

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**ANÁLISIS DE ESCENARIOS EN RIEGO POR
SUPERFICIE EN MELGAS BASADO
EN UN MODELO DE SIMULACIÓN**

**TESIS
QUE PRESENTA**

MOISÉS GARCÍA REYES

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE
ING. AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**ANÁLISIS DE ESCENARIOS EN RIEGO POR
SUPERFICIE EN MELGAS BASADO
EN UN MODELO DE SIMULACIÓN**

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

TITULO DE:

ING. AGRÓNOMO
ESPECIALIDAD EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:


MC. CARLOS EFREN RAMÍREZ CONTRERAS

ASESOR PRINCIPAL


MC. JOSÉ GPE. GONZALEZ QUIRINO

ASESOR


MC. FEDERICO VEGA SOTELO

ASESOR

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS


MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO



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**

**TITULO DE:
ING. AGRÓNOMO
ESPECIALIDAD DE IRRIGACIÓN**

APROBADA POR:

PRESIDENTE :



MC. CARLOS EFREN RAMÍREZ CONTRERAS

VOCAL:



MC. JOSÉ GPE. GONZÁLEZ QUIRINO

VOCAL:



MC. FEDERICO VEGA SOTELO

VOCAL SUPLENTE:

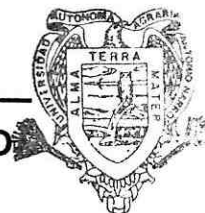


DR. JUAN ESTRADA AVALOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO



**COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS
UAAVA UN**

DEDICATORIAS

A Dios:

Por darme las fuerzas y el deseo de seguir viviendo

A MI ESPOSA:

Hilda Gabriela. Por el apoyo en todo momento cuando mas necesitaba y por comprenderme

A mis Padres:

Esteban García y Ma. Belén reyes por darme la vida y brindarme su apoyo en el transcurso de toda mi formación profesional.

A mi Hijo:

Moisés Alejandro por ser lo mas hermoso que la vida me otorgo para poder seguir luchando.

A mis Hermanos:

Yesenia, Flavio y Melito por el apoyo que siempre me brindaron durante mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTOS

A MI ALMA TERRA MATER POR BRINDARME LOS ESPACIOS Y EL PERSONAL NECESARIO DE DONDE OBTUVE LOS CONOCIMIENTOS QUE HOY PERMITEN REALIZAR ESTE TRABAJO.

AL MC. CARLOS EFREN RAMÍREZ CONTRERAS POR BRINDARME SU APOYO Y CONOCIMIENTOS EN EL TRANCURSO DE MI CARRERA UNIVERSITARIA Y PARA REALIZAR EL PRESENTE TRABAJO.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS GERARDO, RENE, JESÚS MANUEL Y GABINO, QUE ME BRINDARON SU APOYO INCONDICIONAL DURANTE TODA LA CARRERA, EN LA BUENAS Y EN LAS MALAS.

AL DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE POR ACEPTARME Y SER PARTE DE ESTE.

A TODO EL EQUIPO DEL PROGRAMA DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA INTEGRAL EN RIEGOS POR SU APOYO INCONDICIONAL PARA LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

A TODOS LOS MAESTROS DEL DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE POR BRINDARME LOS CONOCIMIENTOS NECESARIOS PARA MI FORMACION PROFESIONAL

AL MC. J. GUADALUPE GONZÁLEZ QUIRINO POR SU VALIOSA PARTICIPACION EN EL DESEMPEÑO DE ESTE TRABAJO.

AL MC. FEDERICO VEGA SOTELO POR SU VALIOSA PARTICIPACION EN LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE DE ALGUNA FORMA INFLUYERON PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE DOCUMENTO.

ÍNDICE

	PAG.
DEDICATORIAS	I
AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE DE CUADROS	IV
ÍNDICE DE GRAFICAS	IV
RESUMEN	V
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. METAS	3
IV. HIPÓTESIS	3
V. REVISIÓN DE LITERATURA	4
5.1. INFILTRACIÓN Y BALANCE VOLUMÉTRICO EN SIRMOD	4
5.2. ECUACIONES DE INFILTRACIÓN.....	4
5.3. CALCULO DEL BALANCE VOLUMÉTRICO	6
5.4. LA SIMULACION.....	7
5.4.2. Resumen de la solución numérica en SIRMOD	8
5.4.3. Solución numérica	9
5.4.4. Evaluación de sistemas de riego por superficie.....	9
5.4.5. Evaluación de la infiltración	11
5.4.6. Evaluación de parámetros de funcionamiento	11
5.4.7. Componentes de la infiltración bajo riego por superficie	12
5.4.8. Interpretación de una evaluación de riego	14
5.5. DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO	17
5.5.1. Proceso básico de diseño	17
5.5.2. Diseño preliminar	17
5.5.3. Diseño detallado	18
5.6. DOS CALCULOS BÁSICOS DE DISEÑO	20
5.7. CHEQUEO DE LIMITACIONES DE DISEÑO	22
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	25
6.1. MATERIALES	25
6.2. METODOLOGÍA	27

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
Comentarios de un Productor	32
VIII. CONCLUSIÓN	34
IX. BIBLIOGRAFÍA	X. 35
ANEXOS	36

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PAG.
1 Análisis de las evaluaciones realizadas en la P.P. El Porvenir	30
2 Análisis de las evaluaciones realizadas en la P.P. El Porvenir	30

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS	PAG.
1 Descrpción de variables en el comportamiento del riego (Simulación) ...	13

RESUMEN

La eficiencia en el uso y manejo del agua es muy importante para la conservación de los mantos acuíferos, por esto, es necesario evaluar las pérdidas ocasionadas por el uso ineficiente de la misma.

El presente trabajo de investigación se realizó en la PP. El Porvenir Mpio. De Fco. I. Madero, Coah. Con el objetivo de analizar el mejor escenario en Sistemas de Riego Superficial por Melgas basado en un Modelo de Simulación. El cual consistió en tomar datos de campo tales como: largo y ancho de melga, pendiente, tiempo de riego, gasto parcelario, cultivo, tipo de suelo, etc. Con esta información se alimentó un Modelo de Simulación SIRMOD (SIMULATION IRRIGATION MODELING), Modelo de Simulación de Riego.

Mediante este Modelo fue posible determinar las mejores eficiencias de riego, tales como: eficiencia de Aplicación, eficiencia de Requerimiento, eficiencia de Distribución y tiempo de riego. Para determinar las mejores variables del riego superficial (ancho y largo de la melga, tiempo de riego, pendiente, gasto parcelario). Con lo que se reduce el tandeo, pasando de 39 días a 19 días y un ahorro en volumen aplicado de 18,862.2 m³ de agua.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que enfrentan los usuarios del riego por gravedad, en el mundo, es la baja eficiencia con que se aplica el agua y la deficiente uniformidad con que se distribuye, a través de la zona radicular de los cultivos. Esta situación es muy grave, debido a que en nuestro país las eficiencias de aplicación oscilan del 30 al 60 por ciento, y que este método de aplicación del agua se practica alrededor del 92 por ciento de las 6.2 millones de hectáreas de riego.

En la región existe un total de 16,512 aprovechamientos hidráulicos, correspondiendo al agua subterránea el 96.64 por ciento y al agua superficial 3.36 por ciento. Sumadas ambas fuentes de agua, el 89.18 por ciento se destina al uso agrícola; 1.88 por ciento en el pecuario; 7.20 por ciento para uso humano; y el 1.74 por ciento para uso industrial.

El uso agrícola dispone de 3,911.91Mm³, lo cual corresponde 1,870.7 Mm³, al agua superficial y 2,041.2Mm³ al agua subterránea, de este total el 63.81 por ciento se encuentra en la subregión Comarca Lagunera - Parras, el 9.11 por ciento en el aguanaval, el 1.92 por ciento la subregión Mapimí, el 3.12 por ciento la subregión Nazas; y finalmente el 22.04 por ciento en la subregión el Salado.

La Comarca Lagunera cuenta con infraestructura para regar 223,674 hectáreas, sin embargo la disponibilidad histórica únicamente ha permitido regar 85,000 hectáreas, que corresponde a forrajes, entre otros, lo que revela un superávit en infraestructura de distribución, debido a que la red interparcelaria posee una gran cantidad de canales de tierra; aunado a ello los métodos de riego empleados (riego por melgas) provocan fuertes pérdidas en la conducción y aplicación.

