

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**METODOLOGÍA DE DISEÑO DE ESTANQUE Y TUBERÍA SIN
REBOMBEO PARA RIEGO SUPERFICIAL**

POR

DANIEL ANDRADE WIEBE

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

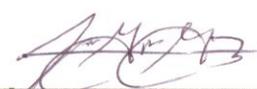
TESIS QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

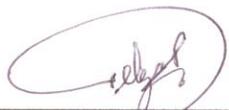
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:


M.C. CARLOS EFREN RAMÍREZ CONTRERAS
ASESOR PRINCIPAL


Ph.D. VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA
COASESOR


M.C. JOSÉ G. GONZÁLEZ QUIRINO
COASESOR


ING. GERARDO DELGADO RAMÍREZ
COASESOR


ING. ROLANDO LOZA RODRÍGUEZ
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



COORDINACION DE LA DIVISION
DE CARRERAS AGRONOMICAS
UAAAN UL

TESIS QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

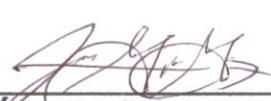
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

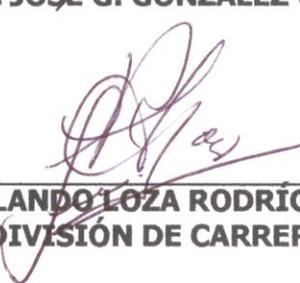
APROBADA POR:

PRESIDENTE: 
M.C. CARLOS E. RAMÍREZ CONTRERAS

VOCAL: 
Ph.D. VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA

VOCAL: 
ING. GERARDO DELGADO RAMÍREZ

VOCAL SUPLENTE: 
M.C. JOSÉ G. GONZALEZ QUIRINO


ING. ROLANDO LOZA RODRÍGUEZ
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



COORDINACION DE LA DIVISION
DE CARRERAS AGRONOMICAS
UAAAN UL

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

FEBRERO DE 2003.

DEDICATORIA

A mi Dios:

Por llevarme a su lado a lo largo de esta vida siempre llenándome de bendiciones y por concederme la oportunidad de lograr una meta más.

A mis Padres:

Juan Andrade Barragán y Martha Wiebe Medina. A ellos en especial dedico este trabajo, por ser el más grande apoyo que he tenido en mi vida, por las alegrías que siempre me brindan y por darme la herencia que jamás hubiese logrado sin tu apoyo: el amor a la vida, amor al trabajo y sobre todo el amor a mi Dios. Con todo mi amor para ellos.

A mis Hermanos:

José Juan, Gabriela, y Liliana, con profundo cariño y respeto, por su gran apoyo e inmenso amor en todos los momentos de mi vida y por su valiosa ayuda en la formación de mi carrera profesional, GRACIAS.

A mis Abuelos:

Felipe Wiebe Redeecop

Margarita Medina Jiménez

Juan Andrade García (†)

Felipa Barragán

Por ser excelentes personas y un ejemplo de respeto, responsabilidad y trabajo.

A mi Novia:

Sonia Siomara Lizardo Garay, por la gran paciencia y apoyo durante este tiempo, y por brindarme su apoyo incondicional en todo momento.

A todos mis compañeros:

De la XXX generación de Ingenieros agrónomos especialistas en irrigación: Alonso, Antonio, Edgar, Octavio, Rene, Ricardo y Rolando, por esos momentos inolvidables que pasamos juntos y por darme el apoyo necesario para culminar mis estudios.

AGRADECIMIENTOS

A mi "ALMA MATER" por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios profesionales.

Al M.C. Carlos Efrén Ramírez Contreras por su dedicación en el asesoramiento, elaboración y revisión del presente trabajo.

Al Ph.D. Vicente de Paul Álvarez Reyna por ser un gran apoyo personal y por su gran ayuda en la realización de este trabajo.

Al M.C. José Guadalupe González Quirino por su valiosa colaboración en la elaboración y revisión del presente trabajo.

Al Ing. Gerardo Delgado Ramírez por su gran ayuda en la revisión de este trabajo y por sus sugerencias para la terminación del mismo.

Al Ing. Moisés García Reyes por su valiosa colaboración en la elaboración de este trabajo.

A la Cámara Agrícola y Ganadera de Torreón, por brindarme todo el apoyo y material necesario para la elaboración de este trabajo.

A los ingenieros del Programa de Transferencia de Tecnología Integral en Riegos (PROTTIR-DURANGO) por su apoyo y su amistad.

A todos mis maestros que desfilaron durante toda mi carrera y contribuyeron en mi formación académica.

A Todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron para que yo lograra uno de mis más grandes sueños.

ÍNDICE GENERAL

	PÁGINAS
ÍNDICE.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE CUADROS.....	IV
RESUMEN.....	V
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS.....	3
III. METAS.....	3
IV. HIPÓTESIS	3
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
5.1. El uso de estanques en sistemas de entrega de agua para riego.....	4
5.2. Estadísticas de operación de estanques en la Región Lagunera.....	5
5.3. Tipos de tanques de almacenamiento.	5
5.3.1. En base a su función.....	6
5.3.2. En base a su uso y manejo.....	6
5.4. Diseño del estanque.	9
5.4.1. Dimensionamiento del estanque.....	9
5.4.2. Gasto aplicado a la parcela con respecto al tipo de suelo.	11
5.4.3. Altura del estanque con respecto al gasto de salida.	13
5.4.4. Tiempo de vaciado del estanque.....	13
5.5. Diseño de la tubería de conducción.....	14
5.5.1. Métodos para calcular pérdidas de carga en la tubería de conducción..	15
5.5.1.1. Darcy – Weisbach.....	15
5.5.1.2. Hazen – Williams.....	15
5.5.1.3. Manning:.....	16
5.6. Análisis de escenarios en sistemas de riego superficial.	17
5.6.1. Evaluación de Sistemas de Riego por Superficie.....	17
5.6.2. Descripción del modelo SIRMOD.....	18
5.6.2. Proceso básico de diseño de sistemas de riego superficial.	20
5.6.3. Cálculos básicos de diseño.....	20

VI.	MATERIALES Y METODOS.....	21
6.1.1.	Localización Geográfica.....	21
6.1.2.	Clima.....	21
6.1.3.	Temperatura.....	21
6.1.4.	Infraestructura, Superficie y Patrón de Cultivo.....	21
6.2.	Datos preliminares.....	22
6.3.	Diseño agronómico.....	23
6.4.	Características del estanque.....	23
6.4.1.	Volumen diario de descarga de la bomba.....	24
6.4.2.	Tiempo de llenado del estanque.....	24
6.4.3.	Tiempo de vaciado del estanque.....	25
6.4.4.	Estimación del gasto de operación.....	25
6.5.	Diseño de la tubería de conducción.....	26
6.5.1.	Gasto en las válvulas alfalferas.....	27
6.5.2.	Descripción del programa de carga hidráulica.....	29
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
7.1	Diseño agronómico.....	32
7.2.	Diseño hidráulico.....	33
7.2.1.	Tubería de conducción.....	33
7.3.	Manejo/Gasto en las válvulas alfalferas.....	33
7.4.	Eficiencias de riego.....	35
7.5.	Costos.....	36
VIII.	CONCLUSIONES.....	38
IX.	BIBLIOGRAFÍA.....	39
X.	APÉNDICE.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 5.1 Pantalla de ajuste y diseño de SIRMOD.....	19
Figura 6.1 Croquis del predio.....	22
Figura 6.2 Ventana del programa de carga hidráulica.....	30
Figura 7.1 Proyección vertical de las válvulas alfalferas.....	34

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro VII.1 Parámetros de diagnóstico y diseño de riego superficial.....	32
Cuadro VII.2. Comparación de gastos con dos cargas iniciales constantes.....	34
Cuadro VII.3. Eficiencias de riego.....	35
Cuadro VII.4. Costos de implementación.....	37

RESUMEN

Actualmente en la agricultura bajo riego y principalmente en regiones semiáridas, aunado a los problemas que se presentan en relación a la escasez del recurso agua, los costos del riego por el consumo de energía representan un aspecto importante a considerar en el momento del diseño de sistemas de riego, pues se refleja directamente en la redituabilidad del sistema y en los costos de riego por hectárea.

En la Región Lagunera se ha observado que la totalidad de los sistemas de riego por superficie que cuentan con tubería de conducción, cuentan con sistemas de rebombeo para su operación, esto trae consigo que se eleven significativamente los gastos por concepto de energía. Por lo anterior, se planteó el siguiente trabajo teniendo como objetivos: desarrollar una metodología de diseño para sistemas de riego superficial con tubería de conducción, en el cual se elimine el uso generalizado del sistema de rebombeo; la implementación de dicha metodología y su evaluación. Para ello se emplearon dos programas computacionales, el SIRMOD II, para evaluación y diseño del riego superficial; y el programa de Carga Hidráulica para el diseño hidráulico y programación del tandeo. En el presente trabajo se mencionan los parámetros y condiciones requeridas para un adecuado funcionamiento de un sistema de riego superficial combinado (multicompuestas y válvulas alfalferas) operado con la carga hidráulica del estanque.

