas y desventajas de la media aritmética. El coeficiente de variación debe usarse para comparar la variabilidad de dos conjuntos de datos.

Las medidas de asimetría se usan para comparar la asimetría del conjunto de datos.

3.6.1.6 Selección de datos

Linsley y Paulhus (1977), mencionan que para que el análisis produzca resultados útiles, debe comenzar con una serie de datos significativos, adecuados y precisos. Cuando se dice que los datos son significativos esto implica que deben ser representativos e imparciales de la población estudiada. La serie de datos debe ser adecuada. Esto se refiere principalmente a la longitud del registro, pero incluye también el problema muy frecuente de escasez de datos apropiados, es decir, suficientes en número y apropiados al problema. Si la muestra es muy pequeña las probabilidades obtenidas no resultan muy confiables.

3.6.1.7 Estimación de los parámetros

Si x es una variable aleatoria, la función de distribución que está asociada a ella, define la probabilidad de que dicha variable tome valores menores o iguales que un valor fijo x , es decir:

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (3.9)$$

En general, tanto $f(x)$, como $F(x)$ representan funciones obtenidas en forma empírica, teórica o mixta; todas las funciones tienen parámetros característicos que las definen, y que con frecuencia se asocian a las propiedades de la muestra; así, se tienen parámetros de escala, referidos a la media; de forma, referidos a la varianza; de ubicación, referidos a los valores mínimos o máximos de la muestra, etc.

Obregón (1984), citado por Guillén (1991), postuló que cierto fenómeno físico que genera valores numéricos en forma no determinística, se rige por una distribución de probabilidades de forma específica, pero que depende de uno o más parámetros de valor numérico desconocido, y dada una muestra observada del fenómeno ¿qué valores numéricos se deben atribuir a los parámetros?.

Así define a un estimador como estadígrafo (y por lo tanto una variable aleatoria) cuyo valor observado se intenta usar para estimar el valor de un parámetro desconocido de una atribución.

3.6.1.8 Valores esperados

El valor esperado de una función de variable aleatoria se obtiene hallando el valor medio de la función para todos los valores posibles de la variable.

El valor esperado es una media teórica o ideal, es decir, no es que se espere que x tome el valor esperado en un evento determinado. Sin embargo, si se espera de manera razonable que el valor medio de x en un gran número de eventos se acerque al valor esperado de x , o bien el valor esperado de una función cualquiera de una variable aleatoria x , se define como el promedio pesado por la probabilidad de ocurrencia de la función respecto a todos los valores posibles de la variable x .

3.6.1.9 Funciones de distribución de probabilidad utilizadas

Con el afán de pronosticar la presencia de fenómenos naturales tales como la precipitación, evaporación y escurrimientos, etc. Personas dedicadas a la operación y planeación de sistemas de riego, han tenido que hacer uso de las funciones de distribución de probabilidad.

Se señalan tres etapas fundamentales en el desarrollo de la aplicación de las funciones de distribución de probabilidad.

Una etapa de desarrollo teórico en la cual, utilizan las propiedades físicas del fenómeno, se plantea una función de distribución de probabilidad que, bajo ciertos supuestos representa el fenómeno por estudiar.

Una vez definida la función de distribución de probabilidad, se estudia el fenómeno y se procede a comprobar su ajuste con el comportamiento empírico del fenómeno. El ajuste se hace a través de las pruebas de bondad de ajuste.

Una vez que la función es ajustada y probada su bondad, se procede a darle uso con las restricciones y supuestos establecidos.

El estudio de los fenómenos naturales se ha desarrollado a través de dos corrientes: una basada en métodos empíricos y la otra basada en funciones de distribución de probabilidad.

En los métodos empíricos al registros de valores de los eventos en estudio, se les asocia un nivel de probabilidad, además para el conjunto de datos se estudian sus parámetros estadísticos de tendencia central y dispersión, con éstos se hace inferencia del comportamiento del fenómeno. La desventaja de este método es que se requiere un registro grande de datos.

Para el caso del uso de las funciones de distribución de probabilidad es importante el tamaño de la muestra, pero mediante el uso de las pruebas de

bondad de ajuste y su comparación con los valores observados del fenómeno estudiado se infiere con cierto grado de confiabilidad la probabilidad de ocurrencia del fenómeno.

Linsley y Paulhus (1977), mencionan que debido a que la longitud de los registros es normalmente corta, no es posible determinar la distribución de frecuencias más apropiada para ser usada al analizar las probabilidades asociadas a crecientes. No obstante investigadores sobre este tema han sugerido varias distribuciones, fundamentan como prueba a su favor la habilidad de estas distribuciones para ajustarse a los datos de uno o varios ríos. A pesar que se han dedicado grandes esfuerzos para definir la mejor distribución para crecientes, varios ensayos sugieren que no existe una distribución claramente superior. Intuitivamente no existe razón alguna para que una distribución única sirva para todos los ríos.

Aparicio (2001), cita que en la estadística existen decenas de funciones de distribución de probabilidad teóricas, que existen tantas como se quiera, sin embargo no es posible probarlas todas para un fenómeno en particular, por lo que es necesario escoger de la gran diversidad las que mejor describan el comportamiento del fenómeno. Así mismo menciona que las funciones Normal y Log-Normal son generalmente apropiadas para variables aleatorias que cubren todo el rango de valores de los resultados posibles del experimento bajo análisis; las funciones Gumbel se desarrollaron, en cambio, para el análisis de valores extremos; las funciones Pearson III ocupan un lugar intermedio.

Finalmente en hidrología existen múltiples funciones de distribución de probabilidad teóricas para estimar el comportamiento de las variables aleatorias tales como los gastos, volúmenes, precipitación pluvial, temperaturas, evaporaciones, etc., obviamente no es posible probar todas las funciones de distribución para un problema en particular. Por lo que es necesario escoger de estas funciones las que mejor describan el comportamiento del fenómeno bajo

análisis. Las funciones de distribución de probabilidad más usadas para predecir el comportamiento de variables aleatorias climatológicas son:

- ⇒ Normal
- ⇒ Log-Normal
- ⇒ Pearson III
- ⇒ Gumbel
- ⇒ Gumbel para dos poblaciones.
- ⇒ Raíz Cúbica.

3.6.1.9.1 Función de Distribución de Probabilidad Normal

La curva Normal de probabilidades, es una función de densidad de probabilidades de forma campanular que fue obtenida por primera vez en 1733 por el matemático De Moivre, pero posteriormente el marqués de Laplace y Gauss la estudiaron ampliamente al desarrollar la teoría de los errores, por lo que suele denominarse la ley de Gauss-Laplace. La función de densidad que relaciona la probabilidad con el valor de una variable aleatoria continua x , es:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}} \quad (3.10)$$

Donde μ y σ son los parámetros de la distribución. Estos parámetros determinan la forma de la función $f(x)$ y su posición en el eje x ,

Se demuestra que μ y σ son, respectivamente, la media y la desviación estándar de la población y se estiman como la media y desviación estándar de los datos. La función de distribución de probabilidad Normal es:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}} dx \quad (3.11)$$

Desafortunadamente, no se conoce analíticamente la integral de la ec. 3.11, por lo que es necesario recurrir a métodos numéricos para valuarla. Sin embargo, para hacer esto se requeriría una tabla para cada valor de μ y σ , por lo que se ha definido la variable estandarizada.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (3.12)$$

Que está normalmente distribuida con media cero y desviación estándar uno. Así, la función de distribución de probabilidad se escribe como:

$$F(X) = F(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (3.13)$$

La función $F(z)$ se ha calculado numéricamente y se han publicado un gran número de tablas de ella. Debido a que la función $F(z)$ es simétrica, en las tablas generalmente se encuentran valores de

$$\int_0^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (3.14)$$

Con el avance de la computación, otra forma de estimar $f(z)$ o $F(z)$, es mediante fórmulas aproximadas. La función de densidad $f(z)$ se aproxima, con una precisión mayor de 2.27×10^{-03} .

$$f(z) = (a_0 + a_1 z^2 + a_2 z^4 + a_3 z^6)^{-1} \quad (3.15)$$

Donde:

$$a_0 = 2.490895$$

$$a_1 = 1.466003$$

$$a_2 = -0.024393$$

$$a_3 = 0.178257$$

Y la función de distribución:

$$F(z) = H(z) , \quad z > 0$$

(3.16)

$$F(z) = 1 - H(z), \quad z < 0$$

Donde

$$H(z) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp^{-(z^2/2)} (b_1 q + b_2 q^2 + b_3 q^3) \quad (3.17)$$

Donde:

$$q = \frac{1}{1 + b_0 |z|}$$

$$b_0 = 0.33267$$

$$b_1 = 0.43618$$

$$b_2 = -0.12017$$

$$b_3 = 0.93730$$

3.6.1.9.2 Función de Distribución de Probabilidad Log-Normal

Muchas de las variables hidrológicas exhiben un marcado sesgo a la derecha, debido principalmente a la influencia de fenómenos naturales que tienen valores mayores a cero. En estos casos, las frecuencias no siguen una distribución

normal, pero, afortunadamente, sus logaritmos naturales si lo hacen. La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} \exp^{-1/2 \left(\frac{\ln(x)}{\beta} \right)^2} \quad (3.18)$$

Donde α y β son los parámetros de la distribución. Si se compara la ec. 3.18 con la ecuación 3.10, se deduce fácilmente que α y β son respectivamente la media y la desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria. Los valores de α y β se estiman, a partir de n observaciones x_i , $i = 1, 2, \dots, n$, como:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\ln(x_i)}{n} \quad (3.19)$$

$$\beta = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\ln(x_i) - \alpha)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (3.20)$$

La función de distribución de probabilidad es:

$$F(X) = \int_0^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} \exp^{-1/2 \left[\frac{\ln x - \alpha}{\beta} \right]^2} dx \quad (3.21)$$

Los valores de la función de distribución de probabilidad 3.21 se obtienen mediante la fórmula 3.16 al estandarizar la variable z .

3.6.1.9.3 Función de Distribución de Probabilidad Pearson III (Gama)

La distribución gamma tiene aplicaciones en la matemática estadística y se ha utilizado en estudios estadísticos por la facilidad con la que es evaluada con medios electrónicos.

De gran utilidad es un caso especial de gamma: La Pearson Tipo III, esta distribución ha sido adaptada como el método estándar de análisis de frecuencia transformada de variables aleatorias en una forma conocida como la Log-Pearson III, en el cual la transformación $y=\log x$ se utiliza para reducir el sesgo.

La función de densidad de probabilidad Pearson III se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \left[\frac{x - \sigma_1}{\alpha_1} \right]^{\beta_1 - 1} \exp \left(-\frac{x - \sigma_1}{\alpha_1} \right) \quad (3.22)$$

Donde α_1 , β_1 , σ_1 son los parámetros de la función y $\Gamma(\beta_1)$ es la función gamma.

Los parámetros α_1 , β_1 , σ_1 se valúan, a partir de n datos x_j medidos, mediante el siguiente sistema de ecuaciones.

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \alpha_1 \beta_1 + \sigma_1 \\ S^2 &= \alpha_1^2 \beta_1 \\ \tau &= \frac{2}{\sqrt{\beta_1}} \end{aligned} \quad (3.23)$$

Donde $\bar{x}$ es la media de los datos, S^2 su varianza y τ su coeficiente de sesgo, que se define como:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 / n}{S^3} \quad (3.24)$$

La función de distribución de probabilidad es:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \int_0^x \left[\frac{x - \sigma_1}{\alpha_1} \right]^{\beta_1 - 1} \exp^{-\frac{x - \sigma_1}{\alpha_1}} dx \quad (3.25)$$

Con la sustitución

$$y = \frac{x - \sigma_1}{\alpha_1} \quad (3.26)$$

La ecuación 3.25 se escribe como:

$$F(y) = \frac{1}{\Gamma(\beta_1)} \int_0^y y^{\beta_1 - 1} \exp^{-y} dy \quad (3.27)$$

La función 3.27 es una función de distribución ji-cuadrada con $2\beta_1$ grados de libertad y $x^2 = 2y$.

$$F(y) = F(x^2/\nu) = F_{x^2}(2y/2\beta_1) \quad (3.28)$$

Esta manera de usar la función de distribución Pearson III es estrictamente válida cuando $\beta_1 = \frac{n}{2}$, donde n es un entero positivo cualquiera. Si $2\beta_1$ es no

entero, se toma como el entero más próximo.

Cuando $\beta < 0.3$, será necesario acudir a tablas de la función de distribución gamma de un parámetro. Por otra parte, es también común que los valores calculados de σ con las ecuaciones 3.23 resulten absurdos (muy grandes o negativos). En estos casos, es recomendable fijar el valor de σ “a ojo” como la ordenada al origen en una gráfica de gasto contra periodo de retorno.

3.6.1.10 Pruebas de bondad de ajuste

Aparicio (2001), da a conocer que en la teoría estadística, las pruebas de bondad de ajuste más conocidas son la ji-cuadrada (χ^2) y la Kolmogorov-Smirnov.

3.6.1.10.1 Prueba Kolmogorov-Smirnov

Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada $F_0(x_m)$ y la estimada $F(x_m)$

$$D = \max |F_0(x_m) - F(x_m)| \quad (3.29)$$

Con un valor crítico d que depende del número de datos y del nivel de significancia seleccionado. Si $D < d$, se acepta la hipótesis nula siguiente:

H_0 : La función de distribución de probabilidad es $\Xi(\alpha, \beta, \dots)$

Ξ - Es la función de distribución de probabilidad considerada y $\alpha, \beta, \dots$ son sus parámetros.

El valor de α , es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula. Al incrementar o disminuir este valor, se presentan los errores tipo I y II, respectivamente. El error tipo I es cuando se rechaza H_0 cuando en realidad es falsa. El error tipo II es cuando se acepta H_0 cuando en realidad no es verdadera.

La ventaja que tiene esta prueba sobre la de χ^2 , es de que, compara los datos con el modelo estadístico sin necesidad de agruparlos. La función de distribución de probabilidad observada se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_0(x_m) = \frac{m}{n+1} \quad (3.30)$$

Donde m es el número de orden del dato x_m en una lista de mayor a menor y n es el número total de datos.

3.7 Determinación del gasto máximo

Magaña (1994), da a conocer que una forma de calcular el gasto que circula en cada tramo de la red, es considerando el número de tomas abiertas a las cuales abastece dicho tramo, utilizando para ello la función de distribución probabilística binomial. De donde, el número de x tomas que estén operando en un momento dado, se determina a partir de la función de probabilidad $F_x(x)$ dada por la ecuación:

$$F_x(x) = \sum_{i=1}^x \binom{n}{x} p^i (1-p)^{(n-i)} \quad (3.31)$$

Otro procedimiento para determinar este gasto máximo de diseño que circula en cada tramo de la red, es aplicando el Software PLANDR.

3.7.1 Software sistema para la elaboración de planes de riego (PLANDR)

El Software PLANDR es una herramienta de cómputo acompañado por un manual de usuarios, que permite calcular, imprimir e integrar rápida y fácilmente tantas alternativas de planes de riego como se necesite para los Módulos, Unidades y Distritos, generando además la base de datos para el control y seguimiento del plan de riegos en el año.

Una parte interesante de los resultados que salen del programa, son los diagramas básicos, en los cuales en una de sus filas de la parte inferior de la hoja, se encuentra el volumen bruto decenal.

Fue elaborado por la Universidad Autónoma Chapingo (Departamento de Irrigación), a través de un contrato que realizaron para la Comisión Nacional del Agua en el año de 2004.

3.7.2 ¿Qué es un plan de riegos?

El plan de riegos es el documento que se formula al inicio de cada año agrícola (1º de octubre), en el cual se realiza un balance entre los volúmenes de agua que se espera se tendrán disponibles en las fuentes de abastecimiento, y los que se consideran necesarios para el riego de los cultivos a establecer y para los otros usos diferentes al riego que se tengan comprometidos como el abastecimiento a centros de población, industrias, pecuario y usos fuera del distrito, entre otros; considerando la prioridad de éstos establecida en la Ley de Aguas Nacionales.

3.8 Dimensionamiento de la red

El dimensionamiento de la red consiste básicamente en seleccionar el diámetro de la tubería de cada tramo, para las condiciones de trazo ya establecidas de la red, de tal manera que en cada toma se disponga del gasto requerido y de una presión mínima.

El análisis hidráulico que se realiza para el dimensionamiento de la red tiene como finalidad lograr que la línea de energía quede siempre por encima de las tomas, pero lo más cercano posible al mínimo requerido para evitar pérdidas de energía. La elección del diámetro en cada tramo está en función de la carga

mínima requerida en cada toma, de la longitud del tramo, de las características físicas del tubo, de las piezas especiales de la tubería que ocasionan pérdidas de carga localizadas y de las velocidades mínimas y máximas permisibles.

Los datos necesarios para el dimensionamiento de la tubería, son los que se presentan en los cuadros 3.2 y 3.3.

En el cuadro 3.2, se recomienda especificar la topología de la red y las condiciones bajo las cuales va a funcionar.

Cuadro 3.2. Topología de la red.