Si tomamos en cuenta el total del agua destinado al uso agrícola las pérdidas son considerables, cuando las eficiencias de aplicación se están operando al 30 por ciento, esto provoca una pérdida de 2,738.33 Mm³ y si el agua se aplica en un 60 por ciento, las pérdidas corresponden a 1,564.76 Mm³.

Mediante el análisis de escenarios en sistemas de riego superficial por melgas se involucran los factores de infiltración, pendiente, ancho, tipo de suelo, tipo de cultivo, gasto unitario, avance y recesión del agua, etc. Puede ayudar a incrementar las eficiencias de aplicación, distribución y de requerimientos, es por esto que en este trabajo se presenta 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; por lo que se plantea lo siguiente:

II. OBJETIVO.

Incrementar las eficiencias de aplicación, distribución y de requerimientos, de un sistema de riego superficial basado en un modelo de simulación.

III. METAS.

Localizar un productor que tenga interés en incrementar las eficiencias de aplicación, distribución y de requerimientos de la pequeña propiedad. Tiempo estimado una semana.

Aplicación del mejor escenario en campo para su validación. Tiempo estimado un mes, con la validación se generan recomendaciones para el incremento de eficiencias de riego en la melga o parcela.

En un lapso de dos meses se podrán comparar eficiencias de riego actuales con datos tomados antes de aplicar las recomendaciones.

IV. HIPÓTESIS

Es posible incrementar las eficiencias de aplicación, distribución y de requerimientos mediante el análisis de escenarios basados en un modelo de simulación

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. INFILTRACIÓN Y BALANCE VOLUMÉTRICO EN SIRMOD.

SIRMOD: (SIMULATION IRRIGATION MODELING), Modelo de Simulación de Riego. Es un programa que sirve para Simular la hidráulica del riego por superficie a nivel parcelario, seleccionar el tamaño de la parcela, los parámetros que maximizan la eficiencia de aplicación y la solución al problema.

El Modelo SIRMOD posee tres capacidades de trabajo: (1) simulación; (2) diseño de sistemas de riego por superficie, y (3) evaluación. Sin embargo, la solución, en parte, de algunas de ecuaciones en simulación son tomadas directamente del balance volumétrico. Por lo anterior, antes de entrar a discutir el procedimiento de simulación, se hará la presentación de balance volumétrico como metodología de análisis; posteriormente, se hará la presentación del procedimiento de evaluación y diseño de sistemas de riego respectivamente.

5.2. ECUACIONES DE INFILTRACIÓN

En riego por superficie la infiltración es el factor más importante, pero a la vez más difícil de determinar o predecir con veracidad, esta característica de los suelos, que se le ha puesto mucha atención desde un punto de vista teórico. En la actualidad, existen muchas ecuaciones que intentan describir la infiltración, como: las ecuaciones de Kostiaikov, Kostiaikov-Lewis, Horton, Philip y Green-Ampt. Las ecuaciones que se utilicen deberán tener el menos las siguientes dos características (1) poder definir los parámetros que las componen durante el riego; y (2) deberán de permitir la solución de la ecuaciones de balance volumétrico a nivel de campo.

El tiempo de riego, en estos métodos de riego, es usualmente tan corto, de tal manera que la velocidad de infiltración no se aproxime a cero y la infiltración acumulada se subestime. En riego por surcos, para que este problema no se presente, algunos investigadores utilizan la ecuación de Kostiakov-Lewis, la cual resuelve tal problema, anexando un término que representa a la parte final de la velocidad de infiltración.

$$Z = Kt_0^a + f_0t_0 \quad (1)$$

Donde:

Z = Infiltración acumulada en $m^3/m/m$.

t = "tiempo de oportunidad" en min.

k y a = Coeficientes empíricos.

f_0 , = "Infiltración básica" en $m^3/m/m/min$

La mayoría de los procedimientos para diseñar sistemas de riego por superficie, utilizan la (Ec. 1).

Se han hecho varios intentos para describir k y a como una función del tipo de suelo; uno de los primeros en hacer esto, fue el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1974), seguido por otro hecho en la Universidad del Estado de Utah (Walker, 1989) y Merriam y Clemmens (1985). Con el fin de simular tanto el riego continuo como el riego por pulsos desarrollaron un grupo de parámetros que son parte del Modelo SIRMOD. El cuadro 1, muestra los valores de a , k y f_0 de la Ecuación de Kostiakov-Lewis, para diferentes tipos de suelos, como una función del número de familia del Natural Resources and Conservation Service (NRCS).

Una de las características más importantes para resolver una ecuación de infiltración, es resolver la ecuación del balance volumétrico para estimar el avance

del agua sobre la superficie del terreno. La (Ec. 1), tiene la ventaja que puede ser evaluada en el campo a través de procedimientos fáciles ya establecidos.

5.3. CALCULO DEL BALANCE VOLUMETRICO

El calculo más importante del balance volumétrico en riego por superficie, ocurre durante la fase de avance del riego. Para efectuar tal calculo, se asume una descripción matemática de la sección hidráulica del agua en el campo, de la infiltración (Ec. 2) y de la trayectoria de avance.

La mayoría de las metodologías de diseño de riego por superficie, utilizan la ecuación de Manning para el calculo del área de flujo, la (Ec. 1) para la infiltración, y una función potencial para describir la trayectoria de avance. Walker y Skogerboe (1987), Walker (1989) y Clemmens et al (1998) detallan este análisis. Finalmente, la ecuación de balance volumétrico es como sigue:

$$Q_0 t = \phi \sigma_y A_0 X + \sigma_z K t^a X + (f_0 t X) / (1 - r) \quad (2)$$

Donde:

Q_0 = Caudal de entrada por unidad de ancho en m^3/min .

t = Tiempo de riego en minutos.

σ_y = Factor de forma del agua en la superficie.

A_0 = Sección hidráulica a la entrada en m^2 .

X = Distancia de recorrido del agua en m.

σ_z = Factor de la forma del perfil de humedecimiento, el cual describe la lámina de riego promedio infiltrada.

r = Exponente de la ecuación de avance.

La (Ec.2) se resuelve para cualquier distancia y así definir el balance volumétrico correspondiente durante la fase de avance del riego. En este

procedimiento, quizás lo más importante es la distancia cubierta por el agua, desde la entrada hasta el final de la melga, estas son evaluadas por unidad de ancho (gasto unitario).

5.4. LA SIMULACION

5.4.1 Ecuaciones que gobiernan el riego por superficie.

La importancia de SIRMOD es su capacidad para simular diferentes alternativas del riego por superficie, en donde la simulación se basa en la solución numérica de las ecuaciones de Saint-Venant (conservación de masa y momentum). Dichas ecuaciones son las siguientes:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Z}{\partial \tau} = 0 \quad (3)$$

la ecuación de conservación de momentum es la siguiente:

$$\frac{1}{Ag} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2Q}{A^2g} \frac{\partial Q}{\partial X} + 1 - \frac{Q^2T}{A^3g} \frac{\partial y}{\partial x} - S_0 S_f = 0 \quad (4)$$

Donde:

A = Sección hidráulica, m²;

Q = Gasto, m³/seg.

t = Tiempo, seg.

x = Distancia desde la entrada, m.

τ = Tiempo de oportunidad, seg.

Z = Infiltración acumulada, m.

g = Efecto de la gravedad, 9.81 m/seg.²

y = Tirante hidráulico, m.

S₀ = Pendiente del terreno, m/m.

S_f = Pendiente de fricción, m/m.

T = Ancho superior, m.

5.4.2. Resumen de la solución numérica en SIRMOD.

La solución de las Ecuaciones 3 y 4 describe el perfil del agua por arriba como por debajo de la superficie del suelo durante el avance de riego, una vez que alcanza el final se acumula o escurre y recesa cuando se presenta el corte del riego. Un evento de riego se divide en tres partes: (1) avance; (2) almacenamiento-humedecimiento; y (3) recesión. Así, la solución de las Ecuaciones 3 y 4 se diferencian en cómo se aborda cada una de éstas fases, considerándolas como condiciones de frontera tanto en la entrada como en la parte baja del riego. En consecuencia, cuando se inicia la entrada de agua al campo, el límite de frontera a la entrada, se caracteriza por el gasto previamente conocido, mientras que el límite de frontera en la parte baja es el frente de riego sobre la superficie del terreno. Una vez que el agua alcanza la parte baja del riego el límite de frontera, agua abajo, es caracterizado, ya sea por la salida del agua o por el almacenamiento aguas arriba del bordo que limita la longitud del riego. Cuando se presenta el corte del riego el límite de frontera toma valor de cero; conforme avanza la recesión este límite se mueve hacia abajo.

