

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

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**DIAGNÓSTICO INTEGRAL SOBRE EL USO Y MANEJO DEL
AGUA EN EL MÓDULO II “VILLA DEL NAZAS”,
NAZAS DURANGO.**

POR:

MARCO ANTONIO MORALES PUENTES

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MAYO DE 2009

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**DIAGNÓSTICO INTEGRAL SOBRE EL USO Y MANEJO DEL AGUA EN EL
MÓDULO II "VILLA DEL NAZAS", NAZAS DURANGO.**

TESIS DEL C. **MARCO ANTONIO MORALES PUENTES** ELABORADA BAJO LA
SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORIA Y APROBADA COMO
REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

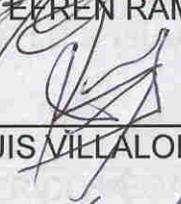
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

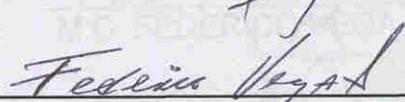
ASESOR PRINCIPAL


M.C. CARLOS EREN RAMÍREZ CONTRERAS

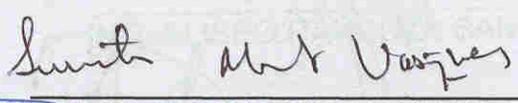
ASESOR


DR. JORGE LUIS VILLALOBOS ROMERO

ASESOR


M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

ASESOR


DR. JUVENTINO MORALES VASQUEZ

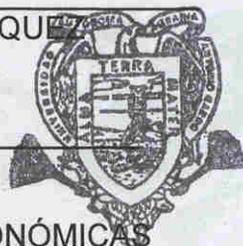

M.E. VICTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DE 2009



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DIAGNÓSTICO INTEGRAL SOBRE EL USO Y MANEJO DEL AGUA EN EL MÓDULO II "VILLA DEL NAZAS", NAZAS DURANGO.

TESIS DEL C. **MARCO ANTONIO MORALES PUENTES** ELABORADA BAJO LA
SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORIA Y APROBADA COMO
REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

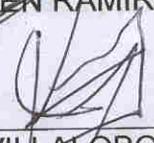
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

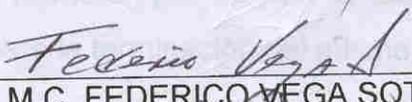
PRESIDENTE


M.C. CARLOS EFREN RAMÍREZ CONTRERAS

VOCAL


DR. JORGE LUIS VILLALOBOS ROMERO

VOCAL

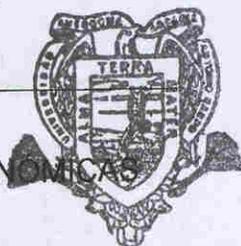

M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

VOCAL SUPLENTE


ING. ELISEO RAYGOZA SANCHEZ


M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DE 2009

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Terra Mater por darme la oportunidad de realizarme como profesionalista, por darme el conocimiento y las herramientas necesarias para luchar en la vida y por ser el medio necesario para conocer personas que fueron fundamentales para que se realizara este logro.

Al Departamento de Riego y Drenaje que fue donde se realizó la mayor parte de mi carrera por sus excelentes profesores investigadores que gracias a ellos, a su esfuerzo, apoyo y dedicación me encuentro ahora en un lugar que sin ellos no hubiera logrado.

Al Dr. Carlos Efrén Ramírez Contreras, por su apoyo incondicional en la colaboración, asesoramiento y revisión de la presente tesis, porque antes que mi maestro asido amigo y compañero.

Al Dr. Jorge Luis Villalobos Romero, por su gran ayuda en la revisión de este trabajo y por su sugerencia para la terminación del mismo.

Al Dr. Juventino Morales, por su gran ayuda en la revisión de este trabajo y por su sugerencia para la terminación del mismo.

A Todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron para que yo lograra este mi sueño.

DEDICATORIAS

A mi Dios:

Por concederme la oportunidad de lograr esta meta, por todos esos momentos maravillosos e inolvidables que he vivido, por la vida misma que me toco vivir que no la cambio por nada. Porque gracias a él estoy por concluir una etapa de mi vida y pidiéndole me lleve siempre a prestar ayuda a mis semejantes y principalmente dar amor y seguir superándome, .

A mis Padres:

María Luisa Puentes Pulido y Antonio Morales Sánchez, a ellos en especial dedico este trabajo, por ser el más grande apoyo que he conocido en mi vida, por las alegrías que siempre me brindan y por darme la herencia que jamás hubiese logrado sin su apoyo: el amor a la vida, amor al trabajo y sobre todo el amor a mi Dios. Gracias PADRES.

A mis Hermanos:

Luis Mario Morales Puentes, José Omar Morales Puentes y Misael Jacobo Morales Puentes, a todos ellos por el gran apoyo que incondicionalmente me brindaron en transcurso de mi carrera y que siempre estaré agradecido con ellos.

A mis Amigos:

Por alentarme para realizar este trabajo y por estar en las buenas y en las malas siempre conmigo, a todos ellos muchas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
4.1 Definición del Sistema de Riego.....	7
4.2. Sistema de conducción por canales.....	9
4.3. Concepto de uso eficiente del agua.....	9
4.4. Eficiencia del uso del agua en los distritos de riego.....	10
4.4.1. Eficiencia de almacenamiento.....	11
4.4.2. Eficiencia de conducción.....	12
4.4.2.1. Perdidas por evaporación.....	13
4.4.2.2. Perdidas por fugas.....	13
4.4.2.3. Perdidas por infiltración.....	14
4.4.2.4. Eficiencia de aplicación.....	14
4.5. Métodos de aforo del agua de riego.....	15
4.5.1. Aforo de agua.....	15
4.5.2. Métodos para la medición de caudales.....	15
4.5.2.1. Método del flotador.....	16
4.5.2.2. Determinación de la velocidad.....	16
4.5.2.3. Determinación del área del canal.....	18
4.5.2.4. Determinación del caudal.....	20
4.5.2.5. Método volumétrico.....	20
4.5.2.6. Método Sección – Velocidad utilizando el molinete digital.....	21
4.5.2.8. Método de Dos Puntos.....	23
4.5.2.9. Método de Seis Décimos.....	23
4.6. Eficiencia del riego por superficie y de otros sistemas de riego.....	23

4.7. Modelos para simulación del riego por superficie	24
4.8. Modelos numéricos del riego por superficie	25
V. MATERIALES Y METODOS	30
5.1. Diagnostico.....	30
5.2. Clima.....	30
5.3. Descripción del área de estudio, Módulo II de Nazas Durango.....	31
5.4. Patrón de cultivo.....	33
5.5. Longitud y superficie que riegan los canales de Módulo II Villa del Nazas, del municipio de Nazas Dgo.	34
5.6. Descripción de las unidades de muestreo.....	34
5.7. Diseño de alternativas.....	36
5.8. Calibración de parámetros del modelo.	40
6.1. Medición de superficie preparada y regada	42
6.2. Aforos en puntos de control.....	42
6.3. Eficiencias de conducción.....	43
6.4. Evaluación de sistemas parcelarios.	44
6.5. Avances de Riego.	45
6.6. Operación de las parcelas.	46
6.7. Análisis de la información	47
6.8. Relatividad de los componentes hidrológicos Estado de Coahuila.	52
6.9. Relatividad de componentes hidrológicos en el Estado de Durango.	54
VII. CONCLUSIONES	55
VIII.RECOMENDACIONES	56
IX. LITERATURA CITADA	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sección transversal de los canales de tierra y revestido.....	19
---	----

Figura 2. Imagen de los Estados de Coahuila y Durango, dentro del país.	31
Figura 3. Ubicación del Distrito dentro de los Estados de Coahuila y Durango.	32
Figura 4. Imagen del Módulo II de Nazas, Durango.	33
Figura 5. Ventana de idioma de trabajo del modelo SIRMOD.	36
Figura 6. Ventana de características de trabajo para surco o melga.	37
Figura 7. Ventana de parámetros hidráulicos de melga o surco.	38
Figura 8. Ventana de parámetros numéricos.	39
Figura 9. Ventana de comportamiento del riego.	40
Figura 10. Ventana de perfiles de avance y recesión.	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Factor de corrección de velocidad.	17
Cuadro 2. Patrón de cultivos del módulo II de Nazas, Dgo.	33
Cuadro 3. Longitud de los canales y superficie que irrigan.	34
Cuadro 4. Superficie programada y regada medida del módulo II, Nazas Dgo.	42
Cuadro 5. Aforos (lps) del riego de aniego , módulo II, Nazas.	43
Cuadro 6. Estadísticas de eficiencias en el módulo II de Nazas Dgo.	44
Cuadro 7. Estadísticas de la parcela de seguimiento.	46
Cuadro 8. Operación de las parcelas, módulo II.	46
Cuadro 9. Características hidráulicas de las parcelas de Nazas.	47
Cuadro 10. Información base para el módulo II, Nazas.	48
Cuadro 11. Comportamiento de los gastos hidráulicos y eficiencias del módulo II de Nazas.	48
Cuadro 12. Volumena diferentes niveles de operación del módulo de Nazas, Dgo.	49
Cuadro 13. Lamina de riego a diferentes niveles de operación, módulo II, Nazas.	49

Cuadro 14. Parámetros de comportamientos de las diferentes eficiencias, módulo II Nazas.	50
Cuadro 15. Componentes de balance hidrológico, Nazas.....	51
Cuadro 16. Relatividad de los componentes del balance hidrológico, módulo II, Nazas. .	51
Cuadro 17. Relatividad de los componentes hidrológicos en el Estado de Coahuila	53
Cuadro 18. Relatividad de componentes hidrológicos en el Estado de Durango.	54

DIAGNÓSTICO INTEGRAL SOBRE EL USO Y MANEJO DEL AGUA EN EL MÓDULO II “VILLA DEL NAZAS”, NAZAS DURANGO.

RESUMEN.

El presente documento se realizó con el objetivo de evaluar la eficiencia de conducción de canales principales e interparcelarios del módulo II, “Villa del Nazas” de Nazas Dgo., y evaluar a nivel parcela la eficiencia global de riego mediante un modelo de simulación matemática (SIRMOD) durante el ciclo agrícola primavera-verano 2008. Localizado ($25^{\circ}13'34''$ latitud norte y $104^{\circ}06'39''$ longitud oeste, 1250 metros sobre el nivel del mar).

