

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Diseño del Riego por Gravedad en la Pequeña Propiedad El Chaparro Aplicando el Modelo de Simulación SIRMOD.

POR:

MARCELINO BARRIENTOS GALVÁN.

TESIS:

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO

DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS.**

TESIS DEL C. **MARCELINO BARRIENTOS GALVÁN** QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DE LOS ASESORES COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADO POR:

ASESOR PRINCIPAL



M.C. CARLOS EFRÉN RAMÍREZ CONTRERAS

ASESOR



M.C. EDGAR RAMÍREZ HORTA

ASESOR



Ph. D. VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA

CO-ASESOR




M.C. JOSÉ GUADALUPE GONZÁLEZ QUIRINO



COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

M.C. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO


Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS.

TESIS DEL C. **MARCELINO BARRIENTOS GALVÁN** QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADO POR:

PRESIDENTE.



M.C. CARLOS EFREN RAMÍREZ CONTRERAS

VOCAL.



M.C. EDGAR RAMÍREZ HORTA

VOCAL.



Ph. D. VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA

VOCAL.

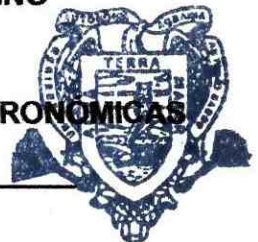


M.C. JOSÉ GUADALUPE GONZÁLEZ QUIRINO



COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

M.C. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

AGRADECIMIENTO.

Agradezco al M.C. Carlos Efrén Ramírez Contreras por su colaboración y asesoramiento y revisión de tesis.

Al Ph.D. Vicente de Paul Álvarez Reyna por su gran apoyo y su comprensión.

Agradezco al M.C. Edgar Ramírez Horta por su colaboración, asesoramiento y revisión del presente trabajo.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna por haberme permitido realizar mi sueño, de ser alguien en la vida y darme una carrera para realizarme y mantenerme.

Agradezco a los ingenieros de la Cámara Agrícola y Ganadera de Torreón por su gran paciencia y apoyo incondicional en este trabajo.

A todos mis compañeros de la generación Isaías, Omar, Moy, Luis, Iván, Aron, Edgar, Noé, Pancho, Samuel que a pesar de todo siempre serán inolvidables cuates.

DEDICATORIAS.

A Dios.

Por darme la vida y las fuerzas de seguir adelante a pesar de todos los obstáculos que pusiste en mi camino y que gracias a ti pude superarlos y llegar hasta el final. Gracias por darme una familia esplendida que me llena de paz y muchísimo amor.

A mi padre.

Marcelino Barrientos Díaz (+) que aunque no estés con migo siempre te llevare en mi corazón y se que de donde estés me estarás guiando por el buen camino.

A mi madre.

Francisca Galván González a ella en especial dedico este trabajo, por que eres el ser mas valioso de todo el universo, eres la persona que me brindas cariño, amor, paz y tranquilidad, que siempre estas pendiente de todo de que no nos falte nada, que me ha apoyado en todo momento, que te esfuerzas para que no nos falte nada, que admiro tu fuerza de sacar adelante a tus hijos. Te quiero con todas las fuerzas de mi corazón. Gracias MAMÁ.

A mis Hermanos.

Ernesto, Karina, Pepe, El Quillo y Jetón que gracias de su gran valioso apoya y amor que me brindan, también son parte fundamental en haberme permitido llegar a la cima. Gracias Brothers.

A mis sobrinos.

Lucero, Edna, Adolfo, Jéssica, Andrea, Marlene, Kenia, Valeria y Paola (bimbi) que son una bendición de Dios y que le dan la luz a toda la familia los quiero.

ÍNDICE

ÍNDICE	i
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	v
RESUMENvi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Hipótesis	3
1.3. Metas	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Topografía	4
2.2. Como mejorar la calidad del riego por superficie	5
2.2.1. Nivelación guiada por rayo laser	5
2.2.2. Ajuste del caudal de riego	6
2.2.3. Disminución del caudal	7
2.3. Selección del método de riego	7
2.3.1. Compatibilidad	7
2.3.2. Consideraciones económicas	8
2.3.3. Limitaciones topográficas	8
2.3.4. Características del suelo	9
2.3.5. Fuente de agua	9
2.3.6. Factores relacionados con el cultivo	10
2.4. Historia del riego superficial	11
2.5. Características del riego superficial	11

2.6. Conceptos básicos del riego por superficie.....	12
2.6.1. Infiltración y tiempo de oportunidad.....	12
2.6.2. Uniformidad del riego.....	13
2.7. Calidad del riego por superficie y de otros sistemas de riego.....	14
2.8. Ventajas y desventajas del riego superficial.....	15
2.9. Software de simulación SIRMOD.....	16
2.10. Uso eficiente del agua	19
3. MATERIALES Y METODOS.....	21
3.1. Características del área de estudio.....	21
3.1.1. Localización geográfica.....	21
3.1.2. Infraestructura.....	21
3.1.3. Tipo de suelo	21
3.1.4. Disponibilidad de agua.....	21
3.1.4.1. Cantidad.....	21
3.1.4.2. Sistemas de riego	22
3.1.5. Personal.....	22
3.2. Metodología.....	23
3.2.1. Diagnóstico del predio	23
3.2.1.1. Plano topográfico	23
3.2.1.2. Pérdidas de agua por conducción	24
3.2.1.3. Prueba de avance	25
3.2.2. Manejo de SIRMOD II.....	27
3.2.3. Alternativas de solución.....	33
3.2.4. Diseño del sistema de riego superficial.....	33
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	34
4.1. Diagnóstico.....	34
4.1.1. Pérdidas de agua por conducción.....	34

4.1.2. Eficiencia de riego en la parcela	34
4.2. Alternativas de solución	37
4.2.1. Conducción	37
4.2.2. Aplicación del riego	37
5. CONCLUSIONES	39
6. LITERATURA CITADA	40

INDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Superficie bajo riego y patrón de cultivos.....	22
Cuadro 2. Datos del ajuste en la prueba de avance.....	26
Cuadro 3. Parámetros de la función de infiltración del predio El Chaparro..	26
Cuadro 4. Variables de comportamiento de riego	36
Cuadro 5. Características de las melgas en la Pequeña Propiedad	37
Cuadro 6. Variables de comportamiento del riego.....	38
Cuadro 7. Comparación de la prueba de avance	38

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Ventana de idioma de trabajo del modelo SIRMOD	27
Figura 2. Ventana característica de trabajo para melga o surco.....	28
Figura 3. Ventana de parámetros hidráulicos de melga o surco.....	29
Figura 4. Ventana de parámetros numéricos.....	30
Figura 5. Ventana de comportamiento del riego.....	31
Figura 6. Ventana de perfiles de avance y recesión.....	32
Figura 7. Condiciones de operación de canales.....	34
Figura 8. Croquis del rancho P. P. El Chaparro.....	35

RESUMEN.

El uso eficiente del agua en la agricultura, siempre ha sido una necesidad, ya que este recurso es cada vez es menos disponible. Es por eso que actualmente la agricultura se ha esta tecnificando en lo que a irrigación se refiere.

Entre los sectores que utilizan el recurso agua, el agrícola es el que consume mayor cantidad y el que con menor eficiencia la utiliza. De todas las pérdidas de agua que ocurren desde las fuentes de abastecimiento hasta las parcelas, la filtración en los canales y pérdidas en tuberías en mal estado y la aplicación en las parcelas son las más importantes.

El diagnóstico consistió en evaluar la eficiencia en la evaluación de un predio, se realizó una prueba de avance que posteriormente fue ajustada en SIRMOD II para posteriormente diseñar el sistema de riego por gravedad.

Una vez que el diseño fue implementado en campo la eficiencia global lo cual se incrementó hasta un 96 por ciento respectivamente.

1. INTRODUCCIÓN.

Aproximadamente el 80 % de los recursos hidráulicos de México y del mundo se utilizan para riego agrícola (Manual de Riego, 1990; Águila, 1997). La actividad agrícola es la que requiere más agua y la que más ineficientemente la utiliza. En un estudio realizado por el Banco Mundial en 1988 se estimó que a nivel mundial la eficiencia promedio en el uso del agua en la agricultura es de 30 % (Águila, 1997).

En La Comarca Lagunera los sistemas de riego por gravedad operan con eficiencia de aplicación a nivel parcelario menor al 50%, con disminución de la superficie potencial regable, ocasionando la sobreexplotación de los acuíferos (Aldama, 1998).

En la región existen productores que mantienen sus acequias en mal estado por lo que las pérdidas de agua son mayores y el uso de este recurso es aun más ineficiente el aprovechamiento de los cultivos.

En La Laguna el clima es seco, por lo tanto las probabilidades de aprovechamiento de la lluvia son bajas. A pesar de esto los agricultores no han modernizado o reparado sus acequias o canales que usan para la conducción del agua de riego.