Algunas simulaciones son inestables y fallan en su convergencia; sin embargo, para evitar este problema SIRMOD checa esta condición y modifica varios parámetros internos, y así corrige tal problema.

La función actual de la ecuación de conservación de momento es describir la forma del perfil de agua en el suelo tanto en la superficie como en el espacio.

Una nota de interés, es la forma en que SIRMOD resuelve las ecuaciones de continuidad y de momento. La solución de las ecuaciones anteriores produce el modelo hidrodinámico completo.

5.4.3. Solución numérica.

El software de SIRMOD resuelve las ecuaciones de continuidad y de momentum usando un intervalo fijo de tiempo, el cual es especificado por el usuario del modelo, mientras que el incremento de espacio es definido por la distancia que se logra avanzar por cada intervalo de tiempo.

En su forma original, las ecuaciones de continuidad y de momento, son dos ecuaciones algebraicas no lineales. Una vez que las ecuaciones son escritas para cada una de las celdas a través del tiempo, éstas son representadas como un sistema de ecuaciones que se pueden resolver simultáneamente. Esto se le llama procedimiento implícito.

5.4.4. 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 altas eficiencias de riego 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 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.

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 se asocia con la capacidad de simulación del software.

En cada simulación, el agua que entra el campo es dividida en agua infiltrada y percolada. 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, así como la cantidad que se pierde por precolación.

Debido a que esta información es determinada por simulación en cada punto a lo largo de la longitud de riego, ésta puede ser usada posteriormente para calcular varios parámetros de eficiencia tanto de aplicación como de distribución.

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, estos pueden ser estimados directamente en el campo, sin embargo, su determinación puede realizarse bajo condiciones completamente diferentes a las que el riego por superficie. La estimación de los parámetros de infiltración a través de este camino se determinan las características promedio del suelo concerniente a su capacidad de infiltración.

La tercer 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.

Existen varias publicaciones en donde se describe tanto el equipo como los procedimientos para evaluar sistemas de riego por superficie. Así, se explican dos aspectos importantes de una evaluación. La primera, será la definición de una típica relación de infiltración, tomando como base los datos de la evaluación de avance. La base matemática del análisis infiltración será la forma extendida de la ecuación de Kostiakov-Lewis (Ec.1). La segunda parte, es la evaluación de los parámetros de eficiencia y distribución de un determinado evento de riego; aunque se han sugerido muchos de estos parámetros, aquí sólo se explicarán los siguientes cuatro:

- 1.- eficiencia de aplicación
- 2.- eficiencia de requerimiento
- 3.- eficiencia de distribución
- 4.- eficiencia de distribución absoluta.

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 el terreno no está tapado aguas abajo), 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 surcos, y expresada en unidades de longitud

5.4.5. Evaluación de la infiltración.

Para evaluar los parámetros de infiltración del agua en el suelo, SIRMOD usa la ecuación de balance volumétrico (Ec. 2).

5.4.6. Evaluación de los parámetros de funcionamiento.

Entre los factores usados para evaluar el funcionamiento de un sistema de riego o su manejo, están los de eficiencia y uniformidad, los cuales han sido subdivididos y definidos en infinidad de formas. No existe un solo parámetro, que en forma única exprese adecuadamente el funcionamiento de un sistema de riego. Un riego adecuado, depende del agua ha sido almacenada en la zona radicular, pérdidas por percolación, pérdidas por escurrimiento, uniformidad del agua aplicada, y déficit de agua en el perfil del suelo, después del riego.

Con el fin de relacionar estos factores en el entorno del sistema de riego, son hechas las siguientes asunciones:

1. El sistema radicular del cultivo extrae humedad del suelo en forma uniforme, con respecto a profundidad y localización.

2. La función de infiltración en el suelo, es única, y expresa la relación existente entre la lámina de agua infiltrada y el tiempo que el agua dura en contacto con el suelo (tiempo de oportunidad); y
3. El objetivo del riego es rellenar de agua el perfil radicular del suelo

Cuando un con cultivo uniforme y pendiente recibe un gasto constante de entrada, el frente de agua avanzará a una velocidad decreciente constante, hasta el final del riego. Sin embargo, si no existe bordo de contención al final, se presentará el escurrimiento a un determinado tiempo antes de que la recesión inicie, enseguida de que se dé el tiempo de corte.

En la (Fig. 1) se muestra la distribución del agua aplicada a lo largo de la longitud del riego, considerando las asunciones anteriores. La diferencia en tiempo de oportunidad a lo largo del riego, produce láminas de riego que no son uniformemente distribuidas.

5.4.7. Componentes de la infiltración bajo riego por superficie.

La cantidad de agua que puede ser almacenada en la zona radicular es LZ_{req} , sin embargo, algunas áreas de dicha zona radicular no reciben agua, debido a la distribución espacial de la infiltración. La lámina de agua que podría rellenar la zona radicular es Z_{req} , más allá de la cual, el agua percola debajo de las raíces siendo perdida hacia el drenaje o hacia el manto freático. El Calculo de cada uno de estos componentes, requiere de una integración numérica de la lámina infiltrada a lo largo de la longitud del riego. Para propósitos de discusión, es conveniente definir dichos componentes como:

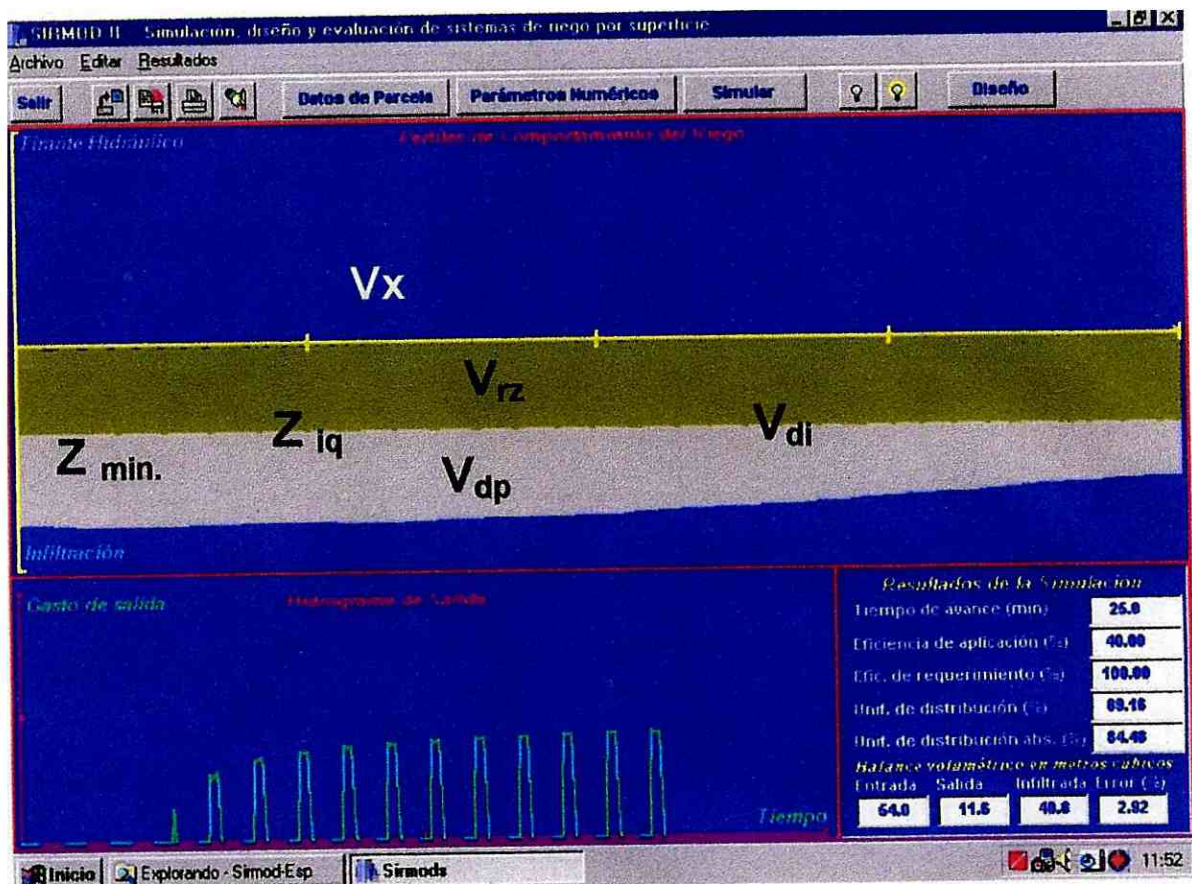


Figura 1. Descripción de variables en el comportamiento del riego (simulación).