I. INTRODUCCIÓN

El recurso agua es uno de los factores limitantes más severos para lograr un desarrollo sustentable por su poca disponibilidad, alto costo de extracción, o la variación en cuanto a distribución en tiempo y espacio en el caso del agua de lluvia. Estos problemas se vuelven muy severos en las regiones semiáridas, que por definición tienen un suministro de agua insuficiente para soportar una agricultura sostenible. El agua superficial disponible en estas regiones, hace que el acuífero subterráneo sea la fuente de agua (aunque costosa), más segura para la agricultura y otros usos. La seguridad en la extracción de este recurso, su costo de extracción y el desconocimiento de sus límites de existencia hacen indispensable un uso y manejo del agua eficiente.

Aunado a lo anterior, un aspecto importante para los productores agrícolas es la conservación de la energía, pues tiene impacto directo en la rentabilidad de los sistemas de riego. En la Región Lagunera se ha observado que los sistemas de riego superficial que cuentan con tubería de conducción, el 100 por ciento de ellos tiene un sistema de rebombeo para su operación, lo que incrementa considerablemente los costos de producción.

Por otra parte, el utilizar el agua directamente del sistema de bombeo, genera turnos de riego de 24 horas, lo que ocasiona un mal manejo del recurso, tal como: alto costo de mano de obra, mayor número de frentes de riego por el manejo del "agua dormida", es decir, extender el agua durante la noche; y bajas eficiencias de riego, estos problemas repercuten en altos costos de riego por hectárea.

Otro problema surge cuando por condiciones fuera de control, la extracción o la disponibilidad directa del agua se ven interrumpidas por aspectos de mantenimiento o reparación del sistema de bombeo, lo cual origina disminuciones significativas en el rendimiento de los cultivos por la falta oportuna del riego. Esto ha llevado a algunos agricultores de la Comarca Lagunera a utilizar el agua de riego con mayor eficiencia y seguridad, utilizando para ello estanques de almacenamiento.

El operar un estanque eficientemente consiste en almacenar el agua de bombeo durante la noche, para luego disponer de ella con un gasto mínimo de dos a tres veces mayor a la que se dispone del equipo de extracción, de esta manera es posible regar únicamente durante el día con turnos de riego menores o iguales a 12 horas, esto trae como consecuencia un mejor control y avance del riego, menos mano de obra, menores pérdidas por conducción y percolación profunda, mayores eficiencias de riego, mayor superficie por regar con la misma disponibilidad de agua además de tener seguridad del riego en situaciones extremas, y menores costos de riego por hectárea.

El presente trabajo genera una metodología de diseño del estanque y de la red de tubería cumpliendo con los requisitos prácticos, de funcionalidad y factibilidad económica con el objetivo de disminuir los costos de riego por hectárea eliminando el rebombeo, y se plantean los aspectos a considerar en el diseño de un sistema de riego superficial combinado (tubería de compuerta y válvulas alfalferas) operado con la carga hidráulica de un estanque; por lo cual se plantea lo siguiente:

II. OBJETIVOS

- Desarrollar una metodología de diseño de riego superficial combinado (multicompuestas y válvulas alfalferas) operado con carga hidráulica de estanque.

III. METAS

- Diseñar el estanque con suficiente carga hidráulica para operar un sistema de riego superficial combinado, en un período de tres meses.
- Implementación de la metodología de diseño y operación de un sistema de riego superficial combinado, en un período de tres meses.

IV. HIPÓTESIS

Mediante la aplicación de la carga hidráulica de un estanque, es posible operar eficientemente un sistema de riego superficial combinado (multicompuestas y válvulas alfalferas).

V. REVISIÓN DE LITERATURA.

5.1. El uso de estanques en sistemas de entrega de agua para riego.

La utilización de estanques de almacenamiento para riego obedece a la baja disponibilidad del agua subterránea y a la reducción de la superficie de riego, debido a que no se está regando la superficie que se debería regar con el gasto disponible. Esto resulta de un manejo inadecuado del agua de riego; por lo que se requiere la implementación de alternativas tecnológicas que eleven la eficiencia de riego.

Una de estas alternativas es la construcción de estanques de almacenamiento, la cual tiene el objetivo de almacenar el agua extraída de los pozos o norias de bombeo durante la 24 horas o más, para después ser vaciados en un período menor, llamado turno de riego (12, 8 o 6 horas).

Bajo diferentes situaciones, los estanques de almacenamiento son elementos esenciales en un sistema completo de riego en un predio. Básicamente, los estanques de almacenamiento son medios de manejo de flujos variables o estables, que pueden ser regulados a voluntad para que sean más eficientes en términos de agua, mano de obra, energía y producción del cultivo. Son estructuras que permiten variar el gasto de descarga y adaptar su manejo a las condiciones heterogéneas de cada predio (Hagan et al, 1967).

Pueden usarse en conexión con bombas o sistemas de gravedad y con todos los métodos tradicionales de riego, y se combina a menudo con otros medios como las tuberías, norias, sistemas de rebombeo, y sistemas de entrega de canales (Jensen, M.E.1985).

5.2. Estadísticas de operación de estanques en la Región Lagunera.

Según un reporte del Programa de Asistencia Técnica Integral en el Aprovechamiento Eficiente del Agua de Riego en la Región Lagunera de Coahuila, del total de predios diagnosticados durante el primer año de operación de dicho programa (1997), el 90 por ciento de estos cuentan con estanques de almacenamiento, de los cuales, los que operan sistemas de riego superficial, el 52 por ciento de ellos manejan gastos parcelarios de 101 a 200 litros por segundo; seguido por un 34 por ciento correspondiente a gastos de 51 a 100 litros por segundo; el total de estanques que operan sistemas de riego con tubería de conducción cuentan con sistemas de rebombeo.

Respecto a los frentes de riego, y según el diagnóstico, en la Región Lagunera predominan los frentes de uno y dos, con una frecuencia de observación del 38 y 43 por ciento respectivamente. En referencia a los turnos de riego, los que mayor predominan son de 8 a 12 horas, resultando en un 67 por ciento.

Los frentes y turnos de riego, son dos variables que surgen cuando existen los estanques o almacenamientos de agua de riego; de esta manera, la interacción de las dos variables pueden originar altos gastos unitarios, los cuales pueden provocar grandes avances de riego y mayores eficiencias.

5.3. Tipos de tanques de almacenamiento.

Los estanques o depósitos de almacenamiento de agua pueden distinguirse bien por su función principal, su tamaño o su manejo, y en base a ello se hace la siguiente clasificación.

5.3.1. En base a su función.

De acuerdo a la ASAE (1985), los usos más comunes de los estanques o depósitos de almacenamiento son para proveer:

- a) Almacenamiento del escurrimiento de agua de lluvia para riego durante períodos secos.
- b) Almacenamiento a largo plazo o temporal de agua que puede estar disponible de fuentes superficiales o subterráneas, durante períodos de baja demanda o cuando las operaciones de labranza y cosecha no permiten el riego.
- c) Almacenamiento nocturno del flujo proveniente de un pozo profundo o sistema de entrega, para su uso durante el día.
- d) Una capacidad de regulación necesaria para ajustar gastos no adecuados, o para adecuar el flujo a otros elementos del sistema de riego.
- e) Almacenamiento del coleo.
- f) El mantenimiento de una superficie de agua a una elevación con relación a un área adyacente.

Usualmente los estanques se diseñan para varios propósitos de los mencionados anteriormente, requeridos por las condiciones de cada predio, las necesidades del sistema de riego, y los objetivos de manejo del usuario.

5.3.2. En base a su uso y manejo.

Otra clasificación se puede hacer en base a su uso y manejo:

- a. Almacenamiento de largo plazo.
- b. Almacenamiento temporal.
- c. Almacenamiento nocturno.
- d. Regulación.
- e. Reuso del coleo.
- f. Control de la lámina de agua.

Los estanques de almacenamiento a largo plazo están normalmente asociados con proyectos hidráulicos. No es muy común su uso en los ranchos agrícolas aunque pueden ser factibles cuando se utilizan en conjunción con norias, donde el agua puede ser bombeada en la primavera, almacenada, y posteriormente usada para satisfacer la alta demanda en el verano. Esto permite usar menos pozos, y un uso más económico de ellos. Este tipo de estanques es más común encontrarlos en Estados Unidos de América.

Estanques de almacenamiento

Los estanques de almacenamiento temporal son comúnmente usados en áreas más húmedas para coleccionar el escurrimiento superficial de la lluvia, para su uso durante períodos secos ocasionales, o para control de heladas y temperatura. También son frecuentemente usados para proveer una fuente para sistemas de gravedad o aspersión en áreas donde la agricultura de temporal es posible, pero donde el empleo del riego puede mejorar la calidad y el rendimiento del cultivo.