Sin embargo en la agricultura se ha modernizado la irrigación. Actualmente existe una diversidad de diseños de sistemas de riego superficial, a los que se han integrado los sistemas de riego por tubería de compuertas, sin embargo no han sido diseñados acorde a las características del suelo, disponibilidad de agua, clima y cultivo.

En este trabajo se pretende analizar, desarrollar y aplicar una alternativa de solución mediante un esquema de escenarios utilizando un modelo de simulación de riego por gravedad, generando diferentes alternativas para incrementar la eficiencia global en el uso y manejo del agua, además de aumentar la productividad de un predio en función de esta eficiencia.

1.1. OBJETIVO

Incrementar la eficiencia en el uso y manejo del agua y cultivos a través de un sistema de riego superficial.

1.2. HIPOTESIS.

El sistema de riego superficial con válvulas alfalferas permite incrementar la productividad del agua y cultivos con el apoyo del modelo de simulación (SIRMOD).

1.3. METAS.

Obtener el diseño de riego más apropiado para dicho predio para incrementar la eficiencia en el uso y manejo del agua.

2. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1 Topografía.

El plano topográfico es parte fundamental de la investigación, en el se trabaja simulando diferentes opciones de diseño del predio, y posteriormente para el diseño de la tubería de conducción. La herramienta que se utiliza es el programa AutoCAD, que sirve como base para el dibujo e impresión del plano topográfico del predio (Ramírez, 2002).

El AutoCAD de Autodesk es una herramienta dentro del campo denominado CAD (Computer Aided Design) o Diseño Asistido por Ordenador (Sabater, 2000). Para ser mas exacto AutoCAD es un programa de diseño en CAD analítico (frente a otros sistemas de CAD paramétricos). La versatilidad del sistema lo ha convertido en un estándar general, sobre todo porque permite lo siguiente:

- ◆ Dibujar de manera ágil, rápida y sencilla, con acabado perfecto y sin las desventajas que se tiene el hacerlo a mano.
- ◆ Permite intercambiar información no solo por papel, sino mediante archivos, lo que se presenta una mejor rapidez y efectividad a la hora de interpretar diseños de proyectos hidroagricolas. Como herramienta para la gestión de proyectos permite compartir información de manera eficaz e inmediata. Esto es muy útil sobretodo en ensamblajes, contrastes de medidas, etc.

2.2. Mejoramiento de la calidad del riego por superficie.

2.2.1. Nivelación guiada con rayo láser

Las sucesivas labores de preparación del suelo dentro de una parcela de riego por superficie provocan después de los años una pérdida de nivelación del terreno caracterizada por la aparición de irregularidades o alteraciones en su "microtopografía". Es decir, aparecen relieves alomados con zonas de la parcela que quedan más elevadas que las colindantes o al revés; zonas más hondas. Este efecto que a veces es inapreciable a simple vista adquiere gran importancia en el proceso del riego ya que impide que el agua fluya con una velocidad adecuada y provoca diferencia en la lámina de agua infiltrada en cada punto de la parcela (Playán et al., 1996).

Las consecuencias más perjudiciales de esto es aumento del tiempo de riego y variación de rendimientos dentro de la misma parcela. La nivelación de parcelas con láser es una práctica casi obligatoria en el riego por superficie ya que aporta importantes mejoras tanto en eficiencia y uniformidad del riego y en el desarrollo del cultivo. Esta práctica de refino de parcelas con rayo láser está muy extendida en los regadíos aragoneses y se ha constatado una sustancial mejora en la calidad del riego. Las mejoras que se han observado son las siguientes (Playán et al., 1996):

- El agua cubre la superficie de la parcela entre un 10 y un 20% más rápido.
- Desaparecen las zonas "bajas" en las que el exceso de agua perjudica al cultivo.

- Desaparecen las zonas "altas" en las que el cultivo no dispone del agua necesaria y la producción baja.
- La eficiencia del riego aumenta hasta niveles que pueden competir con el riego a presión.

Aunque parezca práctica cara, esto sólo es cierto la primera vez. Si la parcela nivelada se trata bien evitando labores que muevan la tierra lateralmente se pueden hacer nivelaciones de mantenimiento cada dos o tres años con un costo similar al de pasar un cultivador (Playán *et al.*, 1996).

2.2.2. Ajuste de caudal de riego

En el riego por superficie es importante utilizar un caudal de riego adecuado a las características del suelo y dimensiones de la parcela. Por lo general se utilizan caudales bajos resultando en un avance del agua lento, con gran diferencia en el tiempo de oportunidad en cada punto de la parcela. Bajo estas condiciones es lógico pensar que un aumento del caudal siempre resultará en una mejor uniformidad del riego. Esto es cierto pero hasta cierto punto en el que si los caudales son muy altos la lámina infiltrada puede ser más alta que la capacidad de retención de agua del suelo produciendo gran volumen de pérdida de agua. En estos casos, la eficiencia podría disminuir al aumentar mucho el caudal (Playán *et al.*, 1996).

En el riego por escurrimiento en parcelas cerradas, el aumento del caudal aumenta la uniformidad del riego, pero el riesgo de un riego completo o en exceso aumenta con el caudal. Cuando se usan caudales altos la calidad del riego se vuelve muy sensible al tiempo de corte. Esta es la razón por la que

caudales extremadamente altos no son prácticos en este sistema de riego (Playán *et al.*, 1996).

2.2.3. Disminución del caudal

En riego por superficie con pendiente, el aumento del caudal de riego puede reducir las pérdidas por percolación profunda y aumenta la escorrentía. Para evitar las elevadas pérdidas por escorrentía que se producirían en estas circunstancias, se usa la disminución de caudal.

Actualmente existen herramientas informáticas de simulación del riego por superficie como el SIRMOD que permiten establecer rangos de caudal y tiempo de riego para lograr una eficiencia y uniformidad óptima para las condiciones de cada parcela (Playán *et al.*, 1996).

2.3. Selección del método de riego.

Existe gran cantidad de consideraciones que deben tomarse en cuenta en la selección de un sistema de riego. Estos factores varían en importancia de lugar a lugar y de cultivo a cultivo. Estas consideraciones incluyen la compatibilidad del sistema con otras operaciones agrícolas, factores económicos, limitaciones topográficas, propiedades del suelo y varios factores agronómicos y externos (Walker, 2003).

2.3.1. Compatibilidad.

El sistema de riego para un campo o una finca debe ser compatible con las demás operaciones existentes en la finca, tales como preparación de la tierra, prácticas de cultivo y cosecha. Por ejemplo, el uso de maquinaria grande

mas eficiente requiere de terrenos largos y anchos, y quizá aún de sistemas de riego removibles (Walker, 2003).

2.3.2. Consideraciones económicas.

El tipo de sistema de riego seleccionado es también una decisión económica. Algunos tipos de sistemas riego por aspersión tienen costos altos y su uso se limita a cultivos de alta rentabilidad. Otros sistemas tienen requerimientos de mano de obra alto y algunos tienen costo de operación alto. Algunos sistemas tienen limitaciones con respecto al tipo de suelo o topografía en la cual pueden ser usados. La vida útil esperada del sistema, los costos fijos y los costos de operación anual (energía, depreciación del agua, preparación de la tierra, mantenimiento, mano de obra, impuestos, etc.) deben ser incluidos también en el análisis cuando se esté seleccionando un sistema de riego.

Cuando se considera la economía de un sistema de riego se debe tener en cuenta que el sistema que produce la utilidad más alta, compromete los cuatro recursos: mano de obra, agua, tierra y capital. Dentro de algunos límites, cada recurso puede ser cambiado por otro, con solo un cambio marginal en la ganancia total del sistema. Por lo tanto, el agua se puede ahorrar en un sistema de riego superficial, si se usa mano de obra calificada para aplicar el agua (Walker, 2003).

2.3.3. Limitaciones topográficas.

Las restricciones en la selección del sistema de riego debido a la topografía, incluye los niveles de agua subterránea, ubicación y elevación relativa de la fuente de agua, límites del terreno, el tamaño de cada campo, la

localización de carreteras y líneas de gas natural, de electricidad, agua y otras obstrucciones, como la pendiente (las cuales pueden variar dramáticamente dentro de un mismo campo). También deben considerarse las condiciones de la superficie del campo como rugosidad relativa y drenaje.

2.3.4. Características del suelo.

El tipo de suelo, capacidad de retención de humedad del suelo, infiltración y profundidad efectiva del suelo también son criterios a considerar en la selección del sistema de riego. Por ejemplo, los suelos arenosos tienen una infiltración alta y aceptarán aspersores de volumen alto, los cuales serían inaceptables en un suelo arcilloso compactado. La capacidad de retención de humedad influenciará el tamaño de los aparatos de riego y frecuencia de irrigación, como es evidente en un suelo arenoso con capacidad de retención de humedad baja, requiere de aplicación de agua pequeña y frecuente. Un aspersor de pivote central o de desplazamiento lateral o aún un sistema de riego por goteo se comportaría satisfactoriamente en este caso.

