

MÉXICO 2010



**GOBIERNO
FEDERAL**

SAGARPA

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



Diseño del riego por goteo sub-superficial para la producción de forrajes (DIRIGOS)

Miguel RIVERA GONZÁLEZ, Juan ESTRADA ÁVALOS, José Antonio CUETO WONG, José
Alfredo MONTEMAYOR TREJO y Ramón TRUCÍOS CACIANO

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias
Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera
Gómez Palasio, Dgo., Diciembre de 2010
Folleto Técnico Núm. 18 ISBN: 978-607-425-474-7
Serie: MX-0-310205-26-10-00-09-18

25 Aniversario
Ciencia y Tecnología
para el Campo Mexicano



Vivir Mejor

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

Lic. Francisco Javier Mayorga Castañeda
Secretario

MC. Mariano Ruíz-Funes Macedo
Subsecretario de Agricultura

Ing. Ignacio Rivera Rodríguez
Subsecretario de Desarrollo Rural

Dr. Pedro Adalberto González Hernández
Subsecretario de Fomento a los Agronegocios

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Dr. Pedro Brajcich Gallegos
Director General

Dr. Salvador Fernández Rivera
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

M.C. Arturo Cruz Vázquez
Encargado del Despacho de la Coordinación de Planeación y
Desarrollo

Lic. Marcial A. García Morteo
Coordinador de Administración y Sistemas

Lic. Ricardo Noverón Chávez
Director General Adjunto de la Unidad Jurídica

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA

Dr. José Antonio Cueto Wong
Director

Diseño del riego por goteo sub-superficial para la producción de forrajes (DIRIGOS)

M.C. Miguel RIVERA GONZÁLEZ
Dr. Juan ESTRADA ÁVALOS
Dr. José Antonio CUETO WONG
Dr. José Alfredo MONTEMAYOR TREJO
M.C. Ramón TRUCÍOS CACIANO

CENID - RASPA

2010

**Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias**

Progreso N°. 5, Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán, C. P. 04010 México D. F.
Teléfono: (55) 3871-8700

ISBN: 978-607-425-474-7

Primera Edición 2010

Derechos Reservados ©

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la Institución.

CONTENIDO

	Página
Introducción.....	1
Objetivos.....	2
Requerimiento de equipo.....	2
Instalación del programa.....	3
Descripción del programa.....	4
Submenú selección del gasto del emisor.....	4
Segunda opción: cuando se conoce únicamente la textura del suelo.....	6
Submenú: diseño de la unidad de riego.....	7
Opción: unidad de riego óptima.....	7
Unidad de riego prediseñada.....	12
Submenú: cálculo de la potencia de la bomba.....	13
Submenú reporte.....	15
Descripción de las variables y formulas utilizadas en el programa.....	17
Literatura citada.....	27

INTRODUCCIÓN

El riego por goteo sub-superficial o subterráneo es en la actualidad uno de los sistemas de riego más prometedores para la producción de forrajes. Los incrementos de rendimiento y la mayor eficiencia en el uso del agua encontrados para alfalfa (Phene, 1999; Neufeld, 2001; Rivera *et al.*, 2001; Rivera y Estrada, 2002; Figueroa *et al.*, 2003; Marcos *et al.*, 2003; Montemayor *et al.*, 2003; Somohano, 2003; Godoy y Reyes 2004; Montemayor *et al.*, 2006) y maíz forrajero (Montemayor *et al.*, 2004 y Olague *et al.*, 2006) al compararlo contra el riego por aspersión o gravedad lo sitúan como uno de los sistemas de riego del futuro para regiones con escasa disponibilidad de agua del país. En la actualidad se han generado programas para el diseño del riego por goteo superficial (Herrera *et al.*, 2000 y García, 2003) mas no específicamente para el riego por goteo subterráneo. En goteo superficial el espaciamiento entre regantes está condicionado por la separación entre surcos o hileras de plantas. Sin embargo, en goteo sub-superficial para la producción de forrajes, el espaciamiento entre líneas regantes se diseña de tal forma que permita humedecer en forma sub-superficial toda la superficie del suelo, para regar tanto cultivos en hilera como de cobertura total.

Uno de los aspectos claves en el diseño hidráulico de este sistema es la selección del espaciamiento entre líneas regante y su profundidad de instalación.

El presente programa utiliza un modelo empírico generado por el INIFAP CENID-RASPA que permite determinar el espaciamiento óptimo entre líneas regantes en función del gasto del emisor, tiempo de riego y la infiltración básica del suelo para un contenido de humedad equivalente a un 80% de la humedad disponible.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente folleto son los siguientes:

- Proporcionar un programa ó software a los investigadores y técnicos para obtener de una forma fácil y rápida el diseño de riego por goteo subterráneo para la producción de forrajes.
- Utilizar el programa para obtener diferentes alternativas de diseño y seleccionar la más adecuada.

REQUERIMIENTO DE EQUIPO:

El equipo necesario para ejecutar el programa es el siguiente:

Computadora PC Compatible:

- Procesador Pentium ó mayor.
- Windows 2000 ó XP.
- 64 Mb. de Memoria RAM (mínimo).
- Espacio disponible en Disco de 10 Mb.
- Unidad de CD 8X.
- Monitor resolución mínima 800X600 píxeles.

INSTALACIÓN DEL PROGRAMA

La sesión de instalación se inicia al abrir la carpeta proporcionada en el CD. Aparecen tres archivos, presionar Setup, en seguida aparece la ventana de instalación presionar aceptar, aparecerá la ruta de instalación checar que aparezca C:\Archivos de programa\DIRIGOS\, en caso de aparecer una ruta diferente sustituirla por esta. Se hace clic en el botón para iniciar la instalación, aparece una pantalla indicando que el programa de instalación agregará los elementos al grupo mostrado en el cuadro grupo de programas, puede escribir un grupo nuevo o seleccionar uno de la lista de los grupos existentes, se recomienda seleccionar DIRIGOS, en seguida se presiona continuar. Durante la instalación del programa, aparece varias veces una pantalla de conflicto de versiones, donde se pregunta si se desea conservar el archivo cada vez que se pregunte esto presionar que si. En seguida aparece una pantalla que indica un error al registrar el archivo, presionar omitir. Finalmente aparece una pantalla que indica que la instalación de DIRIGOS ha finalizado correctamente oprimir aceptar. Con esto la sesión de instalación ha terminado. Al entrar al programa, este pide un contraseña teclear **cenid** y oprimir aceptar para ingresar al programa.

DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA:

El menú principal del programa comprende las siguientes opciones o submenús: Selección del gasto del emisor, diseño de la unidad de riego, cálculo de la potencia del motor y bomba y el submenú reporte (Figura 1).

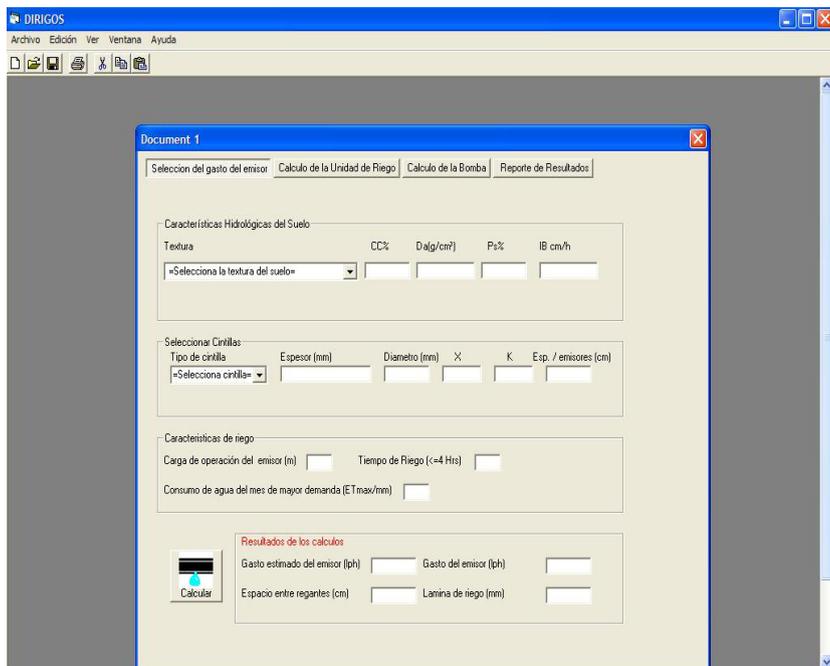


Figura 1. Menú principal del programa.

SUBMENÚ SELECCIÓN DEL GASTO DEL EMISOR

Este submenú presenta dos opciones. Una cuando se conoce la velocidad de infiltración básica del suelo (IB) y su contenido de humedad gravimétrico equivalente a un 80% de la humedad disponible (Ps%). la otra opción cuando únicamente se conoce la textura del suelo

Primera opción (cuando se conoce la IB y el Ps%):

Para activar esta opción se selecciona **Otra** dentro del combo de texturas disponibles, en seguida el programa inhabilita las casillas de capacidad de campo (CC) y Densidad aparente (Da). Se procede a introducir los valores de Infiltración básica (cm/h) y el contenido de humedad del suelo gravimétrico equivalente a un 80% de la humedad disponible (Ps%). En seguida se selecciona una cintilla de goteo, automáticamente el programa presenta los valores de las constantes k y x de la ecuación de carga gasto del emisor, el diámetro de la cintilla (mm), y el espaciamiento entre emisores (cm). El programa pide la carga de operación del emisor (H_e) en metros y el tiempo de riego (h), el cual se recomienda no debe de exceder de 4 horas para garantizar una simetría de los bulbos de humedecimiento y evitar pérdidas de agua por percolación profunda (García, 2002).

Con esta información el programa calcula el espaciamiento entre líneas regantes (E_r), el gasto estimado del emisor (Q_{ee}) y la lámina de riego (L_r). Prueba que el gasto propuesto (Q_e) sea menor o igual que el Q_{ee} y que la lámina de riego calculada sea mayor o igual que la ET_{max} . Si esta condición no se cumple el programa solicita que se seleccione otra cintilla. Si la condición se cumple el programa exhibe el gasto del emisor estimado (Q_{ee}), el gasto del emisor puesto (Q_e), el espaciamiento entre regantes (E_r) y la lámina de riego (L_r) en mm que se puede aplicar en cada evento de riego.

Segunda opción: cuando se conoce únicamente la textura del suelo:

Al seleccionar esta opción el programa presenta una lista de las texturas de suelo disponibles (Figura 2), se selecciona una de ellas y se presentan valores típicos de las características físicas tales como velocidad de infiltración básica, y el contenido de humedad del suelo equivalente al 80% de la humedad disponible. Se selecciona el tipo de cintilla de goteo y se sigue el mismo procedimiento de la primera opción.

Document 1

Selección del gasto del emisor | Calculo de la Unidad de Riego | Calculo de la Bomba | Reporte de Resultados

Características Hidrológicas del Suelo

Textura	CC%	Da(g/cm ³)	Pk%	IB cm/h
B. Franco arcilloso	26.8	1.45	24.58	1.5

Seleccionar Cántulas:

Tipo de cántula	Espesor (mm)	Diámetro (mm)	X	K	Esp. / emisores (cm)
TSV-515-20-500	15mm(375mm)	16	0.56	0.383	20

Características de riego:

Carga de operación del emisor (m) 10 Tiempo de Riego (T_r) (h) 3

Consumo de agua del mes de mayor demanda (ET max/mm) 9

Resultados de los cálculos

Gasto estimado del emisor (l/h)	2.6365143	Gasto del emisor (l/h)	1.3905868
Espacio entre regarías (cm)	89.950477	Lamina de riego (mm)	22.023780

Calcular

Figura 2. Selección del gasto del emisor, cuando se conoce la textura del suelo.