La metodología aplicada fue a través de aforos en los canales y en parcelas seleccionadas, las velocidades del agua fueron medidas con el molinete electrónico marca aqua sport, el área se calculó por medio de secciones. Los aforos se realizaron en cada riego y se hicieron cuatro repeticiones de cada uno en algunos casos no se aforó porque hubo aportes de otros canales hacia un tercero.

Las parcelas demostrativas se eligieron de modo estratégico, de manera que fueran accesibles y representativas del módulo, la parcela uno está localizada en la zona compacta, perteneciente al canal Emiliano Carranza, la parcela dos se localiza en canal el Tongo y la parcela tres localizada el canal Santa Clara, a cada parcela se le hizo un estudio analizando los siguientes parámetros, pendiente del terreno, ancho y largo de las melgas, tiempo de

avance por medio de estaciones a cada 20 metros, para calcular avance de riego. Esto para poder comparar el comportamiento del agua a nivel módulo.

Según los autores, Palacios 1990 y Playán et al., 1996, la eficiencia en los sistemas de canales principales y laterales debe ser de un 60 por ciento, sin embargo, en el módulo II de Nazas Dgo., la eficiencia total de riego promedio fue de 74 por ciento.

Para mejorar eficiencias es necesario: Rehabilitación de la red principal, canales laterales, Cursos de capacitación a canaleros y administrativos a nivel módulo y actualización del padrón de cultivos, para tener un buen control de los mismos.

Palabras clave: Punto de control, eficiencia, acequia, melga, aforo, molinete, GPS, parcela.

I. INTRODUCCIÓN

En general, la eficiencia en la conducción del agua en las redes de distribución de los distritos de riego ha sido relativamente baja. Esto se debe a que la mayor parte de los canales y las estructuras de control no son adecuadas para mantener niveles constantes durante la distribución del agua, así como una deficiente conservación en las obras de infraestructura, lo que favorece las pérdidas operativas en la red (Palacios, 1989).

Se estima que en promedio en los Distritos de Riego del país se pierde un 40% del agua en la conducción; es decir la eficiencia media de conducción es del orden del 60%. No obstante, debe recordarse que no toda el agua se desperdicia, ya que parte va a los acuíferos y posteriormente puede ser nuevamente aprovechada (Palacios, 1989).

La eficiencia en el uso del agua en el riego se integra por varios componentes, considerando las pérdidas de éste recurso desde su almacenamiento, conducción y aplicación a las parcelas de los regantes. Es importante conocer como se definen estos componentes, así como la forma en que pueden mejorarse para lograr la optimización de este importante y escaso recurso.

Con el diagnostico integral del uso y manejo del agua se pretende mejorar la eficiencia de conducción y aplicación del agua rodada, así como hacer conciencia de la problemática actual y plantear alternativas de solución, a los problemas encontrados, en el modulo II "*Villa del Nazas*", Nazas, Durango.

II. Objetivo

Evaluar la eficiencia de conducción de canales e interparcelarios del módulo II, “Villa del Nazas” de Nazas Dgo.

Evaluar a nivel parcela la eficiencia global de riego mediante un modelo de simulación matemática (SIRMOD).

III. Hipótesis

1.- El módulo II tiene un comportamiento semejante a los módulos de los distritos de riego del Distrito 017, en cuanto a los valores de eficiencias en uso y manejo del agua.

2.- Con el diagnóstico integral al módulo II, se generan diferentes alternativas para incrementar la eficiencia de conducción y aplicación del agua.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Definición del Sistema de Riego.

Para Skogerboe y Merkley (1996), un sistema de riego es un conjunto de componentes cuyo objetivo principal es conducir el agua desde la fuente de abastecimiento y lograr una distribución equitativa hacia los productores, el cual, puede ser dividido en cuatro subsistemas principales: Fuente de abastecimiento, conducción y distribución; aplicación parcelaria y drenaje. Los autores consideran que el subsistema parcelario es el “corazón” de un sistema de riego, debido a que en este se realiza la función primaria del sistema, producir alimentos tanto para los seres humanos como para los animales. En este concepto, los subsistemas de suministro (fuentes, conducción-distribución) y drenaje apoyan al subsistema parcelario. Aunque esta, es una definición netamente física, los mismos autores señalan que aún cuando los cuatro subsistemas de riego hayan sido adecuadamente diseñados, la falta de un marco institucional y tecnológico adecuado para la operación del mismo, de acuerdo con el criterio del diseño, conducirá a su falla, o a niveles bajos de productividad. Por su parte, Hunt (1997) menciona que “un sistema de riego es un arreglo por el cual el agua se lleva de una fuente a una área que necesita agua para facilitar la producción de los cultivos”, agregando además, el

concepto de “tamaño” y “estructura de autoridad”, definiendo a autoridad como el derecho legítimo de ejercer poder, respecto al “tamaño” dice que es posible medirlo por el número de compuertas, superficie de riego y longitud de canales. En cuanto a la “estructura”, según él, se mide identificando la autoridad administrativa que incide en cada nivel de conducción-distribución del sistema de riego.

Las definiciones presentadas por Hunt (1997) y por Skogerboe y Merkley (1996) se consideran limitadas ya que solo identifican componentes físicos del sistema (fuentes, canales, drenes y parcelas) y no-físicas como la organización y la estructura de autoridad.

Con el fin de lograr una mejor definición del sistema de riego, de tal manera que se pueda identificar su sustentabilidad, se definirá como aquel sistema de producción bajo riego cuyos componentes principales son: la infraestructura de riego-drenaje, las parcelas de los usuarios y los usuarios mismos. En esta concepción, el componente hombre, usuario, es el componente principal, debido a que un sistema de producción bajo riego, deja de ser sistema si no existen los usuarios, además, los sistemas de riego, como sistemas de producción han sido creados para satisfacer las necesidades de los usuarios. En esta concepción, si no se logra hacer entender al usuario, a través de una capacitación integral (económica, social y ambiental) que él es el componente más importante, del sistema, difícilmente se puede lograr la

sustentabilidad del mismo. En sentido contrario, cuando se logra su convencimiento, el hombre comienza a ver a la infraestructura hidroagrícola y las parcelas como un medio para lograr una satisfacción plena.

4.2. Sistema de conducción por canales

Se compone de una obra de toma o compuerta que toma agua de una fuente de abastecimiento y la desvía de su curso a las obras de control subsecuentes (canales, compuertas) que guían el agua hasta las parcelas de cultivo y posteriormente es absorbida por la tierra o sale fuera de las estructuras de control (Palerm, 1999).

4.3. Concepto de uso eficiente del agua

El Concepto de ***“uso eficiente del agua”*** incluye cualquier medida que reduzca la cantidad de agua que se utiliza por unidad de cualquier actividad, y que favorezca el mantenimiento o mejoramiento de la calidad de agua (Joseph, 1981).

El uso eficiente del agua está muy relacionado con otros conceptos básicos del manejo actual de recursos ambientales, y en muchos casos, forma parte integral de ellos. De estos conceptos relacionados, tal vez el más arraigado es el de la conservación del agua. Este concepto se ha definido de muchas maneras, pero tal vez el concepto de (Baumann, 1979) sea el más atinado, o sea que el uso eficiente del agua es cualquier reducción o prevención

de pérdida del agua que sea de beneficio para la sociedad. Visto de esta manera, el uso eficiente del recurso es de suma importancia para la conservación. Al mismo tiempo, la definición de la conservación sugiere que las medidas de eficiencia deben tener sentido social, ambiental y económico, además de reducir el uso del vital líquido por unidad de actividad. Por último, el uso eficiente del agua es básico para el desarrollo sostenible (o sea, el uso de los recursos de la tierra por los habitantes de hoy) y para asegurar que haya suficientes recursos para generaciones futuras. El uso eficiente de los recursos es una forma de alcanzar las metas del desarrollo sostenible.

4.4. Eficiencia del uso del agua en los distritos de riego

La eficiencia en el uso del agua en los distritos de riego se integra por varios componentes, considerando las pérdidas de éste recurso desde su almacenamiento, conducción y aplicación a las parcelas de los regantes. Es importante conocer como se definen estos componentes, así como la forma en que pueden mejorarse para lograr la optimización de este importante y escaso recurso, en la mayoría de las zonas agrícolas de México (Palacios, 1989).

En forma general, se define como eficiencia en el uso del agua, a la relación entre el volumen de agua utilizado con un fin determinado y el volumen extraído o derivado de una fuente de abastecimiento con ese mismo fin. (Citado por Burman et al., 1981).

Expresado en forma funcional se tiene:

$$E_f = \frac{V_u}{V_e} 100 \quad (1)$$

Donde;

E_f = Eficiencia, adimensional

V_u = Volumen utilizado, m^3

V_e = Volumen extraído de la fuente de abastecimiento, m^3

Para el caso, se hará referencia a la eficiencia en el uso del agua para riego, por lo que la eficiencia general se puede dividir en varios componentes, siguiendo la propuesta de la Comisión Internacional de Riego y Drenaje, (citado por Burman et al., 1981). La eficiencia del uso del agua para riego, se puede dividir en tres componentes que son: la eficiencia de almacenamiento, la de conducción y de aplicación al riego

4.4.1. Eficiencia de almacenamiento

La eficiencia de almacenamiento, es la relación entre el volumen que se deriva para riego (V_d), entre el volumen que entra a un vaso de almacenamiento (V_e) para el mismo fin;

$$Es. = \frac{Vd}{Ve} 100 \quad (2)$$

Donde;

Es = Eficiencia de almacenamiento

Vd = Volumen derivado para riego m³

Ve = Volumen del vaso de almacenamiento m³

4.4.2. Eficiencia de conducción

Las causas de la baja eficiencia en los sistemas de riego por gravedad pueden ser muy diversas. No obstante, Palacios (1990), realizando mediciones en algunos de los sistemas de riego más importantes de México, concluyó que los principales orígenes son los siguientes.