No. Tramo	Longitud (m)	Caudal (m ³ /s)	Carga de presión mínima (m)	Cota terreno (m)
1	L ₁	Q ₁	$p_{1/\gamma}$	CT ₁
2	L ₂	Q ₂	$p_{2/\gamma}$	CT ₂
3	L ₃	Q ₃	$p_{3/\gamma}$	CT ₃
.	.	.	.	.
N	L _n	Q _n	$p_{n/\gamma}$	CT _n

Fuente: Ángeles (2002).

En el cuadro 3.3 se especifican todos los diámetros comerciales de las tuberías que potencialmente se utilizan en el dimensionamiento de la red, el costo por metro lineal, límites de velocidad permisibles, presión y tipo de material.

Cuadro 3.3. Diámetros comerciales.

Diámetro (mm)	Precio (\$/m)	$V_{\min}$ (m/s)	$V_{\max}$ (m/s)	Presión nominal (kg/cm ²)	Factor de fricción (adimensional)
1	P_1	V_1	V_1	PN_1	FF_1
2	P_2	V_2	V_2	PN_2	FF_2
3	P_3	V_3	V_3	PN_3	FF_3
.	.	.	.	.	.
N	P_n	V_n	V_n	PN_n	FF_n

Fuente: Ángeles (2002).

En el cuadro 3.3, de manera adicional se debe considerar lo siguiente:

- ⇒ El precio para cada diámetro, incluyendo el transporte, la colocación de la tubería y el relleno de las zanjas, varía por las siguientes causas: tipo de material de la tubería, condiciones económicas del mercado local y época en la que se efectúen las adquisiciones y se ejecute la construcción del proyecto.
- ⇒ Los límites de velocidad se basan en experiencias de campo y varían con el diámetro de las tuberías. Como una orientación, en el cuadro 3.4 se presentan las velocidades máximas y mínimas permisibles en función del diámetro de la tubería.

Cuadro 3.4. Velocidades máximas y mínimas permisibles.

Diámetro (mm)	$V_{\min}$	$V_{\max}$
1000	0.50	3.10
900	0.50	3.10
800	0.50	3.10
700	0.50	3.10
600	0.50	2.85
500	0.50	2.85
450	0.50	2.50
400	0.50	2.30
350	0.50	2.25
300	0.50	2.15
250	0.35	2.05
200	0.25	1.95
150	0.25	1.85
100	0.20	1.80

Fuente: Ángeles (2002).

⇒ La presión nominal es la presión interna, para la cual se ha diseñado la tubería con un coeficiente de seguridad que mantiene sin fallo durante su vida útil. La presión de trabajo es la presión interna a la que está sometida una tubería en servicio.

La presión de trabajo corresponde a la presión nominal, a menos que la temperatura de funcionamiento sea diferente de la de diseño de la tubería, en cuyo caso la presión de trabajo se obtiene al multiplicar la presión nominal por un coeficiente corrector.

La carga de presión máxima se presentará a caudal nulo, es decir, estando la tubería llena bajo la carga de la fuente de abastecimiento cuando ésta se encuentra en un punto elevado y la red funciona por desnivel topográfico; en el caso de emplear equipo de bombeo, la máxima carga de presión está junto al equipo de bombeo, ya sea bajo condiciones estáticas o dinámicas. En función

del valor que resulta para la carga de presión máxima, la cual se transforma en un valor equivalente de presión de trabajo, se elige una clase de tubería cuya presión nominal sea mayor que la carga de presión máxima, pero lo más próxima a ésta.

Para el caso que el movimiento del agua sea por desnivel topográfico, la carga de presión máxima a que estará sujeta la red se obtiene con la siguiente fórmula, Ángeles (2002).

$$\left(\frac{p_i}{\gamma}\right)_{\text{máx}} = Z_1 - \left[Z + \left(\frac{p}{\gamma}\right) \right] \quad (3.32)$$

Donde:

$$\left(\frac{p}{\gamma}\right)_{\text{máx}} = \text{Carga de presión máxima en la red, en m.}$$

$$\left(\frac{p}{\gamma}\right) = \text{Carga de presión mínima de funcionamiento del nudo con cota piezométrica más baja, en m.}$$

Z_1 = cota geométrica de cabecera de la red, en m.

Z = cota geométrica del nudo con cota piezométrica más baja, en m.

⇒ De acuerdo con el tipo de material de la tubería y con la fórmula que se utilice para calcular las pérdidas de carga por fricción, se obtendrán de diagramas o de tablas, los valores de los factores de fricción, los cuales representan el efecto de las asperezas de la pared interna de la tubería sobre la pérdida de carga producida en ésta.

Para verificar que las tomas estén funcionando adecuadamente, se aplica la ecuación de Bernoulli entre la cabecera de la red y cada una de las tomas.

$$Z_c - Z_t = h_f + \frac{V_s^2}{2g} \quad (3.33)$$

donde:

Z_c - Cota piezométrica en la cabecera de la red, en m.

Z_t - Cota piezométrica al final del tramo t en que se aplica Bernoulli, en m.

h_f - Pérdidas por fricción entre la cabecera y el final del tramo t, en m.

V_s - Velocidad del agua a la salida del tramo t, en m/s.

g - Aceleración local de la gravedad, en m/s²

Se obtiene la pérdida de carga por fricción, con la fórmula de Darcy-Weisbach

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (3.34)$$

Donde:

f - Factor de Fricción, adim.

L - Longitud del tramo en cuestión, en m.

D - Diámetro del tramo correspondiente, en m.

V - Velocidad del agua en el tramo correspondiente, en m/s.

Para el factor f , considerando un flujo turbulento en la red, se aplica la fórmula de Kozeny:

$$f = \frac{2g}{(8.86 \log D + N)^2}$$

Donde N es un coeficiente que depende del material de la tubería y es adimensional.

($N=38$ para PVC).

La ecuación de continuidad indica que:

$$Q = AV \tag{3.35}$$

Donde:

Q – Gasto en el tramo correspondiente, en m³/s.

A – Área transversal de la tubería, en m².

V – Velocidad del agua en la tubería, en m/s.

Combinando la ecuación de Darcy-Weisbach con la de continuidad, y considerando la de Kozeny para el factor f , las pérdidas por fricción expresadas en función del gasto, están dadas por:

$$h_f = CQ^2 \tag{3.36}$$

Donde C se convierte en un coeficiente dado por:

$$C = \frac{16L}{\pi^2 D^5 (8.86 \log D + N)^2} \quad (3.37)$$

Las pérdidas de carga por salida, también se expresan en función del gasto con la expresión 3.38.

$$h_s = BQ^2 \quad (3.38)$$

Donde B en un coeficiente dado por:

$$B = \frac{8}{\pi^2 D^4 g} \quad (3.39)$$

3.9 Factibilidad económica de la inversión

3.9.1 Evaluación económica del proyecto

Con el objeto de observar la bondad del proyecto, es necesario analizar por lo menos las relaciones Beneficio/costo (B/C) y el Valor Actual Neto (VAN). Con esto quedará demostrado que en un tiempo razonable el proyecto traerá beneficios a los productores directos y también traerá beneficios a los usuarios que riegan aguas abajo, ya que dispondrán de mayor volumen de agua y como consecuencia la oportunidad del servicio de riego será mas eficiente.

3.9.1.1 Costo del proyecto

Tomando en cuenta las bondades que ofrece la empresa Durman-Esquivel, en lo que se refiere a tubería de PVC, hace pensar que es una de las mejores opciones a considerar para este proyecto y sobre todo para el agua residual que en esta zona de riego se aprovecha. También ofrece precios accesibles y construcción del tubo a la medida que se desee y en el lugar de trabajo.

En el cuadro 3.5 se presentan los costos de tubería de PVC de acuerdo al diámetro; es la publicación 2007 de esta empresa.

Cuadro 3.5. Diámetros y precios Durman-Esquivel.

"Tubería perfilada de PVC para conducción de agua a baja presión".

Diámetro		Precio
Plg	Mm	\$ x M.
6	160	99.0
8	200	156.1
10	250	238.4
12	315	392.7
15	380	497.4
18	450	589.0
24	600	1037.7
30	750	1621.3
36	900	2188.8
40	1000	2432.0
42	1050	3631.7
48	1200	4150.6
60	1500	5188.2
72	1800	6225.8
84	2100	7830.9
96	2450	15901.6
110	2800	20863.8
120	3000	22354.1

Durman-Esquivel, 2007.

En el cálculo total del proyecto, no solamente interviene el costo de la tubería de PVC, también se debe considerar el costo de la instalación y obras complementarias las cuales van a permitir que la tubería funcione

eficientemente, éstas consisten en: construcción de la zanja, relleno de la misma, construcción estructuras para expulsión del aire de la tubería, construcción de estructuras donde estarán alojadas las tomas e instalación de compuertas.

A continuación se dan las especificaciones que la empresa Durman-Esquivel, (2007) recomienda observar al momento de la instalación de la tubería.

⇒ **Ancho de zanja**

Para determinar el ancho mínimo que tendrá la excavación donde será alojada la tubería, dependerá de la calidad del suelo que forman las paredes de la zanja, del material de acostillado, el nivel de compactación, las cargas que estarán actuando y considerando siempre que el espacio entre la tubería y la pared de la zanja debe ser lo suficientemente amplio de modo que permita el uso del equipo de compactación en la zona de la tubería.

Para el ancho de zanja, se utiliza el valor obtenido de la siguiente ecuación:

$$D = 1.5 \varphi + 0.3 \quad (3.40)$$

Donde:

D – Es el ancho de la zanja, m.

Φ – Es el diámetro de la tubería, m.

En el cuadro 5.22, se indican los anchos de zanja recomendados considerándose paredes estables y un material tal como la arena limosa para acostillado y compactado al 90 % según la prueba Proctor.

⇒ **Plantilla o encamado**

Se debe proveer encamado uniforme, firme y estable al tubo para garantizar un soporte longitudinal a la tubería con un espesor mínimo de 10 cm para condiciones homogéneas y estables del fondo de la zanja.

Cuando se encuentran rocas y materiales de difícil remoción en el fondo de la zanja, se debe instalar un encamado con un espesor mínimo de 15 cm.

Cuando el fondo de la zanja sea inestable se debe excavar a una profundidad tal que se cimenta con material de mejor calidad.

⇒ **Acostillado**

Esta práctica es lo que proporcionará la estabilidad necesaria al sistema formado suelo-tubo.

El procedimiento es apisonar el material del acostillado en el área entre la plantilla y la parte inferior del tubo antes de colocar y compactar el resto del recubrimiento en la zona del tubo. Posteriormente en capas no mayores de 20 cm se deberá compactar al 90 % de la prueba Proctor. El acostillado deberá quedar entre 15 y 30 cm sobre la corona del tubo.

⇒ **Relleno Final**

El material de excavación es utilizado para esta actividad, solo debe cuidarse el hecho de compactar al 85 % de la prueba Proctor.

Con objeto de revisar la viabilidad del proyecto de entubamiento, se van a determinar los indicadores económicos siguientes: el valor presente de un beneficio futuro y la relación beneficio-costo, el proyecto se calcula para una vida útil de 20 años, aunque la empresa que fabrica la tubería da a conocer que tiene una duración superior a los 80 años.

Para que una inversión sea productiva es necesario que el valor presente de sus beneficios netos sea muy superior a la inversión inicial, ya que este dinero si se depositara en el banco, generaría intereses durante los 20 años. Por otra parte, la tasa de interés que hace cero el valor presente de los beneficios netos se le denomina la tasa de rendimiento interno (i), dicha tasa debe ser cuando menos igual a la tasa de interés prevalecente en el mercado de capitales.

3.9.2 Valor presente de un beneficio futuro

Las siguientes expresiones que se presentan en este punto, fueron tomadas de Palacios (2002) y Ernest F. Haeussler, Jr., Richard S. Paul. (1987) estos autores indican que el dinero es un factor en el proceso de producción que también produce. No es lo mismo tener un capital $\$C$ disponible ahora que dentro de n años, su valor a futuro debe ser mayor, puesto que en un banco ganaría intereses. Por consiguiente si originalmente se tiene este capital $\$C$, dentro de n años este capital valdrá:

$$K = C(1 + i)^n \quad (3.41)$$

Donde:

K – Valor del capital C dentro de n años

n – Número de años considerados de amortización

i – Tasa de interés que produce dicho capital

También se dice que el capital K tiene un valor presente representado por:

$$C = \frac{K}{(1+i)^n} \quad (3.42)$$

Suponiendo que K_j es el beneficio que produce una inversión en el año j, el valor actual de dicho beneficio será:

$$C_j = \frac{K_j}{(1+i)^j} \quad (3.43)$$

Si se hace una fuerte inversión en el año 0 de \$ I_o , que produciría beneficios en futuros años cuyo valor es K_1, K_1, K_2, K_n , el valor presente del beneficio neto será:

$$VP = \frac{K_1}{1+i} + \frac{K_2}{(1+i)^2} + \dots \frac{K_n}{(1+i)^n} - I_o \quad (3.44)$$

Cuando el beneficio es constante, a través del tiempo, se simplifican las operaciones, de esta manera el valor presente de los beneficios netos producidos por una inversión durante n años, vale:

$$VP = K \frac{1}{i} \left[1 - \frac{1}{(1+i)^n} \right] - I_o \quad (3.45)$$

Para que la inversión sea económicamente factible, el valor resultante deberá ser mayor que la inversión inicial más las ganancias que produciría ésta con una tasa de interés que pagan los bancos que se dedican al préstamo de capitales.

Otro criterio para estimar la factibilidad económica de una inversión es por medio de la relación beneficio-costos. Si se denominan B los beneficios actualizados, es decir:

$$B = \frac{K_1}{1+i} + \frac{K_2}{(1+i)^2} + \frac{K_3}{(1+i)^{n-1}} + \dots + \frac{K_n}{(1+i)^n} \quad (3.46)$$

O si los beneficios anuales son constantes:

$$B = K \frac{1}{i} \left[1 - \frac{1}{(1+i)^n} \right] = KF \quad (3.47)$$

Entonces la relación beneficio-costo será representada por:

$$BC = B / I_o \quad (3.48)$$

Para que la inversión sea económicamente factible, esta relación deberá ser mayor que la unidad para la tasa de interés considerada.

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1 Materiales

- Computadora Pentium II o superior.
- Impresora Lasser.
- Cartas topográficas de INEGI escala 1:250,000
- Cartas topográficas en vectorial y ortofotos.
- Equipo topográfico: nivel montado y estatal.
- Planos catastrales, escala 1:5,000.
- Plano General del distrito de riego, escala 1:100,000.
- Padrón de usuarios.
- Soft ware Arc View Gis 3.2.
- Soft ware PLANDR.

4.2 Descripción del área de estudio

En este punto se dará una explicación de lo que es el distrito de riego 100 alfajayucan para el Estado de Hidalgo. Es necesario mencionar que esta área de riego para fines de operación está conformada por 6 módulos, el que es motivo de este trabajo es el número 6 “canal del centro”. La figura 4.1, presenta al distrito de riego con los módulos; diferenciados éstos por número de sección, contrastes de colores y/o achurados. El número 6 tiene las secciones de riego 1, 2 y 3.

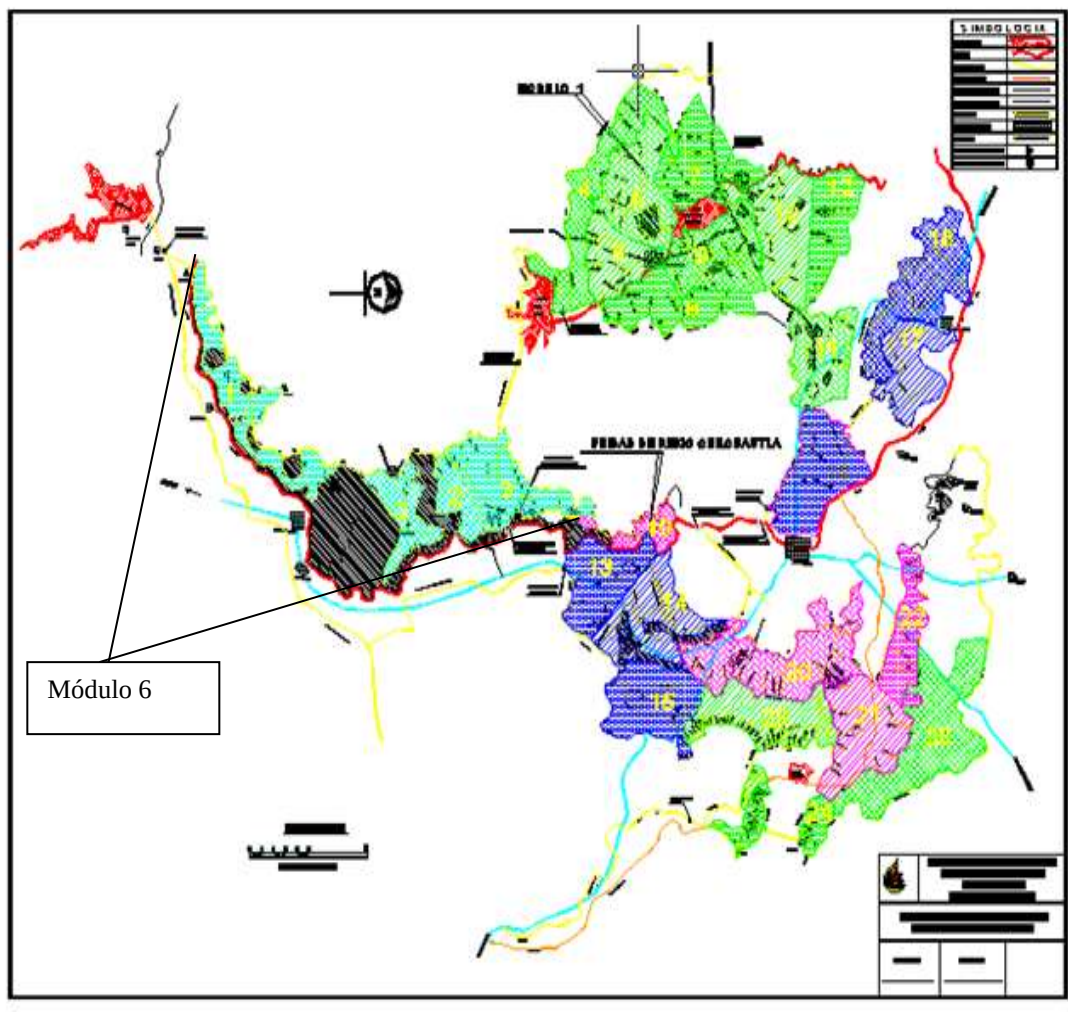


Figura 4.1. Localización del área de estudio.