- V_{rz} Es el volumen de agua por unidad de ancho o surco, almacenada en la zona radicular.
- V_{di} Es el volumen de agua por unidad de ancho o surco, que representa al área sub-irrigada.
- V_{dp} Es el volumen de agua por unidad de ancho o surco, de percolación.
- V_{tw} Es el volumen de agua por unidad de ancho o surco, de escurrimiento.
- Z_{min} Lámina de riego mínima aplicada en el campo, la cual frecuentemente esta localizada en la parte más baja, aguas abajo de la longitud de riego.
- Z_{lq} Lámina de riego promedio infiltrada en el 25 por ciento más bajo del campo.

La eficiencia de distribución se refiere a la distribución del agua sobre la longitud de riego. Merriam y Keller (1978) han propuesto que la eficiencia de distribución sea definida como la lámina de riego infiltrada promedio en el cuarto

de información más bajo dividida por la lámina de riego promedio infiltrada en todo el campo, en donde éste término puede ser representado por DU . Los mismos autores también han sugerido el término de eficiencia de distribución absoluta, DU_a , la cual corresponde mínima lámina de riego infiltrada dividida por la lámina infiltrada promedio.

Las pérdidas de agua ocurren como percolación, (láminas mayores a Z_{req}) y como escurrimiento. Para calcular la Eficiencia de aplicación (E_a), es necesario identificar al menos una de estas pérdidas, así como la cantidad de agua almacenada en la zona radicular. Lo anterior implica que la diferencia entre la cantidad de agua almacenada en la zona radicular a la hora del riego y la cantidad de agua actual almacenada deberán de ser separadas, por ejemplo, la cantidad de agua como sub-irrigación en el perfil del suelo, deberá ser determinada como si fueran pérdidas.

La eficiencia de requerimiento, (E_r) la cual es también referida como eficiencia de almacenamiento.

La eficiencia de requerimiento es un indicador de que también el riego logra el objetivo de rellenar de agua la zona radicular. El valor de E_r es importante, en cualquiera de los casos en que el riego se sobre aplica o cuando se practica como complementario, bajo condiciones de alta precipitación. Este parámetro es el más directamente relacionado con el rendimiento del cultivo, debido a que éste refleja de alguna forma el estrés de humedad del suelo al que se somete el cultivo. Generalmente, el riego en déficit, en áreas de alta precipitación es una buena practica para conservar agua, sin embargo, el grado de déficit es una pregunta difícil de contestar a nivel de finca.

5.4.8. Interpretación de una evaluación de riego.

Altas pérdidas por percolación agravan los problemas de drenaje y salinidad; así como la percolación de nutrientes de la zona radicular.

Dependiendo de la naturaleza química del agua en una cuenca hidrológica, la percolación profunda puede causar un grave problema de la calidad del agua a nivel regional. Estas pérdidas de agua pueden ser recuperadas por corrientes cargadas de metales pesados, sales y algunos otros tóxicos, degradando el agua en dicha corriente, la cual podría ser utilizada por otros usuarios, aguas abajo. La percolación resulta de largos tiempos de riego y/o una gran variación en los tiempos de oportunidad (gastos de aplicación muy pequeños). Estos dos problemas pueden ser resueltos corrigiendo ambos, el tiempo de corte, t_{co} , y el gasto de aplicación Q_o .

El agua de escurrimiento provoca problemas adicionales a los sistemas de riego y los recursos hídricos regionales; siendo la erosión de la capa fértil del suelo uno de los problemas mayores relacionados con el escurrimiento; así, los sedimentos pueden obstruir los canales de conducción y las estructuras de control aguas abajo, incluyendo represas, y estructuras de regulación. Las pérdidas por escurrimiento pueden ser reducidas ajustando el caudal de entrada, colectando y reciclando el escurrimiento, así como reduciendo el gasto de entrada una vez que el avance ha sido cubierto.

Partiendo de los cuatro parámetros de un evento de riego se pueden identificar diferentes alternativas de mejoría. De dichos parámetros, eficiencia de aplicación es el más importante en términos de diseño y manejo, debido a que éste refleja el beneficio de usar el riego. Propuesta una estrategia de diseño y manejo, en la cual la eficiencia de aplicación será maximizada, sujeta a un valor de eficiencia de requerimiento de 95 a 100 por ciento.

La evaluación deberá de identificar al menos alguna alternativa para mejorar la eficiencia como la uniformidad, lo cual puede ser probado con SIRMOD. Los problemas más fáciles de identificar serían la aplicación en exceso o en déficit de agua, pobre distribución del agua infiltrada a lo largo de la longitud del riego y significativo escurrimiento o percolación.

El parámetro más importante en riego por superficie es el gasto de entrada; así, el gasto en un riego afectará significativamente el tiempo de avance, el volumen de escurrimiento y peligros de erosión. Con la utilización de gastos grandes, las pérdidas por escurrimiento potencial se maximizan (excepto para riego por cuadros), así como las de erosión al suelo; sin embargo, en sentido contrario, se reduce el tiempo de avance y por lo tanto se reduce la variación del tiempo de oportunidad a lo largo de la longitud del riego. Con el fin reducir el escurrimiento, tanto en melgas como surcos, se puede utilizar un gasto de avance (grande), reduciéndolo después, a uno de humedecimiento. Sin embargo, el escurrimiento puede ser colectado y reutilizado después.

Independientemente del gasto de entrada que se use, el tiempo de corte ideal es aquel que corresponda a una lámina de riego infiltrada en la parte baja de la longitud de riego igual a los requerimientos de riego. Por otro lado, el gasto y el tiempo de corte, son dos parámetros operacionales de tipo hidráulico, de los cuales, el segundo es el más fácil de modificar. Nuevamente, y de acuerdo con esto, para maximizar el funcionamiento del sistema de riego, deberá ser conocida la interrelación existente entre el tiempo de corte y el gasto.

Por otro lado, el riego por superficie es altamente dependiente de la topografía del terreno. Lo anterior es debido a que las ondulaciones reducen avance del agua concentrándose en las depresiones; por otro lado, los puntos altos del terreno se tornan salinos. No es tan simple el aplicar la lámina de riego apropiada, debido a que con más frecuencia se aplican lámina de riego mayores. La nivelación de precisión es un aspecto importante para mejorar la operación de los sistemas de riego, particularmente en melgas y cuadros. De la misma manera, la preparación de surcos necesita ser dirigida a la hechura de canales regulares en forma, de tal manera que se apliquen láminas de riego uniformes. En otras palabras, la preparación del terreno deberá ser considerada como una parte integral del sistema de riego y no tratarla como una operación independiente.

5.5. DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO POR SUPERFICIE

5.5.1. Proceso básico de diseño.

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.

5.5.2. Diseño preliminar.

La operación del sistema deberá de ofrecer suficiente flexibilidad para aplicar el agua a los cultivos en cantidades y frecuencias variables de tal manera que le permita al regador capacidad de manejar la humedad del suelo para máxima producción, así como la conservación de agua, energía y mano de obra. El agua de riego puede ser entregada en forma continua o a intervalos, de tal manera que el gasto y su duración de entrega puede ser modificado. En esos casos, la flexibilidad en frecuencia de riego es limitada por la disponibilidad de agua o por la capacidad de organización entre los usuarios del sistema. Los sistemas que trabajan bajo demanda, deberán de tener mayor flexibilidad que aquellos que trabajan bajo entrega continua o en rotación. En la etapa de diseño preliminar, y con el fin de satisfacer una frecuencia de riego óptima, se deberá de evaluar los límites de disponibilidad de agua en la fuente de abastecimiento.