La eficiencia en la conducción, es decir entre los almacenamientos y el sistema de distribución a nivel parcela, oscila alrededor del 60%. Se ha identificado que las principales causas de la pérdida son:

La eficiencia de conducción, es la relación entre el volumen de agua que se entrega a las parcelas para riego (Vp) y el volumen que se deriva de la fuente de abastecimiento (Vd);

$$Ec = \frac{Vp}{Vd} 100 \quad (3)$$

Donde;

E_c = Eficiencia de conducción

V_p = Volumen derivado a la parcela m^3

V_d = Volumen derivado de la fuente de abastecimiento m^3

Dentro de esta eficiencia existen otros factores que repercuten el buen funcionamiento de la red de conducción de los canales son: la evaporación, fugas, infiltración, mal manejo.

4.4.2.1. Perdidas por evaporación

Es volumen que se pierde en el trayecto, este se debe a la radiación solar que se ejerce sobre el agua, siendo esta pérdida menos notable.

4.4.2.2. Perdidas por fugas

Se produce por mal estado de las estructuras de los canales, desajustes de las compuertas, empaques deteriorados, etc.

4.4.2.3. Perdidas por infiltración

Son las de mayor importancia; depende de perímetro mojado, longitud del canal, coeficiente de infiltración, carga hidráulica.

4.4.2.4. Eficiencia de aplicación

Eficiencia de aplicación de agua podemos definirlo como la eficiencia en el uso del vital líquido, a la relación entre el volumen de agua utilizado con un fin determinado y el volumen extraído o derivado de una fuente de abastecimiento con ese mismo fin. En nuestro país, si bien hay abundancia de agua, su distribución no es regular; hay zonas con mucha abundancia y otras con escasez en ciertas épocas del año, pero la tecnología y el ingenio han hecho superarla esta problemática (USDA, 2000).

Para su cálculo se aplica la siguiente ecuación.

$$Ea. = \frac{Va}{Vd} 100 \quad (4)$$

Donde;

Ea = Eficiencia de aplicación

Va = Volumen de agua almacenado en el suelo en la raíz m³

Vd = Volumen de agua derivada de la boca toma m³

4.5. Métodos de aforo del agua de riego.

4.5.1. Aforo de agua

El aforo del agua consiste en medir el caudal que circula, en un determinado momento, en un canal de riego (USDA, 2000).

El aforo de agua es importante para:

1. Confirmar la ejecución del plan de operación.
2. Cobrar la tarifa volumétrica, según el volumen de agua que se entrega.
3. Evaluar el manejo del agua, para luego hacer mejoras.

4.5.2. Métodos para la medición de caudales

Los métodos más utilizados para medir caudales de agua en los diferentes sistemas de riego, tanto internacional como nacionalmente, son los siguientes (USDA, 2000):

1. Método del Flotador
2. Método Volumétrico
3. Método Sección – Velocidad utilizando el molinete

4.5.2.1. Método del flotador

Se utiliza en los canales y acequias, y proporciona solo una medida aproximada de los caudales; su uso es limitado debido a que los valores que se obtienen son estimativos del caudal, siendo necesario el uso de otros métodos de mayor precisión. Este método consiste en seleccionar un tramo del canal que sea recto y de sección transversal uniforme, de alrededor de 10 metros de largo, donde el agua fluye libremente. Se marca en el terreno la longitud seleccionada y se toma el tiempo que tarda el flotador en llegar, con el fin de conocer la velocidad que lleva el agua en esa sección (USDA, 2000).

4.5.2.2. Determinación de la velocidad.

Para conocer la velocidad del agua, se divide el largo de la sección elegida, por el tiempo promedio en que tarda el flotador en recorrerla, expresado en metros por segundos, multiplicándola por un factor de corrección (Cuadro 1), el cual es función de la profundidad promedio del canal (USDA, 2000).

$$V = \frac{L}{t} K = (\text{m/s}) \quad (1)$$

Donde;

V = Velocidad del agua en el caudal (m/s)

L = Longitud del recorrido del flotador (m)

t = Tiempo promedio del recorrido del
flotador (s)

K = Coeficiente de corrección de la velocidad

El Cuadro 1. Muestra como el factor de corrección varía de acuerdo con la profundidad del canal.

Cuadro 1. Factor de corrección de velocidad.

PROFUNDIDAD DEL TIRANTE (m)	K
0.30	0.66
0.61	0.68
0.91	0.70
1.22	0.72
1.52	0.74
1.83	0.76
2.74	0.77
3.66	0.78
4.57	0.79
Mayor que 6.1	0.80

4.5.2.3. Determinación del área del canal.

Para determinar las áreas de acequias o canales de tierra se tienen que seccionar debido a que su sección construida no es uniforme, por lo tanto se divide en varios segmentos iguales, de tal forma que se tenga una serie de figuras geométricas consistentes en triángulos, trapecios y rectángulos, cuyos lados

Estarán dados por las profundidades (h) del agua y por las longitudes del segmento (T/B). De la misma manera para un canal revestido, este se divide en varios segmentos iguales, formando una serie de figuras geométricas, en la mayoría de los canales revestidos solo se forman triángulos y rectángulos cuyos lados están formados por las profundidades (h) del agua y por las longitudes del segmento (T/B), tal como se muestra en la Figura 1 (USDA, 2000).

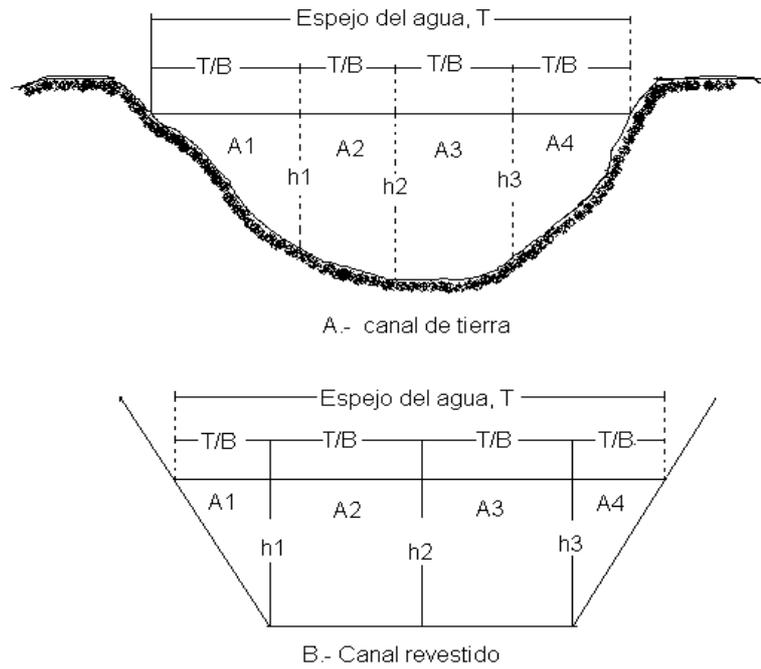


Figura 1. Sección transversal de los canales de tierra y revestido.

Determinación del área total para canales o acequias

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = (m^2) \quad (2)$$

Para un canal de tierra es:

$$A = \frac{\left(\frac{T}{B}\right)h_1}{2} + \frac{\left(\frac{T}{B}\right)(h_1+h_2)}{2} + \frac{\left(\frac{T}{B}\right)(h_2+h_3)}{2} + \frac{\left(\frac{T}{B}\right)h_3}{2} \quad (3)$$

Para un canal revestido es:

$$A = \frac{\left(\frac{T}{B}\right)h_1}{2} + \left(\frac{T}{B}\right)h_2 + \left(\frac{T}{B}\right)h_3 + \frac{\left(\frac{T}{B}\right)h_3}{2} \quad (4)$$

Donde:

A = Área total del canal (m^2)

T = Ancho del espejo del agua (m)

B = Numero de segmentos en que se divide el
espejo del agua (m)

h_1, h_2, h_3 = Son los tirantes o profundidades (m)

4.5.2.4. Determinación del caudal.

Conociendo la velocidad corregida del agua (V) y el área (A) del canal, se aplica la ecuación 5 para calcular el caudal.

$$Q = VA = (m^3/s) \quad (5)$$

Donde:

A = Área del canal (m^2)

V = Velocidad de agua (m/s)

4.5.2.5. Método volumétrico.

Este método permite medir pequeños caudales de agua, como son los que ocurren en surcos o pequeñas acequias. Para ello es necesario contar con un depósito (balde), de volumen conocido en el cual se colecta el agua, anotando el tiempo en que se demora en llenarse. Esta operación se repite de 5 a 10 veces y se promedia, con el fin de asegurar una mayor exactitud. Dividiendo el volumen de agua recogido en el recipiente, por el tiempo (en segundos) que demora en llenarse, se obtiene el caudal en lps (INRENA, 2005).

La ecuación para calcular el caudal por el método volumétrico es la siguiente:

$$Q = \frac{\text{Vol.}}{t} = (\text{lps}) \quad (6)$$

Donde;

Q = Caudal (lps)

Vol. = Volumen conocido del recipiente (litros)

t = Tiempo promedio de recolección del agua en el balde (segundos)

Aunque simple, este es el método de mayor exactitud.

4.5.2.6. Método Sección – Velocidad utilizando el molinete digital

Otra forma de aforar, es a través de los molinetes, con los cuales se mide la velocidad del agua en el canal de riego. En este caso, se utiliza el método de

área, A, y Velocidad, V, para medir el caudal, Q, en un canal se utiliza la ecuación:

$$Q = VA = (\text{m}^3/\text{s}) \quad (7)$$

Donde;

Q = Caudal (m^3/s)

V = Velocidad (m/s)

A = Área de canal (m^2)

Para caudales grandes, la sección hidráulica del canal se divide en varias sub áreas (Figura 1), y en cada una se aplica la ecuación (7). Una vez hecho lo anterior, el caudal del canal será la sumatoria de cada uno de los resultados de las sub áreas, para medir la velocidad en cada una de las sub áreas, existen diferentes formas de hacerlo:

4.5.2.7. Método de la velocidad vertical

Este es el método más completo para establecer la velocidad media en una sección vertical y consiste en registrar la velocidad del agua en varios puntos a través de la profundidad del agua (generalmente a cada décimo de la profundidad). Se grafica la información, poniendo la velocidad relativa (de 0 a 1) en el eje de las x's, y la velocidad en las y's, a través de lo cual se determina la velocidad promedio. Este método se repite para cada una de las sub áreas,

por lo que se consume mucho tiempo, de tal manera que a menudo se utilizan otros métodos más sencillos como: el de los dos puntos y seis décimos.