SUBMENÚ DISEÑO DE LA UNIDAD DE RIEGO

Este submenú presenta dos opciones: La unidad de riego óptima y unidad de riego prediseñada (Figura 3).

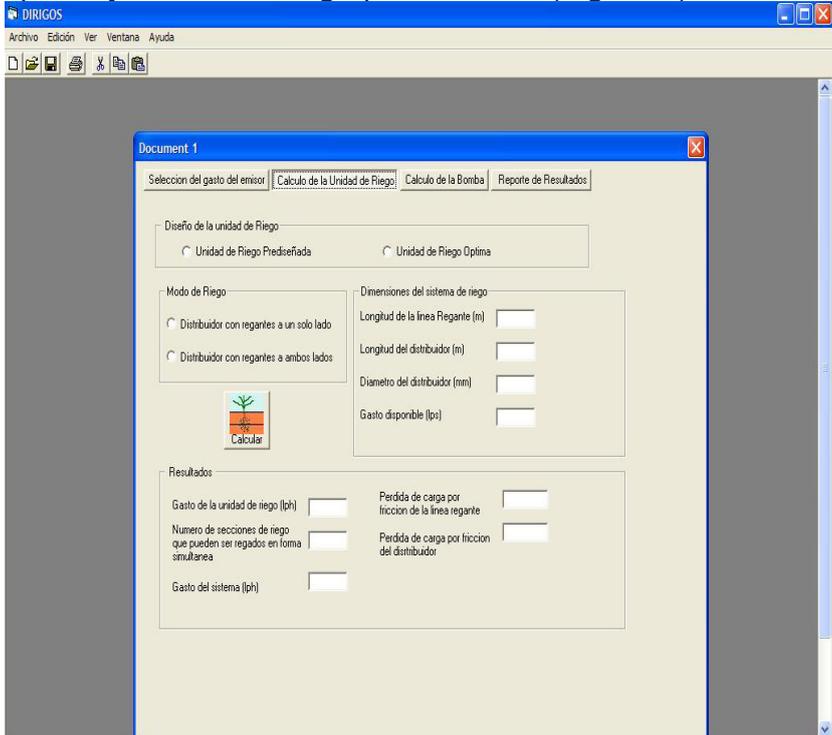


Figura 3. Opciones del submenú diseño de la unidad de riego.

OPCIÓN: UNIDAD DE RIEGO ÓPTIMA

Esta condición diseña el tamaño máximo de la unidad de riego. Para el caso de diseño hidráulico de una unidad de riego por goteo o cualquier otro método de riego presurizado que sea fijo, se diseña como una unidad o sección de riego, la cual en términos generales tiene en su parte central un distribuidor con laterales a ambos lados como lo describe Karmeli y Keller (1975). Esta situación

hace que el criterio de diseño hidráulico permita una variación en gasto de 10 por ciento entre los goteros más favorecidos y los menos favorecidos, lo cual implica una pérdida de carga hidráulica máxima permisible, misma que debe ser formada por la pérdida permisible en el lateral o línea regante y la permisible en el distribuidor, pero que por supuesto la suma de ambas debe ser menor o igual a la permisible en la sección o unidad de riego.

La situación anterior hace pensar que para condiciones fijas de diámetro de lateral y distribuidor, gasto y separación de las salidas, factor de fricción y pérdidas de carga, constantes y en plano, se puede lograr varios arreglos de diferentes tamaños y conformación de las unidades que garanticen con la condición de que la pérdida de carga permisible en el lateral más la permisible en el distribuidor no superen a la pérdida de carga total en la unidad, moviéndose en el rango de laterales muy cortos y distribuidores largos hasta laterales muy largos y distribuidores cortos; ante esta situación se puede pensar que puede existir una combinación tal que sea de costo mínimo.

En otro sentido se puede decir que el costo para una unidad de riego, es proporcional al área que cubre. Sin embargo, los costos debidos a los puntos de control que tendrán que ser de costo fijo por cada unidad de riego, serán costos unitarios menores ($\$/m^2$) en cuanto el área de la unidad sea mas grande, por lo que una unidad de costo mínimo ($\$/m^2$) será equivalente a una unidad de área máxima.

Con la explicación anterior, el programa lo que hace es investigar diferentes tamaños de unidades de riego dentro de los rangos aceptables de pérdida permisible en lateral y distribuidor. A continuación se ajustan los datos del área de la unidad de cada caso con la pérdida permisible en el lateral (no los del distribuidor porque son lateralmente dependientes) a un modelo lineal de segundo grado.

$$A = \beta_0 + \beta_1 * \Delta H_{LAT} + \beta_2 * \Delta H_{LAT}^2 \quad Ec.1$$

Al disponer de dichos datos la ecuación 1 se deriva e iguala a cero para cumplir con la condición necesaria para obtener un punto (H_{Lat}, A) extremo que es fácil demostrar que es un máximo; al resolver la ecuación de primer grado resultante (Ec.2) se obtiene la pérdida de carga permisible en el lateral correspondiente a la unidad de riego máxima.

$$\frac{dA}{d\Delta H_{LAT}} = \beta_1 + 2 * \beta_2 * \Delta H_{LAT} = 0 \quad Ec.2$$

$$\Delta H_{LAT} = \frac{-\beta_1}{2 * \beta_2} \quad Ec.3$$

Con el método de mínimo cuadrado se obtienen los parámetros (β_0 , β_1 , β_2), representado por el vector β . Expresado matricialmente como:

$$\beta = [X' * X]^{-1} * Y \quad Ec.4$$

Donde:

X: Representa la matriz formada por los datos de ΔH_{LAT} y

ΔH_{LAT}^2

X': La matriz X transpuesta

[X'*X]⁻¹: La inversa de la multiplicación de las matrices X y X'

Y: El vector de datos de área de la unidad calculados.