El siguiente paso en el proceso de diseño involucra la colección y análisis del clima, suelo y patrón de cultivos, con el fin de estimar las demandas de riego. A partir de este análisis, se deberá de estimar la cantidad de agua que el sistema deberá de proveer durante la estación de crecimiento de los cultivos. Comparando las demandas de riego de los cultivos con la capacidad de entrega del sistema siguiendo una frecuencia variable, se puede producir una alternativa de entrega de agua. Cualquiera de los criterios (demanda de los cultivos o disponibilidad de agua) que gobierne una política de operación a nivel de campo,

la información disponible en esta etapa del proceso definirá las limitaciones de tiempo y lámina de riego durante la estación de crecimiento.

El tipo de sistema de riego seleccionado para la pequeña propiedad deberá ser cuidadosamente planeado. El riego por surcos es favorecido en terrenos con pendiente bidireccional (longitudinal y horizontal), cultivos en surcos y con gastos pequeños. A diferencia de lo anterior, las melgas y cuadros, son favorecidos en terrenos casi planos, gastos grandes y láminas de riego por aplicar relativamente más grandes. Grandes aciertos en el manejo del agua de riego se pueden lograr donde la flexibilidad en frecuencia y lámina de riego son posibles.

5.5.3. Diseño detallado.

A diferencia del diseño preliminar, el proceso de diseño detallado involucra la determinación de pendientes del terreno, gasto unitario, duración, localización, tamaño de las estructuras de control y entrega; así como la prevención de otras facilidades para el control de los problemas de drenaje necesarias.

La nivelación del terreno frecuentemente es la alternativa de mejoría a los sistemas de riego más cara, sin embargo, es un prerrequisito para lograr un buen funcionamiento del mismo. Generalmente, la mejor estrategia de nivelación (movimiento de tierra) es hacerla tan pequeña como sea posible. Se presentan excepciones a lo anterior, cuando por otras consideraciones específicas toca cambiar de método de riego, por ejemplo, el riego por cuadros puede traer suficientes beneficios para justificar el movimiento de tierra necesaria.

Si el campo tiene una pendiente general en dos direcciones, la nivelación para riego por surcos generalmente se basa en un plano de mejor ajuste a través de las elevaciones en el campo. Lo anterior minimiza el movimiento de tierra en el campo, o cuando menos las pendientes en la dirección normal son grandes, no siendo necesario el terraceo; el caso contrario sucede con el riego por melas, las

cuales demandan de pendiente cero en dicha dirección. Así, la pendiente de la melga usualmente obedece a un mejor ajuste del sub-plano o franja. Por otro lado, los cuadros, son a pendiente cero en ambas direcciones, siendo de forma rectangular. En este caso, y con el fin de reducir costos de nivelación, el cuadro deberá de tener su mayor longitud en el sentido de la menor pendiente natural del terreno.

El proceso de diseño detallado inicia y termina con el calculo de la pendiente, la cual es una variable de entrada a SIRMOD como pendiente de diseño, y que necesita ser calculada con otro software. Al inicio, la topografía es determinada para evaluar las pendientes del terreno en la dirección que se espera se mueva el agua. Lo anterior es importante debido a que de aquí se deriva el movimiento de tierra necesario. En efecto, el análisis mencionado anteriormente y sujeto a la evaluación es suficiente. Usando esta información en conjunto con la lámina de riego necesaria, y derivada de las necesidades de riego de los cultivos, el diseño detallado se dirige hacia la selección de gastos unitarios, su duración y eficiencia de aplicación (máxima), lo cual debe de estar continuamente monitoreado desde un punto de vista práctico.

La longitud de riego viene a ser una variable de diseño, la cual, nuevamente representa una filosofía de trabajo del diseñador que deberá de ser considerada. En áreas con agricultura mecanizada y posiblemente en aquellas manejadas con fuerza animal, las tablas de riego rectangulares largas son preferidas, en comparación con aquellas más cortas, exceptuando en áreas cultivadas con arroz. Este concepto tiene su base en el tiempo que dura la maquinaria en dar la vuelta durante su operación y su relación con el rendimiento obtenido. En los casos de grandes longitudes, el rendimiento de la maquinaria es menor.

El siguiente paso en el diseño detallado es la reconciliación entre el gasto de entrega y la disponibilidad del volumen en la fuente de entrega. En áreas pequeñas, la disponibilidad total de agua, puede representar una cobertura

satisfactoria cuando se regó el campo total simultáneamente. Sin embargo, la situación general es que el campo de una finca deberá ser dividida en partes (tablas y tendidas), y regar de una en una (de melga en melga o de cuadro en cuadro o de grupo en grupo de surcos). Esta subdivisión de tablas deberá de ajustarse a las dimensiones de la finca, así como a la disponibilidad de agua.

Una vez que las dimensiones del campo y los parámetros de flujo han sido formuladas, la superficie del sistema de riego deberá de ser estructurada. Para la aplicación de agua se pueden usar sifones o boquillas con elementos de control asociados, los cuales deberán de ser dimensionados apropiadamente para condiciones de campo. Si por alguna causa existe escurrimiento en un sistema de riego, también deberán de existir los medios suficientes para su remoción. En muchos sistemas, la automatización podría ser una buena alternativa, sin embargo, esto es un elemento que SIRMOD en la actualidad no cuenta.

Los algoritmos de diseño en SIRMOD utilizan ambos la metodología de balance volumétrico y la metodología de simulación. La metodología de balance volumétrico se usa para calcular los valores óptimos de gasto y tiempo de corte para la configuración seleccionada por el diseñador. La metodología de simulación puede ser usada para simular lo diseñado, para así asegurarse que el sistema de riego funcione como se ha diseñado.

5.6. DOS CÁLCULOS BÁSICOS DE DISEÑO.

La diferencia entre una evaluación y un diseño 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), la geometría de flujo, pendiente del terreno y longitud de riego, se determina el avance y la recesión; una vez hecho lo anterior el funcionamiento del sistema para varios niveles de gasto y tiempos de corte es determinado. Por lo anterior, se puede asegurar, que los dos cálculos más importantes en riego por superficie son los siguientes: (1) tiempo de avance; y (2) tiempo de corte.

5.6.1. Calculo del tiempo de avance.

Para evaluar el tiempo que tarda el agua para cubrir la superficie del terreno, tiempo de avance (T_L) se necesita conocer al menos, la trayectoria de avance. Las variables de entrada incluyen el gasto (Q_o), longitud de riego (L); coeficientes de infiltración (k , a y f_o), pendiente del terreno (S_o) y área hidráulica (A_o).

5.6.2. Calculo del tiempo de corte.

Al darse el corte de riego, el agua que se encuentra sobre la superficie del suelo, se drena o se da la recesión de la misma. Por otro lado, si en el campo se encuentra un bordo (cerrado aguas abajo), la recesión es una función de la infiltración y no es necesaria su determinación directamente; sin embargo, si no existe bordo, entonces es necesario determinar el tiempo de oportunidad que esta involucrado durante la fase recesión y ajustar el tiempo de corte correspondiente.

La Asunción clave en la determinación del tiempo de corte es que el diseño del sistema tiene su base en proporcionar el agua faltante en el perfil del suelo, en la parte baja de la longitud de riego.

Con la construcción del bordo aguas abajo en un sistema de riego por cuadros, melgas o surcos, provee al diseñador y operador la capacidad de lograr una eficiencia de aplicación, comparable con la lograda con los sistemas de riego por aspersión y goteo. Debido a que los sistemas de riego por aspersión y goteo

no tienen que transportar el agua a través de la superficie del suelo, es más fácil manejarlos con más altas eficiencias.

Así, como los sistemas de riego con bordo aguas abajo tienen la capacidad de alcanzar más altas eficiencias; también, éstos representan un mayor riesgo para el agricultor; por ejemplo, aun un pequeño error en el tiempo de corte del riego, puede resultar en un gran daño para el cultivo. Por lo anterior, todos los sistemas de riego por superficie con bordo aguas abajo, deberán ser diseñados con facilidades para desalojar un exceso de agua del terreno. De otra forma, el diseñador deberá tener el suficiente criterio como para dar su punto de vista a través del manejo del riego, sin provocar acumulación de agua, aguas abajo. Esto es uno de los grandes retos que tiene que afrontar el técnico que trabaje en Transferencia de Tecnología en Riego por Superficie.