4.5.2.8. Método de Dos Puntos

Consiste en medir la velocidad del agua en cada una de las sub áreas a 0.2 y 0.8 a partir de la superficie del agua. Se supone que el promedio de ambas lecturas equivale a la velocidad media del agua en toda la sub área.

4.5.2.9. Método de Seis Décimos

Se usa en canales cuya profundidad es menor a los 75 cm. Consiste en medir la velocidad a 0.6 de la profundidad, a partir de la superficie del agua. Se considera que la velocidad registrada equivale a la velocidad media del agua en la sub área. Frecuentemente, se utiliza este método en las sub áreas de las orillas, mientras que el de los dos puntos se usa en el resto de las sub áreas (USDA, 2000).

4.6. Eficiencia del riego por superficie y de otros sistemas de riego

Es una opinión generalizada que los sistemas de riego por superficie tienen una eficiencia muy baja. Incluso se les acusa frecuentemente de "despilfarrar" agua, algo que ya se ha discutido que es imposible. La conclusión sobre la uniformidad y la 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 eficiencia es cuando menos similar a la de los demás sistemas de riego (Playán et al., 1996).

La comparación entre las eficiencias medias e ideales revela que existen importantes diferencias en algunos sistemas de riego, entre ellos el riego por superficie. Esto quiere decir que cuando un sistema de riego está bien adaptado a unas condiciones particulares de topografía, suelos, suministro de agua y cultivos 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 inferiores, incluso por debajo del 50% (Playán et al., 1996).

4.7. Modelos para simulación del riego por superficie

Los modelos son en nuestros días útiles comunes para facilitar el análisis de problemas complejos. Los modelos son simplificaciones de la realidad y pueden únicamente reproducir la realidad desde la perspectiva de esas simplificaciones. Incluso teniendo esta limitación en mente, se debe añadir otra: los resultados de un modelo no serán más fiables que la menos fiable de sus variables de entrada (Playán et al., 1996).

La mayoría de los modelos en uso hoy no consideran la variabilidad espacial en absoluto. Por ello, la precisión de los resultados deberá ser a menudo contrastada con experimentos de campo. Cuando los modelos se usan con datos de pobre calidad los resultados pueden no ser realistas. En cualquier caso, si un modelo se ha formulado correctamente, siempre será para el usuario una fuente de conocimiento sobre el problema (Playán et al., 1996).

Los modelos del riego por superficie son por lo tanto muy indicados para tareas de planificación (reparto de agua en el tiempo a diferentes usuarios) (Playán et al., 1996).

4.8. Modelos numéricos del riego por superficie

Un ejemplo de modelo unidimensional es el SIRMOD. Este modelo fue desarrollado por la División de Ingeniería Informática del Departamento de Ingeniería Biológica y de Riegos de la Utah State University, EEUU, y resuelve las ecuaciones hidrodinámicas unidimensionales del riego por superficie mediante el método del volumen de control deformable (una variante del método de diferencias finitas). SIRMOD permite usar el modelo de onda cinemática, el de inercia nula y el hidrodinámico. El modelo es un estándar mundial en simulación de riego por superficie y está preparado para reproducir las condiciones de riego por inundación, escurrimiento y surcos en una gran diversidad de métodos de manejo, como el riego con y sin escorrentía, riego

con recorte de caudal, y riego por oleadas (Playán et al., 1996).

Rendón et al. (1990), trabajando en Guanajuato para evaluar las eficiencias del riego por melgas y la producción en el cultivo de trigo, muestran que cuando se selecciona adecuadamente el caudal de riego unitario por melga, se obtienen eficiencias de aplicación y de uniformidad similares a las obtenidas teóricamente. Además el rendimiento es similar al obtenido experimentalmente en estudios de funciones de respuesta al régimen de humedad en el suelo.

El modelo de simulación SIRMOD, (Walker, 1993), provee capacidad analítica con respecto a todas las variables que afectan el diseño y el manejo del riego superficial. 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.

Walker y Skogerboe, (1987). Comentan que a través del modelo SIRMOD, se identifican rápidamente las modificaciones y/o ajustes que el productor o regador tiene que realizar para mejorar la eficiencia de aplicación del agua. Además comentan que dados los grandes problemas de demanda de agua por los diferentes usuarios y la baja disponibilidad del recurso, aunado a los problemas de tipo económico que tiene el mundo hoy, el riego superficial

continuará teniendo una mayor atención por los profesionistas y agricultores, para mejorar cada día las prácticas de riego parcelario.

Catalán (1998) utilizó resultados de experimentos anteriores y aplicó el modelo de simulación SIRMOD para el diseño de alfalfa a nivel comercial en la región lagunera. Por medio del modelo pudo 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.

Huerta (2007) menciona que es posible mejorar sustancialmente la eficiencia global de riego, en un 92 por ciento 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 SIRMO

Modelo de simulación de riego por gravedad RIGRAV, (Rendón et al, 1990), generado por el IMTA utiliza la función de infiltración de Green-Ampt, (1911).

$$I = K_s t + \lambda \ln \left(1 + \frac{I}{\lambda} \right) \quad (8)$$

Donde:

I = Velocidad de infiltración

$$\lambda = (h + h_f)(\theta_s - \theta_0)$$

K_s = Conductividad hidráulica a saturación

θ_0 = Contenido de humedad inicial

θ_s = Contenido de humedad final

h = Tirante de agua en el surco

h_f = Succión en el frente de humedecimiento

Este modelo se basa en simplificaciones de las ecuaciones de Saint-Venant y Richards, una de estas simplificaciones consiste en presentar la ecuación de la conservación de la masa de manera integral, que se escribe:

$$Q_f T = \int_0^S Ah(x, T) dx + \int_0^S Ai(x, T) dx \quad (9)$$

Donde:

S = posición del frente de avance en el tiempo [L]

T = tiempo

L = longitud del surco, medida a partir de la cabecera [L]

Ah = área hidráulica de la sección transversal [L²]

A_i = área de la sección transversal del escurrimiento subterráneo
[L²]

Si se considera que el área hidráulica del escurrimiento superficial es constante en el espacio y en el tiempo, y que el suelo es homogéneo, entonces la ecuación (9) se escribe:

$$Q_s T = \overline{Ah} S(T) + \int_0^S A_i(T_0) dx \quad (10)$$

Donde:

\overline{Ah} = Valor medio del área hidráulica

T_0 = Tiempo de infiltración definido como: $T_0 = T - T_x$

T_x = Tiempo que tarda en llegar el avance a un punto situado a una distancia x

Si dividimos la ecuación (11) entre el perímetro mojado tenemos:

$$Q_s T = \overline{Rh} S(T) + \int_0^S R_i(T_0) dx \quad (11)$$

Donde:

\overline{Rh} = Radio hidráulico medio del escurrimiento superficial [L]

R_i = Lámina infiltrada media en el perímetro mojado [L]

V. MATERIALES Y METODOS

Para el diagnostico integral, de la red de distribución del módulo II “Villa del Nazas”, Nazas Durango. Solo se realizó la etapa del diagnostico.

5.1. Diagnostico

En el apartado del diagnóstico se describieron dos niveles de información (1) Descripción de la región del módulo II de Nazas Durango, (2) Descripción de las áreas de estudio, (3) Descripción de las unidades de muestreo

5.2. Clima

El clima característico de esta región es seco estepario, la temperatura media anual es 20.8⁰C, su precipitación media anual de 300mm.

La primera helada que se ha registrado es en el mes de octubre y la ultima en marzo, cabe señalar que hay registros de heladas en el mes de abril.

5.3. Descripción del área de estudio, Módulo II de Nazas Durango



Figura 2. Imagen de los Estados de Coahuila y Durango, dentro del país.

La presente imagen ilustra la ubicación del distrito 017 dentro de los Estados de Coahuila y Durango, con relación a la república Mexicana.



Figura 3. Ubicación del Distrito dentro de los Estados de Coahuila y Durango.

La región del Modulo II de Nazas Durango, se encuentra ubicado dentro del municipio de Nazas al noreste del estado de Durango en las coordenadas $25^{\circ}13'34''$ latitud norte y $104^{\circ}06'39''$ longitud oeste, 1250 metros sobre el nivel del mar.

Limita al norte con los municipios de San Luís del Cordero, San Pedro del Gallo; al oriente con Lerdo; al sur con Cuencamé, San Juan del Río, Peñón Blanco; al poniente con Rodeo.

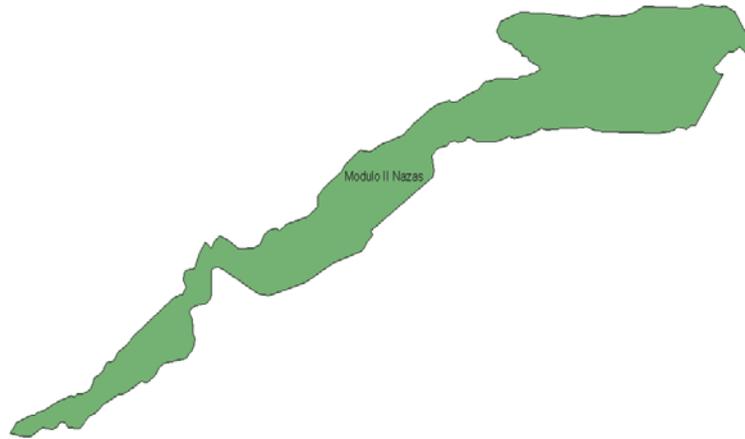


Figura 4. Imagen del Módulo II de Nazas, Durango.

Imagen que muestra la forma que tiene el módulo II de Nazas Durango, anterior a esta imagen se describió la localización geográfica de este módulo.

5.4. Patrón de cultivo

Cuadro 2. Patrón de cultivos del módulo II de Nazas, Dgo.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)
Alfalfa	1,742
Nogal	1,027
Maíz	530
Sorgo	487
Hortalizas	15
Total	3,801

Como se puede observar en el cuadro 1, el cultivo predominante es la alfalfa con un 45%, seguido por el nogal 27por ciento, 13.94% maíz, 12.81% y 0.30 hortalizas.