β: Es el vector de parámetros estimados de la parábola

Al resolver la unidad de riego óptima el programa exhibe valores particulares para los coeficientes de pérdidas locales del emisor y de la regante a los cuales le da un valor de 0.35 y 0.009 respectivamente (Figura 4). Estos valores pueden remplazarse por valores conocidos más apropiados. Pide también que se ingresen, el diámetro del distribuidor (mm) y el gasto disponible (lps). Con estos valores el programa envía la siguiente información:

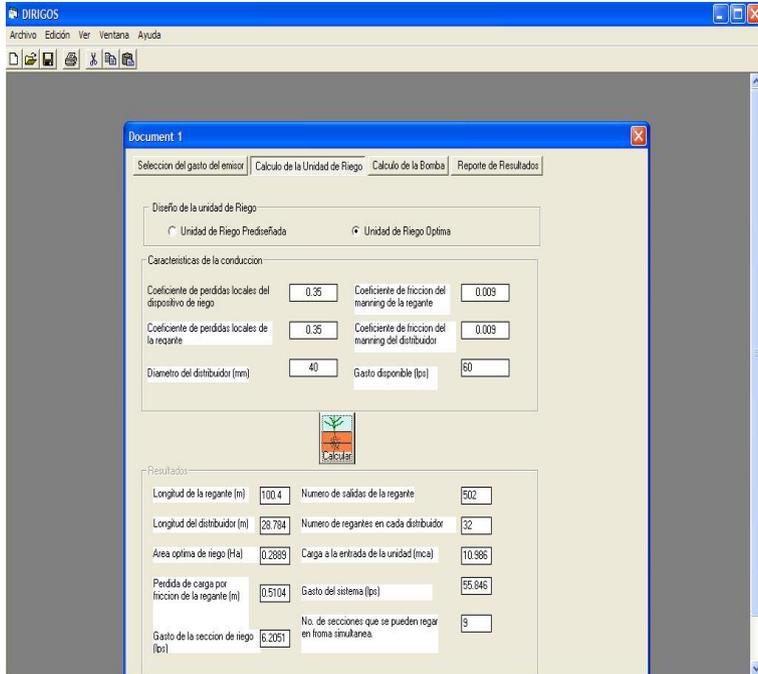


Figura 4. Diseño de unidad de riego óptima.

- La longitud de la regante(m)
- La longitud del distribuidor (m)
- El área óptima de riego(ha)
- Las pérdidas de carga por fricción de la regante(m)
- El gasto de la sección de riego (lps)
- El número de salidas o emisores de la regante
- El número de regantes en el distribuidor
- La carga a la entrada de la unidad de riego(m)
- El gasto del sistema de riego (lps)
- El número de secciones de riego que se pueden regar en forma simultánea

UNIDAD DE RIEGO PREDISEÑADA:

En esta opción el diseño de la unidad de riego se condiciona a un área de dimensiones establecidas, es decir se conoce la longitud de la línea regante y del distribuidor. El programa presenta dos opciones, una cuando el distribuidor se diseña con regantes a un solo lado y a ambos lados. Primero se selecciona una de las opciones anteriores. En seguida se dan de alta las longitudes de la línea regante y el distribuidor, el diámetro del distribuidor así como gasto disponible (Figura 5).

Document 1

Selección del gasto del emisor | **Calculo de la Unidad de Riego** | Calculo de la Bomba | Reporte de Resultados

Diseño de la unidad de riego:

Unidad de Riego Prediseñada Unidad de Riego Óptima

Modo de Riego:

Distribuidor con regantes a un solo lado

Distribuidor con regantes a ambos lados

Dimensiones del sistema de riego:

Longitud de la línea Regante (m)

Longitud del distribuidor (m)

Diámetro del distribuidor (mm)

Gasto disponible (psi)

Calcular

Resultados:

Gasto de la unidad de riego (lph)

Perdida de carga por fricción de la línea regante

Numero de secciones de riego que pueden ser regados en forma simultánea

Perdida de carga por fricción del distribuidor

Gasto del sistema (lph)

Figura 5. Diseño de la unidad de riego prediseñada.

Con las características de la cintilla seleccionada previamente, el programa calcula las pérdidas de carga permisible de la regante y el distribuidor, calcula las pérdidas de carga por fricción de la regante, si ésta es mayor que la permisible se debe de regresar al submenú selección del gasto del emisor y seleccionar una cintilla de diámetro mayor. Una vez que la pérdida de carga por fricción de la regante es menor o igual a la permisible se calcula la pérdida de carga por fricción del distribuidor, si ésta es mayor que la permisible, se debe proponer un diámetro mayor. Cuando las dos condiciones se cumplen el programa presenta los siguientes resultados:

- Gasto de la sección de riego (lph)
- Número de secciones de riego que pueden regarse en forma simultánea
- Gasto del sistema de riego (lps)
- Pérdida de carga por fricción de la regante (m)
- Pérdida de carga por fricción del distribuidor (m)

SUBMENÚ: CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA

En este submenú el programa pide la siguiente información:

- Las pérdidas de carga en el filtro y en el tanque fertilizador(m)
- La eficiencia de la bomba y del motor (fraccional)
- La longitud de la conducción(m)

- El desnivel entre la succión y descarga de la bomba(m)

Enseguida se presiona la opción cargar los diámetros donde el programa propone un rango de diámetros entre el mínimo y máximo recomendados para la tubería de conducción. Se selecciona un diámetro, si este corresponde al diámetro mínimo recomendado el costo de la tubería de conducción es menor, pero se incrementan las pérdidas de carga por fricción y la potencia de la motobomba por consecuencia el costo de ésta se incrementa, por el contrario, si se selecciona el diámetro recomendado máximo, el costo de la tubería de conducción se incrementa pero disminuyen las pérdidas de carga por fricción y la potencia de la motobomba disminuyendo su costo.

Este submenú da como salida la potencia de la bomba y el motor que requiere el sistema de riego (Figura 6).