Otras propiedades del suelo son factores significativos cuando se considera el tipo del sistema de riego más ventajoso en una situación particular (Walker, 2003).

2.3.5. Fuente de agua.

Las características de calidad, cantidad y distribución temporal del agua para riego tienen importancia significativa en la práctica del riego. La demanda de agua para los cultivos es esencialmente continua durante la etapa de crecimiento, aunque varían en magnitud. Un suministro de agua permanente y

pequeño, es utilizado mejor en un sistema de riego de capacidad pequeña, el cual tenga aplicaciones frecuentes. La cantidad de agua aplicada en cada evento de riego por lo tanto es pequeña en comparación con sistemas que tienen disponible una descarga grande menos frecuente. La calidad de agua junto con la frecuencia de riego debe ser evaluada. La salinidad es generalmente el problema más significativo, aunque otros elementos tales como el boro, pueden ser importantes. En este caso, un suministro de agua altamente salina puede ser aplicado más frecuente y en cantidad más grande, que agua de buena calidad (Arriaga, Sánchez, Espinoza, y Velásquez. 2001).

2.3.6. Factores relacionados con el cultivo.

Algunos factores relacionados con los cultivos en crecimiento, que influyen la selección de un sistema de riego y su eventual administración (Corey y Hart 1974) son:

1. Tolerancia del cultivo a salinidad del suelo durante el desarrollo y maduración, la aireación y otras sustancias como el boro.
2. Magnitud y distribución temporal de la necesidad de agua para obtener la máxima producción.
3. Valor económico del cultivo.

La inversión permitida en el sistema y los cultivos que pueden ser irrigados por un sistema específico, son afectados por estos factores.

2.4 Historia del riego superficial.

La tecnología del riego por superficie ha sido la única disponible en todas las que se han puesto en riego realizadas desde la antigüedad hasta mediados del siglo XX momento en el cual se desarrollaron los primeros sistemas de riego a presión. Es a partir de la revolución industrial cuando aparecen las grandes maquinarias de ingeniería civil que permiten expandir el regadío hasta zonas, en principio, poco adaptadas al riego por superficie; con topografía muy irregular y suelos generalmente pobres. Así, en el siglo XX se produjo un importante aumento de las áreas de riego utilizando sistemas de riego por superficie en todo el mundo. Actualmente con una tecnología en riego muy desarrollada y con una demanda creciente de agua, las nuevas transformaciones en riego se plantean con sistemas a presión (Booder, 1974).

2.5. Características del riego superficial.

El riego por superficie incluye una amplia gama de sistemas de riego que tienen la característica común de que el agua fluye por la superficie del terreno por gravedad hasta cubrir toda la superficie de la parcela. La característica principal del riego de superficie es que el propio suelo es el sistema de distribución del agua. Es decir, no es necesario disponer de complejas estructuras de distribución de agua (como las tuberías de los sistemas de aspersión o goteo) cubriendo la parcela a regar. Por otro lado, tampoco es necesario presurizar el agua para obtener una correcta y uniforme distribución. Esto es una ventaja económica frente a los sistemas a presión ya que el agricultor no amortiza costoso de equipo ni necesita bombear el agua

por encima del nivel de la parcela, con el consiguiente ahorro energético. Sin embargo, cuando los sistemas de riego por superficie son mal diseñados o se manejan de forma inadecuada estas ventajas se ven anuladas por otros costos que pueden estar ligados al sistema, como elevada necesidad de mano de obra, disminución en la producción o baja eficiencia en uso del agua (Catalán, 1993).

Un riego por superficie bien diseñado y manejado debe tener un equilibrio entre los procesos de avance del frente de agua e infiltración de agua en el suelo para que la lámina infiltrada en cada punto de la melga o surco sea similar. Un riego eficiente necesita que todas las plantas de la parcela reciban la misma cantidad de agua y además esta cantidad debe coincidir con sus necesidades a lo largo del ciclo del cultivo. Para que el riego sea eficiente es necesario que la pérdida de agua por percolación y/o escorrentía sea mínima (Rendón et al. 1990).

2.6. Conceptos básicos del riego por superficie.

2.6.1. Infiltración y tiempo de oportunidad

La cantidad de agua infiltrada en cada punto de la parcela se puede medir (determinando el contenido de agua en el suelo antes y después del riego y haciendo la diferencia) o bien estimar, utilizando fórmulas que relacionan el tiempo de contacto con la infiltración como las ecuaciones de Kostiakov y Kostiakov-Lewis.

2.6.2. Uniformidad del riego

La uniformidad del riego se expresa mediante índices porcentuales que, en caso de tener el valor de 100, implicaría que todos los puntos del campo reciben exactamente la misma dosis de riego. Un valor de 100% no es posible en la práctica para ninguno de estos índices.

La eficiencia de riego se puede referir a cada nivel de integración de un sistema de riego, aunque de mayor importancia es la eficiencia de aplicación (E_a), que corresponde a un surco o melga. La eficiencia es en realidad un rendimiento, por lo que expresa una relación beneficio - costo. En este caso, se trata del porcentaje de beneficio obtenido del agua usada para el riego.

Una buena utilización del agua de riego implica que las plantas que menos agua reciben en una parcela dispongan del agua suficiente para sus procesos evapotranspirativos, y además, no haya mucha diferencia entre la cantidad de agua que reciben todas las plantas. Esto implica elevada uniformidad y eficiencia (Clemmens, and Walker. 1998).

Un riego 100% uniforme sería un riego en el que todos los puntos del campo reciben la misma cantidad de agua.

La determinación de la uniformidad de riego por superficie necesita la definición y cálculo de una serie de términos intermedios que cuantifican la lámina de riego recibida en distintos puntos de la parcela. La determinación del valor numérico de estos términos se puede hacer mediante el diagrama de avance-receso combinado con una curva de infiltración, lo que produce una curva de lámina infiltrada a lo largo del surco o tabla. La segunda opción es

medir el agua en el suelo antes y después del riego en una serie de puntos, para calcular en cada uno de ellos la lámina infiltrada (FAO 1998).

La uniformidad es una cualidad deseable en un sistema de riego. Un riego que no es uniforme no puede ser eficiente en el uso de agua. La uniformidad de distribución es el término de uniformidad preferido en el riego por superficie.

Si para obtener una elevada eficiencia es necesario que el riego sea uniforme, una elevada uniformidad no garantiza una elevada eficiencia (Hernández, 1995).

2.7. Calidad del riego por superficie y de otros sistemas de riego

Es una opinión generalizada que los sistemas de riego por superficie tienen una calidad o eficiencia muy baja. Incluso se les acusa frecuentemente de "despilfarrar" agua, algo que ya se ha discutido.

La conclusión sobre la uniformidad y eficiencia de los distintos sistemas de riego es en general muy similar.

Se puede concluir que cuando el riego por superficie está adaptado a las condiciones, su calidad es cuando menos similar a la de los demás sistemas de riego (Ramírez, 2002).

La comparación entre la eficiencia media e ideal revela que existe importante diferencia en algunos sistemas de riego, entre ellos el riego por superficie. Esto quiere decir que cuando un sistema de riego está bien adaptado a condiciones particulares de topografía, suelo, suministro de agua y

cultivo su eficiencia depende básicamente del nivel de manejo. Esto pone una vez más de relevancia la importancia de realizar una buena elección del sistema de riego más adecuado, diseñarlo de forma que tenga el potencial de alcanzar una elevada eficiencia y manejarlo de forma que desarrolle todo su potencial. En ocasiones en las que el riego por superficie no está adaptado al terreno se alcanzan eficiencias muy bajas, incluso por debajo del 50% (Rojas, Ramírez. 1998).

2.8. Ventajas y desventajas del riego superficial.

El término "riego superficial" se refiere a una clasificación amplia de métodos de riego, en el cual el agua es distribuida en un campo por un flujo de agua que se mueve por efecto de la gravedad, a superficie libre. Un flujo es introducido en un punto alto o a lo largo de un bordo alto del terreno donde le sea permitido cubrir el campo con un flujo sobre el terreno. La tasa de cubrimiento depende casi totalmente de la diferencia cuantitativa entre el caudal de entrada y la infiltración acumulada. Factores secundarios incluyen la pendiente del campo, longitud, así como también la rugosidad superficial (Walker, 2003).