5.5. Longitud y superficie que riegan los canales de Módulo II Villa del Nazas, del municipio de Nazas Dgo.

Cuadro 3. Longitud de los canales y superficie que irrigan.

CANAL	LONGITUD TOTAL (KM)	SUPERFICIE (ha)
Las liebres	8+640	100
Santa Bárbara II	8+145	94-00
San Isidro	7+423	132-04
Santa Bárbara I	11+740	276-06
El Pueblo	8+000	127-10
La Flor	7+850	317-09
El Ranchito	8+940	276-06
San Antonio	11+600	465-50
Santa Clara	13+600	382-59
El Conejo	9+350	164-48
El Tongo	6+750	286-42
E. Carranza	14+470	990-38

5.6. Descripción de las unidades de muestreo.

Se trabajó con un criterio integral, tomando como base el balance hidrológico y partiendo de la unidad básica de manejo que en lo sucesivo se llamó tabla o unidad de muestreo, definida ésta como aquella área en donde se

establecen los cultivos y que es objeto de recomendación en el mejoramiento de las características hidráulico-geométricas. En el Cuadro 4 se muestra la caracterización de las unidades de muestreo respecto al predio, tenencia de la tierra, zona de riego, tabla, superficie, nivel de autoridad y longitud de regadera (canal interparcelario). En el Cuadro 5, se muestra la Nomenclatura de las Unidades de Muestreo, con el propósito de poder identificar la zona, predio y número de tabla.

Los parámetros de comportamiento, en base a los cuales se sanciona un sistema de riego, son los siguientes, los cuales se calcularon siguiendo las ecuaciones correspondientes:

Los materiales que se utilizaron para el cálculo de los aforos de eficiencias de la red de conducción, son los que continuación se listan y describen, molinete digital (sigma sport), estadal, cinta métrica y cronometro.

Molinete digital. Su función, obtención de la velocidad.

Estadal. Para obtener los tirantes, para seccionar el canal y la plantilla del mismo.

Cinta métrica. El espejo del agua, en la acequia y canal.

5.7. Diseño de alternativas

Una vez realizada la prueba de avance en campo se ejecuta el archivo SIRMOD II .EXE se selecciona el idioma y se procede a cargar los datos de la parcela de prueba de riego (Figura 5).

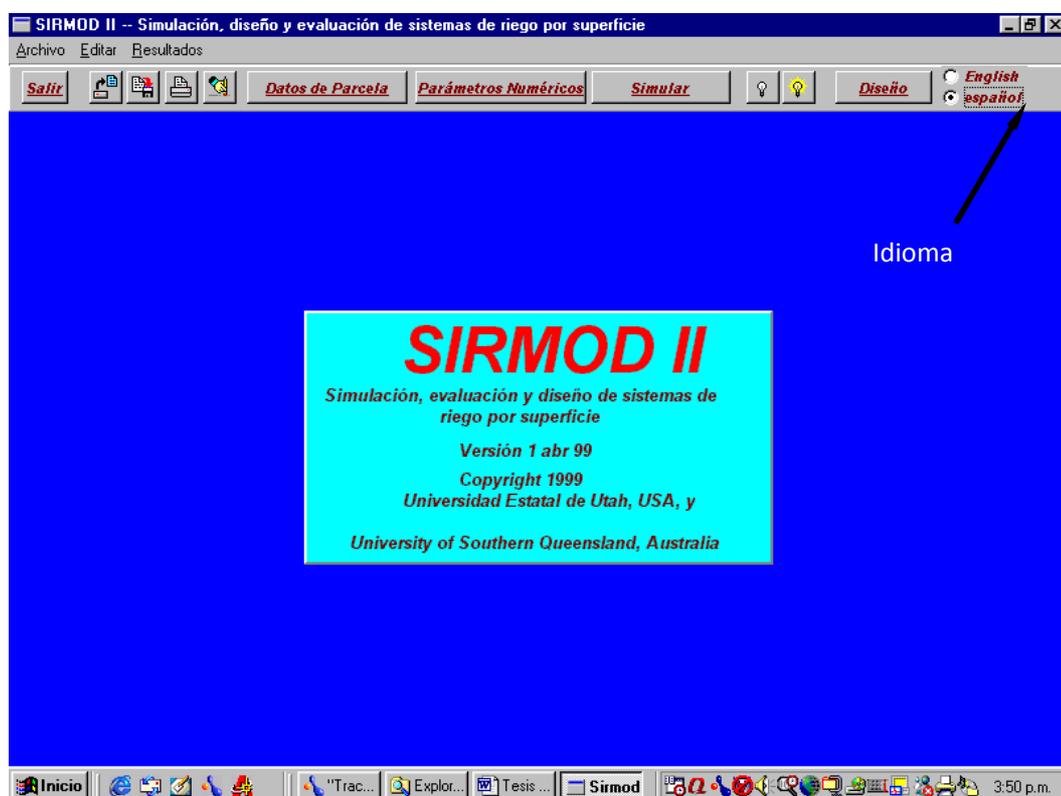


Figura 5. Ventana de idioma de trabajo del modelo SIRMOD.

Selecciona datos de parcela y se abre la pestaña rugosidad y topografía, donde se capturan la rugosidad de Manning (0.11 a 0.28) para suelos desnudos y suelos con pastos abundantes respectivamente) según Walker, 1989. La pendiente del terreno en (m/m), ancho y largo de la melga o surco (Figura 6).

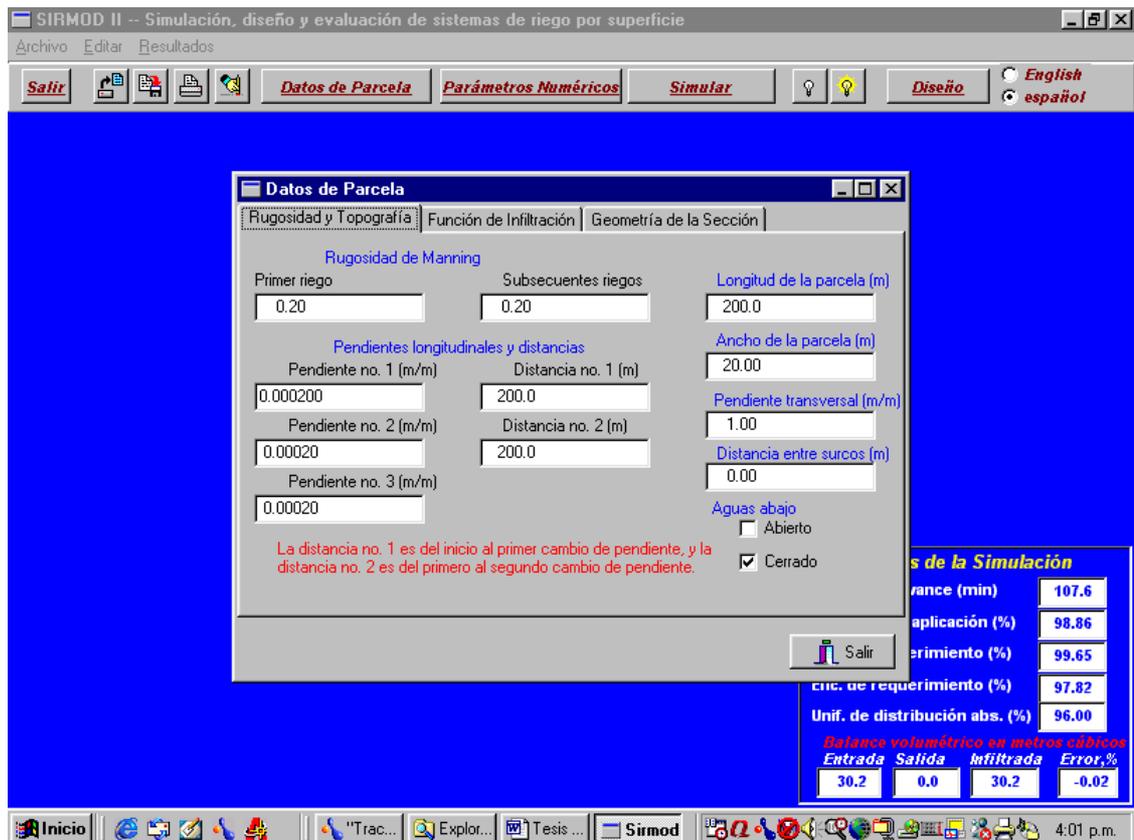


Figura 6. Ventana de características de trabajo para surco o melga.

La “Función de Infiltración” se insertan los parámetros hidráulicos del suelo como los son a , k y f_0 de la ecuación de infiltración, estos valores están en función del tipo de suelo en tablas. Otros datos que se capturan en este apartado son la lámina requerida, el gasto unitario, el tiempo que tarda el riego en llegar al final de la melga (Figura 7).