4.2.1 Características generales del distrito de riego 100

El distrito de riego 100-Alfajayucan, se encuentra en la cuenca del Río Pánuco, en la subcuenca del río Moctezuma, es creado por decreto presidencial el 17 de enero de 1976, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 13 de febrero de 1976. Cuenta con una superficie dominada de 35,192.38 ha, de las cuales solamente se riegan 26,001 ha; cuenta con 21,853 usuarios.

Inició operaciones en el año de 1979.

Cuenta con las siguientes características:

4.2.1.1 Tipos de aprovechamiento: Almacenamiento y Derivación.

Nombre de las fuentes de abastecimiento: Presa Endho, Presa Rojo Gómez, Presa Vicente Aguirre, Río Tula y Dren Xotho.

4.2.1.2 Plantas de bombeo

Cuenta con la planta de bombeo “binola”, la cual tiene 8 motores eléctricos con capacidad instalada para bombear 4 m³/s y la capacidad Efectiva es de 2.5 m³/s. El volumen anual aprovechable es de 79 840 miles m³.

4.2.1.3 Superficie del distrito de riego 100 alfajayucan

En los cuadros del 4.1 al 4.3, se puede observar la superficie del distrito de riego por municipio, módulo y tipo de tenencia; respectivamente.

Cuadro 4.1. Superficie del distrito de riego 100 por municipios.

Municipio	Dominada(Ha)	Regable (Ha)
San Salvador	607.64	607.64
Tezontepec	1,183.14	1,183.14
Chilcuautila	5,886.09	5,886.09
Ixmiquilpan	11,211.64	11,211.64
Tasquillo	3,840.72	3,840.72
Alfajayucan	10,911.88	10,911.88
Cardonal	743.32	743.32
Santiago de Anaya	807.95	807.95
Total	35,192.38	35,192.38

Cuadro 4.2. Superficie del distrito de riego 100 por módulos de riego.

Módulo de Riego	Dominada(Ha)	Regable (Ha)
Alfajayucan	13,084.70	13,084.70
Tasquillo	2,930.03	2,930.03
Xochitlan	3,959.53	3,959.53
Alto Ixmiquilpan	5,416.77	5,416.77
Xotho	4,910.68	4,910.68
C. del Centro	4,890.67	4,890.67
Total	35,192.38	35,192.38

Cuadro 4.3. Tenencia de la tierra del distrito de riego 100.

T i p o	Superficie (Ha)	No. de Usuarios	Parcela Media (Ha)
Ejidal	15,460.36	11,101	1.45
Pequeña Propiedad	19,732.02	10,742	1.87
Colonos	0.0	0	0.0
Total	35,192.38	21,853	1.66

4.2.1.4 Profundidad del suelo agrícola

De acuerdo al estudio general del suelo, que se llevó a cabo en el año de 1997, se determinó que la profundidad del suelo varía en promedio de 40 a 80 cm. La textura encontrada para estas profundidades fue: la textura ligera se encontró en suelo con espesor de la capa arable que en promedio no rebasa los 40 cm, la textura media alcanza una profundidad de 60 cm y finalmente la textura pesada tiene en promedio 80 cm.

4.2.2 Características generales del módulo 6 canal del centro

A continuación se dará una explicación de la ubicación, organización, cuotas por servicio de riego, entre otras; de lo que es el módulo de riego número 6 canal del centro.

4.2.2.1 Antecedentes

Este módulo, al igual que el distrito de riego 100, inicia su operación en el año de 1979, la superficie se ha ido incorporando a través del tiempo, a la fecha existe 668.24 ha que aun no se abren al cultivo. Cuenta con las secciones de riego 1, 2 y 3.

En el cuadro 4.4, se da a conocer la superficie dominada y regable del módulo de riego 6 Canal del Centro; en el cuadro 4.5, se describe la tenencia de la tierra.

Cuadro 4.4. Superficie del módulo de riego 6.

Módulo de Riego	Dominada (Ha)	Regable (Ha)
C. del Centro	4,890.67	4,890.67

Cuadro 4.5. Tenencia de la tierra del módulo de riego 6.

T i p o	Superficie (Ha)	No. de Usuarios	Parcela Media (Ha)
Ejida	1,920.24	1,406	1.36
Pequeña Propiedad	2,970.43	1,554	1.35
Colonos	0.00		0.00
Total	4,890.6	2,960	1.35

4.2.2.2 Ubicación geográfica

El módulo de riego canal del centro, se sitúa entre los paralelos 20° 00' y 20° 20' de latitud norte, entre los meridianos 88° 09' y 90° 20' longitud oeste, con altitud media de 1950 msnm. En la región conocida como Valle del Mezquital al suroeste del estado de Hidalgo, se ubica en los municipios de: Tezontepec y Chilcuautila.

4.2.2.3 Clima

De acuerdo con la clasificación de Thornthwaite, el clima en esta área de estudio es DdB'2 "a", que se considera seco, con pequeña o nula demasía, templado frío, con baja concentración térmica en el verano, con una temperatura media anual de 16.5 °C. La temperatura mínima promedio es de 1.4 °C y la máxima promedio es de 30.9 °C. En la estación Mixquiahuala; en el área de estudio, se presentan heladas durante los meses de octubre a marzo. La evaporación, precipitación y temperatura, para una probabilidad de excedencia del 75 % es: 1621.4 mm, 113.6 mm y 16.5 °C, respectivamente. La mayor abundancia de lluvias se presenta en el periodo comprendido de los meses de abril a octubre.

4.2.2.4 Cuotas de riego vigentes

Cuotas por servicio de riego (gravedad):

Módulo de riego cuota por ha./rgo. Año 2003

Cuota: 12.00 pesos (\$ 0.4664 por millar de m³ a la Comisión Nacional del Agua).

4.2.2.5 Estaciones climatológicas

Las estaciones climatológicas que se han considerado para este trabajo, son aquellas que son aledañas al área de estudio. Al hacer un análisis sobre la ubicación en cartas topográficas de INEGI escala 1:250,000, se llega a la conclusión que las que posiblemente tengan que ver con esta zona de riego son:

Cuadro 4.6. Estaciones climatológicas aledañas al módulo 6.

Nombre
Presa Endho
Tezontepec
Mixquiahuala
Progreso
Chilcuautla
Chapantongo
Nopala

De esta manera con los datos de latitud y longitud, se incorporan al plano digitalizado del módulo de riego 6 canal del centro y quedan como se muestra en la figura 4.2.

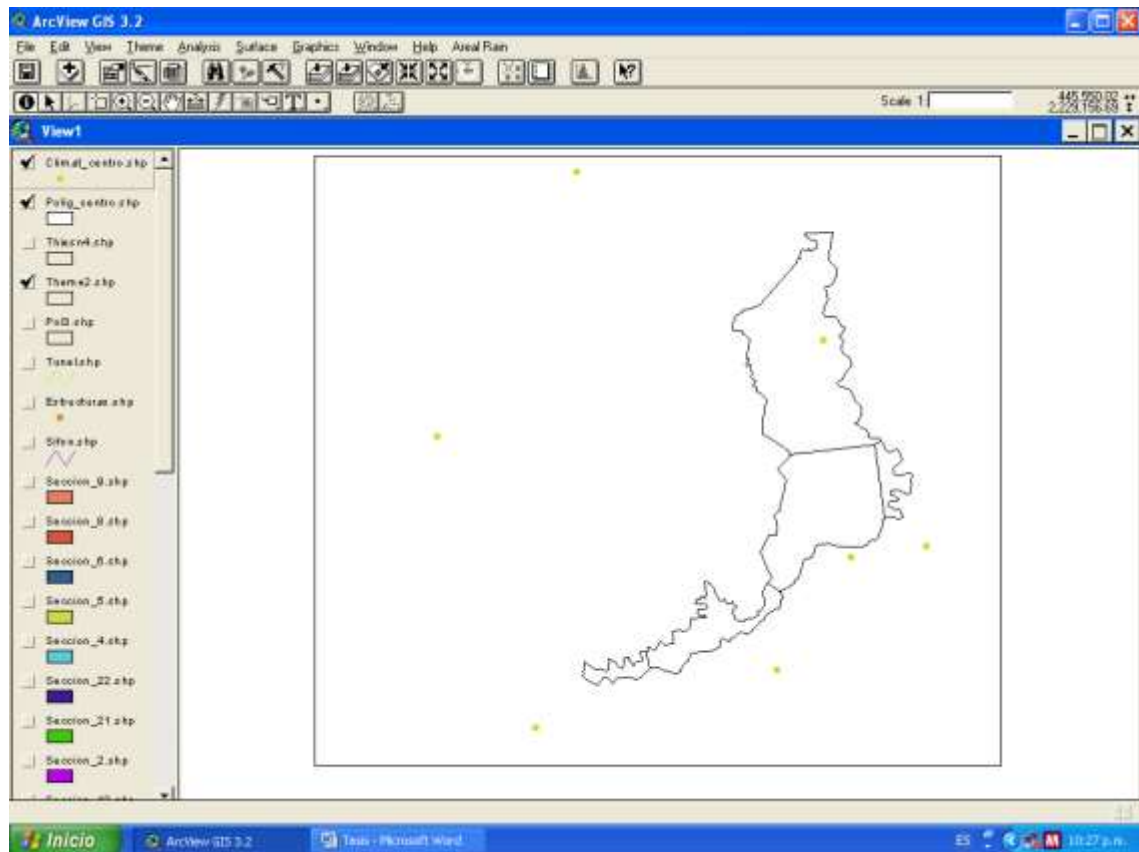


Figura 4.2. Ubicación de estaciones climatológicas.

Posteriormente con el auxilio del Soft ware Arc View Gis 3.2, se obtuvo el área de influencia de cada una de las estaciones climatológica, de esta manera se

determina en base al trazo con polígonos de Tiessen, que en realidad las estaciones que tienen influencia en el área de estudio y la superficie con la que participan, se presentan en el cuadro 4.7.

Cuadro 4.7. Estaciones climatológicas y área de influencia del módulo 6.

Estación	Area (ha)
Presa Endho	201
Tezontepec	823
Mixquiahuala	2253
Progreso	291
Chilcuautla	3382
Chapantongo	111
T o t a l:	7061

La figura 4.3 muestra el área de influencia de las estaciones climatológicas que tienen que ver con el área de estudio.

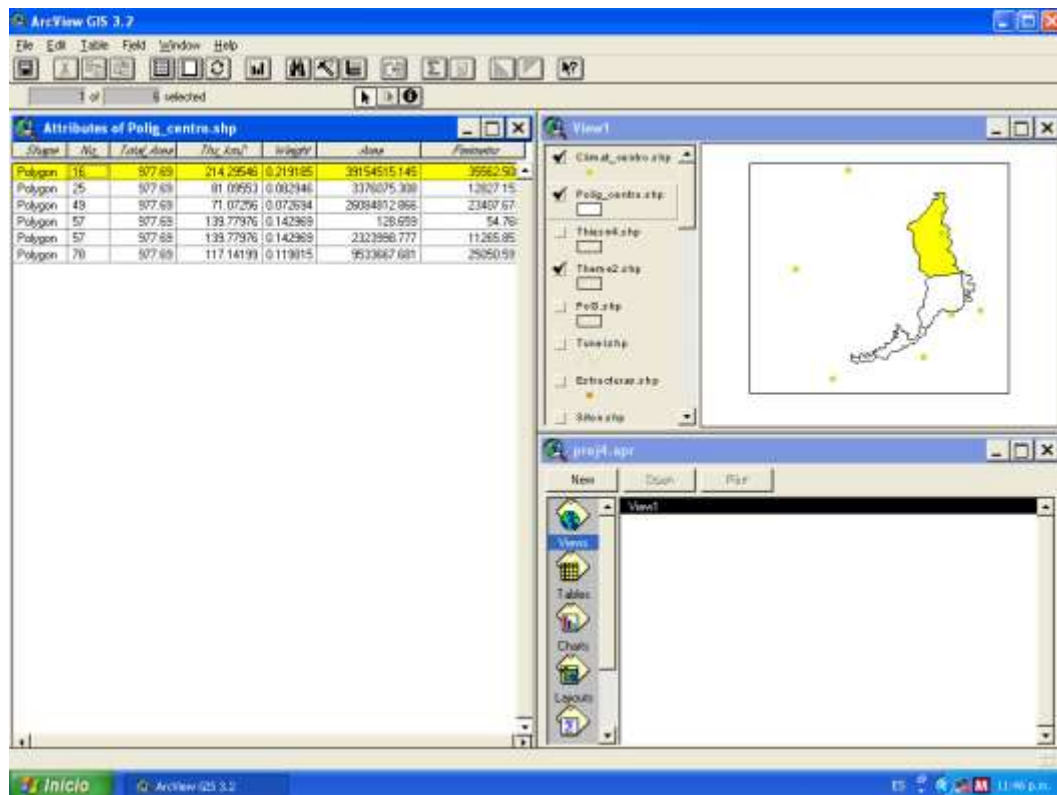


Figura 4.3. Área de influencia de las estaciones climatológicas.

La superficie que se presenta en el cuadro 4.7, no coincide con la superficie empadronada (4,890.67 ha), debido a que la poligonal considerada incluye las comunidades de Santiago Acayutlán, Santa María la Palma, Santa María Batha; ámbas del Municipio de Tezontepec de Aldama, Hgo.; Tunititlán, Chilcuautila, Zacualoya y Cerro Colorado, del municipio de Chilcuautila, Hgo. También incluye barrancas, red de canales y caminos.

Al seguir con el proceso de selección de las estaciones climatológicas que tienen que ver con el área de estudio, se procedió a buscar los registros de datos de precipitación y evaporación de cada una de ellas, llegando a la conclusión que solamente la estación Mixquiahuala, cuenta con un registro de datos suficiente y confiable para lo que aquí se persigue, por lo que solo estos datos fueron analizados.

4.2.2.6 Características del suelo

De acuerdo al último estudio general del suelo agrícola (1997), realizado en el distrito de riego 100 alfajayucan, la textura del suelo tiene la siguiente distribución:

Textura ligera = 32341.38 ha.

Textura media = 2288.00 ha.

Textura pesada= 563.00 ha.

Y de manera específica en el área de estudio, se tiene la siguiente distribución textural, la cual se muestra en la figura 4.4.

Textura ligera = 3668.00 ha, sin color.

Textura media = 978.00 ha, color naranja.

Textura pesada= 244.67 ha, color rojo.

El color café son cerros.