Estanques de almacenamiento

Los estanques de almacenamiento nocturno son los más comunes. Estos acumulan la descarga de agua del canal o de las norias durante las 24 horas, para permitir descargas variables en cantidad y duración. Pueden tener una capacidad tan pequeña como la necesaria para sostener un flujo de 12 a 16 horas, de un pozo o de una pequeña fuente superficial, y este volumen aplicarse en tan solo una parte del período de 24 horas. Sin embargo, los estanques con una capacidad de almacenamiento para al menos 48 horas son frecuentemente más adecuados, particularmente cuando se usan en conjunto con un sistema de riego superficial semiautomatizado. Ellos se adaptan particularmente para facilitar el bombeo continuo de un pozo. El costo económico es una función de la duración del riego, el área a ser cubierta en una sola descarga o turno de riego, la capacidad de distribución del sistema, el costo de la mano de obra y la tasa de abastecimiento de agua y duración del flujo.

5.4. Diseño del estanque.

Para que un estanque opere de manera correcta y sea factible económicamente, su capacidad de almacenamiento tiene que estar en función del gasto disponible del sistema de bombeo y del avance del agua sobre la superficie del terreno, el cual depende del gasto unitario, pendiente y longitud del riego, para concluir con una lámina de riego requerida o bien, un volumen extraído para cumplir dicha lámina.

Es necesario tener conocimiento del tipo de suelo, el gasto de la noria, y las variables que intervienen en el método de riego, tales como la lámina de riego, longitud del riego y pendiente del terreno (información base a considerar).

5.4.1. Dimensionamiento del estanque.

Para determinar las dimensiones del estanque se deben considerar un gran número de factores. Entre los más relevantes serían los costos de construcción, el valor económico de los cultivos, su sensibilidad al estrés y la garantía deseada en el suministro de la fuente de abastecimiento principal, sea pozo profundo o un canal.

Los criterios de diseño para el dimensionamiento del estanque son muy variados. Cada sistema de riego resuelve sus problemas de regulación de manera diferente. Como referencia para el dimensionamiento de los estanques de almacenamiento se encuentran dos límites. El límite inferior a considerar es el "embalse nocturno"; el límite superior es definido por el usuario en base a los factores anteriormente mencionados, existiendo por supuesto, puntos intermedios. Sin embargo, el tamaño de la obra debe ser establecido por el usuario en base a criterios que se verán más adelante (web.eead.csic.es/oficinaregante/riego/).

El embalse o almacenamiento nocturno es la captación del agua sólo en el periodo nocturno, la cual es liberada en el turno del día, es decir, su capacidad se limita únicamente al agua aportada en un período de 12 o 16 horas para posteriormente ser aplicada en un turno de riego de 12 u 8 horas. Los costos de construcción no son muy grandes. Sin embargo, un estanque de esta capacidad no provee una garantía en el riego en caso de una reparación de la bomba o un fallo en el suministro de la energía eléctrica, además de que su capacidad no permite un "colchón" de almacenamiento cuando por alguna causa se ve interrumpido el riego, provocando el paro de la bomba para evitar un desbordamiento del estanque.

En el caso de un estanque demasiado grande, éste puede resultar no factible económicamente principalmente por su alto costo de construcción; por lo tanto, en base en lo anterior, debe ser el agricultor (usuario) quien debe definir el punto entre la seguridad que debe aportar el estanque al riego, y el costo de la obra, para lo cual, cuando se tiene **conocido el gasto de extracción** del pozo profundo, es necesario definir en base a tres propósitos a saber:

- a) Reducción del tiempo de riego al máximo, es decir, regar sólo de día y de esta forma el regador disponer de las siguientes ventajas :
- Vigilancia del riego
 - Condiciones adecuadas de ánimo para el desarrollo de su trabajo.
 - Al ver cómo se distribuye el agua, el regador tiene una mayor capacidad para proponer mejoras al predio.
 - Se identifican con precisión las tuzeras o fugas de agua presentes en el terreno.
- b) Reducción de los costos de mano de obra para la realización del riego.

- c) Estar preparado para regar cuando se tiene un corto de energía, cuando se tiene que enviar la bomba a reparación o cuando se presenta cualquier contratiempo en la extracción del agua subterránea.

Sin embargo, por lo general un estanque con una capacidad de almacenamiento de 3 a 5 días es muy adecuado.

5.4.2. Gasto aplicado a la parcela con respecto al tipo de suelo.

En esta etapa, se obtienen los parámetros del tipo de suelo existentes en la parcela, la mejor manera de proceder es practicar un avance de riego colocando marcas al menos cada 20 m y medir el tiempo que tarde en llegar el agua en cada marca. Se hace la medición de la topografía de la parcela (melga, surco, etc.), para posteriormente muestrear el suelo antes del riego y conocer el contenido de humedad de dicho suelo. Una vez que se tienen los datos del muestreo y de la topografía, se aplica el riego y en el momento de su aplicación se afora el gasto que entra a la parcela y con las dimensiones (ancho de melga, distancia entre surcos, etc.) de la misma se obtiene el gasto unitario. Después del riego habrá que esperar unos días (de 2 a 4) para que la humedad en el suelo se distribuya y se pueda muestrear para conocer el contenido de humedad después del riego.

Toda la información obtenida anteriormente se procesa para calcular las eficiencias de riego en la parcela. Después, se procede a la etapa de simulación, en este caso, una ventaja enorme en la cual se evitan muchos cálculos y se ahorra tiempo, es por medio de la utilización del paquete computacional obtenido en la Universidad de Utah, Logan, llamado SIRMOD™ (Surface irrigation Modeling) en el que se manejan diversas variables de entrada al proceso para obtener sus diferentes respuestas. En dicho sistema computacional se elige la mejor alternativa para alcanzar la máxima eficiencia. Es importante para

fines de diseño del estanque, estar seguro en el parámetro del gasto unitario que se propone manejar en el sistema de riego (Ramírez, 2000).

Si se construye un estanque que logre acumular el volumen requerido para extraer tres veces el gasto del pozo, se estará en posibilidad de regar en 8 horas diarias, es decir, el turno de riego puede ser de 8:00 a.m. a 16:00 hrs; a partir de esto, es posible calcular el volumen que se tiene que almacenar en un día, y tomando como ejemplo el caso anterior (regar en un turno de 8 horas), es necesario extraer del estanque un gasto 3 veces mayor que el gasto de la bomba, para esto, se requiere calcular el diámetro de la descarga del estanque a fin de que el gasto a la salida sea el deseado; se realiza de la siguiente manera:

$$D = \sqrt{\frac{4A_o}{\pi}} \dots\dots\dots (1)$$

$$A_o = \frac{Q_e}{C_d \sqrt{2gH_e}} \dots\dots\dots (2)$$

En donde:

A_o = Área de salida del estanque (m^2)

Q_e = Gasto deseado de extracción del estanque ($m^3 \text{ seg}^{-1}$)

C_d = Coeficiente de descarga del orificio (adimensional)

H_e = Carga hidráulica o altura mínima del estanque (m)

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m seg^{-1})

D = Diámetro del tubo (m).

5.4.3. Altura del estanque con respecto al gasto de salida.

La información del gasto unitario que debe aplicarse a la parcela es la base para definir la altura del estanque (Ramírez, 2000), partiendo de la teoría clásica de la ecuación de Bernoulli es posible llegar a la expresión que relaciona la altura del estanque para obtener un gasto de salida deseado, la cual es:

$$He = \frac{1}{2g} \left(\frac{Qe}{AoC_d} \right)^2 \dots\dots\dots (3)$$

Es importante tomar en cuenta que esta relación depende del área del estanque, del área de la descarga y del gasto aportado por la bomba del pozo profundo o de cualquier otra fuente de agua.

5.4.4. Tiempo de vaciado del estanque.

En la mayoría de los casos se determinan los tiempos de vaciado en depósitos en donde permanece la carga constante con la que funciona el orificio, sin embargo por lo general, el estanque mientras se descarga el estanque existe una variación en la carga hidráulica según ocurre el vaciado a través del orificio (Sotelo, 1999). Por lo anterior se debe considerar al estanque como un depósito prismático en donde el área del estanque es mucho mayor que el área del orificio de descarga, y se desprecia la velocidad de descenso del agua, por lo que el tiempo de vaciado a carga variable es como sigue:

$$Tv = 2 \frac{A}{C_d \cdot Ao} \frac{He}{\sqrt{2g \cdot He}} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

Tv = Tiempo de vaciado del estanque sin aportación (seg).

A = Área del estanque (m²).

Para considerar las condiciones reales en las que ocurre el vaciado, es necesario considerar la aportación del sistema de bombeo, la cual en términos generales ocurre simultáneamente con el vaciado del estanque; por lo que la ecuación es la siguiente:

$$T_{v_a} = \frac{2A}{C_d A_o \sqrt{2g}} (H_{in}^{\frac{1}{2}} - h_m^{\frac{1}{2}}) + \frac{A}{q} (H_{in} - h_m) \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

- T_{v_a} = Tiempo de vaciado del estanque con aportación (seg).
- H_{in} = Carga inicial del estanque (m).
- h_m = Carga mínima del estanque (m).
- q = Gasto de la bomba (lps).