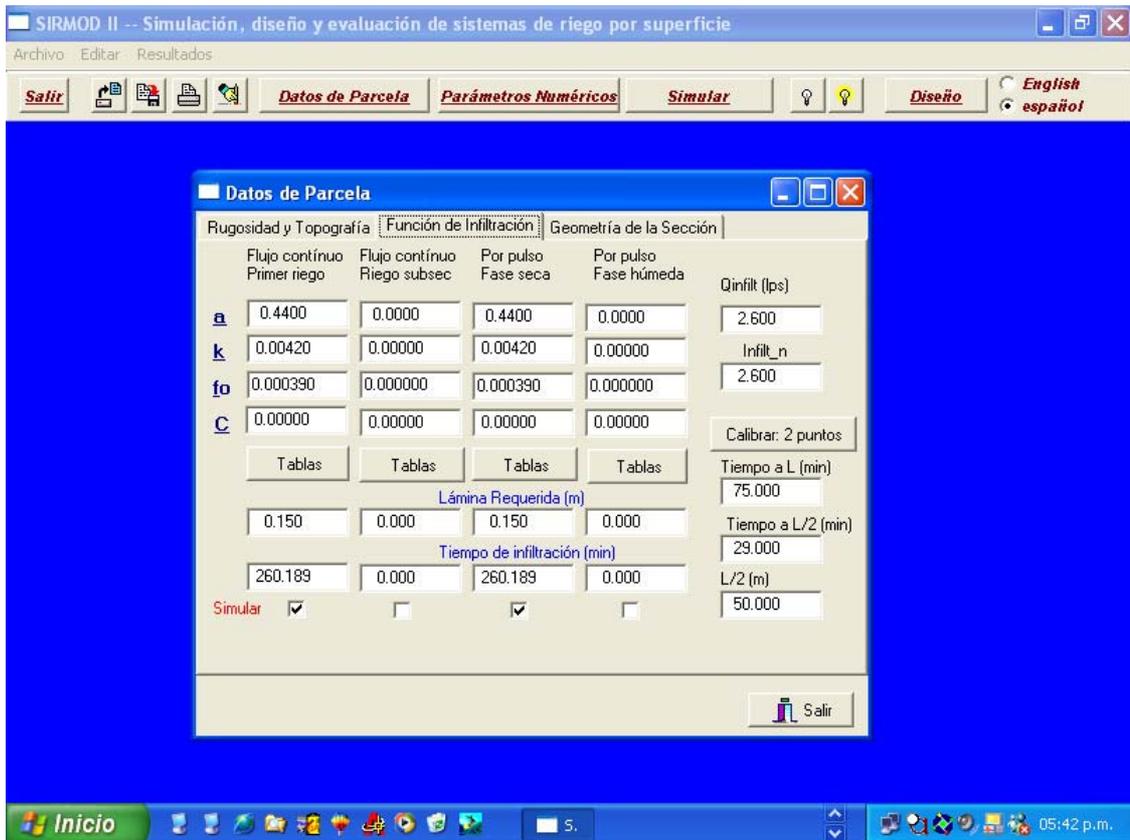


Figura 7. Ventana de parámetros hidráulicos de melga o surco.

En la sección de Parámetros Numéricos, se selecciona el modelo para simular, se captura el criterio para el tiempo de corte, caudal de entrada, y tiempo de corte, (Figura 8).

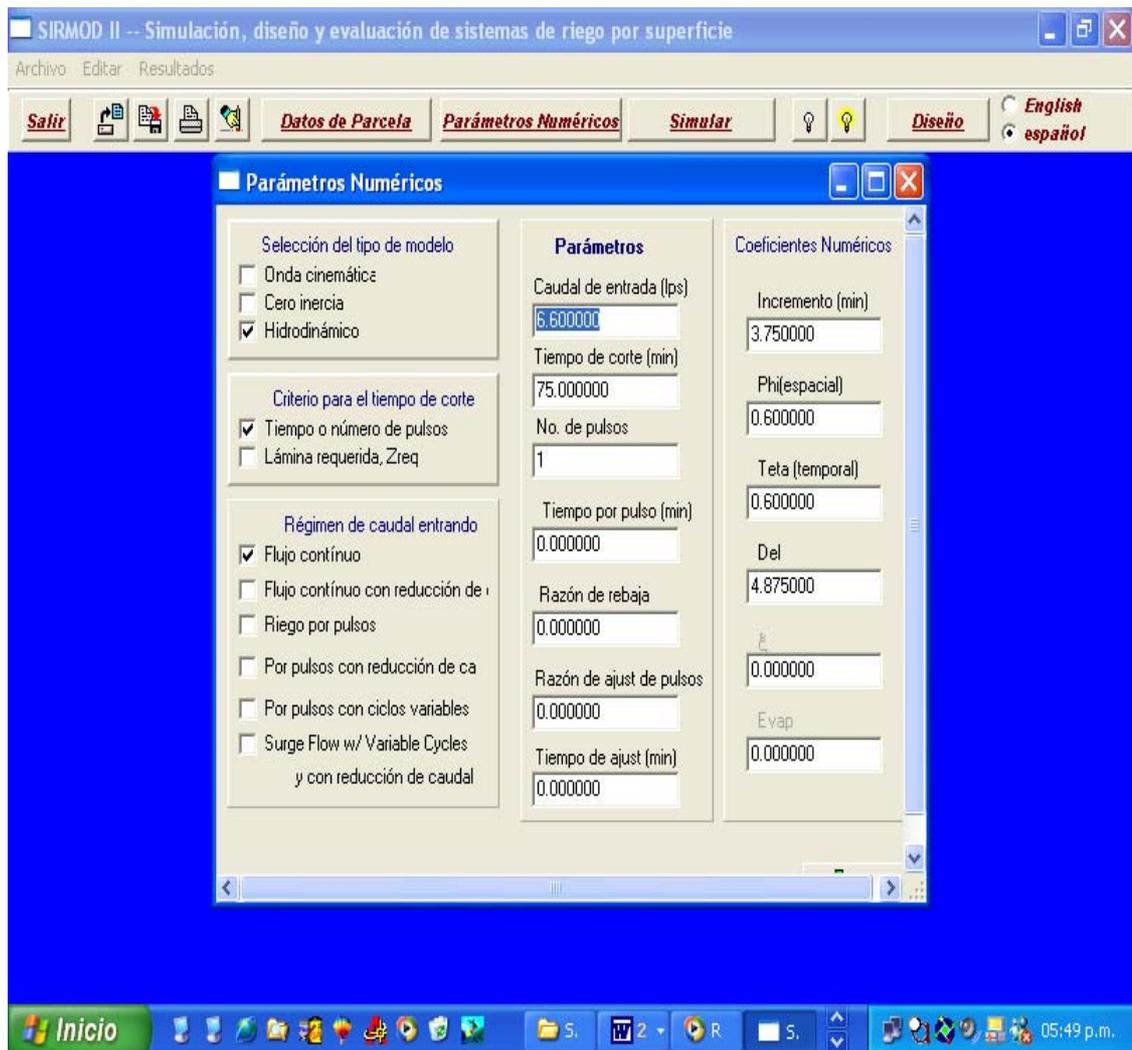


Figura 8. Ventana de parámetros numéricos.

Una vez capturada toda la información que el programa **SIRMOD** requiere, se da clic en **simular**, en donde nos muestra la simulación del avance, retención del agua y las eficiencias de riego (Figura 9).

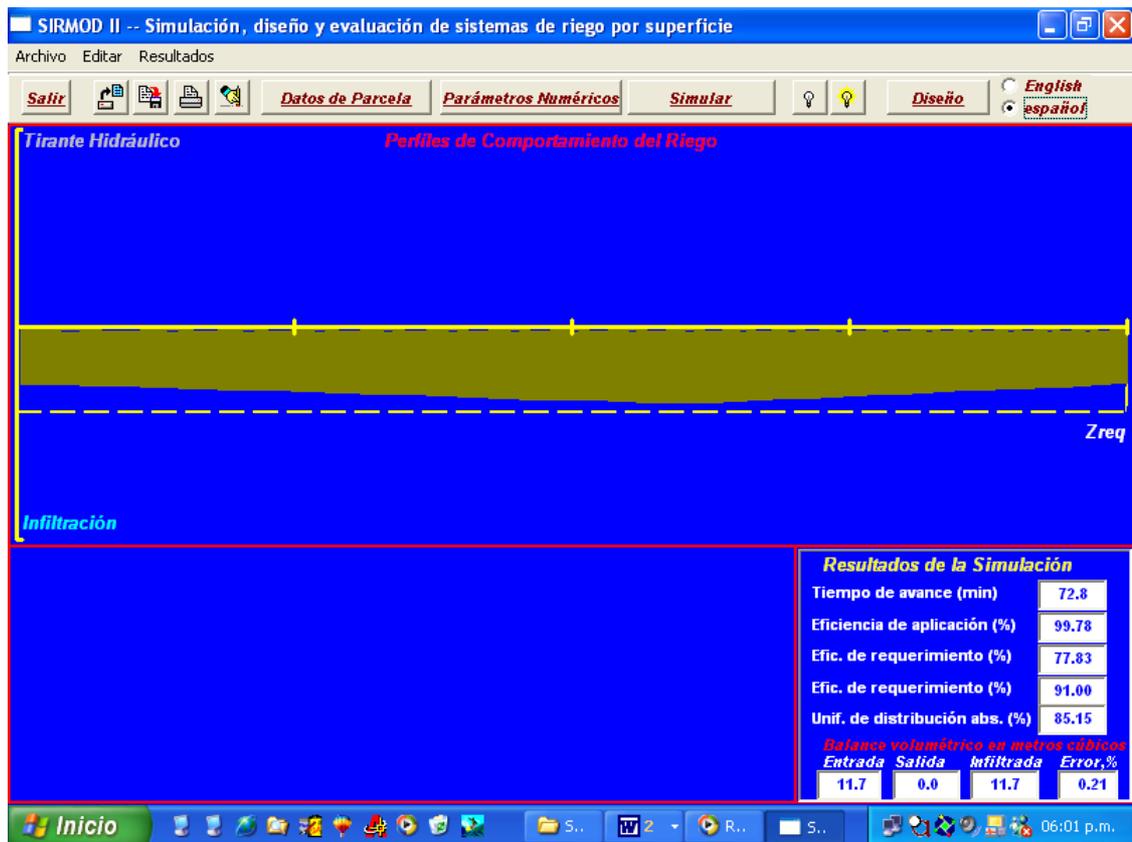
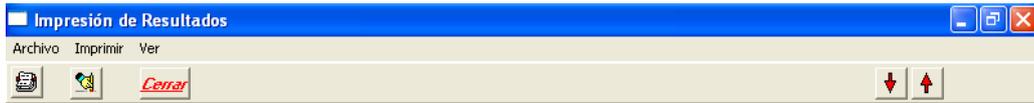


Figura 9. Ventana de comportamiento del riego.

5.8. Calibración de parámetros del modelo.

Para realizar el ajuste del programa a lo tomado en campo, en el menú se abre la ventana “resultados” y se elige la opción tabla, posteriormente se selecciona ver 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 la rugosidad, así por aproximaciones sucesivas se logra el ajuste entre los datos de campo y los valores de la características hidráulicas del suelo (Figura 10.)