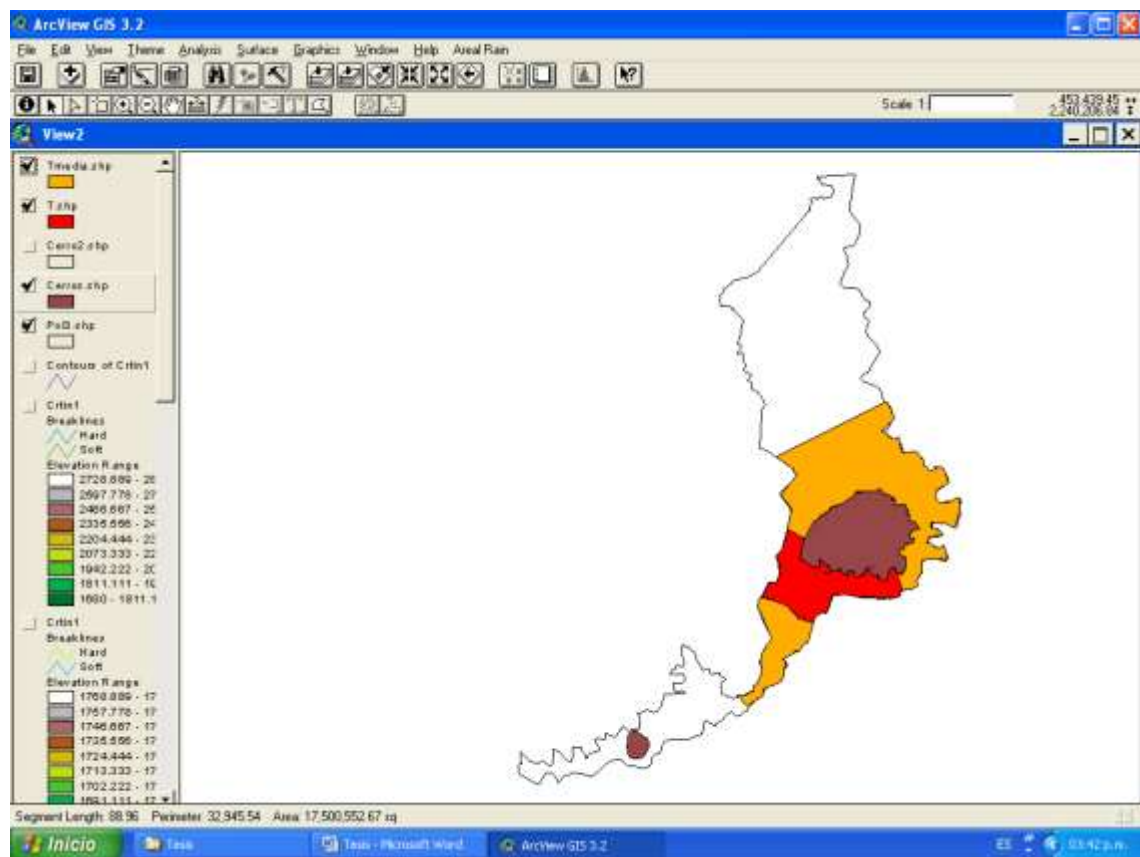


Figura 4.4. Distribución de texturas en zona de riego del módulo 6.

4.2.2.7 Inventario de regaderas

Para fines de este trabajo, se están considerando las 61 tomas que parten directamente del canal del centro, que finalmente son canales laterales, algunos más importantes que otros por la capacidad de volumen de agua que conducen por unidad de tiempo.

4.2.2.8 Superficie a nivel toma de riego

De las 61 tomas de riego que dan servicio al módulo “canal del centro”, para este trabajo solamente se consideró el canal lateral número 5 margen izquierda, el cual se localiza en el km 12+000 del canal principal del centro y cuenta con la siguiente superficie a nivel toma (cuadro 4.8):

Cuadro 4.8. Superficie por toma del lateral 5 M.I..

Toma	Superficie (ha)
1	30.07
2	7.55
3	8.51
4	1.54
5	23.05
6	5.39
7	5.39
8	5.97
Total	87.47

4.3 Métodos

En este tema se dará una explicación a detalle del procedimiento que se siguió para llegar a determinar cada una de las componentes que forman parte de la nueva tecnología (se refiere al entubamiento del canal lateral y a la aplicación del riego al cultivo de alfalfa de acuerdo al calendario de riegos teórico).

4.3.1 Determinación de los valores de precipitación y evaporación

Los valores de precipitación y evaporación que serán utilizados en este trabajo, son aquellos que se esperan para una probabilidad de excedencia del 75 %, en lo que sigue se va a explicar el procedimiento que se siguió para obtenerlos.

4.3.1.1 Precipitación

Se tomó como base los registros históricos de 1986-2005, de la estación climatológica Mixquiahuala, los datos diarios se agruparon por decenas y se ordenaron de mayor a menor. Para las 36 decenas se obtuvieron los parámetros estadísticos de las funciones de distribución de probabilidad Normal, Log-Normal, Raíz Cúbica y Pearson Tipo III.

4.3.1.2 Evaporación

Se tomó como base los registros históricos de 1951-2005, de la estación climatológica Mixquiahuala, los datos mensuales se ordenaron de mayor a menor. Para los 12 meses se obtuvieron los parámetros estadísticos de las funciones de distribución de probabilidad Normal, Log-Normal y Pearson Tipo III.

Debido a que los datos de evaporación son más estables que los de precipitación, éstos tuvieron un manejo mensual, posteriormente se construye una gráfica como la de la figura 4. 5, con la cual se logra hacer la interpolación y se obtienen los valores decenales. El procedimiento consiste en graficar los datos mensuales de evaporación, los meses se dividen en decenas; una decena antes y la otra después del valor graficado se estima el valor de la evaporación, estos datos se dividen entre 3 y de esta manera se obtiene el valor decenal correspondiente, el valor tres es porque el mes se divide en las tres decenas.

La función de distribución Raíz Cúbica no se utilizó, en razón de que los datos no varían de manera significativa de un año a otro.

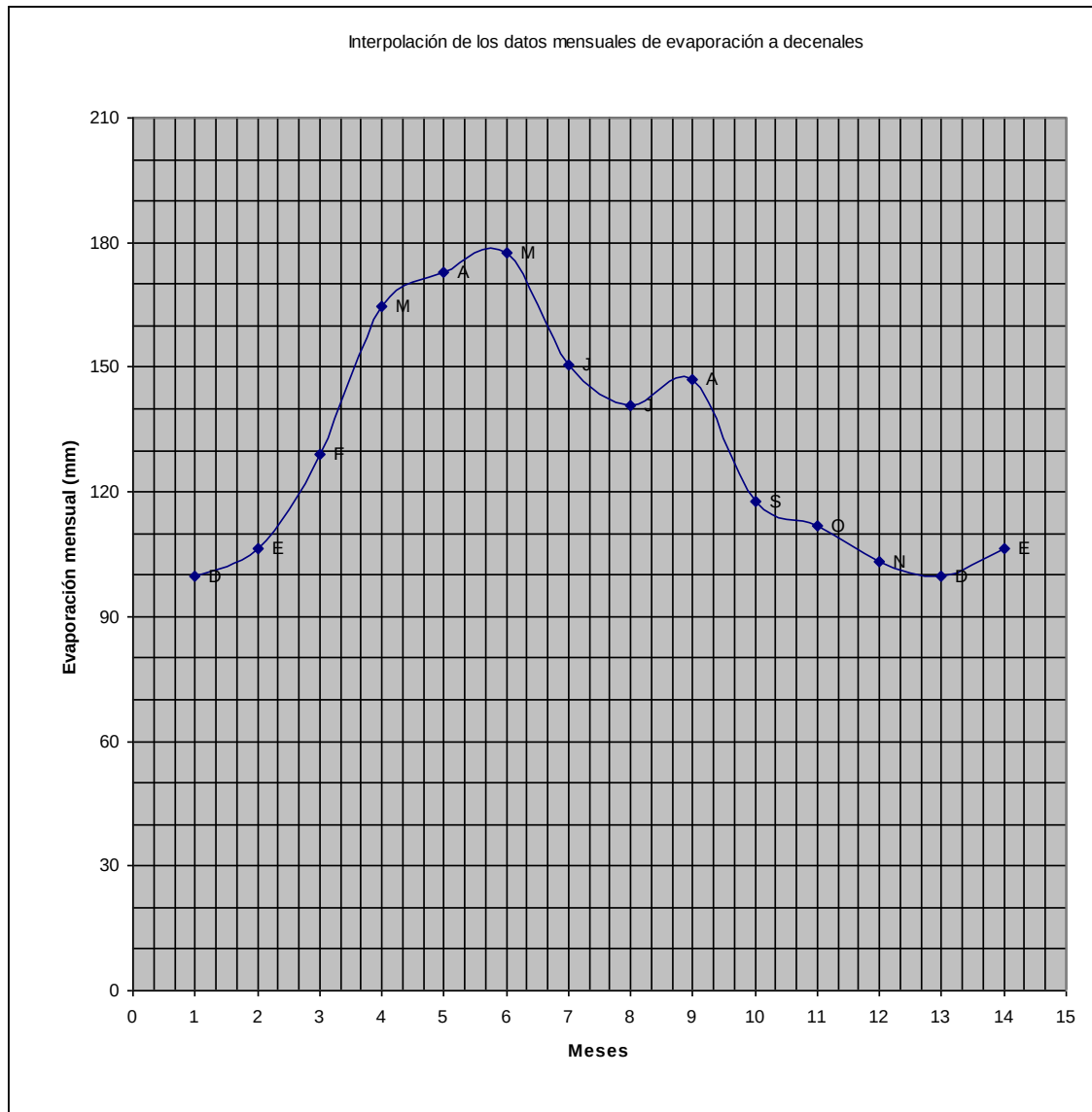


Figura 4.5. Interpolación de los datos mensuales de evaporación a decenales.

4.3.1.3 Probabilidad de excedencia $P(X \geq x)$ con las funciones de distribución Normal, Log-Normal y Raíz Cúbica.

Al registro de datos, primeramente se les determinó los parámetros estadísticos μ y σ , que corresponden a la media y desviación estándar, respectivamente. Posteriormente se ordenan los datos de mayor a menor y se obtiene la variable estandarizada Z , lo que se logra con la fórmula 3.12.

Con los valores de Z y el apoyo de la tabla de probabilidades acumuladas de la distribución Normal estándar, se obtiene finalmente la probabilidad de excedencia $P(X \geq x)$ para cada uno de los datos ordenados.

4.3.1.4 Probabilidad de excedencia $P(X \geq x)$ con la función de distribución Pearson Tipo III

Para la función Pearson Tipo III, se determinó el valor de los parámetros α_1 , β_1 , σ_1 y fueron valuados mediante el sistema de ecuaciones 3.23.

Posteriormente se ordenaron los datos de mayor a menor y se obtuvo la variable estandarizada “ y ”, mediante la fórmula 3.26.

Lo cual favoreció para el uso de la tabla de ji-cuadrada con $2\beta_1$ grados de libertad y $x^2 = 2y$, de la tabla finalmente se obtiene la probabilidad de excedencia $P(X \geq x)$.

4.3.1.5 Prueba kolmogorov-Smirnov

En vista de que los registros de datos de precipitación y evaporación es factible manejarlos en tablas y de manera electrónica, la prueba Kolmogorov-Smirnov es la mejor opción para cumplir con el objeto de este trabajo. Inicia con obtener los diferentes niveles de probabilidad de excedencia $P(X \geq x)$, para los que se espera ocurran ciertos eventos de precipitación y evaporación, se comparan con la probabilidad empírica de excedencia de Weibull, $P_e = m/(n+1)$. La prueba consiste en obtener el máximo valor absoluto de las diferencias entre la probabilidad teórica y la empírica para cada uno de los datos analizados.

El máximo valor se compara con el valor crítico “d” del Estadístico Kolmogorov-Smirnov para un nivel de significancia de 0.05.

Entre menor sea la diferencia, significa que la función se ajusta mejor a los datos.

4.3.1.6 Cálculo de valores de precipitación y evaporación para una probabilidad del 75 % de excedencia.

Después de realizar la prueba kolmogorov-Smirnov se escoge el modelo de función que mejor ajuste tuvo a los datos y con ella se estimaron los valores de precipitación y evaporación a la probabilidad del 75 % de excedencia.

En los casos que la mayoría de las decenas o meses, se ajustaron a la función Normal o Log-Normal o Raíz Cúbica; el cálculo de los datos se hará con la que presente más casos de mejor ajuste, así por ejemplo si la función Normal se ajusta mejor a 20 decenas de las 36, esta función será la utilizada, de igual manera con las dos restantes.

El procedimiento consiste en determinar el valor de “Z” para una probabilidad de excedencia del 75 % y aplicar la fórmula 3.12.

Donde ahora solo se tiene como incógnita el valor de “x”.

Si el mejor ajuste favorece a la función de distribución de probabilidad Pearson Tipo III, el procedimiento es similar, solo que en este caso se auxilia con la tabla de ji-cuadrada.

4.3.2 Necesidades de riego para el cultivo de alfalfa

4.3.2.1 Determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o)

En virtud de que en las estaciones climatológicas aledañas al área de estudio, no cuentan con información de humedad relativa y radiación, el valor de la evapotranspiración de referencia, se estimó como el 80 % de la evaporación del tanque Tipo A. Se emplea este método por que el procedimiento de cálculo involucra directamente la lámina de agua evaporada del tanque, lo cual se considera de mayor validez, en el sentido de que este valor se obtiene como producto de la interrelación directa de fenómenos naturales, tales como la temperatura, radiación solar, vientos, nubosidad, precipitación, etc. Además por que se reportan buenos resultados (Ortiz ,1987, citado por Magaña, 1994).

El cálculo consistió en multiplicar los valores mensuales de evaporación (E_v) por el coeficiente de tanque, que para este trabajo se consideró con un valor de $K_t = 0.8$.

4.3.2.2 Determinación de la evapotranspiración de cultivo máxima (ETM)

Con el apoyo de los valores mensuales de la evapotranspiración de referencia (ET_o), es factible determinar los valores mensuales de evapotranspiración máxima, lo cual se logra multiplicando ET_o por los coeficientes K_c y K_{su}, que corresponden al coeficiente de consumo de agua por las plantas y coeficiente de disponibilidad de agua en el suelo, respectivamente. El valor de K_{su}, se tomó con valor de 1, ya que esta nueva tecnología contempla que no habrá restricción de humedad en el suelo.

4.3.2.3 Cálculo de la precipitación efectiva

Existen varios métodos para estimar la precipitación efectiva, lo que se entiende como el agua de lluvia que puede almacenar el suelo y estar disponible para la planta. En este trabajo se determinó con el método de Ogrosky y Mockus, aplicando la siguiente función (Palacios 2002):

$$P_e = C_p P \quad (4.1)$$

Donde:

P – Precipitación observada, en mm.

C_p – Coeficiente de conversión, adim.

El valor de C_p está dado por la siguiente ecuación, la cual fue ajustada a partir de los valores reportados por Ogrosky y Mockus (Palacios, 2002).

$$C_p = \frac{\frac{E_t}{P}}{1.53 + 0.8 * \frac{E_t}{P}} \quad (4.2)$$

Donde:

C_p - es el coeficiente de conversión de lluvia observada a lluvia aprovechable

ETM - la evapotranspiración máxima del cultivo, mm/día

P - la precipitación observada, mm

4.3.2.4 Requerimiento de riego

El requerimiento de riego de los cultivos se calcula al restar la precipitación efectiva de la evapotranspiración máxima.

4.3.3 Balance de la humedad en el suelo

El procedimiento que se siguió para determinar los calendarios de riego, fué dividir el ciclo vegetativo del cultivo en tres etapas, al 40 %, 70 % y 100 %; para cada una de éstas y en condiciones de escasez de agua como es el caso, al cultivo de alfalfa se dejó que la humedad consumida fuera del 50 % para cualquier etapa de desarrollo.

4.3.3.1 Textura del suelo

Para el caso del módulo de riego número 6 canal del centro, el último estudio general de suelo, se llevó a cabo en el año de 1997; se contó con el muestreo de 20 sitios de suelo, previamente definidos en base a una cuadrícula equidistante. Las muestras de suelo se tomaron a las profundidades 0-30 cm y 30-60 cm., con estos sitios se cubre la totalidad de la superficie de riego del módulo. Una de las determinaciones que se realizaron fue la textura del suelo en cada una de las capas.

4.3.4 Formas de distribución del agua para riego

En este trabajo se consideró entregar el servicio de riego a los usuarios por el procedimiento de tandeos o turnos, se basa en programar la superficie a regar tomando en cuenta el calendario de riegos del cultivo de alfalfa. Son dos tomas las que estarán trabajando simultáneamente, se calculado que con este caudal, la superficie a regar no tendrá problemas con la oportunidad en la entrega, y por lo tanto el rendimiento del cultivo en estudio, será el que se reporta en lugares aledaños a la zona de estudio y que no cuentan con restricción de agua.

4.3.5 Eficiencia de conducción

Con objeto de fundamentar el trabajo, de un total de 61 ragaderas, fueron escogidas al azar una muestra de 13, lo que representa el 21.3 %. A cada una se les determinó el gasto que entró a la regadera y el que salió, de esta manera se obtuvo el volumen de agua que se pierde. En la figura 4.6, se observa el

procedimiento de medición del caudal en la entrada y salida del canal lateral número 5 margen izquierda que fue motivo de este trabajo.

El aparato que se utilizó para medir el caudal fue el molinete.



Figura 4.6. Medición del caudal en el canal lateral 5 margen izquierdo.

4.3.6 Determinación del gasto máximo

Se divide la longitud del canal lateral en tres tramos; la parte final que domina las tomas 6, 7 y 8; el tramo intermedio que domina las tomas 3, 4 y 5 y el tramo inicial que domina las tomas 1 y 2. Para cada tramo se obtiene la superficie que domina, así como el calendario de riegos para el cultivo de la alfalfa (es el mismo para los tres tramos).

Cabe aclarar que el tramo intermedio también domina la superficie que riega el tramo final, de igual forma lo que riega el tramo intermedio es dominado por el tramo inicial.

Con el auxilio del Software PLANDR se obtiene el volumen máximo decenal que es necesario suministrar para cubrir las necesidades de riego del cultivo de la alfalfa. Los pasos consecutivos a seguir son los siguientes:

⇒ En la figura 4.7, se muestra la pantalla en la cual se ingresaron los nombres del distrito de riego, sociedad de responsabilidad limitada, unidad de riego y módulo de riego en estudio.