De esta manera se puede determinar el tiempo en que vacía completamente el estanque, sin embargo hay que considerar que esta ecuación se aplica en condiciones de descarga libre, por lo que no representa el tiempo de vaciado al considerar la descarga en las diferentes válvulas puesto que los gastos no son los mismos, por la longitud y por el desnivel existente.

En realidad el tiempo de vaciado sólo puede determinarse con un manejo particular, puesto que los gastos y en consecuencia el tiempo de vaciado son dependientes de dicho manejo.

5.5. Diseño de la tubería de conducción.

La metodología de diseño de la tubería de conducción propuesta por Delgado (2000) parte del cálculo de las pérdidas de carga permisibles, las cuales se estiman con diámetros propuestos para después elegir el diámetro que cumpla de mejor manera principalmente con requisitos de factibilidad económica y de diseño.

5.5.1. Métodos para calcular pérdidas de carga en la tubería de conducción.

Existen muchos criterios publicados y usados para el cálculo de las pérdidas de carga por fricción en tuberías. Las metodologías que más se utilizan para determinar el diámetro óptimo de las tuberías de baja presión, son la de Darcy – Weisbach, Hazen – Williams y la de Manning (Delgado, 2000).

5.5.1.1. Darcy – Weisbach.

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

h_f = Pérdidas de carga por fricción (m).

f = Coeficiente de fricción que depende del tipo de material y de la velocidad del agua en la tubería, así como de la viscosidad del agua (Adimensional).

L = Longitud de la tubería (m).

D = Diámetro de la tubería (m).

v = Velocidad media del agua en la tubería (m seg^{-1}).

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m seg^{-2}).

5.5.1.2. Hazen – Williams.

Modificando las ecuaciones de Darcy – Weisbach, Hazen y Williams encontraron que la velocidad de un fluido depende del gradiente hidráulico y de la forma del conducto, estando relacionados por la ecuación siguiente:

$$V = C * R^{0.63} * S^{0.54} \dots\dots\dots (7)$$

A partir de la cual:

$$hf = \frac{1.21 \cdot 10^{10}}{D^{4.87}} \left(\frac{q}{C} \right)^{1.852} \cdot L \cdot F \dots\dots\dots (8)$$

Donde:

F = Factor de salidas múltiples (adimensional).

5.5.1.3. Manning:

$$hf = 6.3496 \frac{n^2 * L * V^2}{D^{4/3}} \dots\dots\dots (9)$$

Donde:

n = Coeficiente de rugosidad de Manning que depende del material de la tubería (adimensional).

(Jaquez et al 1978) Señala que la ecuación para pérdidas por fricción en tuberías es la siguiente:

$$hf = \frac{10.29 * Q^2 * n^2 * L}{D^{16/3}} \dots\dots\dots (10)$$

Donde:

Q = Gasto (m³ seg⁻¹).

5.6. Análisis de escenarios en sistemas de riego superficial.

Un sistema de riego superficial eficiente es la conjugación de un diseño hidráulico adecuado y de un diseño agronómico del riego que también cumpla con los requerimientos y sea eficiente, por lo tanto es imprescindible un diseño del riego óptimo. Para facilitar el trabajo de diseño, una herramienta útil es el análisis de escenarios en sistemas de riego superficial por melgas, utilizando un sistema de cómputo donde se involucran los factores de infiltración, pendiente, ancho, tipo de suelo, tipo de cultivo, gasto unitario, avance y recesión del agua, etc. Es por eso que en este trabajo se incluye un análisis de escenarios en sistemas de riego superficial por melgas basado en un modelo de simulación, con las características de ser eficiente y funcional, para poder incrementar las eficiencias antes mencionadas.

El Modelo **SIRMOD** posee tres capacidades de trabajo: (1) simulación; (2) evaluación, y (3) diseño de sistemas de riego por superficie, en donde, en las dos últimas se utiliza el "balance de volumen" como metodología de análisis, mientras que en la primera se utiliza la solución de ecuaciones más complejas. Sin embargo, las soluciones de algunas de ecuaciones en simulación son tomadas directamente del balance de volumen.

5.6.1. Evaluación de Sistemas de Riego por Superficie.

A través de la evaluación de un sistema de riego por superficie, se pueden identificar alternativas de manejo, las cuales al implementarse, mejoran la eficiencia del sistema. Una evaluación puede mostrar que para alcanzar altas eficiencias se requiere de una reducción del gasto de entrada y una mayor duración del tiempo de riego; o probablemente puede indicar que para mejorar su funcionamiento, es necesario efectuar cambios tanto en la longitud como en la topografía del terreno. Probablemente, una combinación de varias alternativas de

manejo resulta mejor. Por lo anterior, uno de los objetivos de **SIRMOD**, es ayudar al evaluador en desarrollar tales alternativas.

5.6.2. Descripción del modelo SIRMOD.

El software de **SIRMOD**, contiene tres funciones que le permiten al usuario del mismo, poseer capacidad para evaluar un sistema de riego, en donde la primera de ellas está asociada con la capacidad de simulación del software.

En cada simulación, el agua que entra al campo es dividida en agua infiltrada y agua percolada. Así, a partir del agua infiltrada a través de la superficie del suelo, el software determina la cantidad que es almacenada en la zona radicular que puede ser extraída por estas, así como la cantidad que se pierde por percolación. Debido a que esta información es determinada por simulación en cada punto a lo largo de la longitud de riego, a partir de un avance de riego, ésta puede ser usada posteriormente para calcular varios parámetros de eficiencia, tanto de aplicación como de distribución (figura 1).

La segunda función de evaluación en **SIRMOD**, es la capacidad de determinar los parámetros de infiltración a partir de la información de avance del agua en campo. Además de lo anterior, dichos parámetros, pueden ser estimados directamente en el campo, sin embargo, su determinación es hecha bajo condiciones completamente diferentes a las que suceden en el riego superficial (García, 2000).

La tercera función que posee **SIRMOD**, es su capacidad de estimar o proyectar los parámetros de eficiencia y uniformidad asociados con ciertos diseños específicos del sistema de riego de que se trate. Ciertamente, uno de los objetivos del diseño, es optimizar el funcionamiento del sistema, en donde el funcionamiento es medido a través de los parámetros de eficiencia y uniformidad.

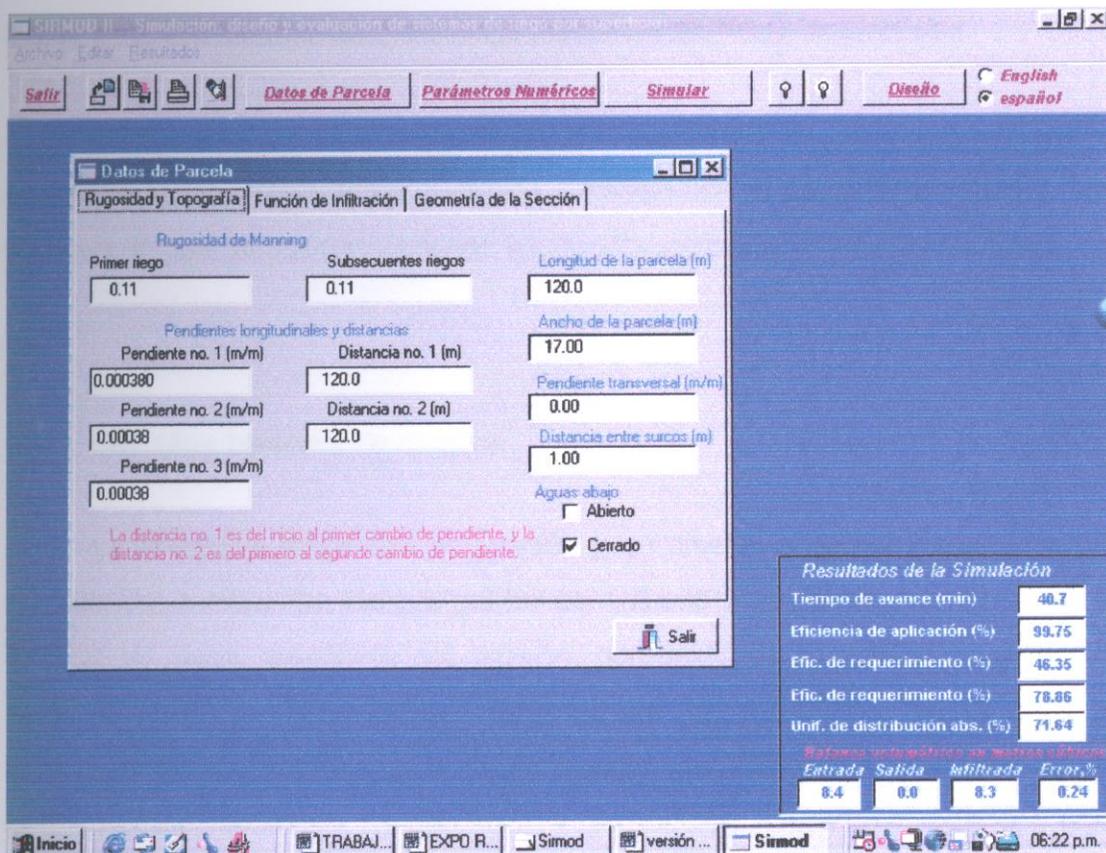


Figura 5.1. Pantalla de ajuste y diseño de SIRMOD que indica el ancho de melga, gasto unitario y pendiente.