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	153.75	0.09904
1	11.22	3.75	172.50	0.10518
2	18.20	7.50	183.75	0.10888
3	24.76	11.25	195.00	0.11257
4	31.02	15.00	206.25	0.11700
5	36.95	18.75	217.50	0.12078
6	42.63	22.50	228.75	0.12352
7	48.11	26.25	240.00	0.12875
8	53.42	30.00	247.50	0.13001
9	58.58	33.75	258.75	0.13389
10	63.60	37.50	258.75	0.13147
11	68.05	41.25	255.00	0.12787
12	72.41	45.00	251.25	0.12425
13	76.59	48.75	247.50	0.12062
14	80.58	52.50	243.75	0.11697
15	84.42	56.25	240.00	0.11330
16	88.12	60.00	236.25	0.10962
17	91.69	63.75	236.25	0.10777
18	95.15	67.50	232.50	0.10406
19	98.50	71.25	228.75	0.10033
20	100.00	72.75	228.75	0.09958



Figura 10. Ventana de perfiles de avance y recesión.

VI. RESULTADOS DEL MODULO II, DE NAZAS DURANGO.

6.1. Medición de superficie preparada y regada

El Módulo II, de Nazas, inicio con un programa de riego de 3,797 ha y se midieron una superficie regada de 3,801 has lo cual representa un superávit de 0.1 por ciento respecto a la superficie programada (ver Cuadro 4).

Cuadro 4. Superficie programada y regada medida del módulo II, Nazas Dgo.

Sección	Programada (ha)	Medida (ha)	Diferencia (ha)
Área compacta	981.11	1,031.20	50.09
Zona Baja	2,815.91	2,769.49	-46.42
TOTAL	3,797.02	3,800.69	3.67

6.2. Aforos en puntos de control

Se realizaron aforos en los canales principales del modulo, se utilizó el molinete electrónico para realizar el monitoreo. Se observó falta de calibración en los puntos de muestreo del aforo, tal como la lectura de plantilla en el talud del canal. No se observaron estructuras aforadoras sobre los canales, por ello se improvisaron los puntos de aforo en puentes, caminos, y otro tipo de estructuras que se encontraron. En el Cuadro 5, se presentan los aforos

realizados en los canales principales durante el riego de aniego. El resto de los aforos se encuentran en el Sistema Riegos en CD.

Cuadro 5. Aforos (lps) del riego de aniego , módulo II, Nazas.

CANAL	13	14	15	17	18	20	21	23	24	25	27
EMILIO CARRANZA	1131	1100	989	903	1060	1149	1229	1198		1260	1165
EL RANCHITO	545			341					610		682
SANTA CLARA	521			648						762	586
EL TONGO	634			442	422					667	713
EL SOVACO	571				674					482	462
EL CONEJO	500				708					229	323
SAN ANTONIO	790				624					466	454
LA FLOR	459				660				578		687
EL PUEBLO	570				918				859		
SANTA BARBARA I		312			616				371		465
SANTA BARBARA II		363			322				396		
LAS LIEBRES		360			265				449		
SAN ISIDRO		436			599				370		
LAS AURAS		408			281						

6.3. Eficiencias de conducción

Se determinaron las eficiencias de conducción (E_c) y las pérdidas de agua por conducción (Q_{perd}). Se encontró una eficiencia de conducción a nivel de módulo de 75 por ciento y una pérdida promedio de agua de 4.1 lps por cada 100 metros de canal principal. En el Cuadro 6 se presentan las eficiencias de conducción (E_{fc}) y pérdidas de conducción (Q_{perd}) por canal principal en el Modulo II de Nazas.

Cuadro 6. Estadísticas de eficiencias en el módulo II de Nazas Dgo.

Canal	Qperd lps/100 m	Efc %
E. Carranza	1.9	94
San Isidro	11.3	53
El Pueblo	2.9	77
La Flor	1.5	93
El Ranchito	3.7	87
San Antonio	4.5	57
El Conejo	5.8	43
Las Liebres	3.6	77
Santa Bárbara II	7.0	56
Santa Bárbara I	4.8	71
Santa Clara	0.5	97
El Tongo	1.5	93
Promedio	4.1	75

6.4. Evaluación de sistemas parcelarios.

Las parcelas de control se tienen con el cultivo de nogal (Tabla I) y (Tabla II), se determinó su ubicación quedando localizadas en la sección Baja de la siguiente forma: ambos tablas se encuentran localizados en el predio El Paso los cuales se riegan con el canal principal El Tongo. Correspondiendo una superficie de 3.75 y 2.30 has respectivamente para cada cultivo. La tabla I

cuenta con un sistema de conducción de riego el cual es de tierra, mientras que la tabla II su sistema de conducción está revestido de concreto, ambos canales al momento del riego estuvieron libres de malezas. Este cultivo recibió tres riegos de auxilio.

6.5. Avances de Riego.

El avance de riego se realizó principalmente en las parcelas de control. Se consideraron dos parcelas que están siendo aprovechadas con el cultivo de Nogal (tabla I y II). El gasto neto promedio por riego fue de 156 lps y se regaron una parcela de 3.75 hectáreas (tabla I) y otra de 2.30 hectáreas (tabla 2) en un tiempo promedio de riego de 22 horas. Se aplicaron cuatro riegos, de esta forma los resultados se muestran en el Cuadro 7, donde (Q_b) es el gasto bruto o medido en la toma, antes de llegar a la parcela; (Q_n) es el gasto que llega a la parcela o gasto neto; t_r es el tiempo de riego en horas; $L_r B$ es la lámina de riego, que en realidad es una lámina que no es aplicada pero que su valor es importante en el balance de eficiencias; $L_r N$ es la lámina de riego neta aplicada en la parcela.

Cuadro 7. Estadísticas de la parcela de seguimiento.

		Qb	Qn	tr	Lr B	Lr N
		(lps)	(lps)	(hr)	(cm)	(cm)
RIEGO	TABLAS					
PRESIEMBRA	I	160	140	29	44.5	39.0
	II	190	180	14	41.6	39.4
1er AUXILIO	I	150	140	29	41.8	39.0
	II	189	170	15	44.4	39.9
2do AUXILIO	I	153	135	29	42.6	37.6
	II	170	155	16	42.6	38.8
3er AUXILIO	I	175	160	29	29.0	48.7
	II	180	170	15	15.0	42.3

6.6. Operación de las parcelas.

El proceso de la información del avance de riego, conduce al análisis de la operación de las parcelas, en el cual resulta el volumen de agua total utilizado en sus dos vertientes (bruta y neta, Vol. B y Vol. N; respectivamente) y la lámina de riego acumulada o lámina total aplicada, también en forma bruta (Lr B) y en forma neta (Lr N). Estos valores se pueden apreciar en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Operación de las parcelas, Módulo II.

Tabla	Gasto B, lps	Gasto N, lps	Lr B acum	Lr N acum	Vol B	Vol. N
			cm	cm	m3	m3
I	160	144	177.6	160.1	66,607	60,030
II	182	169	170.8	158.1	39294	36,360
Promedio	171	156	174	159	52,951	48,195

Las características geométricas de las parcelas son útiles para definir el gasto unitario operado durante la fase del riego, ya que éste influye en la eficiencia del riego, es así, que un gasto unitario (Q_u) máximo permisible conduce a una máxima eficiencia de aplicación del agua, los resultados logrados en esta fase se pueden observar en el Cuadro 9

Cuadro 9. Características hidráulicas de las parcelas de Nazas.

Tablas	Largo Melga M	Ancho Melga m	Pendiente (m/m)	# Melgas Regadas	lps/m
I	450	12	0.000200	2	5.99
II	235	15	0.007050	2	5.63
Promedio	685	14		2	5.81

6.7. Análisis de la información

En esta etapa el análisis se hace tomando en cuenta el proceso anterior, es decir, los resultados de las parcelas de control se proyectan hacia el módulo y se incide en forma global en todo el módulo, es importante resaltar que en este tenor la superficie que se tiene con el cultivo de Nogal representa el 51.6 (1,027.48 ha) del total del cultivo en el Estado de Durango, de cinco cultivos que se aprovechan. El análisis se inicia considerando alguna información base para la realización de inferencias a nivel de módulo, la cual se puede ver en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Información base para el módulo II, Nazas.

Información	Cantidad
Días de operación del riego por ciclo agrícola	100
Volumen programado al módulo en el ciclo (m³)	33,236,000
Caudal promedio parcelario (lps)	156
Longitud Promedio de servicio (m)	500
Nº de Frentes de Riego por evento	18

En esta evaluación no se desglosaron las pérdidas de operación ni las aportaciones de agua hacia los canales. Se realizaron algunos cálculos de salida utilizando la información base los cuales se presentan en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Comportamiento de los gastos hidráulicos y eficiencias del módulo II de Nazas.

Caudal promedio a nivel de punto de control en el módulo (lps)	3,847
Caudal promedio a nivel parcelario en el módulo (lps)	2,813
Pérdidas promedio de conducción (lps)	1,060
Eficiencia de conducción total (%)	73.1

Se determinó el volumen a nivel de punto de control (V_r) que se derivó a la parcela en el ciclo, volumen bruto (V_b) determinado en las salidas de la tomas, Volumen Neto (V_n) que entró a las parcelas y el volumen de evapotranspiración (V_{et}) de los cultivos, estos resultados se pueden ver en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Volumena diferentes niveles de operación del módulo de Nazas, Dgo.

	Vr	Vb	Vn	Vet
	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha
	21,895	17,762	16,008	13,220
	21,676	17,084	15,809	13,220
Promedio	21,785	17,423	15,908	13,220

De los volúmenes aplicados y superficies aprovechadas, surgen las láminas aplicadas en sus diferentes niveles de operación, dichos valores se pueden consultar en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Lamina de riego a diferentes niveles de operación, módulo II, Nazas.

	Lr	Lb	Ln	Et
	(m)	(m)	(m)	(m)
	2.19	1.78	1.60	1.322
	2.17	1.71	1.58	1.322
Promedio	2.18	1.74	1.59	1.32

Respecto a los parámetros de comportamiento indican una eficiencia de aplicación (Efa) del 83%, una eficiencia de requerimiento (Ef req) de 100% y una eficiencia en el uso del agua (Efua) del 61% (ver Cuadro 14).

Cuadro 14. Parámetros de comportamientos de las diferentes eficiencias, módulo II Nazas.