Algo importante; típicamente en los sistemas de riego por superficie con bordo aguas abajo, el corte de riego se da antes de que la fase de avance haya terminado.

El ejemplo más típico es el riego por avance; en el cual, el corte del riego se da cuando el agua ha cubierto del 80 al 90 por ciento de la longitud de riego; de esta manera, el 20 o 10 por ciento restante de la longitud es cubierto por el remanso del agua. Una mala estimación del tiempo de corte puede provocar un déficit o exceso de agua (como consecuencia la necesidad de facilitar drenaje) aguas abajo.

El dilema para el diseñador, en un sistema de riego por superficie con bordo aguas abajo, es determinar el tiempo de corte de riego. En la práctica, la decisión del tiempo de corte, es hecha en base al comportamiento del avance. Lo anterior puede ser altamente variable, debido a que depende de las características de infiltración del suelo, rugosidad de la superficie, gasto unitario, pendiente del terreno y longitud, y lámina de riego requerida. Hasta el desarrollo y verificación de los modelos de cero-inercia e hidrodinámico, no existe forma de predecir la influencia de estos parámetros o evaluar algunos criterios de diseño y operación.

5.7. CHEQUEO DE LIMITACIONES DE DISEÑO.

El proceso para seleccionar Tiempo de corte (T_{co}) y gasto unitario ó total (Q_o) en un sistema de riego con bordo aguas abajo es muy simple. Sin embargo, así como la intuición lo dice, dicho proceso no puede trabajar bien en todos los casos, necesitando por lo tanto ser revisado. El riesgo que se sigue es que parte del campo no quede bien regado, Así, para seleccionar (Q_o), como método más conservador es mejor que usar un método más riguroso como lo sugiere Walker (1989), con el cual se sobre irrigaría el campo. El primero es conservador en términos de impacto en el rendimiento de los cultivos debido al estrés del agua en el suelo, sin embargo, éste ignora los problemas potenciales con la excesiva acumulación de agua en la parte baja.

Las limitaciones específicas de éste método de diseño para melgas con bordo aguas abajo, no han sido ampliamente exploradas, Sin embargo, éste ha sido evaluado dentro de un amplio rango de condiciones, respecto a características de infiltración desde suelos arcillosos a suelos arenosos,-valores para diferentes tipos de suelos como una función del numero de familia del Natural Resources and Conservation Service (NRCS) 0.05 a 2.0, longitudes de riego de 100 a 800 metros, pendientes del terreno de 0.0 a 0.005 m/m y láminas de riego requeridas de 0.10 a 0.30 metros.

Con el punto de control en la cabecera del terreno, la utilidad y veracidad de este procedimiento pueden estar relacionadas a la eficiencia de requerimiento, (E_r) definida como la relación del volumen de agua aplicado y el volumen requerido, (V_{req}) Para propósitos de diseño, el valor de (E_r) debería de ser cuando menos de 90 a 95 por ciento. Con este criterio (basado en el valor de (E_r), las limitaciones de tipo práctico sobre el uso de este procedimiento simplificado, son las siguientes:

1. El límite superior sobre infiltración deberá ser la curva de infiltración Natural Resources and Conservation Service (NRCS) número 1.0, o lo equivalente a un suelo franco arenoso.

2. La pendiente del terreno deberá ser entre 0.10 y 0.01 por ciento (límite superior e inferior respectivamente).
3. El límite superior práctico en Lámina de riego deberá ser 0.20 metros, mientras que el límite inferior deberá ser de 0.10 m.
4. Longitudes de riego hasta 800 metros pueden ser aplicadas para suelos de arcillosos a franco limo arcillosos (Natural resources and Conservation Service curvas NRCS de 0.25 a 0.50), mientras que suelos más ligeros deberán ser limitados a longitudes de 400 metros.

Aun con estas limitaciones en mente, el procedimiento simplificado proveerá algunos diseños aceptables, pero muy alejados de dichos límites.

Existen dos restricciones más que deberán ser consideradas para todos los sistemas de riego por superficie, incluyendo melgas con bordo aguas abajo. Velocidades de flujo arriba de 12 a 15 y de 10 a 12 metros / minuto en suelos estables e inestables, causarán excesiva erosión en la superficie del terreno respectivamente. En melgas con bordo aguas abajo, esta condición puede ocurrir con lámina de riego menores de 0.1 metros y pendientes arriba de 0.1 por ciento. En viejos sistemas de riego por superficie, antes de la era del láser y nivelación, también se recomendaban bajos niveles de velocidad, con el fin de evitar erosión acanalada, lo cual viene a ser un problema cuando se pretende aplicar láminas de riego mayores de 0.20 metros, en suelos de textura pesada.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. MATERIALES.

6.1.1. Localización Geográfica

El área de estudio se encuentra ubicada dentro del Municipio de Francisco I. Madero, Coah; carretera Gómez Palacio Dgo. - Fco. I. Madero Coah. La pequeña propiedad El Porvenir la cual se encuentra cerca al Ejido Porvenir del Municipio de Fco. I. Madero, Coah. Con una longitud de 103° 11'9", una Latitud de 25° 58' 02" y una altitud de 1150 msnm.

6.1.2. Clima

De acuerdo con el sistema de clasificación de Copen modificado por (García, 1973), correspondiente 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 en los últimos 20 años es de 20.3 °C, con un máximo de 36.6 °C y un mínimo de 5.7 °C, cada año se presenta un periodo con posibilidades de heladas que va desde el mes de Noviembre hasta el mes de Marzo (SARH, 1994).

6.1.4. Precipitación

El promedio de precipitación pluvial anual en los últimos años es de 240 mm, fluctuando entre 160 mm en años secos; hasta 430 mm en años húmedos (SARH, 1994).

6.1.5. Infraestructura, Superficie y Patrón de cultivo

La pequeña cuenta con una superficie de 90 has. De las cuales se explotan 70.5 has de forrajes, como infraestructura de riego, cuenta con un estanque revestido con una capacidad de 2700 m³ y un sistema de válvulas alfalferas con capacidad para regar toda la superficie las cuales operan a partir de un rebombeo con capacidad de 120 lps; el sistema opera a partir de un pozo profundo con un gasto total de 39 lps, también cuenta con derecho de agua de río, de la superficie regable existen melgas de 260m y 123m de largo con ancho de 22m con pendientes variadas de (-2.16 a 10.3 cm/100m), el tipo de suelo predominante es migajon arcilloso.

6.1.6. Materiales

- Nivel automático (Nikon 750)
- Estadales
- Tripie
- Cinta métrica
- Barrena Vehimeyer
- Barrena tipo California
- Balanza electrónica
- Horno de microondas
- Jarros de barro
- Tina de plástico (20 lts)
- Cronometro
- Computadora
- Impresora
- Programa de computo (SIRMOD)

6.2. METODOLOGÍA:

Para la realización de una evaluación del predio se necesita conocer varios datos del mismo y así poder generar alternativas de solución. A continuación se describen:

1.- Determinación de la pendiente.

Consiste en seleccionar una melga, a la cual se le medirá el largo y ancho, así mismo, se debe procurar que tenga características representativas del tipo de suelo, si existen varios tipos. Colocar estacas a cada 20m, para formar estaciones a lo largo de la melga, obtener lecturas con un nivel fijo de cada estación, para determinar la pendiente promedio y su variación a lo largo de la melga mediante una regresión lineal.

2.- Determinación del contenido de humedad.

Para determinar el contenido de humedad en el suelo se empleó el método gravimétrico, con una barrena tipo California se toma cada una de las muestras, se colocan en un recipiente, se pesan en una balanza electrónica, se secan esto se hace con un horno de microondas, después se vuelven a pesar, por diferencia de peso del suelo húmedo y del suelo seco se obtiene el contenido de humedad que existe en el suelo y se expresa en por ciento. Se realizaron muestreos antes y después del riego, se muestrearon cuatro puntos en la melga con cuatro estratos a cada 30cm. Con una profundidad de 0 a 120cm.

3.- Determinación del gasto aplicado.

Se determinó por el método de aforo volumétrico que consiste en aforar cada una de las compuertas, con una tina de volumen conocido se coloca debajo del chorro de agua que esta saliendo por la compuerta y con un cronometro se toma el tiempo de llenado de la tina, para determinar el Gasto (Q), existe la relación de volumen sobre tiempo y sus unidades son litros por segundo (lps).

4.- Tiempo de avance.