Los sistemas de riego superficial pueden ser desarrollados con una inversión de capital mínima, aunque esta inversión puede ser muy grande si el suministro de agua y los terrenos a irrigar están distantes. A nivel de finca en conducción y distribución, los sistemas de riego superficial no necesitan equipo complicado y costoso. La necesidad de mano de obra para el riego superficial tiende a ser mayor que para los presurizados, pero la mano de obra todavía no necesita ser mucha a menos que se busque eficiencia máxima. Sin embargo,

cuando la fuente de agua es escasa los productores han desarrollado prácticas altamente adecuadas con las cuales se logra alta eficiencia. Con la variedad de sistemas de riego en uso hoy en día, es difícil concluir si los costos de operación y mantenimiento son necesariamente más bajos con los métodos superficiales. Generalmente, los costos de energía son sustancialmente más bajos, pero la ineficiencia puede revertir bastante este factor

2.9. Software de simulación SIRMOD.

El modelo de simulación SIRMOD II (Walker et al; 1987), fue creado por la Universidad Estatal de Utah en los Estados Unidos de Norteamérica. El modelo presenta tres opciones de solución a las ecuaciones de Sain-Venaat, siendo: el modelo hidrodinámico total, de cero inercia y de la onda cinemática.

El modelo de simulación SIRMOD II, provee capacidad analítica con respecto a todas las variables que afectan el diseño y el manejo del riego superficial (Walker, 1985). No simplifica ninguna de las variables pero a cambio simula la respuesta del sistema a los valores que se le introducen a cada variable. Se identifica así, un óptimo diseño y manejo del riego superficial.

A través del Modelo SIRMOD II, se identifican rápidamente las modificaciones y/o ajustes que el productor o regador tiene que realizar para mejorar la eficiencia de aplicación del agua (Walker y Skogerboe, 1989). Además comentan que dados los grandes problemas de tipo económico que tiene el mundo actualmente, el riego superficial continuará teniendo mayor atención por los irrigadores y agricultores, para mejorar cada día las prácticas de riego parcelario.

El modelo SIRMOD II es un programa que sirve para simular la hidráulica del riego por superficie a nivel parcelario, seleccionar el tamaño de parcela, los parámetros que maximizan la eficiencia de aplicación y solución del problema. Esto último lo hace considerando que el problema, es inverso, utilizando el método de dos puntos, lo cual permite el cálculo de los parámetros de infiltración partiendo de la información de avance y recesión del agua en la melga o surco (Walker, 1989).

Los resultados obtenidos en evaluaciones de riego utilizando el programa SIRMOD para surcos en el cultivo de la caña de azúcar para diferentes condiciones de suelo y topografía del país, en el periodo comprendido entre 1989 y 1998. Se obtuvieron longitudes de surcos entre 120.00 y 250.00 m, para espaciamiento entre surcos de riego de 1.60 m, longitudes de surcos entre 250.00 y 333.00 m, para espaciamiento entre surcos de riego de 3.20 m, con gastos de entrega de 2.00 l/s, valores de eficiencia de aplicación (E_a) entre 61 y 87 %, de almacenamiento (E_{al}) entre 95.00 y 100.00 %, de uniformidad de distribución entre 69.00 y 81.00 % y valores de productividad del riego entre 4.50 y 8.10 ha / hombre / jornada (Cabrera, 1999).

Una calibración de los modelos de simulación SIRMOD y RIGRAV, realizada, utilizando los modelos de simulación para diseñar el riego y aplicando el paquete tecnológico del inifap-Calera, se aplicó una lámina total de 23 cm / ha de agua, para producir 3.0 ton / ha de frijol, mientras que en una parcela testigo se aplicaron 57 cm / ha, para producir solamente 1.5 ton / ha del grano (Alvarado et al. 2001).

Comparando los resultados obtenidos en campo con los modelos, se desprende que ambos modelos predicen con precisión las diferentes fases del riego. Sin embargo cabe señalar que para el modelo RIGRAV, para una adecuada calibración, es necesario tener datos confiables del avance del agua y un buen criterio para seleccionar los parámetros del diseño K_s y h_f . Por su parte, el modelo SIRMOD se requiere más trabajo de campo, ya que el número de variables que intervienen en tal modelo son muchas, pero por esta razón se pueden analizar por separado, una a una, las variables que intervienen en el diseño del riego.

Es importante mencionar que, el modelo que mejor predice el desarrollo del riego sin ninguna calibración, es el modelo SIRMOD, ya que proporciona una ventana de ayuda donde muestra una familia de curvas de los parámetros a , k y f_0 de la función de infiltración de Kostiakov-Lewis para diferentes tipos de suelo. (Catalán, 1993).

Utilizando resultados de experimentos anteriores y aplicando el modelo de simulación SIRMOD para el diseño de alfalfa a nivel comercial en la región lagunera. El modelo permitió demostrar que se puede producir 101 ton / ha de forraje verde con una lámina de riego de 1.89 m, siempre que se considere la pendiente, la longitud de la melga o surco y los tiempos de riego para cada suelo en especial (García, 2000).

2.10. Uso eficiente del agua.

Acciones como captar agua de lluvia en recipientes para uso doméstico o construir una presa; recargar un acuífero o usar agua de menor calidad; reducir la demanda de agua mediante el mejoramiento de los hábitos personales, reducción de desperdicios y el pago de tarifas adecuadas; aprovechar el desarrollo de la tecnología y las técnicas de administración del agua; coordinar el manejo de los recursos hidráulicos con el de la tierra y los aspectos económicos y sociales; o promover normas y regulaciones, es uso eficiente del agua (Bau, 1991).

Un incremento de la eficiencia de riego global a nivel parcelario y de producción del cultivo de un 28 % (de 64 a 92% y de 32 a 45 ton / ha de maíz, respectivamente), fue debido a que el perfil de humedecimiento ocasionado por el modelo presentó un comportamiento de riego más homogéneo en comparación con el manejo anterior del riego (Ramírez, 2002). El avance de riego a nivel parcelario se incrementó de 0.4 ha / día a 2.3 ha / día, esto equivale a un incremento del 575 %, lo cual indica que el tandeo de riego se reducirá evitando estrés del cultivo en periodos de máxima demanda como son los meses de mayo, junio y julio. El consumo de energía por hectárea disminuyó en un 77 %, debido a que se obtuvo una mejor distribución del agua y mayor avance del riego.

Los resultados obtenidos en evaluaciones de riego utilizando el programa SIRMOD para surcos realizadas en el cultivo de la caña de azúcar para diferentes condiciones de suelo y topografía en Cuba, en el período comprendido entre 1989 y 1998. Se obtuvieron longitudes de surcos entre

120.00 y 250.00 m, para espaciamiento entre surcos de riego de 1.60 m, longitudes de surcos entre 250.00 y 333.00 m, para espaciamiento entre surcos de riego de 3.20 m, con gastos de entrega de 2.00 l / s, valores de eficiencia de aplicación (E_a) entre 61 y 87 %, de almacenamiento (E_{al}) entre 95.00 y 100.00 %, de uniformidad de distribución entre 69.00 y 81.00 % y valores de productividad del riego entre 4.50 y 8.10 ha / hombre / jornada (Erie y Dedrik, 1979).

“El riego gravitacional por manto como método para la conservación del agua en el sudoeste de los EE.UU.”, ofrece una serie de ventajas si el sistema es diseñado en forma correcta, esto es si se logra que la distribución del agua sea lo más homogénea posible en la superficie de riego. Las ventajas que se tienen son que las pérdidas de percolación en el lote son mínimas y también se observaron que la eficiencia del riego es mayor en textura de suelo fina, que en los suelos de textura gruesa debido a que se busca tener la superficie con agua lo más rápido posible entonces la diferencia en el tiempo de oportunidad de infiltración es pequeña para todo el área de riego (Meneses, 1999).

3. MATERIALES Y METODOS.

3.1. Características del área de estudio.

3.1.1. Localización geográfica.

El área de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Francisco I. Madero, Coahuila en la carretera a Lequeitio – La Virgen que colinda con el establo de Las Naves.

3.1.2. Infraestructura.

En infraestructura de operación, la Pequeña Propiedad El Chaparro consta de 380 hectáreas y una superficie bajo riego de 53 ha. Dispone de dos pozos en funcionamiento con un gasto total de 60 lps. Sistema de riego con canales revestidos con capacidad para toda la superficie total, y un estanque con capacidad de 67 500 m³, un establo con 300 vacas de ordeña, 300 vaquillas al parto y crianza.

3.1.3. Tipo de suelo.

El tipo de textura de suelo que predomina en el predio P. P. El Chaparro es Migajón Arenoso el cual tiene una retención de humedad de 12 cm/ m y una densidad aparente de 1.32 g/cm³.

3.1.4. Disponibilidad de agua.

3.1.4.1. Cantidad

Respecto a disponibilidad de agua, aquí sólo se expone lo correspondiente al agua de bombeo, por ser la fuente segura con que cuenta la Pequeña Propiedad para su sostenimiento.

La Pequeña Propiedad El Chaparro cuenta con dos pozos profundos con un gasto total de 60 lps, con el cual explota una superficie de 56 has.

Los cultivos que se explotan con el agua que dispone la Pequeña Propiedad El Chaparro se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Superficie bajo riego y patrón de cultivos.

Cultivo	Superficie (ha)
Alfalfa	40
Nogal	16
Total	56

3.1.4.2. Sistema de Riego

El sistema utilizado es riego superficial a través de canales revestidos, los cuales tienen capacidad para regar toda la superficie.