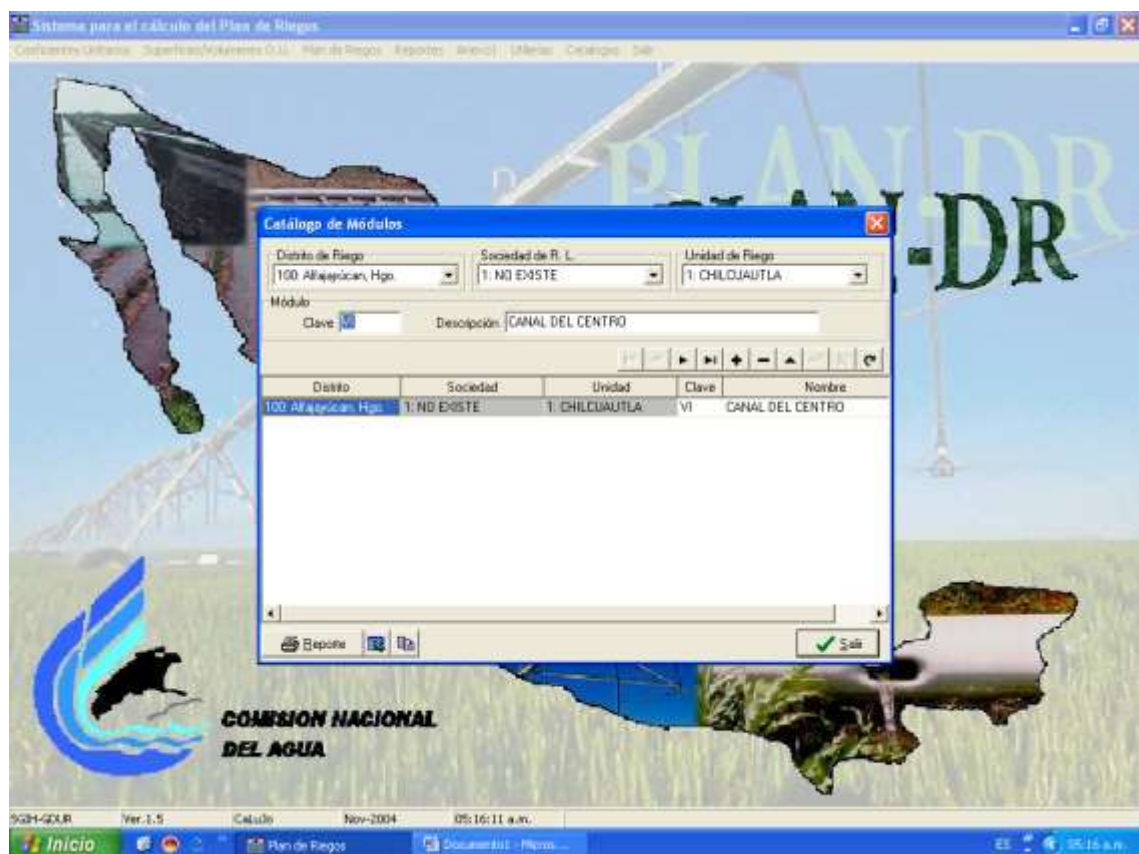


Figura 4.7. Ingreso de datos generales al software PLANDR.

⇒ En la figura 4.8 se observa además de lo que ingreso en la figura 4.7; ahora se ingresó el año agrícola, el ciclo agrícola, nombre del cultivo, variedad, tipo de aprovechamiento y la distribución decenal de como se va a sembrar.

Sistema para el cálculo del Plan de Riegos

Calendario de Riegos

Modo: [Botones de navegación]

Datos Generales

Distrito	Sociedad	Unidad	Módulo
100 Atoyac de Iturbide, Hgo.	1-NO EXISTE	CHILCUALTLA	CANAL DEL CENTRO

Datos Específicos

Año Agrícola	Ciclo	Cultivo	Variedad	Tipo de Aprovechamiento
2005-2006	5 Perennes	ALFALFA	SAN MIGUEL	1-Gravedad Almacena

Distribución Decenal del 1° Riego [Lamina e intervalos de Riego]

Dec 1	Dec 2	Dec 3	Dec 1	Dec 2	Dec 3	Dec 1	Dec 2	Dec 3	Dec 1	Dec 2	Dec 3
29.00	29.00	29.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Suma: 87.47

Datos Generales

Distrito	Sociedad	Unidad	Módulo	Año Agrícola	Ciclo	Cultivo	Variedad Cult
Atoyac de Iturbide, Hgo.	NO EXISTE	CHILCUALTLA	CANAL DEL CE	2005-2006	Perennes	ALFALFA	SAN MIGUEL

[Botones: Reporte, Salir]

Ver. 1.5 | Cálculo | Nov-2004 | 05:17:11 a.m.

Figura 4.8. Ingreso de la distribución decenal de siembras al software PLANDR.

⇒ En la figura 4.9 se observa el ingreso del calendario de riegos.

Sistema para el cálculo del Plan de Riegos

Modo: **Consulta**

Datos Generales

Districto: 100 Alajuela, Hgo. Sociedad: 1-NO EXISTE Unidad: CHILCUALTLA Módulo: CANAL DEL CENTRO

Datos Específicos

Año Agrícola: 2006-2005-2006 Ciclo: 5 Perennes Cultive: ALFALFA Variedad: SAN MIGUEL Tipo de Aplicación: 1-Gravedad Almacena

Distribución Decenal del 1º Riego

Número Total de Riegos: 20 Lámina Total (Cm): 182.00

Riego	Lámina	Intervalo	SS/Fin	Riego	Lámina	Intervalo	SS/Fin
1	09.10			11	09.10	11	
2	09.10	32		12	09.10	11	
3	09.10	27		13	09.10	10	
4	09.10	24		14	09.10	11	
5	09.10	21		15	09.10	12	
6	09.10	19		16	09.10	12	
7	09.10	15		17	09.10	13	
8	09.10	14		18	09.10	18	
9	09.10	11		19	09.10	20	
10	09.10	11		20	09.10	21	

Datos Generales

Districto: Alajuela, Hgo. Sociedad: NO EXISTE Unidad: CHILCUALTLA Módulo: CANAL DEL CE Año Agrícola: 2005-2006 Ciclo: Perennes Cultive: ALFALFA Variedad: SAN MIGUEL

Reporte Salir

Figura 4.9. Ingreso del calendario de riegos al software PLANDR.

⇒ En la figura 4.10 se observa el ingreso de las eficiencias de conducción a nivel mensual.

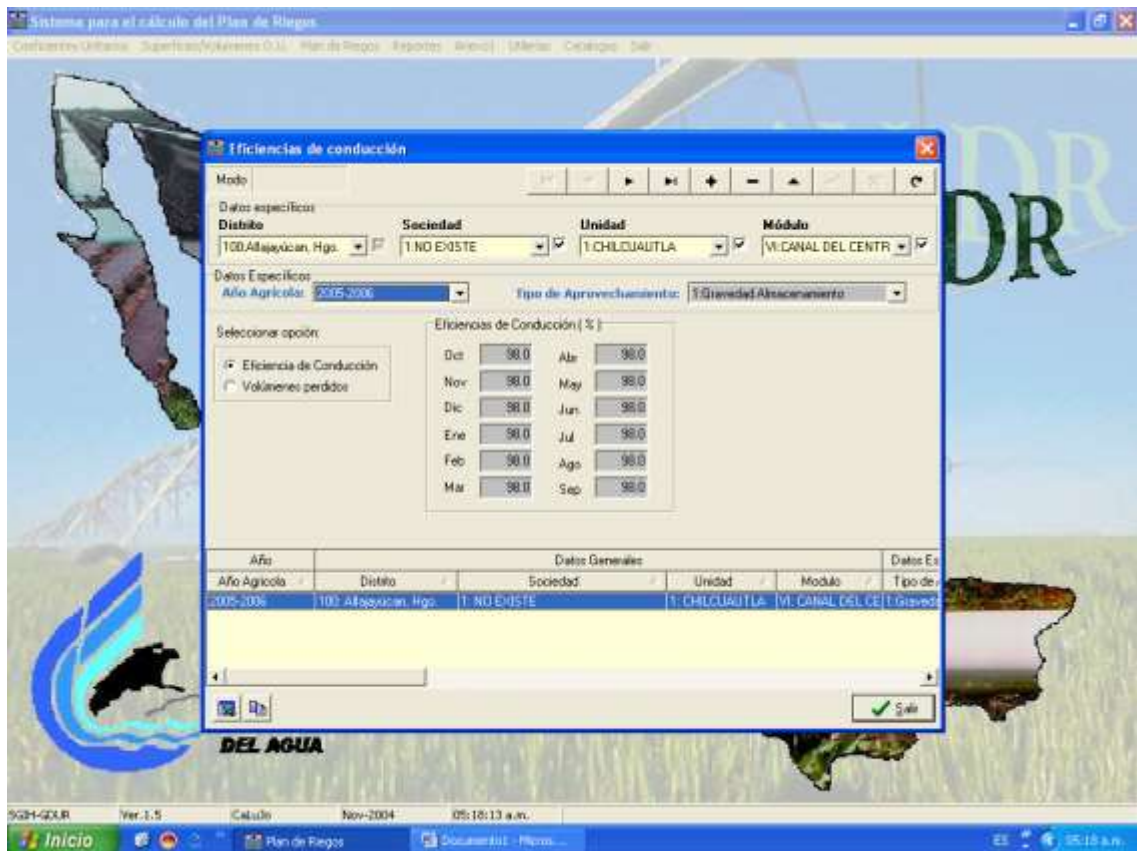


Figura 4.10. Ingreso de las eficiencias de conducción al software PLANDR.

Con los datos anteriores, se corre el programa para calcular los coeficientes unitarios. Estos también ingresan directamente al programa en caso que ya hayan sido previamente calculados. Finalmente en el menú del programa se va a “reportes” y se obtiene el diagrama básico con los valores de volumen bruto decenal.

4.3.7 Dimensionamiento de la red

Una vez que se determina el gasto máximo con el cual trabajará el tubo, el siguiente paso es calcular el diámetro del mismo.

Para determinar el diámetro del tubo, se debe contar por lo menos con la siguiente información:

⇒ Desnivel entre la cabecera y final de la regadera.

- ⇒ Gasto a conducir, definido previamente con el Soft ware PLANDR.
- ⇒ Carga mínima requerida en cada toma. En virtud de que la regadera ya está funcionando a cielo abierto, ahora con la propuesta de entubamiento, se considera una carga de 30 cm sobre la superficie del suelo.
- ⇒ Una tabla de diámetros comerciales en la que se indican todos los que son posible utilizar en el entubamiento de la regadera, el costo por metro lineal, presión y velocidad máxima permisible en cada uno de ellos.
- ⇒ Material de la tubería, para definir las pérdidas por fricción.

4.3.7.1 Diseño hidráulico de la tubería

El dimensionamiento de la red consiste básicamente en encontrar el diámetro adecuado del tubo para conducir un gasto de 160 L y que las tomas trabajen a por lo menos una carga mínima de 30 cm sobre la superficie del suelo.

El procedimiento se explica en los siguientes pasos:

- ⇒ Del cuadro 3.4, se obtiene un cuadro con el diámetro de tubería en función de la velocidad media en el tubo.
- ⇒ Debido a que se cuenta con el diámetro del tubo, se obtiene el gasto medio con la ecuación de continuidad.
- ⇒ Hay que generar una gráfica que relacione el gasto medio en función del diámetro y obtener el modelo de función.
- ⇒ Con el modelo de la función que mejor ajuste tuvo a los datos, se obtiene el diámetro para los 160 Lps.

- ⇒ Se aplica la ecuación de Bernoulli entre la cabecera de la toma y el final de la misma. La finalidad es comparar el valor de la pérdida de carga encontrado con el valor de carga disponible. Si el primer valor es mayor que el segundo, habrá la necesidad de proponer un diámetro mayor, con objeto de bajar las pérdidas de carga; por el contrario si hay mucha carga disponible y el valor de pérdida calculado en la tubería es menor, se debe reducir el diámetro. El proceso termina cuando el valor calculado es muy similar o igual al disponible.
- ⇒ Con el valor del diámetro calculado, se acude al cuadro 3.5 para verificar si existe este tamaño comercial, de lo contrario, se escoge el inmediato superior.
- ⇒ Ya con el diámetro comercial escogido, se vuelven a calcular las pérdidas de carga y se vuelve a comparar con la carga disponible.
- ⇒ Finalmente se calcula la velocidad del agua en el tubo. Si este valor se encuentra en el rango de velocidad mínima y máxima que establece el cuadro 3.4, el proceso de diseño a terminado, de lo contrario hay que volver a iniciar los cálculos, proponiendo nuevos diámetros de tubería.

4.3.8 Factibilidad económica de la inversión

Con el objeto de observar la bondad del proyecto, es necesario determinar por lo menos la relación Beneficio/costo (B/C) y el Valor Actual de un Beneficio Futuro. Con esto quedará demostrado que en un tiempo razonable el proyecto traerá beneficios a los productores directos y también traerá beneficios a los usuarios que riegan aguas abajo, ya que dispondrían de mayor volumen de agua y como consecuencia la oportunidad del servicio de riego será mas eficiente.

4.3.8.1 Utilidad del proyecto

Para iniciar con el análisis económico, primeramente se obtuvo la utilidad que actualmente se tiene con la siembra del cultivo de alfalfa, luego se obtuvo la utilidad al considerar el servicio de riego bajo la tecnología aquí propuesta.

4.3.8.2 Costo del proyecto

Del cuadro 3.5 se obtiene el costo por metro lineal de la tubería de PVC, también se consideró el costo de instalación, obra civil y accesorios (compuertas). Los costos de conservación y control de malezas no se consideraron, por que los usuarios beneficiados normalmente hacen estos trabajos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Prueba Kolmogorov-Smirnov

5.1.1 Prueba Kolmogorov-Smirnov a la precipitación

Como se observa en el cuadro 5.1, de un total de 37 decenas; en 26 hubo un mejor ajuste al modelo de distribución Normal, lo que corresponde a un 70 %; en 6 casos hubo un mejor ajuste al modelo Raíz Cúbica y solo en 5 casos no hubo ajuste a alguno de los 4 modelos.

Cuadro 5.1. Resultado de la prueba Kolmogorov-Smirnov para Precipitación.

Distrito de riego 100-Alfajayucan

Prueba Kolmogorov-Smirnov, con modelos Normal, Log-normal, Raíz cúbica y Pearson Tipo III, para Precipitación.

Estación climatológica: Mixquiahuala

Prueba con $n = 20$ $A = 0.05$

D e c e n a s

Precipitación con modelo normal

Parámetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D(kol-smi)	0.4	0.3	0.3	0.3	0.5	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2

Precipitación con modelo Log-normal

D(kol-smi)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3
------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Precipitación con modelo Raíz cúbica

D(kol-smi)	0.4	0.3	0.4	0.3	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1
------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Precipitación con modelo Pearson Tipo III

D(kol-smi)	0.86	0.64	0.74	0.88	0.81	0.71	0.80	0.52	0.76	0.57	0.52	0.29
------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

D(kol-smi)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Mejor Ajuste	Ninguna	normal	normal	normal	ninguna	Ninguna	normal	normal	Normal	Normal	normal	Raíz cúbica
--------------	---------	--------	--------	--------	---------	---------	--------	--------	--------	--------	--------	-------------

Precipitación con modelo normal

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2

Precipitación con modelo Log-normal

0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.9	0.7	0.8	0.7	0.9
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Precipitación con modelo Raíz cúbica

0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.8	0.5	0.6	0.6	0.8
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Precipitación con modelo Pearson Tipo III

0.43	0.38	0.43	0.68	0.33	0.48	0.43	0.48	0.42	0.38	0.24	0.29	0.29
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Normal	raíz cúbica	normal	raíz cúbica	raíz cúbica	Normal	Normal	Raíz cúbica	normal	Normal	Normal	normal	Normal
--------	-------------	--------	-------------	-------------	--------	--------	-------------	--------	--------	--------	--------	--------

Precipitación con modelo normal

26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4

Precipitación con modelo Log-normal

0.7	0.7	0.6	0.5	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	0.7	0.6	0.8
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Precipitación con modelo Raíz cúbica

0.4	0.6	0.6	0.4	0.2	0.3	0.4	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Precipitación con modelo Pearson Tipo III

0.38	0.29	0.32	0.32	0.56	0.57	0.62	0.80	0.67	0.90	0.88	0.87
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Normal	Normal	normal	normal	raíz cúbica	Normal	Normal	normal	normal	Ninguna	Normal	ninguna
--------	--------	--------	--------	-------------	--------	--------	--------	--------	---------	--------	---------

normal = 26

Raíz C. = 6

Ninguna = 5

5.1.2 Prueba Kolmogorov-Smirnov a la evaporación

En el cuadro 5.2 se observa que de los 12 meses del año, en 9 hubo un mejor ajuste al modelo Normal, lo que corresponde a un 75 %; los tres meses restantes tuvieron mejor ajuste al modelo Log-Normal.

Cuadro 5.2. Resultado de la prueba Kolmogorov-Smirnov para evaporación.