	Efa	Ef req	Efua
	%	%	%
	83	100	60
	84	100	61
Promedio	83	100	61

Con el fin de determinar las pérdidas de agua en la parcela, se calcularon los componentes del balance hidrológico en m^3/ha . En el Cuadro 27 se presentan los valores para dichos componentes, en donde se puede observar que en promedio se derivan a la parcela (V_r) $21,785 \text{ m}^3/\text{ha}$, de los cuales $5,877$ y $2,688 \text{ m}^3/\text{ha}$, se pierden en la conducción hacia la parcela (V_{percond}) y por percolación profunda (V_{perapl}) respectivamente, y $13,220 \text{ m}^3/\text{ha}$, por evapotranspiración (V_{pet}) del cultivo del sorgo (V_{perapl}). Para el cálculo de la evapotranspiración, se consideró el valor de ET_x (132.2 cm), valor reportado por Godoy et al (2000). En el mismo Cuadro 15, se observa el volumen por derivar (V_r) a nivel de punto de control de módulo de $21,785 \text{ m}^3/\text{ha}$ para que lleguen a la parcela los $15,809 \text{ m}^3/\text{ha}$

Cuadro 15. Componentes de balance hidrológico, Nazas.

	Vr	Vpercond	Vperapl	Vpet
	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)
	21,895	5,887	2,788	13,220
	21,676	5,867	2,589	13,220
Promedio	21,785	5,877	2,688	13,220

Respecto a la relatividad de los componentes del balance Hidrológico, en el Cuadro 16 se observa que de cada 100 unidades que se derivan del punto del control a nivel de módulo, 26, 39 y 36 se pierden por conducción, percolación profunda y evapotranspiración respectivamente.

Cuadro 16. Relatividad de los componentes del balance hidrológico, módulo II, Nazas.

	Vr	Vpercond	Vperapl	Vpet
	(%)	(%)	(%)	(%)
Promedio	100	27	12	61

A pesar de que en este estudio no se evaluaron las aportaciones que existen a la red por agua de arroyos y tampoco se consideró la precipitación efectiva, sin duda el módulo de Nazas cuenta con una relativa disponibilidad de agua alta. Sin embargo la información refleja que el 61 por ciento del volumen concesionado es utilizado por los cultivos, el 27 por ciento que indica

la necesidad de realizar inversiones en la red de conducción, seguido del 12 por ciento indica la necesidad de capacitación a los regadores y transferencia de tecnología para el mejoramiento parcelario.

Se recomienda específicamente en el modulo II de Nazas, la instalación de infraestructura de medición ya que se carece casi por completo de ella.

6. 8. Relatividad de los componentes hidrológicos Estado de Coahuila.

La relatividad de los componentes hidrológicos en el Estado de Coahuila correspondientes al distrito de riego 017 Región Lagunera indican que de 100 unidades entregadas al modulo en punto de control el 31 unidades se pierden en la red de conducción, 18 unidades se pierden por percolación profunda en la parcela y 51 unidades son utilizados por los cultivos mediante la evapotranspiración.

Cuadro 17. Relatividad de los componentes hidrológicos en el Estado de Coahuila

Módulo	Vr	Vpercond	Vperapl	Vpet
	%	%	%	%
SAN MIGUEL	100	34	21	46
EL CONSUELO	100	20	24	56
BUEN ABRIGO	100	34	23	43
EL PORVENIR	100	29	23	48
LA MARINERA	100	50	13	37
SANTA TERESA	100	26	16	58
LA ROSITA	100	36	24	40
EL ANCORÁ	100	34	13	53
ZAMARRIPA	100	20	4	76
PROMEDIO	100	31	18	51

6.9. Relatividad de componentes hidrológicos en el Estado de Durango.

La relatividad de los componentes hidrológicos en el Estado de Durango Correspondientes al distrito de riego 017 Región Lagunera indican que de 100 unidades entregadas al modulo en punto de control el 30 unidades se pierden en la red de conducción, 17 unidades se pierden en por percolación profunda en la parcela y 53 unidades son utilizados por los cultivos mediante la evapotranspiración.

Cuadro 18. Relatividad de componentes hidrológicos en el Estado de Durango.

MODULO	Vr	Vpercond	Vperapl	Vpet
	%	%	%	%
RODEO	100	25	14	61
NAZAS	100	27	12	61
SAN JACINTO	100	26	13	61
EL VERGEL	100	39	27	35
BRITTINGHAM	100	31	17	52
TLAHUALILO	100	32	19	49
MASITAS	100	34	21	45
JIMENEZ	100	26	14	61
Promedio	100	30	17	53

VII. CONCLUSIONES

1. En el módulo II de Nazas Dgo. se derivan del punto de control a nivel de módulos del Estado de Durango hacia las parcelas, el 30, 53 y 17 se pierden por conducción, consumo de los cultivos y percolación profunda.
2. Las causas físicas más sobresalientes que originan las pérdidas tanto por infiltración como por operación en los laterales son la falta de reposición de lozas y arreglo de las compuertas.
3. A diferencia de los laterales, en los canales interparcelarios, las causas que originan las pérdidas por infiltración y operación son la pendiente y descuido en el sellado de las compuertas de entrega parcelaria.
4. Las causas físicas que originan las pérdidas por aplicación en la parcela es la falta de un buen diseño de riego, el cual consiste en definir la longitud, ancho, pendiente y caudal de riego, para cada caso específico.
5. Juzgando por el origen de las causas que originan las pérdidas por infiltración, operación y aplicación, el tomador de decisiones necesita una bien fundamentada capacitación sobre el manejo del agua de riego y sus consecuencias económicas y sociales.
6. El comportamiento de los 17 Módulos del Distrito 017, en cuanto a pérdidas por conducción, percolación profunda en la parcela y evaporación utilizada por las plantas en la parcela, es muy semejante de acuerdo a los cuadros 18 y 17.

VIII. RECOMENDACIONES

Para dar por terminada el proceso de transferencia, es necesario que las organizaciones de usuarios de riego cuenten con su “Plan Estratégico”, que les permitan encausar sus decisiones a corto, mediano y largo plazo, en una sola visión, porque en la actualidad ningún modulo de riego II Villa del Nazas, carece de este plan estratégico, para mejorar la sustentabilidad de los sistemas de riego, es necesario mejorar la autogestión, por lo que se recomienda que los estudios futuros se aboquen a medir la capacidad autogestora de las “asociaciones de usuarios”. Otra inquietud observada en los usuarios, es la necesidad de operar los sistemas de riego a niveles más altos, es decir, de operar los canales principales, es evidente que la mayoría de los usuarios dentro de este módulo de riego, perciben en la actualidad a la C.N.A. como una entidad de cohesión, sin embargo, éste comportamiento limita el fortalecimiento de la autogestión; motivo por el cual es necesario preguntarse porque aún no se forman las Sociedades de Responsabilidad Limitada para operar la Red Mayor de canales.

Con respecto a los sistemas de riego evaluado en el modulo II Villas del Nazas en Nazas Dgo. es necesario realizar las siguientes acciones:

1. Implementar un programa capacitación hacia los tomadores de decisiones y técnicos del módulo, sobre un mejor control y uso del agua de riego disponible.

2. Partiendo del objetivo de la transferencia de los sistemas de riego a los usuarios, que es el desarrollo y aplicación de la capacidad de autogestión de los mismos, la capacitación deberá de ir desde la visión empresarial (desarrollo vertical) hasta la integral (desarrollo horizontal). Los temas a cubrir en tal capacitación podrías ser los siguientes: Planeación estratégica, mantenimiento y operación de los sistemas comunitarios (para técnicos y usuarios), organización de usuarios, desarrollo del concepto de cuencas hidrológicas, etc.
3. Implementar un programa urgente de rediseño y rehabilitación de los canales interparcelarios, así como de rehabilitación de los canales laterales, sub laterales, ramales y estructuras de control.
4. Implementar un programa de mejoramiento en el manejo del agua de riego a nivel parcelario, el cual deberá de contemplar la definición de la longitud, ancho, pendiente y caudal en función de las características propias de la parcela.
5. Con el fin de que exista un criterio de mejora continua, hacia la calidad total en el servicio al usuario, el modulo deberá de implementar la infraestructura necesaria de medición y control del agua de riego, para que a un futuro mediato, se aplique un criterio de entrega por volumen.

IX. LITERATURA CITADA

- Hunt, R. C. 1997. Sistemas de riego por canales: tamaño del sistema y estructura de la autoridad. En Antología sobre pequeño riego. Martínez Saldaña Tomas y Palerm Viqueira Jacinta, (editores). Colegio de Posgraduados, México.
- Skogerboe, G.V., and G.P. Merkley. 1996. Irrigation Maintenance and Operations Learning Process. Water Resources Publications, LLC, Highlands Ranch, Colorado. 358 pp.
- Palerm Viqueira, J. 1999 "Organizaciones autogestoras para la administración de sistemas de riego" Ponencia presentada en el Taller internacional transiciones en materia de tenencia de la tierra y cambio social, instituciones, organizaciones e innovaciones en torno a los recursos naturales, tierra, agua y bosques. CIESAS-IRD. México.
- Utah State University. 1989. SIRMED. Surface Irrigation Simulation Software. Department of Agricultural and Irrigation Engineering. Utah, Logan, U.S.A.
- Walker W. R. 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. 1993. SIRMED, Surface irrigation simulation software. Utah State University. Logan, Utah.
- 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: 55 p.

- Huerta, S. B. 2006. Diagnostico y alternativas para el manejo eficiente de la agua de riego en predios de la Comarca Lagunera. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Torreón. Torreón, Coahuila: 66 p.
- PALACIOS, V. E., "Técnicas para la evaluación y mejoramiento de la operación de los distritos de riego", Tesis de Maestría, Colegio de Posgraduados. Chapingo, México, 1972.
- PALACIOS, V. E. y EXEBIO, G. A., Introducción a la Teoría de la Operación de Distritos y Sistemas de Riego. Edit. Colegio de Posgraduados, Montecillo, México, 1989.
<http://www.chapingo.mx/anei/CongIntSistRiego.htm>
- Catalán V. E. 1998. Guía de Riego (Caso Región Lagunera). CENID-RASPA-INIFAP
- Playán, E., Faci, J. M. y Serreta, A. (1996). "Modeling microtopography in basin irrigation." *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, ASCE, 122(6), 339-347.
- Rendón et al. 1990. Diseño simplificado de riego por gravedad. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec Morelos, México.