3.1.5. Personal.

La persona que toma decisiones en el manejo del agua es un mayordomo y dos regadores con edades abajo de los 45 años, de los cuales los mayordomos son los últimos en tomar decisiones en un determinado evento de riego; tales como la cantidad de agua a aplicar, frente de riego, tiempo de riego e intervalo de riego entre otros.

3.2. Metodología.

La metodología que se utilizó en este caso, consistió en cuatro pasos:

1.- Diagnóstico de los predios:

Se realizó un análisis de diagnóstico en la aplicación del uso y manejo del agua, con dicho análisis se obtuvieron propiedades, características y parámetros de las condiciones de operación del riego.

2.- Diseño de riego:

En base a los parámetros físicos del suelo se determinó la pendiente, ancho y largo de melga, caudal parcelario, frente de riego, mediante simulación por computadora, utilizando el modelo de simulación SIRMOD.

3.- Alternativas de solución:

Consistió en seleccionar y aplicar la mejor alternativa, supervisando en el campo todo el trabajo de instalación, operación y modificación que se debe realizar sobre el terreno.

4.- Evaluación:

La última etapa consistió en evaluar la eficiencia global de riego, producto de la implementación de la alternativa; así como comparar la eficiencia de uso y manejo del agua antes y después de ajuste en el diseño de riego.

3.2.1. Diagnóstico del predio.

3.2.1.1. Plano topográfico.

Para conocer la superficie del predio se levantó el plano topográfico, y señalaron las condiciones en que se encuentra (delimitación de tablas, ubicación del pozo de bombeo, infraestructura hidroagícola), en el cual se utilizó una estación total Nikon DTM 831 y tres prismas.

En el procedimiento de los datos levantados en el campo, se utilizó el programa Trans It, con el que se trasladan los datos de la estación total a la PC para después ser procesados en el software Autocad 2000.

3.2.1.2. Pérdidas de agua por conducción.

Determinar la eficiencia con que se conduce el agua de riego es parte de un diagnóstico integral, para ello se afora el caudal derivado de la noria y el caudal aplicado a la melga, entre la distancia que existe entre los puntos de aforo y multiplicados por 100 para obtener las pérdidas por conducción por cada 100 m de longitud de tubería, canal, acequia, etc.

$$P_c = \frac{(Q_d - Q_a)}{D} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde;

P_c = Pérdida de agua por conducción (lps *100 m de longitud)

Q_d = Caudal derivado (lps)

Q_a = Caudal aplicado a la melga (lps)

D = Distancia en los puntos de aforo (m)

3.2.1.3. Prueba de avance.

Para realizar la prueba de avance se operó lo siguiente:

1.- Se seleccionó una melga en la que se procuró que las características del suelo fueran homogéneas y representativas del tipo del suelo.

2.- Una vez realizado el primer paso se determinó la pendiente de la melga midiendo el largo y ancho de la misma, colocando estacas a cada 20 m, para formar estaciones a lo largo de la melga, y obtener las lecturas con un nivel fijo de cada estación, para calcular la pendiente promedio y su variación a lo largo de la melga mediante una regresión lineal.

3.- Para determinar el caudal aplicado se utilizó el método de aforo volumétrico, que consiste en aforar el agua que entra a la melga, con un recipiente de volumen conocido y con un cronómetro se obtiene el tiempo de llenado, haciendo una simple división del volumen (litros) entre el tiempo (seg), para obtener el caudal parcelario en litros por segundos.

4.- El tiempo de avance se determinó con un cronómetro registrando el tiempo en el instante que entra el agua sobre la melga que se va a regar (tiempo de inicio), después se tomo el tiempo que tarda en llegar a cada estación, hasta que llegue a la última estación, y por último se registra el tiempo de corte. El tiempo de avance es hasta que el agua cubre totalmente la melga.

Cuadro 2. Datos del ajuste en la prueba de avance.

Distancia (m).	Datos de campo. Tiempo (min).	Datos del ajuste. Tiempo (min).
0	0	0
20	8	10.33
40	20	24.01
60	32	34.57
80	50	56.20
100	68	71.16
120	88	93.41
136	102	106.07

Una vez comparados los datos de campo con los del ajuste, los valores de a , k , f_0 y la rugosidad correspondiente a un suelo tipo migajón arenoso se muestran en el **Cuadro 3**.

Cuadro 3. Parámetros de la función de infiltración del predio El Chaparro.

Rugosidad	0.28
a	0.5800
k	0.00350
f_0	0.000212

3.2.2. Manejo de SIRMOD II.

Para ejecutar el programa SRMOD II, se procede con los siguientes pasos:

1. Se da doble clic en **SIRMOD II. Exe.**
2. Posteriormente se selecciona el idioma en el cual se va a trabajar (Figura 1).

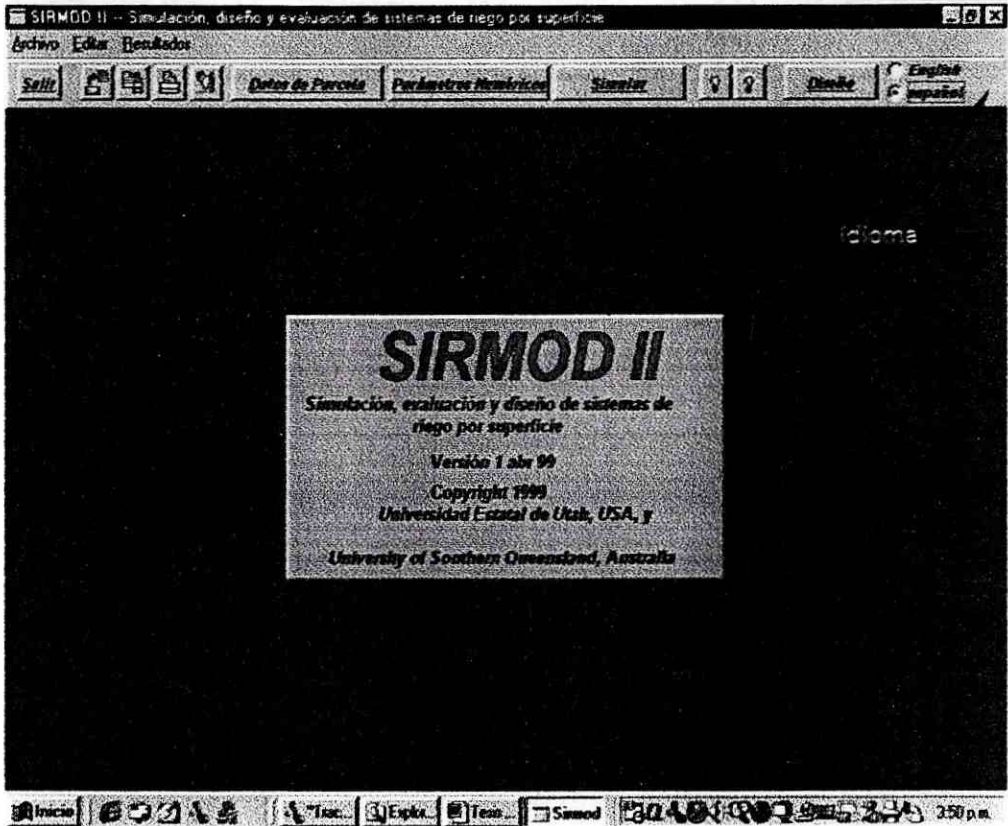


Figura 1. Ventana de idioma de trabajo del modelo SIRMOD II.

3. Después se da clic en Datos de Parcela y se abre la pestaña Rugosidad y Topografía, donde se capturan la rugosidad de Manning de 0.11 a 0.28 (Walker, 1989). La pendiente del terreno en (m/m), ancho y largo de la melga o surco (Figura 2).