La información más común, que emerge de una evaluación es la siguiente:

1. Hidrograma de entrada (por surco, melga o cuadro), medido en unidades de gasto unitario (volumen por unidad de tiempo por metro o surco).
2. Curvas de avance y recesión.
3. Hidrograma de salida (si la terminación del surco o melga es abierta), medido de igual manera, en gasto unitario.
4. Contenido de humedad en el suelo antes del riego, medido en lámina de riego.
5. Geometría del área hidráulica de entrada, incluyendo espaciamiento entre melgas o surcos, expresada en unidades de longitud.
6. Eficiencias de aplicación y requerimiento, uniformidad de distribución y tiempo de avance.

5.6.2. Proceso básico de diseño de sistemas de riego superficial.

El proceso de diseño de riego por superficie es un procedimiento que ensambla la mejor frecuencia y lámina de riego con la capacidad y disponibilidad de agua, el cual se puede subdividir en diseño preliminar y diseño detallado.

5.6.3. Cálculos básicos de diseño.

La diferencia entre una evaluación y un diseño es la recolección de datos; durante una evaluación, incluye gastos de entrada y de salida, geometría de flujo, longitud de riego, pendiente del terreno, contenido de humedad en el perfil del suelo, avance y recesión del agua sobre la superficie del suelo. Las características de infiltración del suelo pueden ser deducidas, y a partir de estas determinar las eficiencias de aplicación y distribución. Durante el diseño, y usando las funciones de infiltración (incluyendo sus cambios durante la estación de desarrollo), geometría de flujo, pendiente del terreno y longitud de riego, se determina el avance y la recesión; una vez hecho lo anterior se define el funcionamiento del sistema para varios niveles de gasto y tiempos de corte. (García 2000).

VI. MATERIALES Y METODOS.

6.1.1. Localización Geográfica.

El área de estudio se ubica en la Pequeña Propiedad Bozanes, dentro del Municipio de Matamoros Coahuila; la Pequeña Propiedad se encuentra cerca al ejido de Congregación Hidalgo, y se localiza geográficamente en los parámetros 25° 24' 04" de latitud norte y a los 103° 06' 10" de longitud al oeste del meridiano de Greenwich, a una altitud de 1150 msnm.

6.1.2. Clima.

De acuerdo con el sistema de clasificación de Copen modificado por García (1973) citado por Delgado (2000), corresponde a un BWhw (e), que indica un clima muy seco con lluvias en verano y de 5 a 10.2 mm de precipitación pluvial en invierno.

6.1.3. Temperatura.

La temperatura promedio es de 20.3 °C, con un máximo de 36.6 °C y un mínimo de 5.7 °C, cada año se presenta un período con posibilidades de heladas desde el mes de Noviembre hasta al mes de Marzo (INEGI, 1998) citado por Sarabia (2002).

6.1.4. Infraestructura, Superficie y Patrón de Cultivo.

La Pequeña Propiedad cuenta con una superficie de 70 has, de las cuales se explotan 10 has de sorgo forrajero con este sistema (Fig. 6.1). En infraestructura de riego, cuenta con un estanque revestido con una capacidad de 9992 m³, alimentado por un pozo profundo, con un gasto de 30 lps.

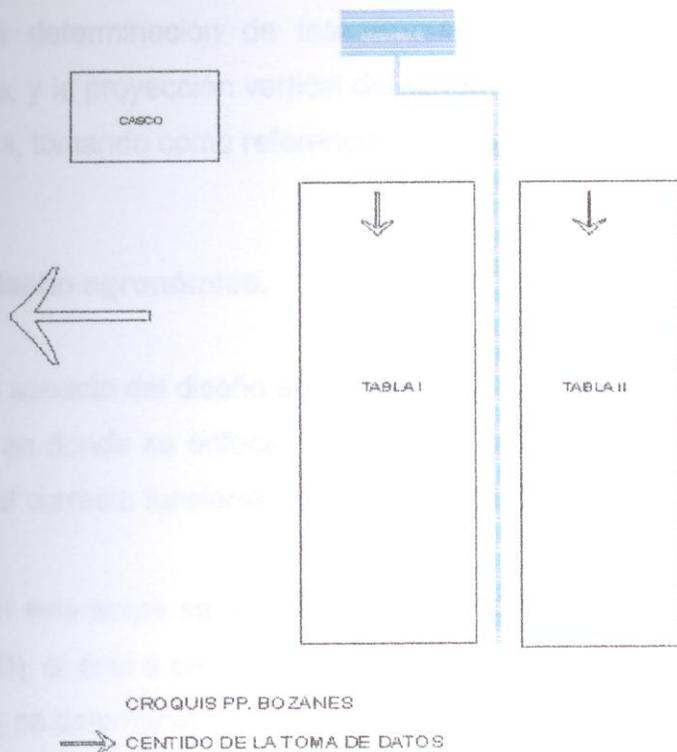


Figura 6.1. Croquis del predio.

6.2. Datos preliminares.

Previamente también es necesario realizar algunas mediciones, como el gasto de extracción del sistema de bombeo, el tirante hidráulico útil o de operación del estanque, así como proyección vertical de las válvulas alfalferas en referencia a la descarga del estanque. Otros datos preliminares importantes son las dimensiones del estanque y su capacidad de almacenamiento.

Para conocer el gasto de extracción de la bomba, es necesario realizar un aforo para lo cual se recomienda el método directo, puesto que es posible determinar con un alto grado de precisión y de manera directa el gasto, y no se requiere de dispositivos especiales. Éste se realiza colocando un recipiente de volumen conocido en la descarga de la bomba, y se mide el tiempo de llenado. Es aconsejable realizar al menos 10 repeticiones y determinar la media aritmética de las lecturas a fin de minimizar el error.

La determinación de las alturas del espejo de agua y descarga del estanque, y la proyección vertical del terreno se llevan a cabo utilizando un nivel y estadales, tomando como referencia la parte superior del orificio de descarga.

6.3. Diseño agronómico.

El aspecto del diseño agronómico del riego es de suma importancia pues es la parte en donde se enfocan las demás etapas, y de la cual depende en buena medida el correcto funcionamiento del sistema.

En esta etapa se empleó el Modelo de Simulación de Riego por Superficie (SIRMOD), el cual a partir del procesamiento de los datos obtenidos de un avance de riego, se determinaron las características hidráulicas del suelo y los parámetros más adecuados para el riego superficial, principalmente en relación al gasto unitario.

6.4. Características del estanque.

Inicialmente el estanque contaba con una capacidad de 6650 m³ dada por un tirante hidráulico de 1.7 metros, la cual fue necesario modificar por el aumento de los requerimientos de carga hidráulica del sistema, ya que se necesitó adaptar la elevación del estanque para satisfacer la carga hidráulica demandada por el sistema debido a las características topográficas del predio.

De esta manera, se tiene:

$$\text{Área del estanque (A)} = 3843 \text{ m}^2$$

$$\text{Altura (H}_e\text{)} = 2.6 \text{ m}$$

$$\text{Capacidad de almacenamiento (V}_e\text{)} = 9992 \text{ m}^3$$

$$\text{Gasto de la bomba (q)} = 30 \text{ lps}$$

6.4.1. Volumen diario de descarga de la bomba.

El cálculo del volumen derivado del sistema de bombeo en el lapso de 24 horas está dado por:

$$V_d = q \cdot T_b \cdot 3.6 \dots\dots\dots (10)$$

Donde:

V_d = Volumen diario derivado de la bomba ($m^3/día$).

T_b = Tiempo de bombeo (hr).

3.6 = Factor de conversión de unidades.

6.4.2. Tiempo de llenado del estanque.

Está dado por:

$$T_t = \frac{V_e}{V_d} \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

T_t = Tiempo de llenado del estanque (días).

Como se puede observar, este resultado indica el período de tiempo en que se debe de alcanzar la carga hidráulica de diseño requerida para una operación adecuada del sistema de riego.

Si se tiene un turno de riego de 8 horas, conocido el gasto de operación (Q_o), es posible determinar el abatimiento de la carga en el estanque en el turno de riego, de la siguiente manera:

$$\Delta h = \left(\frac{Q_o}{A} \right) \cdot T_o \cdot 3600 \dots\dots\dots (12)$$

Donde:

Δh = Disminución en la carga hidráulica del estanque (m).

Q_0 = Gasto de operación ($m^3 \text{ seg}^{-1}$).

T_0 = Turno de riego (hr).