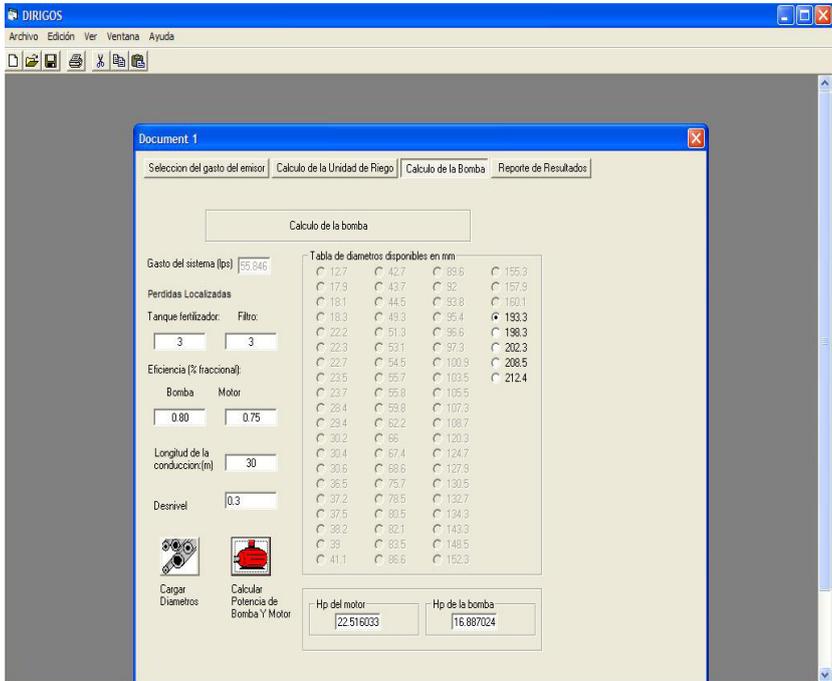


Figura 6. Submenú Cálculo de la potencia de la bomba y motor.

SUBMENÚ REPORTE:

En este submenú se da un resumen de las características del diseño efectuado. La información se presenta en las Figuras 7 y 8.

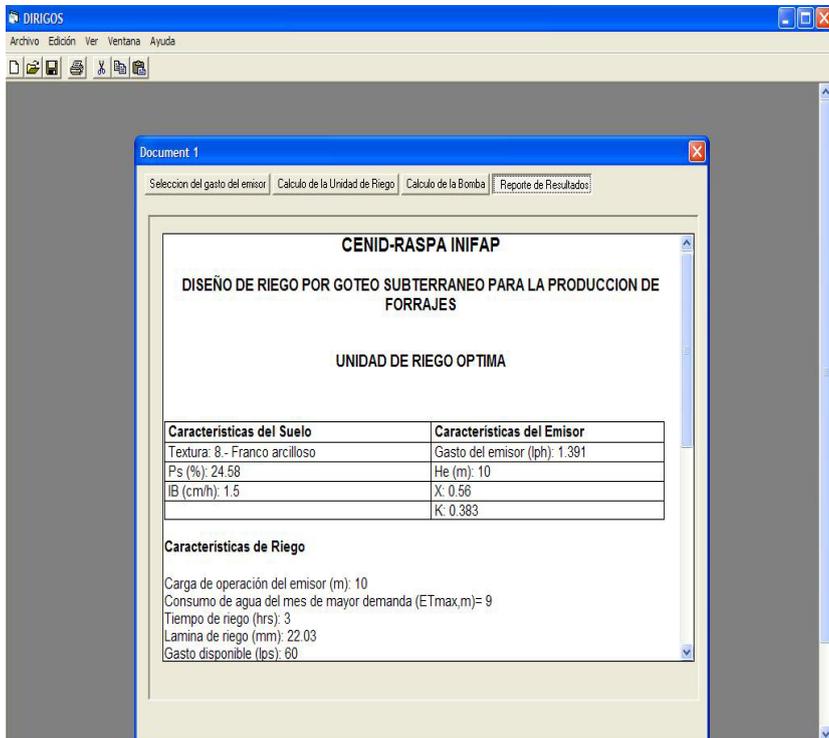


Figura 7. Información de características del suelo, del emisor y riego del submenú reporte.

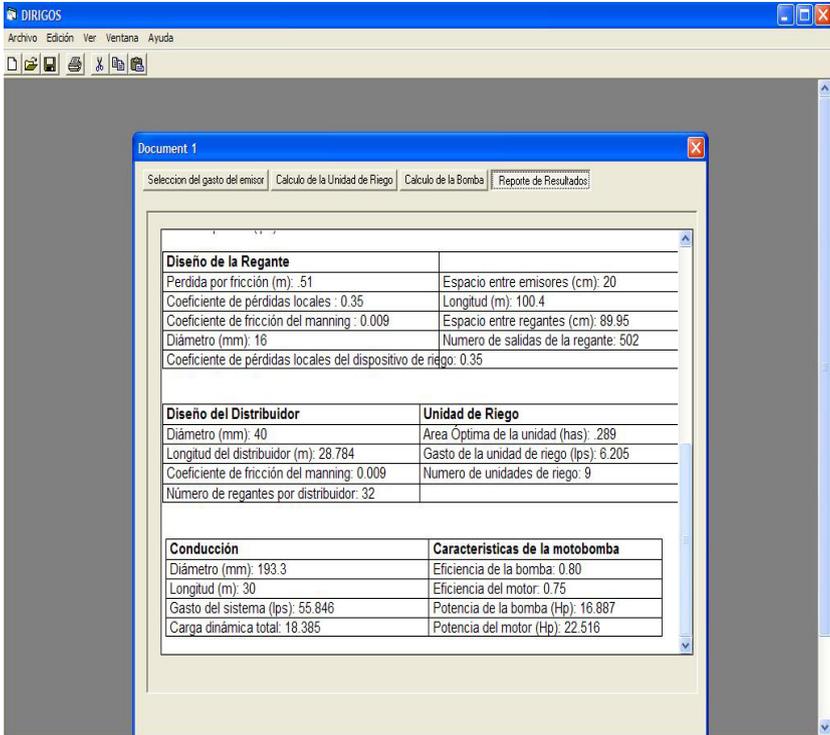


Figura 8. Información de las características del diseño de la regante, distribuidor, unidad de riego, conducción y motobomba, del submenú reporte.