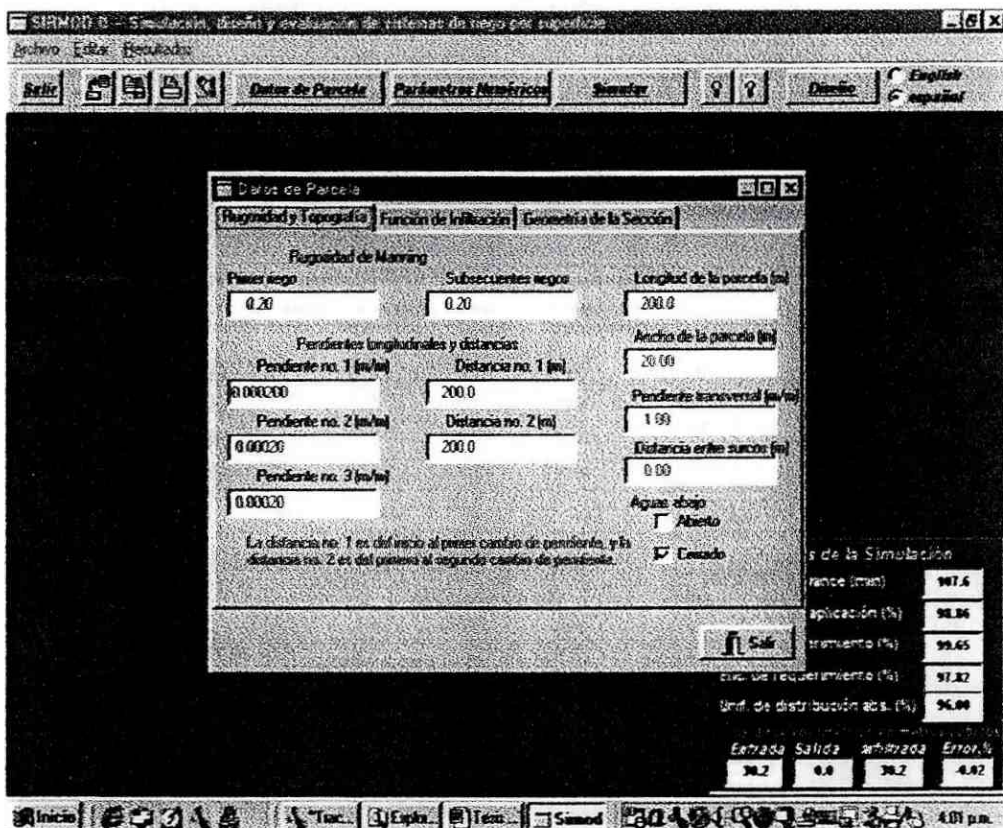


Figura 2. Ventana de características de trabajo para melga o surco.

4. Se abre la pestaña "Función de Infiltración" en la cual se insertan los parámetros hidráulicos del suelo como los son a , k y f_0 . Otro datos que se capturan en este apartado son la lámina requerida, el gasto unitario, el tiempo que tarda el riego en llegar al fin de la melga, el tiempo que a la mitad de la longitud de la melga, así la dimensión a la mitad de la longitud (Figura 3).

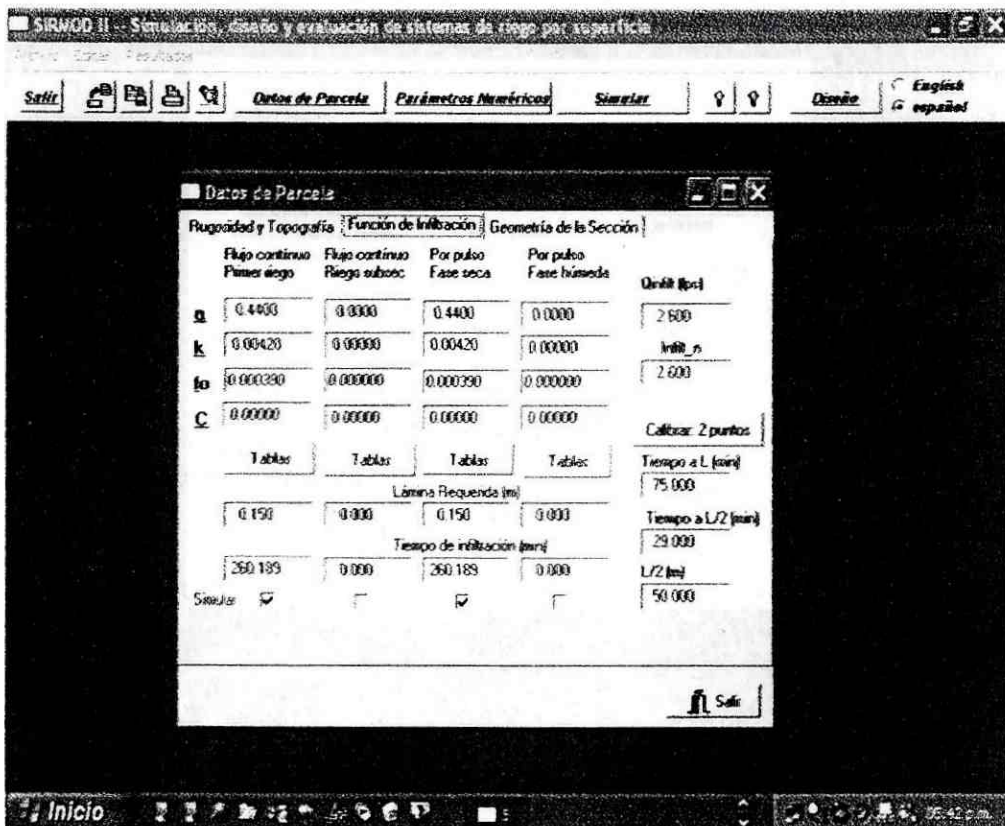


Figura 3. Ventana de parámetros hidráulicos de melga o surco.

5. A continuación se da clic en Parámetros Numéricos, en donde seleccionamos el modelo para simular, el criterio para el tiempo de corte, régimen de caudal entrando, el gasto unitario y tiempo de corte.

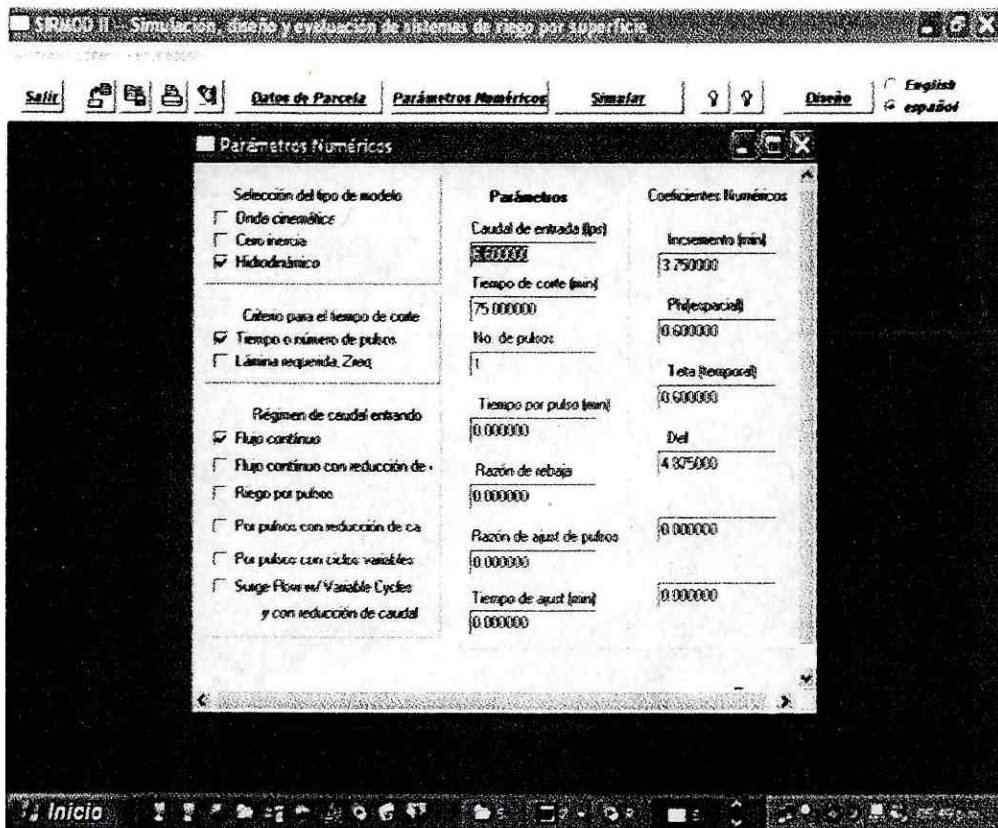


Figura 4. Ventana de parámetros numéricos.

6. Una vez capturada toda la información que **SIRMOD II** solicita, se da clic en simular, en donde nos mostrará la simulación del avance, retención de agua y la eficiencia de riego (Figura 5).