6.4.3. Tiempo de vaciado del estanque.

Cuando no se está aportando un gasto de la noria, el tiempo de vaciado del estanque es posible estimarlo con la ecuación 4, sin embargo, por lo general no se interrumpe la extracción del agua subterránea con el riego, es decir, la aportación del pozo o noria ocurre simultáneamente con la descarga del estanque al sistema de aplicación del riego, por lo tanto si se tiene operando el pozo, éste se calcula mediante la ecuación 5; la estimación obtenida arroja el turno de riego puesto que va a estar dado por el tiempo en que se vacía el estanque.

6.4.4. Estimación del gasto de operación.

El gasto de operación se define en base al caudal disponible del sistema de bombeo y al caudal que se desea manejar en la aplicación del riego. Si se dispone de un gasto de extracción pequeño posiblemente tenga que ser almacenado durante 48 horas con el fin de manejar gastos unitarios más elevados y mantener una alta eficiencia de riego. En caso de tener un turno de riego de 8 horas, se tendrá la posibilidad de manejar un gasto tres veces mayor al de extracción, el cual puede ser adecuado. El gasto de operación se puede calcular como sigue:

$$Q_o = \left(\frac{24}{T_o} \right) \frac{q}{1000} \dots\dots\dots (13)$$

Donde:

Q_o = Gasto que se requiere extraer del estanque ($m^3 \text{ seg}^{-1}$).

En el caso particular y en base al diseño agronómico del riego, con un turno de riego de 8 horas se manejan 90 lps, el cual satisface los requerimientos del sistema de riego para lograr una alta eficiencia. Este es el caudal que se requiere conducir por la línea de tubería, por lo que el siguiente paso es el diseño del diámetro de la tubería de conducción, la cual debe garantizar que el flujo sea el adecuado de acuerdo a las características del predio.

6.5. Diseño de la tubería de conducción.

El cálculo del diámetro de la tubería de conducción a las válvulas fue en base a la metodología propuesta por Delgado (2000), la metodología es la siguiente:

Se determinan las pérdidas de carga para una longitud crítica de diseño, o sea la más larga, proponiendo un diámetro, donde el criterio es que las pérdidas sean menores o iguales a la carga del estanque, de no ser así, es necesario aumentar el diámetro de la tubería hasta que se cumpla esta condición.

Para calcular las pérdidas de carga en tuberías de conducción, se eligió la ecuación de Manning (ecuación 10), para obtener como resultado las pérdidas de carga para un diámetro propuesto. En este caso se propuso un diámetro de 0.2921 m (12") puesto que es el más adecuado para conducir un gasto de 90 lps con la carga hidráulica que se tiene disponible y así hacer más eficiente el riego.

Es necesario mencionar que en determinados casos el diámetro calculado es muy grande y no es factible económicamente su implementación por el alto costo del material. Es en esta parte en donde se define la viabilidad económica y de diseño del proyecto.

La condición es que las pérdidas de carga sean iguales o menores a la carga hidráulica disponible desde el estanque a la parte más crítica de la línea de conducción. En caso de satisfacer esta condición se garantiza que con la carga del estanque y con el diámetro propuesto, se conducirá el gasto de operación sin ningún problema.

6.5.1. Gasto en las válvulas alfalferas.

Cuando se tienen condiciones de rebombeo, el gasto en las válvulas alfalferas es función de la capacidad de la bomba, la cual se diseña para aportar un gasto deseado; sin embargo, en este caso de estudio, dicho gasto depende de la carga hidráulica disponible en cada una de las válvulas en particular; lo anterior estará en función de los siguientes factores:

- Diámetro de la tubería, que es el mismo en toda la tubería de conducción.
- Topografía del terreno (desnivel entre el nivel de agua en el estanque y el nivel de la válvula).
- Pérdidas de carga en la tubería desde el estanque hasta la válvula (en función de la longitud, diámetro y gasto en la tubería).
- La carga hidráulica o nivel del estanque.

Como la pendiente del terreno no es regular, el gasto de las válvulas es variable entre sí por los factores anteriormente mencionados. Debido a esto, al tener las pendientes y anchos de melga estandarizados, las eficiencias no son las mismas a lo largo de la parcela puesto que existe esta variación en los gastos unitarios entre tendidas. Sin embargo, el mayor impacto es en el tiempo de riego, no siendo significativo en términos de eficiencia ya que permanecen dentro de un rango aceptable siempre y cuando el tiempo de riego sea el adecuado.

Debido a lo anterior se hace imprescindible conocer el gasto de descarga en cada una de las válvulas alfalferas, de manera que sea posible la determinación del tiempo de riego en forma más precisa y adecuada a las variaciones antes mencionadas, para conservar una eficiencia de riego global elevada.

Para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$q_v = \sqrt{\frac{He \pm Pv}{\left(\frac{10.29 \cdot n^2 \cdot L}{D^{\frac{16}{3}}}\right) - \frac{1}{2 \cdot g \cdot A_v^2}}} \dots\dots\dots (14)$$

Donde:

q_v = Gasto en la válvula alfalfera ($m^3 \text{seg}^{-1}$).

He = Altura o carga hidráulica del estanque (m).

A_v = Área de descarga de la válvula alfalfera (m^2).

Pv = Proyección vertical (m).

- Si la pendiente es a favor se suma.
- Si la pendiente es en contra se resta.

Sin embargo es necesario considerar el abatimiento en el volumen del estanque el cual afectará el gasto en las siguientes válvulas, para lo cual se tiene que modificar la ecuación (14) para incluir esta variación en la carga hidráulica disponible, resultando:

$$q_v = \sqrt{\frac{Ha - \left(\frac{qa \cdot Tr}{A}\right) \pm Pv}{\left(\frac{10.29 \cdot n^2 \cdot L}{D^{\frac{16}{3}}}\right) - \frac{1}{2 \cdot g \cdot A_v^2}}} \dots\dots\dots (15)$$

Donde:

Ha = Carga anterior del estanque (m).

qa = Gasto de la válvula operada anteriormente ($\text{m}^3 \text{seg}^{-1}$).

Tr = Tiempo de riego (seg).

Este cálculo puede ser realizado de forma más sencilla empleando un programa de cargas hidráulicas desarrollado por Ramírez y Ochoa (2003), en el CENID- RASPA (INIFAP) de Gómez Palacio, Durango (Figura 6.1), el cual procesa los datos de posición de cada una de las válvulas alfalferas y la carga hidráulica del estanque en relación a un nivel de referencia.

6.5.2. Descripción del programa de carga hidráulica.

El programa es un software de cálculo en lenguaje Delphi que sirve para determinar el gasto en cada una de las salidas a lo largo de la tubería. Para el cálculo considera la posición de cada una de las válvulas con respecto al nivel del agua en el estanque, la distancia entre el estanque y la válvula, el diámetro interior de la tubería y el diámetro de la válvula.

Form1

Diam Tub 11.50 Ha 1.70 GastoI 0.81

Ha 1.40 GastoS 777.31

Desnivel 0.41 Dir 776.50

Dist 528

Diam Val 11.25

Error 5

100%

Button1

100%

Button2

Button3

Memo1

D12		64.81							
Der / Izq		NoVal	Cota	Dist	Gasto in	Gasto S	Error %	H req	Gasto
3	9.985	204	115.31	109.83	4.75	2.39	102.22		
4	9.955	240	108.31	103.47	4.46	2.42	100.29		
5	10.055	276	98.81	94.60	4.26	2.46	100.15		
6	10.09	312	92.31	90.34	2.13	2.51	101.99		
7	10.115	348	87.31	83.86	3.94	2.53	100.05		
8	10.25	384	79.81	76.79	3.78	2.55	101.22		
9	10.245	420	76.31	78.49	2.86	2.56	100.71		
10	10.325	456	71.81	68.48	4.63	2.56	93.13		
11	10.31	492	69.31	71.58	3.28	2.56	92.09		
12	10.41	528	64.81	63.80	1.55	1.57	244.72		

D12		64.81							
Der / Izq		NoVal	Cota	Dist	GastoI	GastoS	Error %	HaV	GastoV
1.00	9.84	132.00	143.81	138.04	4.01	1.26	0.00		
2.00	9.94	168.00	126.81	121.21	4.41	1.26	0.00		
3.00	9.98	204.00	115.31	109.83	4.75	1.26	0.00		
4.00	9.96	240.00	108.31	103.47	4.46	1.26	0.00		
5.00	10.06	276.00	98.81	94.60	4.26	1.26	0.00		
6.00	10.09	312.00	92.31	90.34	2.13	1.26	0.00		
7.00	10.12	348.00	87.31	83.86	3.94	1.26	0.00		
8.00	10.25	384.00	79.81	76.79	3.78	1.26	0.00		
9.00	10.24	420.00	76.31	78.49	2.86	1.26	0.00		
10.00	10.32	456.00	71.81	68.48	4.63	1.26	0.00		
11.00	10.31	492.00	69.31	71.58	3.28	1.26	0.00		
12.00	10.41	528.00	64.81	63.80	1.55	1.26	0.00		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		

Inicio versión 2.9.03 - Micro... Estanque ES 08:58 p.m.

Figura 6.2. Ventana del programa de carga hidráulica (Ramírez, C.E. y Ochoa del T., D. 2003).