Distrito de riego 100-Alfajayucan Prueba Kolmogorov-Smirnov, con modelos Normal, Log-normal y Pearson Tipo III, en Evaporación. Estación climatológica: Mixquiahuala Prueba con n= 53 $\alpha= 0.05$												
Parámetro	M e s e s											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.
Prueba con n= 53 $\alpha= 0.05$												
Evaporación con modelo Normal												
D(kol-smi)	0.079	0.069	0.068	0.079	0.054	0.065	0.052	0.047	0.089	0.102	0.098	0.100
Evaporación con modelo Log-normal												
D(kol-smi)	0.070	0.070	0.109	0.094	0.054	0.100	0.051	0.075	0.142	0.146	0.137	0.133
Evaporación con modelo Pearson Tipo III												
D(kol-smi)	0.523	0.455	0.537	0.463	0.846	0.586	0.463	0.707	0.296	0.726	0.539	0.389
D(kol-smi)	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Mejor Ajuste												
	Log-normal	Log-normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Log-normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal

5.2 valores estimados de precipitación y evaporación

Con la prueba Kolmogorov-Smirnov, se determinó cual modelo de distribución de probabilidad hay que utilizar para estimar los valores de precipitación y evaporación a la probabilidad de excedencia del 75 %.

5.2.1 Valores estimados de precipitación

En virtud de que en el 70 % de los casos, los datos decenales tuvieron un mejor ajuste al modelo de distribución de probabilidad Normal, al aplicar este modelo se obtuvieron los siguientes resultados, ver cuadros 5.3 y 5.4.

Cuadro 5.3. Datos estimados de precipitación decenal.

Distrito de riego 100-Alfajayucan											
Cálculo de la precipitación para una probabilidad de excedencia del 75 % utilizando el modelo de probabilidad Normal											
Estación climatológica: Mixquiahuala											
D e c e n a s											
Variable/dec.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Precipitación	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
Variable/dec.	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Precipitación	1.8	3.3	3.0	6.2	0.0	5.3	13.9	16.8	4.9	7.8	7.8
Variable/dec.	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Precipitación	8.7	8.8	11.0	3.7	5.5	3.9	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Variable/dec.	34	35	36	37							
Precipitación	0.0	0.0	0.0	0.0							

Como se observa, en la “decena 37”, la lluvia esperada es igual a cero, por lo que no hay necesidad de prorratar algún valor, así los datos a la probabilidad de excedencias del 75 %, quedan de la siguiente manera, cuadro 5.4.

Cuadro 5.4. Datos estimados de precipitación decenal ajustados.

Mes	Decena	Precip.(mm)
Enero	1	0.0
Enero	2	0.0
Enero	3	0.0
Febrero	4	0.0
Febrero	5	0.0
Febrero	6	0.0
Marzo	7	0.0
Marzo	8	0.1
Marzo	9	0.0
Abril	10	0.0
Abril	11	0.0
Abril	12	1.8
Mayo	13	3.3
Mayo	14	3.0
Mayo	15	6.2
Junio	16	0.0
Junio	17	5.3
Junio	18	13.9
Julio	19	16.8
Julio	20	4.9
Julio	21	7.8
Agosto	22	7.8
Agosto	23	8.7
Agosto	24	8.8
Septiembre	25	11.0
Septiembre	26	3.7
Septiembre	27	5.5
Octubre	28	3.9
Octubre	29	1.1
Octubre	30	0.0
Noviembre	31	0.0
Noviembre	32	0.0
Noviembre	33	0.0
Diciembre	34	0.0
Diciembre	35	0.0
Diciembre	36	0.0

5.2.2 Valores estimados de evaporación

En virtud de que en el 75 % de los casos, los datos mensuales tuvieron un mejor ajuste al modelo de distribución de probabilidad Normal, al aplicar este modelo se obtuvieron los siguientes resultados, ver cuadros 5.5.

Cuadro 5.5. Datos estimados de evaporación a nivel mensual.

Variable (mm)	M e s e s											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.
Evaporación	106.2	128.9	164.6	172.8	177.7	150.7	140.8	147.1	117.7	112.0	103.3	99.6

Después de obtener los datos mensuales, con el auxilio de la figura 4.5, se hace el arreglo decenal, para hacerlos coincidir con los datos de precipitación que se van a obtener, de esta manera el resultado final se presenta en el cuadro 5.6

Cuadro 5.6. Datos estimados de evaporación a nivel decenal.

Decena	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Valor	34.8	35.4	37.7	40.0	43.0	47.3	51.2	54.9	56.3	57.3	57.6	58.7

Decena	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Valor	59.3	59.2	57.0	53.3	50.2	48.7	47.8	46.9	47.8	49.0	49.0	46.0

Decena	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Valor	42.3	39.2	38.3	38.0	37.3	36.0	35.5	34.4	34.0	33.5	33.2	34.0

5.3 Necesidades de riego para el cultivo de alfalfa

En el cuadro 5.7, se presenta el requerimiento de riego para el cultivo de la alfalfa, el cual fue determinado con los datos decenales de evapotranspiración de referencia, coeficientes de consumo de agua y precipitación.

Cuadro 5.7. Requerimiento de riego para la alfalfa.

Mes	Ciclo Veg. (días)	Et (mm)	Pe (mm)	RR (cm)	RRacum. (cm)
Octubre	10	18,3	3,5	1,5	1,5
Octubre	10	19,2	1,2	1,8	3,3
Octubre	10	18,5	0,0	1,9	5,1
Noviembre	10	19,7	0,0	2,0	7,1
Noviembre	10	20,7	0,0	2,1	9,2
Noviembre	10	20,5	0,0	2,0	11,2
Diciembre	10	21,8	0,0	2,2	13,4
Diciembre	10	23,2	0,0	2,3	15,7
Diciembre	10	23,8	0,0	2,4	18,1
Enero	10	26,0	0,0	2,6	20,7
Enero	10	28,0	0,0	2,8	23,5
Enero	10	29,8	0,0	3,0	26,5
Febrero	10	33,2	0,0	3,3	29,8
Febrero	10	37,0	0,0	3,7	33,5
Febrero	10	40,8	0,0	4,1	37,6
Marzo	10	45,3	0,0	4,5	42,1
Marzo	10	49,4	0,1	4,9	47,1
Marzo	10	50,7	0,0	5,1	52,1
Abril	10	52,0	0,0	5,2	57,3
Abril	10	52,1	0,0	5,2	62,5
Abril	10	53,1	2,1	5,1	67,6
Mayo	10	53,0	3,7	4,9	72,6
Mayo	10	51,6	3,4	4,8	77,4
Mayo	10	49,7	6,3	4,3	81,7
Junio	10	45,0	0,0	4,5	86,2
Junio	10	40,6	5,3	3,5	89,8
Junio	10	39,3	10,4	2,9	92,7
Julio	10	36,6	11,2	2,5	95,2
Julio	10	33,8	4,8	2,9	98,1
Julio	10	34,4	6,8	2,8	100,9
Agosto	10	32,9	6,7	2,6	103,5
Agosto	10	30,5	7,0	2,3	105,8
Agosto	10	28,6	6,9	2,2	108,0
Septiembre	10	24,3	7,4	1,7	109,7
Septiembre	10	20,8	3,5	1,7	111,4
Septiembre	10	20,3	4,5	1,6	113,0
Suma:		1224,6		113,0	

5.3.1 Coeficiente Kc

Para el cultivo de alfalfa, con los datos de Kc y % de desarrollo, se generó una gráfica como la que se presenta en la figura 5.1, a ésta se le buscó un modelo de función que predijera los datos de Kc, encontrando la función polinomial 5.1.

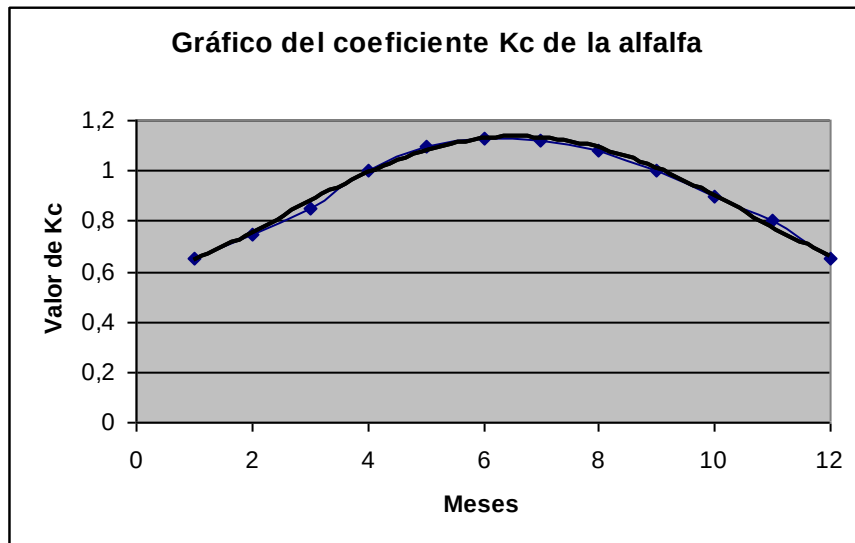


Figura 5.1. Coeficiente Kc del cultivo de alfalfa.

Alfalfa:

$$Kc = 0.0002353D^4 - 0.0062145D^3 + 0.0385205D^2 + 0.0330823D + 0.5780303$$
$$R2 = 0.9932240 \quad (5.1)$$

En la ecuación anterior, **D** es el por ciento de desarrollo del cultivo al día **t**, y se calcula como sigue:

$$D = \frac{100Nt}{Dc} \quad (5.2)$$

Donde:

Nt - Número de días acumulados desde la siembra al día **t**.

Dc - Número de días que dura el ciclo vegetativo.

5.4 Balance de la humedad en el suelo

El balance de humedad en el suelo, se llevó a cabo de tal manera que la humedad inicial fue la del Punto de Marchitamiento Permanente (PMP). Las entradas fueron el riego y la lluvia; finalmente las salidas fueron consideradas como la evapotranspiración. Así para el cultivo de la alfalfa, los consumos e intervalos de riego, se presentan en el cuadro 5.8. Estos consumos de agua, si se afectan por la eficiencia de aplicación, dan como resultado las láminas netas, que se presentan en el cuadro 5.9.

Cuadro 5.8. Estimación de los intervalos de riego para la alfalfa.

Días	Requerimiento Diario (mm/día)	Lámina acumulada (mm)	Requerimiento acumulado (mm)	Días para el riego.
10	1,49	54,8	14,9	0
20	1,80	54,8	32,9	
30	1,85	54,8	51,4	
40	1,97	54,8	71,1	32
50	2,07	109,6	91,9	
60	2,05	109,6	112,3	59
70	2,18	164,4	134,1	
80	2,32	164,4	157,4	
90	2,38	164,4	181,2	83
100	2,60	219,2	207,2	
110	2,80	219,2	235,2	104
120	2,98	274,0	265,1	
130	3,32	274,0	298,2	123
140	3,70	328,8	335,3	138
150	4,08	383,6	376,0	
160	4,53	383,6	421,3	152
170	4,94	438,4	470,7	163
180	5,07	493,2	521,4	174
190	5,20	548,0	573,4	185
200	5,21	602,8	625,5	196
210	5,10	657,6	676,5	206
220	4,93	712,4	725,8	217
230	4,83	767,2	774,1	229
240	4,34	822,0	817,5	
250	4,50	822,0	862,4	241
260	3,53	876,8	897,7	254
270	2,89	931,6	926,6	
280	2,54	931,6	952,1	272
290	2,90	986,4	981,0	
300	2,76	986,4	1008,7	292
310	2,61	1041,2	1034,8	
320	2,34	1041,2	1058,2	313

330	2,16	1096,0	1079,8	340
340	1,69	1096,0	1096,7	
350	1,73	1150,8	1114,1	
360	1,58	1150,8	1129,9	

Cuadro 5.9. Láminas netas para la alfalfa.

No. riego	Int. Acum.	Interv. (días)	Cons. (cm)	L. neta (cm)
1	0	0	5,48	9,1
2	32	32	5,48	9,1
3	59	27	5,48	9,1
4	83	24	5,48	9,1
5	104	21	5,48	9,1
6	123	19	5,48	9,1
7	138	15	5,48	9,1
8	152	14	5,48	9,1
9	163	11	5,48	9,1
10	174	11	5,48	9,1
11	185	11	5,48	9,1
12	196	11	5,48	9,1
13	206	10	5,48	9,1
14	217	11	5,48	9,1
15	229	12	5,48	9,1
16	241	12	5,48	9,1
17	254	13	5,48	9,1
18	272	18	5,48	9,1
19	292	20	5,48	9,1
20	313	21	5,48	9,1

5.4.1 Textura del suelo

Se determinó la textura del suelo en cada una de las capas, dando como resultado que para el espesor 0-30 cm, en 15 de los 20 sitios la textura fue franco-arenosa, lo cual equivale al 75 % de la cobertura total de superficie.

En el espesor 30-60 cm, en 12 de 19 sitios monitoreados (en un sitio la profundidad no llegó a los 60 cm) la textura también resultó ser franco-arenosa.

Por lo tanto las características físicas consideradas para obtener el calendario de riegos fueron las que se presentan en los cuadros 5.10 y 5.11.

Cuadro 5.10. Características físicas del espesor 0-30 cm.

Prof. (cm)	Clasificación Textural	Da	Porcentaje de agua			cm x 10 cm		
			CC	PMP	AA	CC	PMP	AA
00-30	Franco-Arenoso	1.6	15.4	5.8	9.6	2.4	0.9	1.5

Cuadro 5.11. Características físicas del espesor 30-60 cm.

Prof. (cm)	Clasificación Textural	Densidad aparente	Porcentaje de agua			cm x 10 cm		
			CC	PMP	AA	CC	PMP	AA
30-60	Franco-Arenoso	1.65	13.40	5.60	7.80	2.21	0.92	1.29

5.5 Eficiencia de conducción

En el módulo de riego número 6 del distrito de riego 100-alfajayucan, en el Estado de Hidalgo, zona de estudio, de un total de 61 regaderas, en 13 (21.3 %) de éstas, se midió el caudal de agua a la entrada y salida. Se encontró que en promedio existe una eficiencia de conducción en red secundaria del 54 %, (no incluye la eficiencia de distribución), y se pierde 87 Lps en cada kilómetro de conducción.

Para el canal lateral motivo de este trabajo, el resultado fue que tiene una eficiencia de conducción del 65 % y pierde 44 Lps por kilómetro de conducción.

5.6 Cálculo del gasto máximo

Con el auxilio del Software PLANDR, se determinó el volumen bruto decenal que requiere el cultivo de alfalfa, al observar las 36 decenas se obtuvo el

volumen máximo. El gasto decenal se obtiene al dividir el volumen entre el tiempo de la decena.

Los cálculos se realizaron bajo dos escenarios:

⇒ En el primero se utilizó el calendario de riegos 2005-2006 para la alfalfa (cuadro 5.12) y la eficiencia de conducción calculada.

Cuadro 5.12. Programa de riegos 2005-2006.

No. Riego	Intervalo (días)	L. Neta (cm)
1	0	17
2	30	17
3	30	17
4	30	17
5	30	17
6	30	17
7	30	17
8	30	17
9	30	17
10	30	17

⇒ En el segundo se utilizó el calendario de riegos teórico para la alfalfa (cuadro 5.13) y la eficiencia de conducción estimada para las tuberías de conducción de agua de riego (98 %).

Cuadro 5.13. Calendario de Riegos teórico del cultivo de alfalfa.

No. Riego	Intervalo (días)	L. Neta (cm)
1	0	9.1
2	32	9.1
3	27	9.1
4	24	9.1
5	21	9.1
6	19	9.1
7	15	9.1
8	14	9.1
9	11	9.1
10	11	9.1
11	11	9.1
12	11	9.1
13	10	9.1
14	11	9.1
15	12	9.1
16	12	9.1
17	13	9.1
18	18	9.1
19	20	9.1
20	21	9.1

En ambos casos, se utilizó la misma distribución decenal de siembras, que fue:

Tramo final: se considera establecer las 16.75 ha en la primer decena de octubre.

Tramo intermedio: Se considera establecer las 49.85 ha en las dos primeras decenas de octubre; en la primera 25 ha y en la segunda 24.85 ha.

Tramo inicial: Finalmente aquí se considera establecer las 87.47 ha que domina el canal lateral, distribuidas en las tres decenas de octubre; en la primera 29 ha, en segunda 29 ha y en la tercera 29.47 ha.

En las figuras 5.2 y 5.3, se observan los resultados del Software PLANDR en el análisis del tramo inicial de la tubería. En la sexta fila de la figura 5.3 se observan los valores del volumen decenal.