Con un cronometro se registra el tiempo al momento que se abren las compuertas sobre la superficie que se va a regar (tiempo de inicio), posteriormente se registra el tiempo que tarda el agua en llegar a cada estación hasta concluir con la ultima estación, por ultimo se registra el tiempo de corte. El tiempo de avance es hasta que el agua cubre el total de la superficie a regar.

VII. RESULTADOS Y DISCUSION:

Una vez realizado el diagnostico se procesa y analiza los datos, se introducen al modelo de simulación (SIRMOD), ya que a partir de este modelo se generan las recomendaciones que deberán aplicarse posteriormente a la parcela. Para la pequeña propiedad (El Porvenir) las recomendaciones generadas y a la vez implementadas por el Productor, se recomendó un sistema de riego por compuertas (Delgado 2000), el cual funciona a partir de un rebombeo con capacidad de 120 lps, el cual fue diseñado para irrigar 90 has, por lo cual es necesario reducir las melgas a un largo de 130 m y 123 m, con un ancho de 18m ó 22 m, pero por el tipo de maquinaria con que cuenta se estandarizo toda la superficie a 20m de ancho con 3 por ciento de pendiente, manejar un solo frente de riego, el tiempo de riego para suministrar el agua requerida por el cultivo es de 54 min. El tiempo de avance es de 65 min. Con esto se obtienen las siguientes eficiencias de riego: Eficiencia de aplicación 98 por ciento, Eficiencia de requerimiento 98 por ciento, Eficiencia de distribución 88 por ciento, por lo tanto la eficiencia global es de 84 por ciento.

De acuerdo con las evaluaciones realizadas una vez que se tomaron en cuenta las recomendaciones se encontró: Para la primera evaluación realizada el tiempo de riego 42 min. el tiempo de avance fue de 65 min. Las eficiencias obtenidas fueron las siguientes: Eficiencia de aplicación 98 por ciento, Eficiencia de requerimiento 78 por ciento, Eficiencia de distribución 70 por ciento, por lo tanto la eficiencia global fue del 53 por ciento.

Para la segunda evaluación realizada el tiempo de riego 49 min. Por lo tanto el tiempo de avance fue de 59 min. Las eficiencias obtenidas fueron las siguientes: Eficiencia de aplicación 98 por ciento, Eficiencia de requerimiento 73 por ciento, Eficiencia de distribución 90 por ciento, por lo tanto la eficiencia global fue del 64 por ciento.

Cuadro 1. Análisis de las evaluaciones realizadas en la P.P. El Porvenir

	Diagnostico	Recomendaciones
N° de Tabla	II	II
Largo	132 m	132 m
Ancho	22 m	20 m
Gasto	0.078 m ³ /seg.	0.12 m ³ /seg.
Melgas	43	48
Sup. Regada	12.6852 ha	12.6852 has.
Días de Riego por turno de 6 h.	10.39 días	7.2 días
Volumen Aplicado	18322.2 m ³ .	17496 m ³ .
Tiempo de Riego	87min	54min
Ahorro de agua en la tabla II (m ³) =		826 m ³ .

Cuadro 2. Análisis de las evaluaciones realizadas en la P.P. El Porvenir

	Diagnostico	Recomendaciones
N° de Tabla	III	III
Largo	270 m	130 m
Ancho	22 m	20 m
Gasto	0.078 m ³ /seg.	0.12 m ³ /seg.
Melgas	35	80
Sup. Regada	20.8062 ha	20.8062 ha
Días de Riego por turno de 6 h.	29.16 días	12 dias
Volumen Aplicado	49,140 m ³ .	31,104 m ³ .
Tiempo de Riego	300 min	54min
Ahorro de agua en la tabla III (m ³) =		18,036 m ³ .
Ahorro total en las 2 tablas (m³) =		18862.2 m³.

Con el ahorro de agua obtenido, la bomba tiene un descanso de 6 días, por mes, disminuyendo el consumo de energía eléctrica.

De acuerdo a los resultados anteriormente mencionados en los cuadros 1 y 2, la pequeña propiedad El Porvenir cuenta con un pozo profundo cuyo gasto es de 39 lps , la superficie total del predio es de 90 Has de las cuales se explotan 70.5 Has para forrajes, tiene un estanque revestido con capacidad de 2700m³, el sistema de riego se realiza mediante sifones a partir de canales revestidos con capacidad para conducir 130 lps, largo de las melgas es de 260m y 123m con un ancho de 22m, se manejan dos frentes de riego y los turnos de riego son de 6 hrs, con un gasto unitario de 3.5 lps/m, así mismo las perdidas de agua por conducción son de 0.6 lps/100 m, en cuanto a la nivelación del terreno se tienen pendientes variadas los rangos oscilan de (-2.16 a 10.3 cm / 100m), el tiempo de riego en las melgas mas cortas es de 150 min. mientras que en las mas largas es de 300 min. el tipo de suelo predominante pertenece a un migajon arcilloso. Por lo tanto las eficiencias corresponden a: eficiencia de aplicación 98 por ciento, eficiencia de requerimiento 30 por ciento, eficiencia de distribución 60 por ciento, y la eficiencia global es de 18 por ciento.

Una vez realizado el diagnostico se procesa y analiza los datos, se introducen al modelo de simulación (SIRMOD), ya que a partir de este modelo se generan las recomendaciones que deberán aplicarse posteriormente a la parcela. Para la pequeña propiedad (El Porvenir) las recomendaciones generadas y a la vez implementadas por el Productor, se recomendó un sistema de riego por compuertas (Gerardo 2000), el cual funciona a partir de un rebombeo con capacidad de 120 lps, el cual fue diseñado para irrigar 90 has, por lo cual es necesario reducir las melgas a un largo de 130m y 123m, con un ancho de 18m ó 22m, con un 3 por ciento de pendiente, manejar un solo frente de riego, el tiempo de riego para suministrar el agua necesaria requerida por el cultivo es de 54 min. El tiempo de avance es de 65 min. Con esto se obtienen las siguientes eficiencias de riego: Eficiencia de aplicación 98 por ciento, Eficiencia de requerimiento 98 por ciento, Eficiencia de distribución 88 por ciento, por lo tanto la eficiencia global es de 84 por ciento.

El sistema de riego por compuertas esta funcionando de acuerdo a lo estimado, superficie cultivada 90 has con (forrajes), largo de melgas 130m y 123m con un ancho de 20m (debido a que la maquinaria que se tiene se ajusta a este ancho), la pendiente que se dio fue del 3 por ciento, manejando un solo frente de riego, con un gasto unitario de 6 lps/m. Para la primera evaluación realizada el tiempo de riego 42 min. el tiempo de avance fue de 65 min. Las eficiencias obtenidas fueron las siguientes: Eficiencia de aplicación 98 por ciento, Eficiencia de requerimiento 78 por ciento, Eficiencia de distribución 70 por ciento, por lo tanto la eficiencia global fue del 53 por ciento.

Para la segunda evaluación realizada el tiempo de riego 49 min. Por lo tanto el tiempo de avance fue de 59 min. Las eficiencias obtenidas fueron las siguientes: Eficiencia de aplicación 98 por ciento, Eficiencia de requerimiento 73 por ciento, Eficiencia de distribución 90 por ciento, por lo tanto la eficiencia global fue del 64 por ciento.

COMENTARIOS DE UN PRODUCTOR

El tema eficiencia en el manejo del agua nos interesó, pues este es un recurso primordial en la empresa ganadera.

Cuando empezaron a visitar el rancho; mi reacción fue de indiferencia; conforme avanzo el estudio, me presentaron resultados preliminares donde mostraban solo errores por deficiencias en el manejo; para mi fue difícil aceptarlo, pues durante muchos años el área agrícola funcionó de esa manera y económicamente era rentable. Menos me gusto cuando dieron el informe completo en el cual concluyeron que todas las pendientes en las melgas estaban diferentes, aunque supuestamente nosotros las habíamos trazado bien; en ese momento no le di importancia al informe y lo archivé.

Tiempo después retomando el tema pregunte cual era la factibilidad de mejorar las condiciones de nuestro rancho porque me interesaba tener un

área agrícola eficiente, para lograrlo me comentaron, era necesario capacitar a los regadores así como a las personas involucradas en el uso del agua. En ese momento, nosotros teníamos melgas de 260m de largo y otras de 123m, pero ya habíamos valorado la diferencia entre unas y otras.