Su principio se basa en un método de iteraciones entre los gastos de salida del estanque y las válvulas, a partir del gasto a descarga libre del estanque, el cual es mayor debido a que no se consideran las pérdidas de carga. El procedimiento es como sigue:

1. Se determina el gasto de salida del estanque a descarga libre.
2. Con este gasto se estiman las pérdidas de carga hasta la válvula en donde se desea conocer el gasto, y por medio de una suma algebraica de cargas, se determina la carga hidráulica disponible es dicha válvula, considerando para ello el nivel del agua en el estanque, las pérdidas por fricción y el desnivel entre el estanque y la válvula (proyección vertical).
3. A partir de dicha carga disponible se calcula el gasto en la válvula.

4. Como los gastos no son iguales, se disminuye el gasto de salida del estanque y se repiten los cálculos a partir del paso número 2 por medio de iteraciones hasta igualar los gastos de salida del estanque y de la válvula.

Lo anterior es imprescindible realizarlo para determinar las características específicas del tandeo, ya que el éxito depende en gran parte de un correcto nivel de manejo, adaptado a las condiciones muy particulares del predio. El programa determina así mismo la carga mínima requerida en cada una de las válvulas para obtener un gasto deseado, el cual es un dato de entrada.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se menciona anteriormente, para que el riego superficial tenga éxito, todos los factores que se involucran deben de actuar adecuadamente y de manera conjunta, por lo que el primer paso que mencionaremos es en relación al diseño agronómico del riego.

7.1 Diseño agronómico.

Este se realizó con la ayuda del software SIRMOD II, para lo cual se hicieron dos avances de riego: el primero para conocer las condiciones hidrodinámicas del suelo a regar y de esta manera considerarlos para la elaboración de un adecuado diseño del riego; y un segundo avance con el objetivo de validar la metodología y determinar las eficiencias del riego. Los datos que se utilizaron tanto para el diagnóstico como para la validación del diseño se encuentran enlistados en el Apéndice.

Los parámetros de diagnóstico y de diseño se contrastan en el cuadro VII.1.

Cuadro VII.1 Parámetros de diagnóstico y diseño de riego superficial.

PARÁMETRO	DIAGNÓSTICO	DISEÑO
Gasto parcelario (lps)	70	90
Gasto unitario (lps m ⁻¹)	4.1	5
Ancho de melga	17	18
Pendiente (cm por cada 100 m)	3.8	2

7.2. Diseño hidráulico.

Involucra el diseño de la carga hidráulica en el estanque y el de proporcionar un diámetro de tubería que cumpla con requisitos de funcionalidad y que sea lo más económico posible su implementación.

7.2.1. Tubería de conducción.

En base a la metodología propuesta por Delgado (2000) descrita en el tema 6.5 de la metodología, se encontró que para conducir un gasto de 90 lps con una carga hidráulica del estanque de 2.6 m, es con una tubería de 12 pulgadas de diámetro. Cabe mencionar que para conducir el gasto mencionado anteriormente con esta dimensión de tubería sin problema, se necesita que el sistema disponga de las condiciones requeridas en relación a la carga hidráulica.

7.3. Manejo/Gasto en las válvulas alfalferas.

El gasto es dinámico, pues está directamente relacionado con el nivel del agua en el estanque, la posición de la válvula en relación al nivel del estanque (figura 7.1.) y varía a lo largo del día conforme se vacía el estanque. El gasto en las válvulas alfalferas y en consecuencia, la calidad del riego superficial, tiene una relación directa con el manejo que se dé al estanque, pues como se mencionó en los capítulos anteriores, el nivel del agua en el estanque es el que proporciona la energía necesaria para el flujo del agua, y de ésta energía depende el caudal de salida en las válvulas, afectando con ello el gasto unitario, volumen de salida y la programación de los riegos. Actualmente, el sistema no se está operando de la forma en que se había diseñado inicialmente (regar con el estanque lleno con un nivel de 2.6 metros), ya que se está operando con una carga de 1.7 metros. Dadas estas condiciones, es necesario considerar una programación de los riegos acorde a los gastos disponibles. Para esto se empleó el software de carga hidráulica creado por Ramírez y Ochoa (2003).

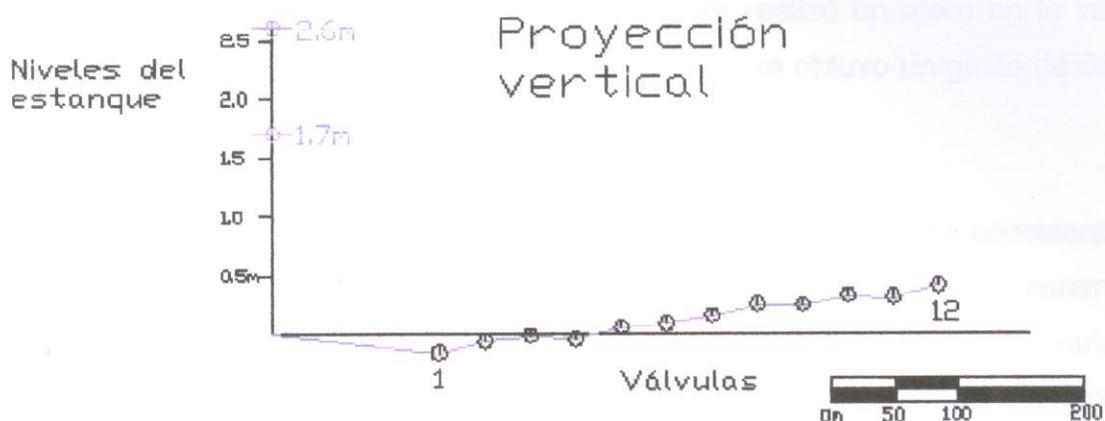


Figura 7.1. Proyección vertical de las válvulas alfalferas.

En el cuadro VII.2 se muestra una comparación de gastos determinados con dicho software, entre las dos condiciones iniciales de carga hidráulica.

Cuadro VII.2. Comparación de gastos con dos cargas iniciales constantes.

Nº Válv.	Cota (m)	Dist. (m)	Q 1 (lps)	Q 2 (lps)
1	9.84	132	138.04	169.04
2	9.94	168	121.21	151.20
3	9.985	204	109.83	138.21
4	9.955	240	103.47	130.16
5	10.055	276	94.60	121.26
6	10.09	312	90.34	111.03
7	10.115	348	83.86	108.72
8	10.25	384	76.79	99.43
9	10.245	420	78.49	95.50
10	10.325	456	71.58	93.51
11	10.31	492	68.48	92.01
12	10.41	528	63.12	82.99
		H inicial	1.7 m	2.6 m
		Q Prom.	97.71 lps	116.09 lps

Para efectos de validación de los resultados en relación a los gastos obtenidos con el software de carga hidráulica, se realizó un aforo en la válvula más crítica con una carga de 1.7 metros, en donde se obtuvo un gasto de 64 lps, lo que indica un error de 1.3 por ciento.

Es importante tomar en cuenta que en el cuadro anterior se consideran los gastos a carga constante, y como se puede observar, dichos gastos tienen una variación muy significativa entre válvulas; una manera de disminuir esta variación es comenzando a regar con mayor carga en las válvulas más críticas, es decir, las más alejadas, de esta manera las últimas válvulas y con desnivel en contra, operarán con la mayor carga disponible, y válvulas más cercanas al estanque tendrán un gasto menor por el abatimiento en el nivel del estanque. Esta consideración fue una base para la elaboración de la programación de riegos por tandeo (Apéndice A).

7.4. Eficiencias de riego.

En el aspecto de las eficiencias de riego, en el cuadro VII.3 se muestran los parámetros de eficiencia, y se hace una comparación entre la situación actual y antes de la implementación del diseño, en relación a eficiencias de riego.

Cuadro VII.3. Eficiencias de riego.

Parámetro	Diagnóstico	Diseño
Eficiencia de aplicación	99	99
Eficiencia de requerimiento	46	96
Uniformidad de distribución	71	94
Eficiencia global	32	89

Como se puede observar, en relación al parámetro de eficiencia de aplicación, esta no cambia pues indica que la totalidad del agua aplicada a la melga, permanece dentro de ella, es decir, la melga está cerrada en la parte final y no permite la salida de agua.

El mayor impacto se tuvo en el mojado del perfil del suelo requerido por el cultivo (Z_{REQ}), lo cual indica que anteriormente no se aplicaba la cantidad de agua adecuada para el cultivo, teniendo un impacto adverso en la producción del mismo; en relación a la eficiencia de distribución, también se incrementó significativamente. Por lo tanto la eficiencia global de riego se mejoró de forma notable.

7.5. Costos.

Un aspecto importante a considerar la implementación de un sistema de riego superficial operado sin rebombeo, es en relación a los costos tanto de material como de instalación, y los beneficios que ofrece al eliminar por completo los costos de energía para la operación del sistema de riego.