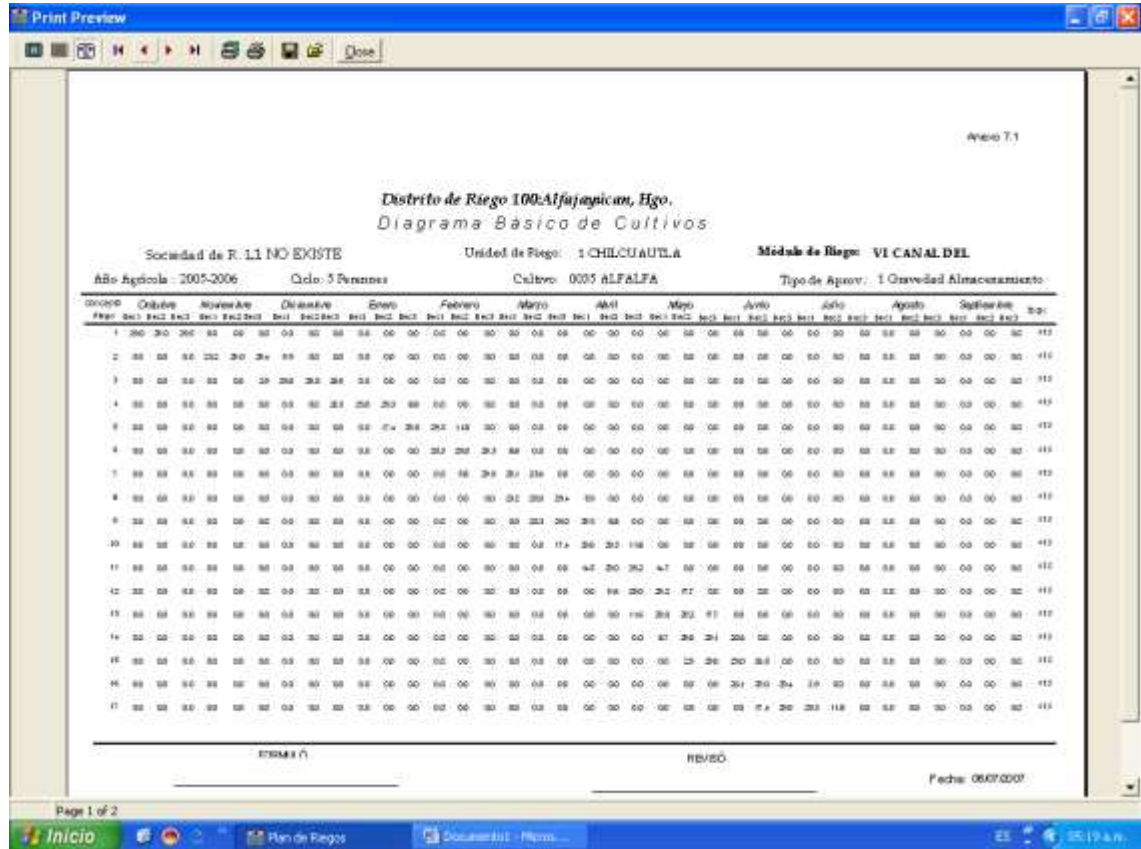


Figura 5.2. Resultados del Software PLANDR.

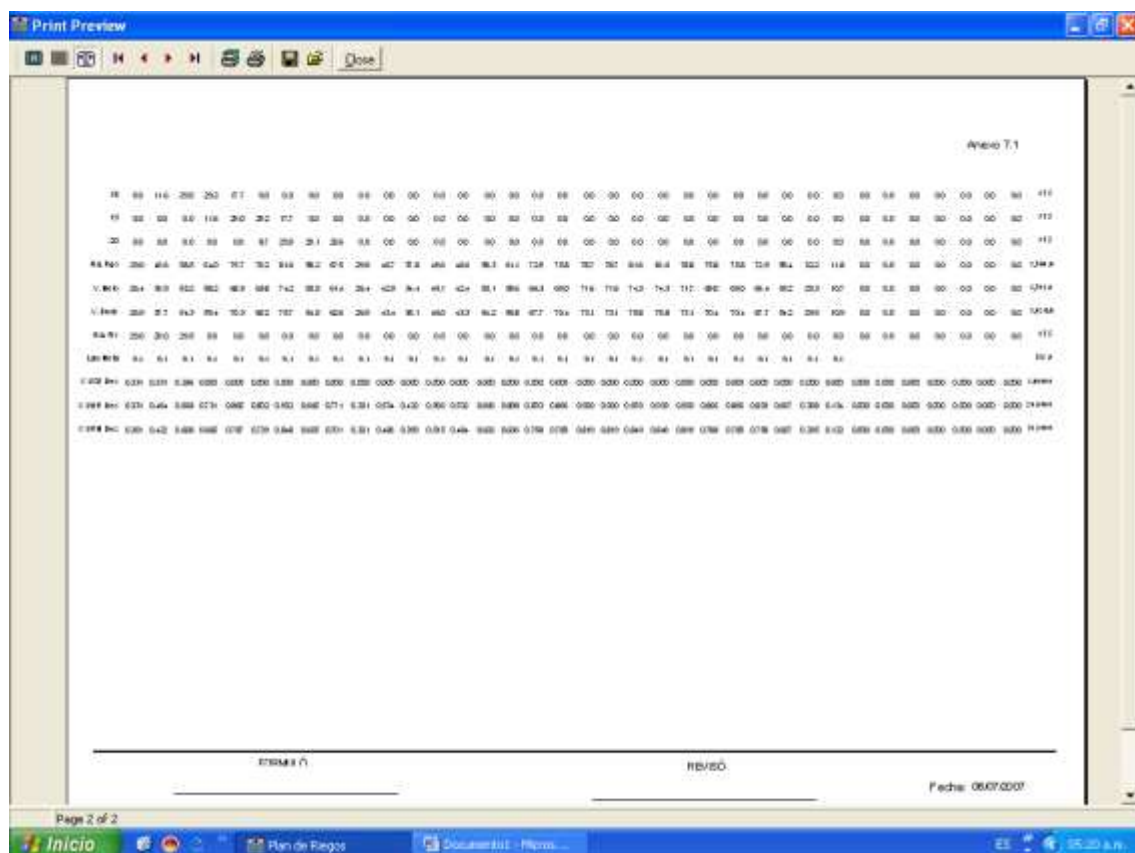


Figura 5.3. Resultados del Software PLANDR (Continuación).

Finalmente el volumen bruto máximo a nivel decena es el que se presenta en el cuadro 5.14.

Cuadro 5.14. Volumen bruto máximo decenal.

Volumen bruto decenal máximo en Condiciones actuales (millares m ³)			Volumen bruto decenal máximo con Nueva tecnología (millares m ³)		
Tramo final	Tramo intermedio	Tramo inicial	Tramo final	Tramo intermedio	Tramo inicial
43.8	104.2	152.9	24.9	46.4	75.8

Con la actual forma de conducir y entregar el agua, se utiliza un volumen anual de 2287.6 millares de m³, a diferencia con la nueva tecnología se usará un volumen anual de 1624.3 millares de m³, lo que significa un ahorro de 663.3 millares de metros cúbicos.

Ahora al convertir el volumen del cuadro 5.14 a gasto en litros por segundo (L), el resultado es el siguiente:

Cuadro 5.15. Gasto bruto máximo decenal.

Gasto bruto decenal máximo en Condiciones actuales (Lps)			Gasto bruto decenal máximo con Nueva tecnología (Lps)		
Tramo final	Tramo intermedio	Tramo inicial	Tramo final	Tramo intermedio	Tramo inicial
51	121	177	29	54	88

Del cuadro 5.15 y en particular para la nueva propuesta de distribución y aplicación del agua de riego, gastos menores de 80 lps no es práctico aplicarlos, se ha observado que en esta zona de riego, el gasto mínimo con el que riegan los usuarios es de 80 L, el uso de gastos menores, dan como resultado una baja considerable en la eficiencia de aplicación del riego. También se debe tomar en cuenta que al diseñar tubería para gastos pequeños, se corre el riesgo de sufrir taponamientos más frecuentes por el tipo de agua residual que se utiliza.

Por lo que para este trabajo se consideró diseñar la tubería de un solo diámetro y para atender dos servicios de riego simultáneamente, ya que en el tramo inicial se requiere conducir más de un servicio de riego.

5.7 Diseño del tubo

Para llegar a escoger el diámetro de la tubería, es necesario seguir y hacer los siguientes cálculos.

Con el auxilio del cuadro 3.4, página 40, se genera el cuadro 5.16, en el cual se calcula la velocidad media del agua en el tubo para los diámetros propuestos.

Cuadro 5.16. Velocidad media del agua.

Diámetro (mm)	V_{med} (m/s)
1000	1.80
900	1.80
800	1.80
700	1.80
600	1.68
500	1.68
450	1.50
400	1.40
350	1.38
300	1.33
250	1.20
200	1.10
150	1.05
100	1.00

Luego se tomó como referencia el cuadro 5.16 y se obtuvo el cuadro 5.17, en el cual se calcula el gasto medio que circulará en el tubo.

Cuadro 5.17. Gasto medio en tubería.

Diámetro (mm)	Q_{med} (Lps)
1000	1413.72
900	1145.11
800	904.78
700	692.72
600	473.60
500	328.89
450	238.57
400	175.93
350	132.29
300	93.66
250	58.91
200	34.56
150	18.56
100	7.85

Con el cuadro 5.17, se generó la figura 5.4, en la cual también se presenta la curva modelo que mejor ajuste tuvo a los datos graficados, de igual manera se obtuvo la función que representa la curva del modelo.

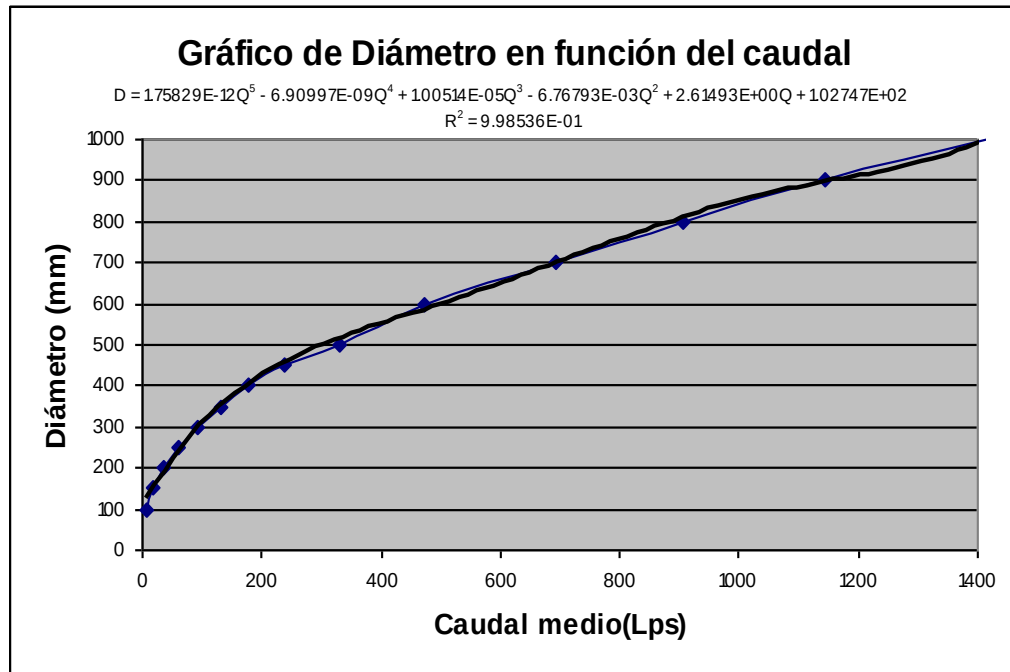


Figura 5.4. Diámetro en función del caudal medio.

Esta función resultó ser una polinomial con 5 términos, la cual se presenta enseguida:

$$D = 0.000000000000175829Q^5 - 0.00000000069099Q^4 + 0.0000100514Q^3 - 0.00676793Q^2 + 2.61493Q + 102.747 \quad (5.3)$$

Al hacer uso de la función 5.3, para el gasto de 160 L el diámetro calculado fue de 385 mm.

Con objeto de contar con el dato de la carga hidráulica disponible, se envió una brigada topográfica para obtener el nivel a la entrada y salida del canal, el resultado fue:

$$Z_c = 98.69 \text{ m.}$$

$$Z_t = 93.80 \text{ m.}$$

Por lo que la carga disponible es de $Z_c - Z_t = 4.89 \text{ m.}$

Luego se aplicó la ecuación 3.33 para obtener la pérdida de carga por fricción en el tubo; las pérdidas de carga localizadas fueron estimadas como el 10 % de la pérdida por fricción.

Al hacer el análisis de pérdidas de carga por fricción, localizadas y por salida el resultado fue de $H_f + h_s = 12.19 \text{ m.}$, lo cual supera la carga disponible de 4.89 m.

Al encontrar que la pérdida de carga es superior a la carga disponible, se generó el cuadro 5.18, en el cual en base a iteraciones se comparó el valor de carga disponible con el valor de pérdida de carga. Resultó que para un diámetro de 457 mm, se podrá cumplir con la conducción de los 160 Lps y habrá una pérdida de carga total de 4.95 m, cifra que es muy similar a la carga disponible.

Cuadro 5.18. Comparación entre carga hidráulica disponible y pérdida de carga en la tubería.

$Z_c - Z_t$ (m)	Q (Lps)	L (m)	D (m)	C	h_f (m)	$H_f = h_f + 0.1h_r$	B	h_s (m)	$H_f + h_s$ (m)
4.89	160	2619	0.200	13114.595	335.73	369.31	51.642	1.322	370.63
4.89	160	2619	0.300	1569.298	40.17	44.19	10.201	0.261	44.45
4.89	160	2619	0.385	425.965	10.90	12.00	3.761	0.096	12.09
4.89	160	2619	0.400	348.870	8.93	9.82	3.228	0.083	9.91
4.89	160	2619	0.440	212.085	5.43	5.97	2.204	0.056	6.03
4.89	160	2619	0.457	174.005	4.45	4.90	1.894	0.048	4.95
4.89	160	2619	0.460	168.163	4.30	4.74	1.845	0.047	4.78
4.89	160	2619	0.480	134.667	3.45	3.79	1.557	0.040	3.83
4.89	160	2619	0.500	108.829	2.79	3.06	1.322	0.034	3.10
4.89	160	2619	0.508	100.179	2.56	2.82	1.241	0.032	2.85
4.89	160	2619	0.600	42.050	1.08	1.18	0.638	0.016	1.20
4.89	160	2619	0.700	18.830	0.48	0.53	0.344	0.009	0.54

Los 457 mm de diámetro equivalen a un diámetro $D = 18''$.

Después de obtener el diámetro del tubo, se aplicó la ecuación de continuidad para obtener la velocidad, si ésta se encuentra dentro del intervalo que se marca entre la velocidad mínima y máxima del cuadro 3.4, será válido el proceso de cálculo, de otra manera hay que analizar otros diámetros de tubería.

$$Q = AV$$

$$Q = 160 \text{ lps} \text{ ----- } Q = 0.160 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = 0.457 \text{ m} \text{ ----- } A = 0.1640 \text{ m}^2$$

Resulta una velocidad media de $V = 0.98 \text{ m/s}$, lo cual es aceptable. Para este diámetro de tubería, corresponde las siguientes velocidades, según el cuadro 3.4:

$$V_{\text{mín}} = 0.50 \text{ m/s.}$$

$$V_{\text{máx}} = 2.50 \text{ m/s.}$$

5.8 Factibilidad económica del entubamiento

Los indicadores económicos que en este trabajo se determinaron son “el valor actual de un beneficio futuro” y la relación “beneficio-costo”. Antes de calcular los indicadores económicos, es necesario calcular la utilidad que se tendrá con el uso de la nueva tecnología, también es necesario determinar el costo de la misma; así como indicar la vida útil y la tasa de interés que se pagará por la inversión.

5.8.1 Cálculo de la utilidad neta

Para hacer estas evaluaciones económicas fue necesario determinar la utilidad que se presentará con la nueva tecnología propuesta y por la otra parte se determinó el costo total del proyecto de entubamiento. También se consideró 20 años de vida útil y una tasa de recuperación del 10 % anual. De esta manera se obtuvieron los siguientes resultados.

5.8.1.1 Utilidad bajo condiciones actuales

Como se observa en el cuadro 5.19, bajo las condiciones actuales de riego, el rendimiento de la alfalfa solamente alcanza las 40 toneladas por hectárea, con lo que se logra una utilidad de \$ 612,290.00

Cuadro 5.19. Programa de producción bajo condiciones actuales.

Cultivo	Sup. Cos. (ha)	Rend. (Ton/ha)	Prod. (Ton)	P.M.R. (\$/Ton)	V. de Prod. (\$)	Costo de Prod.(\$/ha)	C. Total (\$)	Utilidad (\$)
Alfalfa	87.47	40	3498.8	350	1224580	7000	612290	612290

Plan de Riegos 2005-2006 del distrito de riego 100.

5.8.1.2 Utilidad con la nueva tecnología

En esta área de riego, no se tienen reportes de parcelas de prueba que den a conocer la producción potencial que alcanzaría este cultivo bajo condiciones óptimas de humedad; sin embargo en áreas de riego cercanas, que cuentan con otra fuente de abastecimiento y que se ha observado que no sufren por la oportunidad en el servicio, reportan 100 ton/ha (Plan de riegos del distrito de riego 003; 2005-2006). Para fines de este trabajo y con objeto de ser conservador, en lugar de las 100 ton/ha solo se van a considerar 80 ton/ha.

En el cuadro 5.20, se presenta el rendimiento y utilidad que se obtendrán al considerar la oportunidad y suficiencia en el servicio de riego. Las demás variables, son las mismas del cuadro 5.19.

Cuadro 5.20. Programa de producción bajo condiciones óptimas.