DESCRIPCIÓN DE VARIABLES Y FORMULAS UTILIZADAS EN EL PROGRAMA:

SUBMENÚ: SELECCIÓN DEL GASTO DEL EMISOR:

En este submenú cuando no se conocen los valores de CC, Da y Ps, el programa presenta una lista de texturas disponibles, las cuales se presentan en el Cuadro1, donde para cada textura se dan los valores del contenido de

humedad del suelo a capacidad de campo (CC), la densidad aparente (Da) y el contenido de humedad equivalente a un 80% de la humedad disponible. Los datos de CC, Da y Ps para cada textura de suelo se tomaron del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (1997) y corresponden a un valor promedio de un perfil de suelo de 60 cm. Los valores de infiltración básica fueron tomados de Herrera, *et al.*, (2000).

Cuadro 1. Valores de capacidad de campo (CC) gravimétrico, densidad aparente (Da), Contenido de humedad del suelo gravimétrico (Ps%) equivalente a un 80% de la humedad disponible.

Textura	CC (%)	Da (g/cm ³)	Ps (%)	IB (cm/h)
Arena	7.85	1.65	6.93	12
Areno francoso	10.95	1.65	9.63	7.75
Franco arenoso	14.4	1.6	12.66	4.75
Franco arenoso fino	18.85	1.55	16.63	3
Franco	23.1	1.5	20.75	3
Franco arcillo arenoso	27.3	1.45	24.64	3
Franco limoso	27.6	1.45	23.98	1.5
Franco arcilloso	26.8	1.45	24.58	1.5
Franco arcillo limoso	28.2	1.4	25.31	1.5
Arcillo limoso	28.3	1.35	26.3	0.75
Arcilloso	29.1	1.3	27.37	0.75

En este submenú cuando no se conocen las características de la cintilla de goteo que se pretende utilizar, el programa presenta como opción una lista de cintillas disponibles en el mercado y sus características las cuales se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Algunas de las cintillas de goteo disponibles en el mercado.

Cintillas	Espesor de pared (mm)	Diámetro (mm)	x'	k'	Ee'' (cm)
TSX-515-20-250	15mil(0.375)	16	0.55	0.195	20
TSX-515-20-500	15mil(0.375)	16	0.56	0.383	20
TSX-515-30-170	15mil(0.375)	16	0.56	0.195	30
TSX-515-30-250	15mil(0.375)	16	0.55	0.289	30
TSX-515-30-340	15mil(0.375)	16	0.56	0.390	30
TSX-515-40-125	15mil(0.375)	16	0.55	0.195	40
TSX-515-40-250	15mil(0.375)	16	0.56	0.383	40
TSX-515-50-800	15mil(0.375)	16	0.55	1.551	50
TSX-515-50-400	15mil(0.375)	16	0.55	0.772	50
TSX-515-60-210	15mil(0.375)	16	0.55	0.484	60
TSX-515-60-310	15mil(0.375)	16	0.55	0.715	60
TSX-515-75-267	15mil(0.375)	16	0.55	0.779	75
TSX-515-75-553	15mil(0.375)	16	0.55	1.558	75
TSX-515-91-210	15mil(0.375)	16	0.54	0.750	91
TSX-515-91-420	15mil(0.375)	16	0.55	1.479	91
TSX-515-100-200	15mil(0.375)	16	0.55	0.772	100
TSX-515-100-400	15mil(0.375)	16	0.55	1.551	100
TSX-715-30-170	15mil(0.375)	22	0.56	0.195	30
TSX-715-30-250	15mil(0.375)	22	0.55	0.289	30
TSX-715-30-340	15mil(0.375)	22	0.56	0.390	30
TSX-715-40-250	15mil(0.375)	22	0.56	0.383	40
TSX-715-50-800	15mil(0.375)	22	0.55	1.551	50
TSX-715-50-400	15mil(0.375)	22	0.55	0.772	50
TSX-715-60-210	15mil(0.375)	22	0.55	0.484	60
TSX-715-60-310	15mil(0.375)	22	0.55	0.715	60
TSX-715-75-267	15mil(0.375)	22	0.55	0.779	75
TSX-715-75-533	15mil(0.375)	22	0.55	1.558	75
TSX-715-91-210	15mil(0.375)	22	0.54	0.750	91
TSX-715-91-420	15mil(0.375)	22	0.55	1.479	91
TSX-715-100-200	15mil(0.375)	22	0.55	0.772	100
TSX-715-100-400	15mil(0.375)	22	0.55	1.551	100
Eurodrip-0.4gph	15mil(0.375)	16	0.54	0.458	20.2

Eurodrip-0.4gph	15mil(0.375)	16	0.54	0.458	30.2
Eurodrip-0.4gph	15mil(0.375)	16	0.54	0.458	40.3
Eurodrip-0.4gph	15mil(0.375)	16	0.54	0.458	45.4
Eurodrip-0.4gph	15mil(0.375)	16	0.54	0.458	60.5
Eurodrip-0.6gph	15mil(0.375)	16	0.50	0.767	20.2
Eurodrip-0.6gph	15mil(0.375)	16	0.50	0.767	30.2
Eurodrip-0.6gph	15mil(0.375)	16	0.50	0.767	40.3
Eurodrip-0.6gph	15mil(0.375)	16	0.50	0.767	45.4
Eurodrip-0.6gph	15mil(0.375)	16	0.50	0.767	60.5
Eurodrip-0.6gph	15mil(0.375)	22	0.54	0.458	20.2
Eurodrip-0.4gph	15 mil(0.375 mm)	22	0.54	0.458	30.2
Eurodrip-0.4gph	15 mil(0.375 mm)	22	0.54	0.458	40.3
Eurodrip-0.4gph	15 mil(0.375 mm)	22	0.54	0.458	45.4
Eurodrip-0.4gph	15 mil(0.375 mm)	22	0.54	0.458	60.5
Eurodrip-0.6gph	15 mil(0.375 mm)	22	0.50	0.767	20.2
Eurodrip-0.6gph	15 mil(0.375 mm)	22	0.50	0.767	30.2
Eurodrip-0.6gph	15 mil(0.375 mm)	22	0.50	0.767	40.3
Eurodrip-0.6gph	15 mil(0.375 mm)	22	0.50	0.767	45.4
Eurodrip-0.6gph	15 mil(0.375 mm)	22	0.50	0.767	60.5

* x y k, son los parámetros de la ecuación carga-gasto.