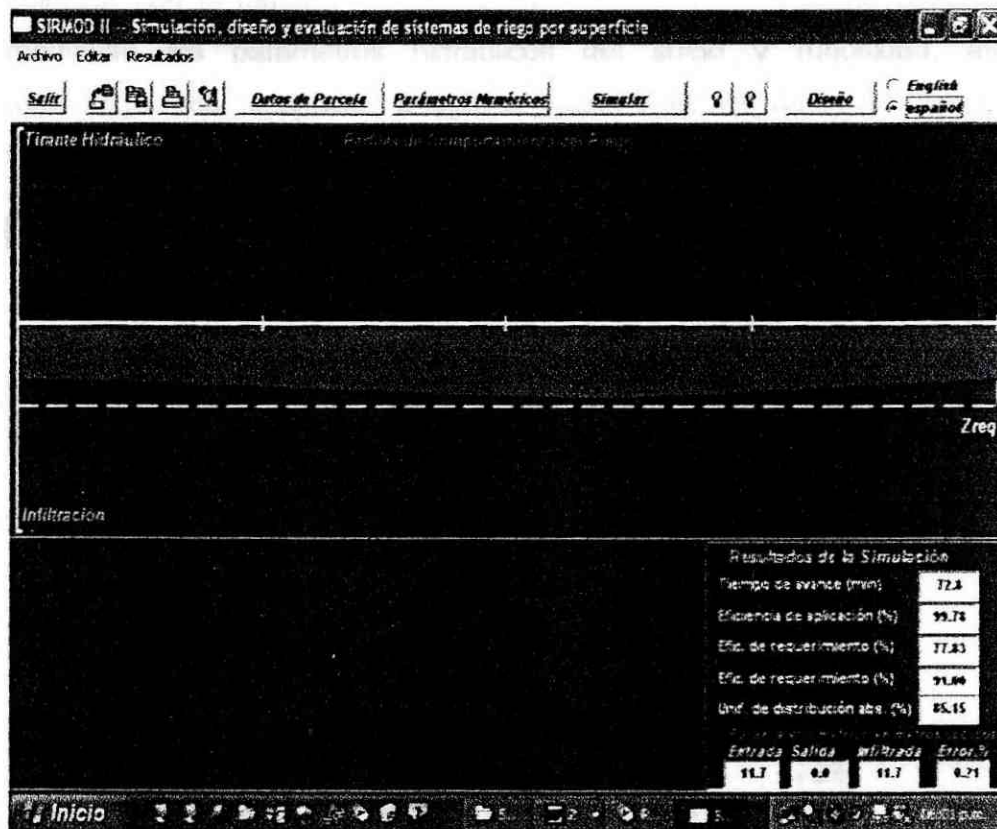


Figura 5. Ventana de comportamiento del riego.

7. Para realizar el ajuste del programa a los datos en campo, en el menú se abre la ventana "resultados" y elegimos la opción tabla, posteriormente se da clic en ver y seleccionamos perfiles de avance y recesión, los cuales deben de coincidir con lo tomado en campo, en caso de que éstos no coincidan, se modifican los parámetros hidráulicos del suelo y rugosidad, así por aproximaciones sucesivas se logra el ajuste entre los datos de campo y los valores de la características hidráulicas del suelo (Figura 6.)

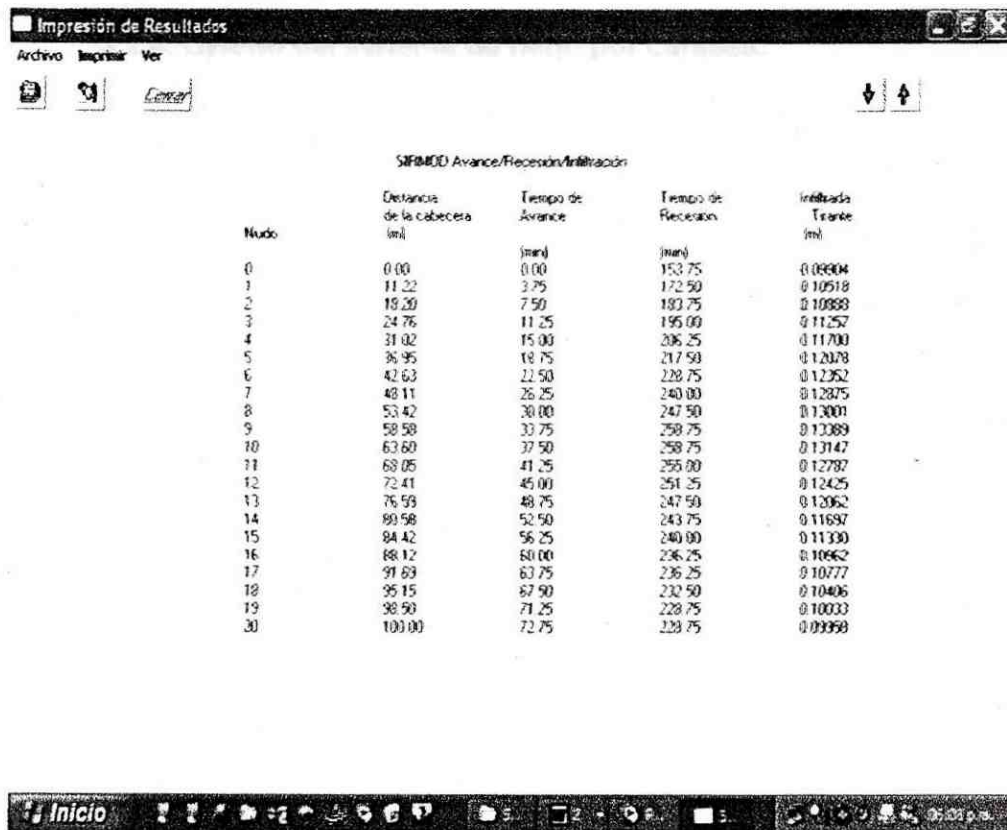


Figura 6. Ventana de perfiles de avance y recesión.

3.2.3. Alternativas de solución.

En esta etapa se procesan y se ajusta lo medido a lo simulado en el SIRMÓD II, una vez ajustado el simulador posteriormente se analizan los datos e información levantada en campo, con la cual se generan las alternativas tecnológicas de riego por gravedad para un mejor uso y manejo de agua.

3.2.4. Diseño del sistema de riego por canales.

Para el diseño de riego por compuertas, se determinan las pérdidas de carga para la longitud más crítica, proponiendo diámetros y utilizando el gasto de diseño.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Diagnóstico.

4.1.1. Pérdidas de agua por conducción.

Debido a que el sistema de riego existente es superficial en la Pequeña Propiedad y la conducción es por canales revestidos, los cuales poseen lozas estrelladas y se determinó que las pérdidas de agua son 5 lps por cada 100 m de longitud de canal.

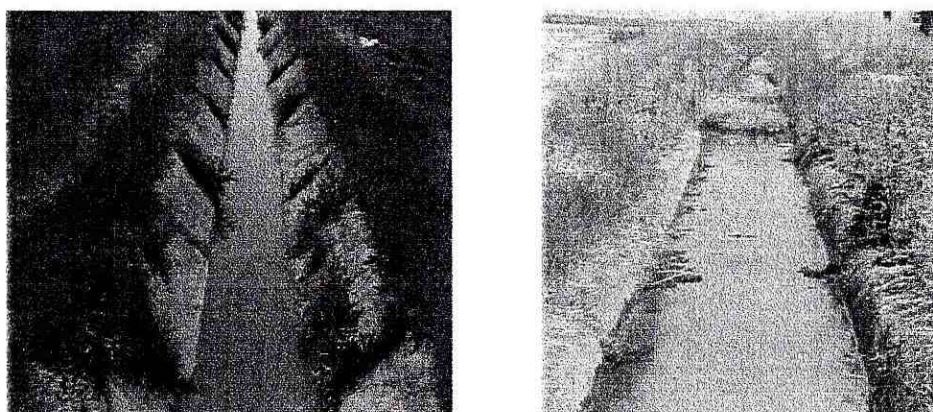


Figura 7. Condiciones de operación de canales.

4.1.2. Eficiencia de riego en la parcela.

Para evaluar la eficiencia de riego en el rancho, se efectuó una evaluación de riego en una de las melgas de la tabla II (Figura 2). En dicha evaluación se tomó contenido de humedad en el suelo, antes y después del riego, largo y ancho de melga, pendiente, gasto parcelario, tiempo de riego, avance de riego, criterio de corte al riego y lámina de riego. A partir de esta información, y se juzgó el comportamiento del riego, como producto de las condiciones tanto de la propia melga como del manejo de agua dado por el regador, se calcularon: lámina de riego necesaria para humedecer el suelo hasta la profundidad de la raíz, lámina aplicada, gasto por cada metro de ancho de la melga, eficiencia de aplicación y eficiencia de distribución.