Cultivo	Sup. Cos. (ha)	Rend. (Ton/ha)	Prod. (Ton)	P.M.R. (\$/Ton)	V. de Prod. (\$)	Costo de Prod.(\$/ha)	C. Total (\$)	Utilidad (\$)
Alfalfa	87.47	80	6997.6	350	2449160	7000	612290	1836870

La utilidad que se tomó en cuenta para obtener los indicadores económicos, es la diferencia entre la que se obtuvo bajo condiciones optimas de humedad y la que se obtuvo bajo condiciones actuales de riego; lo cual resultó ser de 1,224,580 pesos (un millón doscientos veinticuatro mil quinientos ochenta pesos anuales).

5.8.2 Costo del proyecto

En este rubro se tomó en cuenta el costo de la tubería de PVC, así como la instalación de la misma, a continuación se explican cada una de las acciones que formaron parte del proyecto de entubamiento.

⇒ **Suministro de tubería de PVC.** Consistió en valuar el costo de la tubería de 18" de diámetro y con longitud total de 2619 m. En el cuadro 3.5, se especifica que el precio por metro lineal para este diámetro es de 589 pesos.

La figura 5.5 muestra el tipo de tubería de PVC que fabrica la empresa Durman-Esquivel.



Figura 5.5. Tubería de PVC Rib Loc-Durman Esquivel.

⇒ **Excavación de la zanja.** Consiste en hacer una excavación longitudinal a lo largo del trazo actual del canal lateral, se consideró con una profundidad de 1.26 m, de tal manera que la tubería de PVC quede enterrada y protegida contra paso de vehículos. Para obtener el ancho, se hace uso del cuadro 5.21, el cual proporciona el ancho de la zanja en función del diámetro del tubo; así pues el ancho de la zanja para 457 mm de diámetro del tubo, es de 1.00 m.

Cuadro 5.21 Relación Diámetro de tubería-ancho de zanja.

Diámetro (mm)	Ancho de zanja (m)
160	0.55
200	0.60
250	0.70
300	0.75
380	0.90
450	1.00
500	1.05
610	1.25
760	1.45
910	1.70
1070	1.90
1220	2.15
1520	2.60
1830	3.05
2100	3.45
2450	4.00
3050	4.90
3500	5.55

Durman-Esquivel, 2007.

En base al Manual de Normas de Construcción e Instalación, 1990 y al Presupuesto Base 2007 para la instalación de tuberías, aprobado por la Residencia de Construcción de la Comisión Nacional del Agua en el Estado de Hidalgo; se logró adaptar los conceptos y precios para este proyecto y se determinó que el costo de la excavación es de 479.81 pesos por metro lineal.

⇒ **Relleno de la zanja.** Después de ser instalada la tubería, será necesario cubrirla con tepetate, o con el mismo material producto de la excavación. La zanja rellena, quedará como la que se presenta en la figura 5.6. El costo de esta actividad es de 303.24 pesos por metro lineal.

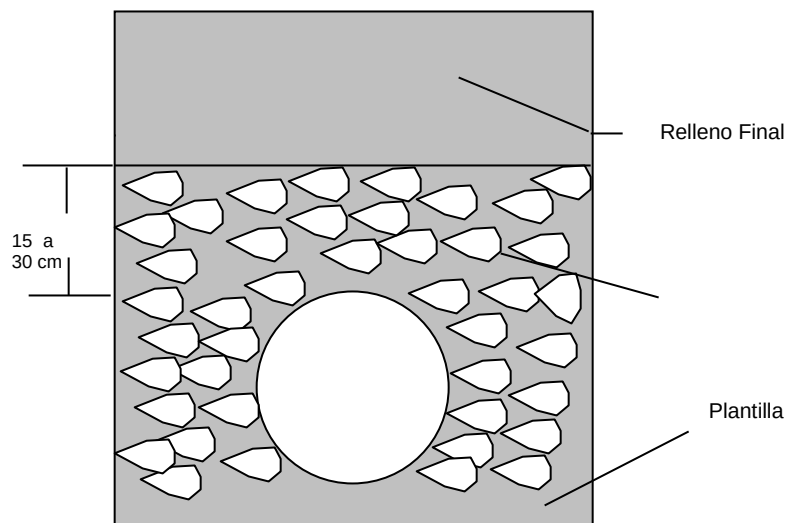


Figura 5.6. Corte transversal del relleno de zanja.

⇒ **Acondicionar tomas para riego.** Esta actividad consistirá en construir en cada toma actual una caja repartidora de concreto de 1.80 m de altura, de 1.20 m de ancho, de 1.20 m de largo y de 12 cm de espesor de muro. El concreto deberá ser resistente a los sulfatos que produce el agua residual. Tendrá las funciones de desarenador, expulsor de aire y de lugar de maniobras. Las maniobras serán el tomar el agua en determinada toma, dejarla pasar aguas abajo o mantener el tubo lleno antes de la primera toma. Las cajas repartidoras tendrán un costo de 1749.25 pesos por unidad.

En las figuras 5.7 y 5.8 se observan detalles de la vista en planta y corte transversal de una caja repartidora, respectivamente.

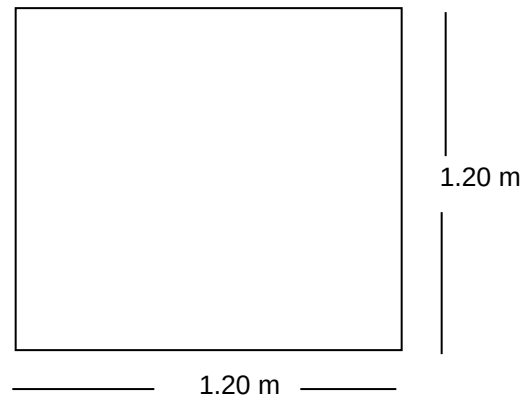


Figura. 5.7. Vista en planta de la caja repartidora donde estará la toma.

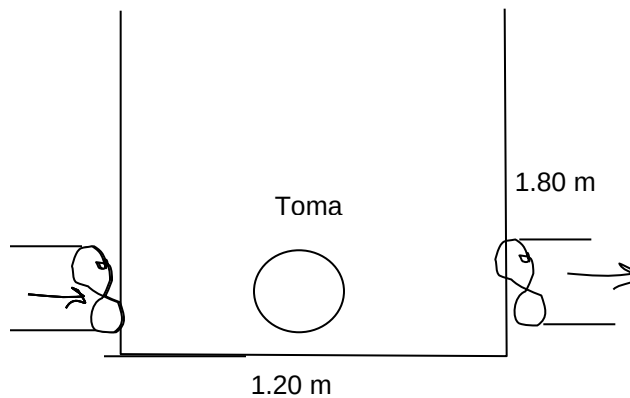


Figura 5.8. Corte transversal de la caja repartidora.

- ⇒ **Suministro de compuertas de PVC.** Consiste en instalar tres compuertas por cada caja repartidora, una para controlar el agua en la toma, otra para controlar el agua aguas arriba y la tercera para controlar el agua aguas abajo. De acuerdo a encuestas realizadas a empresas que se dedican a suministrar estos productos, las compuertas de 1.70 metros de altura y de 0.60 x 0.60 m de hoja, tienen un costo de 3,000.00 pesos por pieza.

Finalmente en el cuadro 5.22, se muestra el costo total del proyecto de entubamiento del canal lateral km 12+000 M.I., el cual fue de 3679.399 miles de pesos.

Cuadro 5.22. Relación de gastos en proyecto de entubamiento.

Concepto	Unidad	Cantidad	C. Unitario (\$)	C. Total (miles \$)
Tubería PVC de 20" de ϕ	M	2619	589.00	1,542.591
Excavación de Zanja	M	2619	479.81	1256.627
Relleno de Zanja	M	2619	303.24	794.187
Acondicionar tomas para riego	Pieza	8	1749.25	13.994
Compuertas de PVC	Pieza	24	3000.00	72.000
T o t a l:				3679.399

5.8.3 Cálculo de los indicadores económicos

Para que una inversión sea productiva, es necesario que el valor presente de sus beneficios netos sea mayor que la suma de la inversión inicial más los intereses que esta inversión pudiera generar en un mercado de capitales al ser prestado a la tasa de interés del 10 %.

La relación beneficio-costos deberá ser mayor que la unidad.

5.8.3.1 Valor presente de un beneficio futuro

Al considerar la utilidad que se obtendrá con la nueva tecnología, el costo del entubamiento, el periodo de amortización de la inversión y la tasa de interés anual, se aplicó la fórmula 3.45, y el resultado fue el siguiente:

$$VP = 1224580 \frac{1}{0.1} \left[1 - \frac{1}{(1 + 0.1)^{20}} \right] - 3679399$$

$$VP = \$6,746,140.86$$

Lo cual indica que la inversión es viable.

5.8.3.2 Relación beneficio-costo

Para el cálculo de este indicador, se tomaron como datos la inversión inicial, la ganancia anual y constante, el periodo de amortización de la inversión y la tasa de interés, de esta manera al aplicar la fórmula 3.48, el resultado fue el siguiente:

Inversión inicial:

$$I_o = \$3,679,399$$

La ganancia neta anual y constante para el periodo de 20 años es de:

$$K = \$1224580.00$$

$$B = 1224580 \frac{1}{0.1} \left[1 - \frac{1}{(1 + 0.1)^{20}} \right]$$

$$B = (1224580 * 8.5136)$$

$$B = \$1042558429$$

De esta manera la relación queda:

$$BC = 1042558429 / 3679399$$

$$B/C = 2.83$$

En virtud que este resultado es mayor que la unidad, se concluye que es factible la inversión.

VI. CONCLUSIONES

- ⇒ Si en el módulo de riego número 6, la superficie que actualmente atiende el canal lateral 12+000 (87.47 ha) estuviera sembrado de alfalfa (cultivo con mayor demanda de volumen de agua), el volumen de agua que en la actualidad se utiliza (2287.6 millares de m^3), es superior al que en determinado momento se utilizaría (1624.3 millares de m^3) al implementar el entubamiento de la regadera y utilizar las láminas de riego que realmente demanda el cultivo en cantidad y oportunidad. Con lo cual se tendrá un ahorro de agua de 663.3 millares de m^3 anuales.
- ⇒ El costo de implementar el proyecto de entubamiento del canal lateral es de 3679.399 miles de pesos.
- ⇒ La utilidad neta al modificar la actual forma de conducir el agua y cambiar la forma de aplicar el agua a la parcela, es de 1224.580 miles de pesos anuales.
- ⇒ El indicador económico “valor actual de un beneficio futuro” para un periodo de 20 años y una tasa de interés del 10 % anual, da como resultado un valor de $VP=6,746,140.86$ pesos, lo cual es una cifra mucho mayor que la inversión inicial y por lo tanto el proyecto garantiza la recuperación del capital.
- ⇒ La relación “beneficio-costo” para el mismo periodo de 20 años y la tasa de interés del 10 % anual es de $B/C=2.83$, lo cual es mayor de la unidad y por lo tanto el proyecto garantiza recuperar la inversión.

VII. RECOMENDACIONES

Para que el proyecto tenga éxito, se requiere observar lo siguiente:

- ⇒ Debe haber compactación de superficies, lo cual va a garantizar el uso del agua de manera eficiente en la parcela. Cada toma debe quedar para un lote compactado.
- ⇒ El servicio de riego se debe aplicar con oportunidad y suficiencia para obtener el rendimiento de producción esperado.
- ⇒ La superficie de alfalfa a establecer en el área de influencia de este canal lateral, se debe iniciar con la siembra de 29 ha en la primera decena de octubre, 29 ha en la segunda decena de este mismo mes y en la tercer decena se deben establecer las 29.47 ha.
- ⇒ Realizar la nivelación de los terrenos.
- ⇒ Se debe instalar una rejilla a la entrada del canal lateral.
- ⇒ Se debe estudiar el impacto ambiental del entubamiento de la red de canales del módulo 6, ya que reducirá la infiltración.

VIII. LITERATURA CITADA

Ángeles, M. V. 2002. Redes abiertas de tuberías para riego (Trazo, Diseño, Revisión y Análisis). Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México. México. pp 71-74.

Aparicio, M. F.J., 2001. Apuntes de Hidrología de Superficie. Facultad de Ingeniería. UNAM, México, D. F.

Arreguín F. 1997. El uso eficiente del agua y la tecnología. Ingeniería Hidráulica en México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. México. pp. 93-95.

Comisión Nacional del Agua. 1998. Características generales del distrito de riego. Documento interno. Mixquiahuala, Hgo. México. pp. 10.

Comisión Nacional del Agua. 1990. Normas de construcción e instalación. Libro 3. Tomos 2 y 3. Clasificación 3.01.01 al 3.01.02 y 3.03.02. México, D.F. México. pp 1-5 de cada sección de los tomos y de la clasificación.

Comisión Nacional del Agua. 2007. Presupuesto base para la instalación de tubería. Documento con especificaciones y precios unitarios aprobado. Mixquiahuala, Hgo. México. pp 43.

Comisión Nacional del Agua. 1993. Metodología para la planeación y mejoramiento de la productividad en el distrito de riego 100. Mixquiahuala, Hgo. México. pp 5.

Comisión Nacional del Agua. 1999-2000, 2000-2001, 2001-2002, 2002-2003, 2003-2004. Planes de riego a nivel módulo y general del distrito de riego 100-alfajayucan. Estado de Hidalgo. México. pp. 1-5.

Comisión Nacional del Agua. 2005-2006. Plan de Riegos del distrito de riego 100-Alfajayucan. Estado de Hidalgo. México. Anexo No. 11.

Comisión Nacional del Agua. 2005-2006. Plan de riegos del distrito de riego 003-Tula. Estado de Hidalgo. México. Anexo No. 11.

Comisión Nacional del Agua. 2006-2007. Programa de distribución de aguas para las zonas de riego en los Estados de México e Hidalgo, que aprovechan las aguas residuales de la ciudad de México y su Zona Metropolitana. México D. F. México. pp. 20-31.

Comisión Nacional del Agua (C.N.A.). 1991. Distrito de Riego 100-Alfajayucan. Estudio General del suelo. Documento interno. Mixquiahuala, Hgo. México. pp. 15.

Comisión Nacional del Agua (C.N.A.). 2004. Sistema para la elaboración de planes de riego (PLANDR). México, D.F. México. pp. 1-32.

Comisión Nacional del Agua. 2004. Sistema del Padrón de usuarios (SIPAD3). Distrito de riego 100-Alfajayucan. Estado de Hidalgo. México.

Comisión Nacional del Agua (C.N.A.). 2006. Gerencia Regional de Aguas del Valle de México y S.C.. México, D. F. México.

Durman, Esquivel. 2007. Condiciones de Instalación y Diseño. Tubería perfilada de PVC para conducciones de agua a baja presión, alcantarillado sanitario y pluvial. RIB LOC Sistemas. Sucursal Querétaro, Qro. México.

Ernest F. Haeussler, Jr., Richard S. Paul. 1987. Matemáticas para Administración y Economía. The Pennsylvania State University. Grupo Editorial Iberoamérica. pp. 176-179.

ESRI, 1996. ArcView GIS 3.2. User's manual. USA. 340p.

Frére, M. y Popov, G. F. 1986. Pronóstico Meteorológico del Rendimiento de los Cultivos. Estudio FAO, Producción y Protección Vegetal No. 73. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Pág. 35.

Gorantiwar D. S. and Smout K. I. June 1, 2003. Suministro de agua escasa usando déficit de riego en sistemas rotacionales. Journal of Irrigation and Drainage Engineerin, Vol. 129, No. 3. pp. 155.

Guillén, G. J.A. 1991. Selección de Funciones de Distribución de Probabilidad Para Estimación de Aportaciones por Esgurrimientos. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. México. pp. 100-131

Infante, G. S., y Zárate de Lara, P., G. 1984. Métodos Estadísticos, un Enfoque Interdisciplinario. México, D. F.

Linsley, K., y Paulhus. 1977. Hidrología para Ingenieros. 2ª. Ed. Mc. Graw-Hill Latinoamericana, S. A., México.

Magaña Sosa, Gustavo. 1994. La Flexibilidad del Riego en un Sistema de Distribución Interparcelario, con Tubería de Baja Presión. Estudio de Caso. Colegio de Postgraduados. Tesis Para Obtener el Grado de Maestro en Ciencias en la especialidad de Hidrociencias.

Palacios, V. E. 2002. ¿Por qué, Cuándo, Cuánto y Cómo Regar? Para Obtener mejores Cosechas; Editorial Trillas. México, D.F. México. pp. 28-63.

Palacios, V. E. 1989 Introducción a la Teoría de la Operación de Distritos y Sistemas de Riego, Colegio de Postgraduados. Montecillos, Edo. de México. México.

Presidencia de la República. 13 de febrero 1976. Diario oficial de la federación. México, D.F. México. pp. 1-3.

Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA); Distrito de Desarrollo Rural 063-Mixquiahuala; Región Distritos de Riego 003-Tula y 100-Alfajayucan; Paquetes Tecnológicos 2006.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2006. Oficina de Cálculo Climatológico; Estado de Hidalgo.

Venn J. B., Johnson D. W. and Pochop L. O. June 1, 2004. Impacto esperado en las cuencas al cambiar de riego por gravedad a aspersión. Journal of Irrigation and Drainage Engineerin, Vol. 130, No. 3. pp. 192.