** Ee, es el espaciamiento entre emisores o goteros.

Para calcular el gasto del emisor se utiliza una función potencial (Keller y Karmeli, 1974; Peña *et al.*, 1978; Burt y Stuart, 1994) la cual es representada por la Ecuación 5.

$$Q_e = kH^x$$

Ec.5

Donde :

Q_e: es el gasto del emisor (lph)

H: es la carga de operación del emisor (m)

x y k: son parámetros de ajuste de la ecuación

El valor de x depende de las unidades del gasto y la carga y principalmente del diámetro del orificio del emisor, el

valor de x ó exponente de descarga del emisor indica la sensibilidad del dispositivo a los cambios de presión.

Para calcular el espaciamiento entre regantes el programa utiliza un modelo empírico generado por el INIFAP CENID-RASPA que calcula el espaciamiento en función del gasto del emisor, el tiempo de riego, la infiltración básica del suelo y el contenido de humedad en base a suelo seco equivalente a un 80% de la humedad disponible (Ecuación 6). En esta ecuación se considera un 15% de traslape entre bulbos de humedecimiento.

$$Er = \left(7.462 Qe^{0.386} T^{0.491} IB^{0.051} Ps^{0.397} \right) * 2 * 0.85 \quad Ec.6$$

Donde:

Er: es el espaciamiento entre regantes (cm)

Qe: es el gasto del emisor (lph)

T: es el tiempo de riego (h)

IB: es la infiltración básica del suelo (cm/h) y

Ps: es el contenido de humedad gravimétrico equivalente a un 80% de la humedad disponible del suelo (%)

En este submenú el programa calcula el gasto estimado del emisor (Q_{ee}) que es le gasto máximo permitido que se puede aplicar en función del espaciamiento entre emisores (E_e) y regantes (E_r) y la infiltración básica del suelo (IB) para hacer este cálculo se utiliza la Ecuación 7.

$$Q_{ee} = \left(\frac{IB(E_r * E_e)}{1000} \right) \quad Ec.7$$

Donde:

Q_{ee}: es el gasto estimado del emisor (lph)

I_B: es al infiltración básica del suelo (cm/h)

E_r: es el espaciamiento entre regantes (cm) y

E_e: es el espaciamiento entre emisores (cm)

También el programa calcula la lámina de riego que puede aplicar en función del gasto del emisor propuesto (Q_e), el espaciamiento entre regantes (E_r), espaciamiento entre emisores (E_e) y el tiempo de riego (T_r) considerando una eficiencia de aplicación del sistema del 95%, para esto utiliza la ecuación 8.

$$Lr = \left[\frac{(Tr * (Qe/1000) * Ea)}{(Er * Ee) / 10000} \right] * 1000 \quad Ec8$$

Donde:

L_r: es la lámina de riego que se puede aplicar por evento de riego (mm)

T_r: es el tiempo de riego (h)

Q_e: el gasto del emisor (lph)

E_a: la eficiencia de aplicación la cual se considera como un valor constante del 95%

E_r: es el espaciamiento entre regantes (cm) y

E_e: el espaciamiento entre emisores (cm)

Para checar que el gasto seleccionado de diseño sea correcto el programa compara dos condiciones que el Q_e sea menor o igual a Q_{ee} y que la lámina de riego (L_r) sea mayor o igual a la evapotranspiración máxima del cultivo

(ET_{max}). Si las dos condiciones se cumplen el programa da por aceptado el gasto de diseño propuesto.

SUBMENU: DISEÑO DE LA UNIDAD DE RIEGO

Este submenú presenta dos opciones: Unidad de riego prediseñada y unidad de riego óptima

UNIDAD DE RIEGO PREDISEÑADA:

En esta opción el diseño de la unidad de riego se condiciona a un área de dimensiones establecidas, es decir se conoce la longitud de la línea regante y del distribuidor. El programa presenta dos opciones, una cuando el distribuidor se diseña con regantes a un solo lado y la otra con regantes a ambos lados. Para ambas opciones el programa carga la información generada en el submenú selección del gasto del emisor.

Para diseñar la unidad de riego el programa realiza los siguientes cálculos:

- Calcula la pérdida de carga permisibles en la unidad de riego, la regante y el distribuidor, considerando que el 75% de la perdida de carga permisible de la unidad de riego se pierde en el distribuidor y el 25% en la regante
- Calcula las pérdidas de carga por fricción de la regante y el distribuidor
- Compara que las pérdidas de carga por fricción de la regante y distribuidor sean menores que la

permisible, si no es así se selecciona otro diámetro de la regante y del distribuidor.