Después de una plática, vimos dos diferencias básicas en el rancho: la conducción del agua y la infiltración a lo largo de las melgas; para nosotros era una costumbre dejar alfalfa sin regar por escasez de agua, después para solucionar los problemas, vimos la necesidad de modernizar el riego.

Así, trabajamos en un proyecto el cual modificamos varias veces por el tipo de terreno, hasta encontrar el mejor manejo. Ahora, tenemos todas las tendidas estandarizadas, con el mismo largo y ancho de melga y con la misma pendiente, resultado del programa SIRMOD, de acuerdo al gasto y eficiencia máxima que podíamos obtener con el ancho y largo de las tendidas.

Ahora que estamos usando la tubería, regamos un 50 por ciento más de lo que se regaba en las melgas largas, esto es, las tablas con melgas cortas se conservaron así y las tablas largas se partieron por la mitad, incluso, algunos días se regaban las tendidas largas menos de lo proyectado, debido a lo lejos que estaba el estanque, por las partes de conducción que teníamos; a la hora de instalar la tubería las personas involucradas en el proyecto se ponían la camiseta de nuestra empresa y no de la empresa vendedora, ya que nos defendían y asesoraban al grado de ellos tomar decisiones de cómo y que era mejor.

También quiero recalcar el trabajo tan profesional que desarrollan las personas del proyecto, así como la importancia de que otros productores conozcan el programa SIRMOD y lo transmitan a los regadores que lo usan, (Issa, 2000).

VIII. CONCLUSIÓN

Por lo descrito anteriormente podemos concluir que se incremento la superficie cultivada (19.5 has), se tomaron en cuenta las recomendaciones generadas con el SIRMOD, los resultados obtenidos en las dos primeras evaluaciones no se ajustan con lo proyectado en las recomendaciones por que no se tomo en cuenta el tiempo de riego que se recomendó (54min).

Otro factor que influyo fue la lluvia, pero se observa que los resultados van acorde con lo estimado, si se aplica el tiempo de riego recomendado, y se cumple con el objetivo proyectado, con lo cual se reduce el tandeo, pasando de 39 días a 19 días y un ahorro en volumen aplicado de 18,862.2 m³ de agua.

IX. BIBLIOGRAFÍA.

- Clemmens, A. J., W. R. Walker, D. D. Fangmeir and L. A. Hardy. 1998. "Design of surface systems". Chapter 14 in: Design and Operation of farm Irrigation Systems. ASAE. Monograph Number 3 (2nd Edition), R. L. Elliott, ed. St. Joseph, Michigan.
- Delgado R. G., Ramírez C. E., González Q. J., 2000. Metodología de Diseño de Sistemas de Riego de Tuberías con compuertas. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna.
- ISSA LOPEZ DE LARA, GAZI, 2000. Agropecuaria Laguna, publicación bimestral de la Sociedad Cooperativa Agropecuaria de la Comarca Lagunera, S.C.L. Pp. 9
- McClymont D. J. and R. J. Smith. 1996. A Infiltration Parameters from Optimization on Furrow Irrigation Advance Data. Irrigation Science.
- Merriam, J. L. and Clemmens, A. J. 1985. Time rate infiltration depth families. p. 67-74 in Development and Management Aspects of Irrigation and Drainage, Spec. Conf. Proc., Irrig. and Drain. Div., ASCE, San Antonio, TX, July.
- US Department of agriculture, Natural Resources and Conservation Service. National Engineering Handbook, 1974. Section 15, Chapter, Border Irrigation. US Government Printing Office, Washington, DC.
- 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.
- Walker, W. R. and G. V. Skogerboe. 1987. Surface Irrigation: "Theory and Practice". Prentice-Hall Inc., Engleood Cliffs, New Jersey. 386 pp.

X. ANEXOS

ANEXO 1

Cuadro 3. Valores de "a", "k" y "fo" para la Ecuación de Kostiaikov-Lewis como una Función del Número de la Familia de Curva, NRCS, para Riego Continuo y Riego por Pulsos, (primer riego y riegos subsecuentes).

Número de Familia, NRCS	Tipo de Suelo	a	k m ³ /min ^a	fo m ³ /min
0.01	Muy Arilloso	0.200	0.0044	0.000011
0.05	Aricilloso	0.258	0.0043	0.000022
0.10	Arcilloso	0.317	0.0048	0.000035
0.15	Ariclla Ligera	0.357	0.0036	0.000046
0.20	Franco Arcilloso	0.388	0.0035	0.000057
0.25	Franco Arcilloso	0.415	0.0034	0.000068
0.30	Franco Arcilloso	0.437	0.0033	0.000078
0.35	Limoso	0.457	0.0033	0.000088
0.40	Limoso	0.474	0.0032	0.000098
0.45	Franco Limoso	0.490	0.0032	0.000107
0.50	Franco Limoso	0.504	0.0032	0.000117
0.60	Franco Limoso	0.529	0.0032	0.000136
0.70	Franco Limoso	0.550	0.0032	0.000155
0.80	Franco Arenoso	0.568	0.0032	0.000174
0.90	Franco Arenoso	0.584	0.0032	0.000193
1.00	Franco Arenoso	0.598	0.0033	0.000212
1.50	Arenoso	0.642	0.0034	0.000280
2.00	Arenoso	0.672	0.0036	0.000325
4.00	Arenoso	0.750	0.0042	0.000390

ANEXO 2

SIRMOD Avance/Recesión/Infiltración

Nudo	Distancia de la cabecera (m)	Tiempo de Avance (min)	Tiempo de Recesión (min)	Infiltrada Tirante (m)
0	0.00	0.00	139.20	0.17761
1	15.60	4.35	143.55	0.17761
2	23.31	8.70	143.55	0.17436
3	31.20	13.05	143.55	0.17319
4	38.33	17.40	143.55	0.17115
5	44.85	21.75	143.55	0.16966
6	50.92	26.10	143.55	0.16475
7	56.64	30.45	143.55	0.16161
8	62.05	34.80	143.55	0.15791
9	67.19	39.15	143.55	0.15628
10	72.12	43.50	143.55	0.15065
11	76.84	47.85	143.55	0.14750
12	81.38	52.20	143.55	0.14296
13	85.76	56.55	143.55	0.13896
14	90.00	60.90	143.55	0.13484
15	94.10	65.25	143.55	0.13071
16	98.08	69.60	143.55	0.12628
17	101.94	73.95	143.55	0.12103
18	105.70	78.30	143.55	0.11678
19	109.36	82.65	143.55	0.11242
20	113.34	87.00	143.55	0.10793
21	116.63	91.35	143.55	0.10329
22	119.69	95.70	143.55	0.09849
23	122.20	100.05	143.55	0.09351
24	123.00	101.95	143.55	0.09127

Perfiles de Avance / Recesión / Infiltración (Ajuste)

ANEXO 3

SIRMOD Avance/Recesión/Infiltración

Nudo	Distancia de la cabecera (m)	Tiempo de Avance (min)	Tiempo de Recesión (min)	Infiltrada Tirante (m)
0	0.00	0.00	113.40	0.15828
1	13.55	2.70	116.10	0.15938
2	21.22	5.40	118.80	0.15916
3	28.60	8.10	121.50	0.15828
4	35.44	10.80	121.50	0.15718
5	41.84	13.50	124.20	0.15611
6	47.90	16.20	124.20	0.15506
7	53.66	18.90	126.90	0.15392
8	59.20	21.60	126.90	0.15270
9	64.53	24.30	126.90	0.15107
10	69.68	27.00	129.60	0.15045
11	74.67	29.70	129.60	0.14871
12	79.52	32.40	132.30	0.14722
13	84.24	35.10	132.30	0.14633
14	88.84	37.80	135.00	0.14494
15	93.33	40.50	135.00	0.14394
16	97.72	43.20	137.70	0.14263
17	102.02	45.90	137.70	0.14150
18	106.23	48.60	140.40	0.14030
19	110.36	51.30	140.40	0.13905
20	114.95	54.00	143.10	0.13794
21	118.89	56.70	143.10	0.13665
22	122.67	59.40	143.10	0.13481
23	126.23	62.10	145.80	0.13413
24	129.44	64.80	145.80	0.13215
25	130.00	65.33	148.50	0.13120

Perfiles de Avance / Recesión / Infiltración (Simulación)