Los costos de material en sistemas operados con la carga hidráulica normalmente se incrementan debido principalmente a que se manejan diámetros mayores en la tubería de conducción, sin embargo, se ve compensado porque no se necesita la adquisición del sistema de rebombeo y el equipo eléctrico necesario (transformador, arrancador, etc.), y el pago mensual por el consumo de energía eléctrica. En el cuadro VII.4 se muestra una comparación en relación a los costos de implementación entre ambos sistemas, con las condiciones particulares del predio en estudio.

Cuadro VII.4. Costos de implementación.

Parámetro	Con rebombeo	Sin rebombeo
Diámetro	8 pulgadas	12 pulgadas
Costo tubería (pesos/metro)	58	86.5
Costo total de la tubería.	\$ 30,700	\$ 45,700
Costo del sistema de rebombeo	\$25,000	0
Potencia adicional requerida	20 hp	0
Consumo de energía	130 Kw-h/mes	0

Como es posible observar, cuando se dispone de las condiciones apropiadas, un sistema de riego superficial sin rebombeo tiene grandes beneficios principalmente en el aspecto del ahorro de energía, y repercute directamente en los costos de riego por hectárea.

VIII. CONCLUSIONES.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se hacen las siguientes conclusiones:

- Un sistema de riego por superficie (multicompuertas y válvulas alfalferas), es posible ser operado con la carga hidráulica del estanque siempre y cuando se cumpla la siguiente condición:
 - Las pérdidas de carga en la tubería de conducción hasta las válvulas alfalferas deben ser menores o iguales que la carga hidráulica disponible del estanque.
- La implementación de un sistema de riego superficial operado con carga hidráulica del estanque, trae consigo un ahorro significativo en los costos de riego por hectárea, comparado con un sistema operado con rebombeo ya que se elimina el consumo de energía eléctrica.
- El modelo de simulación de riego superficial SIRMOD II es una herramienta útil en el diseño y evaluación del riego por superficie.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Delgado, G. (2000). Metodología de diseño de sistemas de riego de tubería con compuerta. Tesis Ing. Agrónomo en Irrigación. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna.
- Gurovich R, Luis A., (1999), Riego superficial tecnificado. Edt. Alfaomega. 2° Ed. México D.F. 610 pp.
- Jáquez D y Ramírez C. E. (1980). Análisis y Diseño de Sistemas de Riego por Goteo. Tesis Ing. Industrial Mecánico. Instituto Tecnológico Regional de la Laguna.
- Jensen, M.E. (1983). Design and operation of farm irrigation systems. American Society of Agricultural Engineers (ASAE). Monograph No 3. Michigan, USA. 828 pp.
- Hagan, R.M., Haise, Edminster.(1967). Irrigation of agricultural lands. American Society of Agronomy Publications. Agronomy No. 11. Wisconsin, USA. 1180 pp.
- Ramírez, C. E. (2000). Memorias de la Convención Mundial de Irrigación. León, Guanajuato. México.
- Ramírez, C.E. y Ochoa del T., D. (2003). Inédito. CENID – RASPA (INIFAP). Gómez Palacio, Dgo. México.
- Sarabia, F.C. (2002). Uso de un GIS en la determinación espacial de áreas vulnerables a contaminar en el acuífero de Ciudad Juárez, Dgo. con nitratos. Tesis Ing. Agrónomo en Irrigación. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna.

Sotelo A., Gilberto. (1999). Hidráulica General, Volumen 1. Editorial Limusa.
México, D.F. 561 pp.

Walker, W.R. and G.V. Skogerboe. 1987. Surface Irrigation: "Theory and Practice".
Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 386 pp.

Walker, W. R. 1989. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation
systems. FAO Irrigation and Drainage Paper 45, Food and Agriculture
Organization of the United Nations, Rome, Italy. 137p.

web.eead.csic.es/oficinaregante/riego/

- In juego de diagnóstico.

TOPOGRAFIA

Coordenadas	Nivelación
44	Directa
	Indirecta

Apéndice

Cuadro de datos del avance de riego de diagnóstico.

AVANCE				TOPOGRAFÍA	
Estación	Tiempo (min)	T. Avance (min)	T. Acum. (min)	Nivelación Izquierda	Nivelación Derecha
0	11:35	0	0	1.65	1.63
20	11:39	4	4	1.66	1.65
40	11:45	6	10	1.665	1.67
60	11:52	7	17	1.68	1.65
80	11:59	7	24	1.68	1.67
100	12:08	9	33	1.69	1.69
120	12:15	7	40	1.70	1.71

Cuadro de datos del avance de riego de evaluación.

AVANCE				TOPOGRAFÍA	
Estación	Tiempo (min)	T. Avance (min)	T. Acum. (min)	Nivelación Izquierda	Nivelación Derecha
0	12:20	0	0	1.58	1.58
20	12:24	4	4	1.585	1.585
40	12:30	6	10	1.585	1.585
60	12:39	9	19	1.59	1.59
80	12:46	7	26	1.59	1.59
100	12:55	9	35	1.60	1.60
120	13:04	9	44	1.605	1.605

Programación de un riego por tandeo

L. melga (m)	120	L.R. (m)	0.15
A. melga (m)	18	Vol/melga (m ³)	324
Área (m ²)	2160	H▼ melga (m)	0.0843

	N° válv	N° melga	H (m)	Qprom (lps)	Tr (hr)	Tr _a (hr)	H▲ bomba (m)
DÍA 1	12	1	1.70	64	1.41	1.41	0.0395
	12	2	1.66	60	1.50	2.91	0.0422
	11	3	1.61	67	1.34	4.25	0.0378
	11	4	1.57	64	1.41	5.66	0.0395
	11	5	1.52	64	1.41	7.06	0.0395
	11	6	1.48	61	1.48	8.54	0.0415
DÍA 2	10	7	1.70	68	1.32	1.32	0.0372
	10	8	1.65	73	1.23	2.56	0.0346
	10	9	1.60	72	1.25	3.81	0.0351
	10	10	1.55	71	1.27	5.07	0.0356
	9	11	1.51	70	1.29	6.36	0.0361
	9	12	1.46	69	1.30	7.66	0.0367
DÍA 3	9	13	1.70	78	1.15	1.15	0.0324
	9	14	1.65	77	1.17	2.32	0.0328
	8	15	1.60	78	1.15	3.48	0.0324
	8	16	1.54	72	1.25	4.73	0.0351
	8	17	1.50	73	1.23	5.96	0.0346
	8	18	1.45	71	1.27	7.23	0.0356
DÍA 4	7	19	1.40	77	1.17	8.40	0.0328
	7	20	1.70	89	1.01	1.01	0.0284
	7	21	1.64	83	1.08	2.10	0.0305
	7	22	1.59	86	1.05	3.14	0.0294
	6	23	1.54	84	1.07	4.21	0.0301
	6	24	1.48	84	1.07	5.28	0.0301
	6	25	1.43	82	1.10	6.38	0.0308
	6	26	1.37	79	1.14	7.52	0.0320
DÍA 5	5	27	1.32	85	1.06	8.58	0.0298
	5	28	1.70	99	0.91	0.91	0.0255
	5	29	1.64	96	0.94	1.85	0.0263
	5	30	1.58	94	0.96	2.80	0.0269
	4	31	1.53	102	0.88	3.69	0.0248
	4	32	1.47	100	0.90	4.59	0.0253
	4	33	1.41	97	0.93	5.51	0.0261
	4	34	1.35	95	0.95	6.46	0.0266
	3	35	1.29	100	0.90	7.36	0.0253
3	36	1.23	97	0.93	8.29	0.0261	

DÍA 6

3	37	1.70	113	0.80	0.80	0.0224
3	38	1.64	112	0.80	1.60	0.0226
2	39	1.58	120	0.75	2.35	0.0211
2	40	1.51	116	0.78	3.13	0.0218
2	41	1.45	114	0.79	3.92	0.0222
2	42	1.39	113	0.80	4.71	0.0224
1	43	1.33	124	0.73	5.44	0.0204
1	44	1.26	122	0.74	6.18	0.0207
1	45	1.20	120	0.75	6.93	0.0211
1	46	1.14	117	0.77	7.69	0.0216

Esta programación del riego se basa en un turno de riego de 8 horas, el cual se fijó para manejar un caudal 3 veces mayor al que se dispone del sistema de bombeo, sin embargo, se puede observar que los gastos que se manejan en esta tabla difieren del caudal de diseño. Esto es debido a que actualmente no se maneja el estanque como se proyectó inicialmente, es decir, llenar el estanque hasta su capacidad total, para de esta manera disponer de una carga de 2.6 metros en el estanque, por lo que al sólo disponer de 1.7 metros como nivel máximo, se tienen los gastos anteriores.

El impacto de esta disminución del gasto unitario en términos de eficiencia del riego, no es significativa siempre y cuando se de el tiempo de riego adecuado.

Las ventajas que se podrían tener al llenar el estanque son: el manejo de un gasto parcelario mayor al que se maneja actualmente, con su correspondiente aumento en los gastos unitarios, un mayor avance de riego (superficie regada diaria), y aumento en la uniformidad del riego.