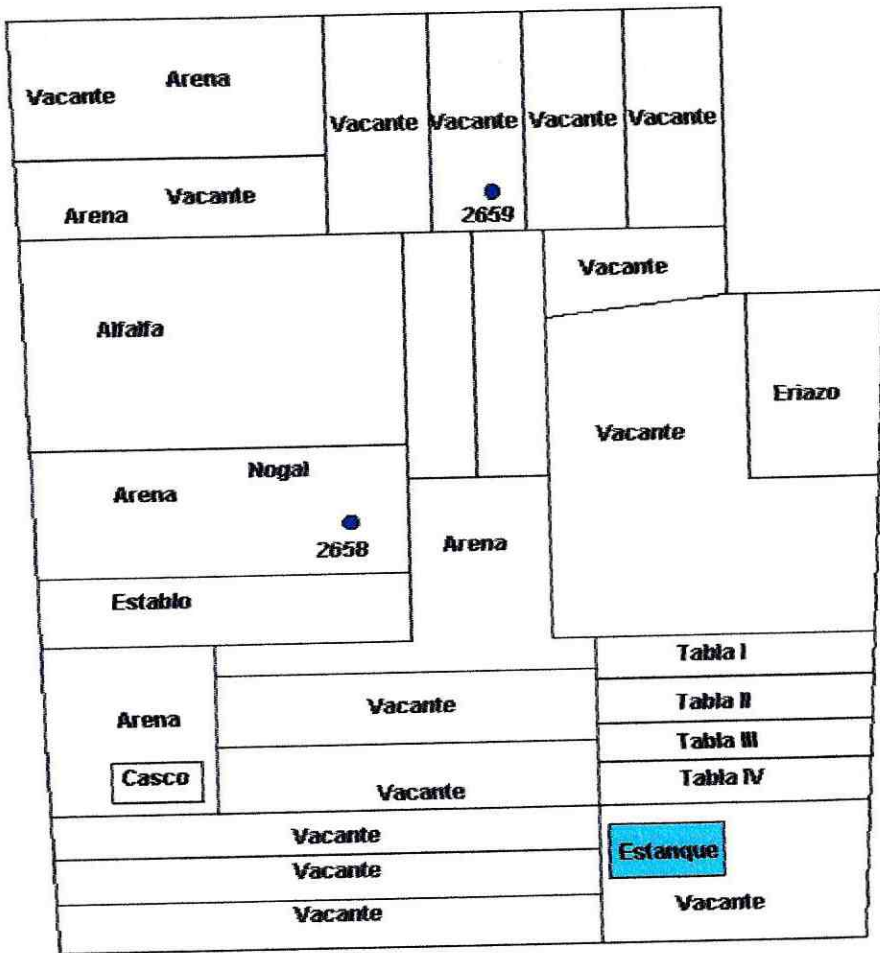


Figura 8. Croquis del Rancho

La información del comportamiento del riego en términos de eficiencia de aplicación y distribución se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Variables de comportamiento del riego

Largo (m)	136
Ancho (m)	24
Pendiente (cm/100 m)	1
Gasto unitario (lps/m)	3.3
Lámina aplicada (cm)	25
Lámina requerida (cm)	15
Efic. De aplicación (%)	62
Efic. De distribución (%)	88

En el avance de riego la lamina necesaria para humedecer la profundidad que exploran las raíces (120 cm), son necesarios 15 cm Cuadro 4. Sin embargo, durante el riego se aplicó una lámina menor la cual ocasionó un déficit de 4 cm. Lo cual indica que el cultivo posiblemente estuvo sometido a un estrés hídrico.

Los resultados de eficiencia de riego donde se observa un valor alto de eficiencia de aplicación la cual indica que la lámina de riego aplicada es menor que la necesaria. Cuadro 4.

De acuerdo a esta información, se detectó una pendiente de 1 cm por cada 100 metros de largo en el avance de riego, lo cual ocasiona que al inicio se infiltre láminas mayores que al final. Las pendientes promedio y el rango de variación encontrada en tablas observadas en el Cuadro 5, en el cual se puede observar que cada tabla tiene una pendiente diferente, y que dicha pendiente varía aún dentro de la misma. De acuerdo con tal información, la Tabla II es la que tiene una mayor pendiente, la cual varía de - 4 a 6.7 cm por cada 100 metros.

Cuadro 5. Características de las melgas en la Pequeña Propiedad

Tabla	Largo (m)	Ancho (m)	Pendiente promedio (cm/100 m)	Rango de la pendiente
I	136	24	- 3	- 6.9 a 0.7
II	136	24	- 0.3	- 4 a 6.7
III	146	24	- 0.3	- 2.2 a 2.2
IV	150	24	- 2.5	- 9.8 a 2.3

4.2. Alternativas de solución.

4.2.1. Conducción.

Para la conducción se recomienda la corto plazo eliminar la maleza que se encuentra en los canales para la buena circulación del agua y en las estrelladas taparlas por completo para que no existan fugas y a largo plazo se recomienda un sistema de riego de válvulas alfileras a cada 2 melgas con tubería de PVC con un diámetro de 12". Cada válvula se instalará a 36 m.

4.2.2. Aplicación del riego.

En este apartado se conjuntan los problemas relacionados a: eficiencia de aplicación, eficiencia de distribución y eficiencia de requerimiento.

- 1.- La aplicación de láminas de riego pequeñas, se convierte en problema en periodos de máxima demanda.
- 2.- La pendiente del terreno es variable y en desacuerdo con el gasto y tipo de suelo.

Mediante la evaluación del riego en el modelo del SIRMOD se obtuvieron los siguientes resultados (Cuadro 5) que indica que el riego por gravedad puede ser eficiente si se hace un diseño basado en el SIRMOD.

Cuadro 6. Variables de Comportamiento del riego.

Variables	Datos de campo.	Datos calculados.
Longitud (m).	136	140
Ancho (m).	24	18
Pendiente (cm/100 m).	1	3
Gasto unitario (lps/m).	3.3	7.3
Tiempo de Riego (min)	75	42
Lámina Aplicada (cm)	23	15
Eficiencia global (%)	83.33	96.66

Cuadro 7. Comparación de la prueba de avance antes y después de lo simulado en campo.

Distancia (m).	Antes de la simulación. Tiempo (min).	Después de la simulado Tiempo (min).
0	0	0
20	8	5.57
40	20	14.50
60	32	22.45
80	50	30.51
100	68	41.48
120	88	53.50
136	102	60.32

5. CONCLUSIONES.

Se mejoró sustancialmente la eficiencia global de riego a nivel parcelario, introduciendo criterios de manejo del agua, tales como colocar válvulas alfalferas en cada dos melgas, pendiente, tiempo de riego, largo y ancho de melga, caudal unitario, generadas a partir del modelo de simulación SIRMOD.

Con los datos obtenidos se observó que el usuario tenía deficiencia en el de uso y manejo de agua ya que en la comparación del avance de los datos de campo antes y después de lo simulado la diferencia del tiempo entre las dos es grande por lo que con ese tiempo desperdiciado podemos regar más superficie.

6. LITERATURA CITADA.

- Aguila, F. 1997. Alternativa tecnológica y organizacional para mejorar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Arriaga C., Sánchez E., Espinoza A. y Velásquez L. 2001. Desarrollo Participativo de Tecnología: El Caso de Forrajes en Sistemas de Producción Campesinos en el Estado de México. [http: / / serpiente.dgsca.unam.mx/rer/carriaga1.html](http://serpiente.dgsca.unam.mx/rer/carriaga1.html).
- Bau, J. 1991. Investigación sobre Conservación del Agua en Portugal. Memorias del Seminario Internacional sobre Uso Eficiente del Agua. México. pp. 736-743.
- Booder, L. J. 1974. El riego superficial. FAO, Roma: 158 p.
- Cabrera. R. 1994. Modelo del avance y recesión del agua en el riego por surcos. V Jornada Científica del INICA, C. Habana: 7 al 9 de noviembre. Resúmenes. p. 214.
- Cabrera, R. 1999. Consideraciones sobre la tecnología del riego superficial en caña de azúcar. Nota técnica. INICA. La Habana, Cuba.
- Catalan, V. E. 1993. Guías de riego (caso Región Lagunera). CENID-RASPA-INIFAP. Gómez Palacio, Dgo. México.
- Clemmens A. J., W. R. Walker, D. D. Fangmeir and L A. Hardy. 1998. Design of surface systems. In: Design and operation of farm irrigation systems. R. L. Elliott, ed. ASAE. Monograph Number 3. 2nd Edition. St. Joseph, Michigan. Pag. 20-35.
- García R. M. 2000. Análisis de Escenarios en Riego por Superficie en Melgas Basados en un Modelo de Simulación. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Torreón, Coahuila. Pág. 28-36.
- Hernández Y., C. 1995. Apuntes del curso de Riego Superficial. ITA 10. Coahuila, México.

- Hidalgo, A. 1971. Métodos modernos de riego de Superficie. Ed. Aguilar, España: 457 p.
- Playán, E., Faci, J. M. y Serreta, A. (1996). "Modeling microtopography in basin irrigation." *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, ASCE, 122(6), 339-347.
- Ramírez, H. E. 2002. Análisis de escenarios basados en un modelo de simulación para el diseño de un sistema de riego por superficie. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Torreón, Coahuila. Pág. 20-34.
- Rendón et al. 1990. Diseño simplificado de riego por gravedad. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec Morelos, México.
- Rojas P. L. Ramírez, R. L. 1998. Sistema de riego por Superficie. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Utah State University. 1989. SIRM0D. Surface Irrigation Simulation Software. Department of Agricultural and Irrigation Engineering. Utah, Logan, U.S.A.
- Walker W. R. 1985 and Skogerboe V. G. 1987. Surface Irrigation: "Theory and Practice". Prentice -Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- 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.
- Walker, W. R. 2003. SIRM0D, Surface irrigation simulation software. Utah State University. Logan, Utah.