- Una vez conocida la longitud de la tubería de conducción, calcula el diámetro mínimo y máximo recomendado para la tubería de conducción
- Calcula la pérdida de carga por fricción en la conducción
- Conociendo la pérdida de carga en el filtro y tanque fertilizador y asumiendo que las pérdidas de carga localizadas totales del sistema de riego (no considerando las pérdidas localizadas del filtro y tanque fertilizador) calcula la carga dinámica total del sistema
- Una vez calculada la carga dinámica total, calcula la potencia de la bomba y motor. Las fórmulas que utiliza para los cálculos anteriores son las siguientes:

$$Q_i = 1.05 * Q_e \quad E_c9$$

$$Q_f = 0.95 * Q_e \quad E_c10$$

$$H_i = \left(\frac{Q_i}{K} \right)^{1/x} \quad E_c11$$

$$H_f = \left(\frac{Q_f}{K} \right)^{1/x} \quad E_c12$$

$$H_{p-sr} = H_i - H_f \quad E_c13$$

$$H_{p-Lr} = 0.25 * (H_{p-sr}) \quad E_c14$$

$$H_{p-d} = 0.75 * (H_{p-sr}) \quad E_c15$$

Donde:

Qi: es el gasto del emisor al inicio de la línea regante (lph)

Qf: es el gasto del emisor al final de la línea regante(lph)

Hi, Hf: son las cargas de operación para Qi y Qf (m)

k y **x:** son los parámetros de la ecuación carga gasto(adimensionales)

Hp-sr: es la pérdida de carga permisible de la sección de riego(m),

Hp-Lr: es la pérdida de carga permisible de la regante(m) y

Hp-d: es la pérdida de carga permisible en el distribuidor

Las pérdidas de carga para la regante y el distribuidor se calculan con la ecuación de Hazen-Williams.

$$H_f = \left(\frac{1.21 * 10^{10}}{D^{4.87}} \right) * \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} * L * F \quad Ec.16$$

$$F = \left(\frac{1}{m+1} \right) + \left(\frac{1}{2N} \right) + \left(\frac{m-1}{6N^2} \right)^{0.5} \quad Ec.17$$

Donde:

Hf: es la pérdida de carga por fricción de la regante o el distribuidor(m)

D: el diámetro de la regante o el distribuidor(mm)

Q: el gasto de la regante o el distribuidor (lps)

C: factor de fricción que depende del tipo de material, el programa toma un valor de C constante de 140 para la regante y 150 para el distribuidor

F: factor que depende del número de salidas

m: factor que depende del número de salidas y de F, el programa toma valor constante de m=1.85

Para el cálculo del diámetro de la conducción el programa utiliza las ecuaciones siguientes para el diámetro mínimo y máximo (Peña, 1997)

$$DC_{\min} = \left(\frac{(0.8 * Q_{sist}^{0.5}) * 100}{2.54} \right) \quad Ec.18$$

$$DC_{\max} = \left(\frac{(1.19 * Q_{sist}^{0.5}) * 100}{2.54} \right) \quad Ec.19$$

$$HC = \left(\frac{83.38 * 10^{-5} * Lc * Q_{sist}^2}{(DC * 0.0254)^{16/3}} \right) \quad Ec.20$$

Donde:

DCmin: es el diámetro de la tubería de conducción mínimo sugerido (pulgadas)

DCmax: es el diámetro de la tubería de conducción máximo sugerido (pulgadas)

Qsist: es el gasto del sistema de riego (m³/seg)

Lc: es la longitud de la tubería de conducción (m) y

Dc: es el diámetro de la tubería de conducción (pulgadas)

$$CDT = ((He + Hf - Lr + Hf - d + HC) * 1.10) + (Hfilt + Hfert \pm Ds) \quad Ec.21$$

Donde:

CDT: es la carga dinámica total del sistema de riego (m)

He: es la carga de operación del emisor(m)

Hf-Lr: es la pérdida de carga por fricción de la regante (m)

Hf-d: es la pérdida de carga por fricción del distribuidor(m)

Hfilt: es la pérdida de carga en el filtro(m)

Hfert: es la pérdida de carga en el tanque fertilizador(m)

Ds: es el desnivel topográfico (m)

$$HPb = (CDT * Q_{sist}) / (76 * Eb) \quad Ec.22$$

$$HPm = HPb / Em \quad Ec.23$$

Donde:

HPb: es la potencia de la bomba (HP)

HPm: es la potencia del motor (HP)

Eb: es la eficiencia de la bomba (fraccional)

Em: es la eficiencia del motor (fraccional)

LITERATURA CITADA

- Figueroa V. R., Ramírez B.A., Berumen P. S., Gallegos P.A., y Castellanos P.E. 2003. Uso eficiente del agua en la producción de forrajes en la Comarca Lagunera. Memorias de la XV Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. 46-51 pp.
- García P., Y. 2002. Evaluación de modelos matemáticos, para estimar patrones de humedecimiento en riego por goteo subsuperficial. Tesis de maestría en Ciencias en Irrigación. Instituto Tecnológico Agropecuario N° 10. 63 p.
- García H., F. 2003. Un programa de cómputo para el diseño del riego localizado. Memorias del XII. Congreso Nacional de Irrigación. Zacatecas Zac. 73-79 pp.
- Godoy A., C e I.J. Reyes. 2004. Fertirriego en alfalfa. Memorias de la XVI Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. 212-216 pp.
- Herrera P., J.C., E. Peña P. y J.M. González. 2000. Sistemas de riego presurizados. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 2 p.

- Keller J. and D. Karmeli 1975. Trickler irrigation design. Edited and published by Rain Bird sprinkler corporation, Glendora, California 91740 USA. 20-25 pp.
- Marcos S., A.H., G. Medina B., M. López R., A. García E., J.C. Herrera P. 2003. La reconversión productiva de la alfalfa mediante cinta de riego en el valle de Santo Domingo, BCS. Memorias de XII Congreso Nacional de Irrigación. Zacatecas, Zac. México. 107-114 pp.
- Montemayor T., J. A., A. O. Gómez M. y J. Olague R. 2004. Adopción del riego por goteo subsuperficial para maíz forrajero en la Comarca Lagunera. Memorias de la XVI Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. 534-538 pp.
- Montemayor T., J.A., H.W. Aguirre A., A. Huerta R., J. Olague R., J. Castruita L. 2005. Consumo de agua en la alfalfa durante el establecimiento con riego superficial. Memorias de la XVII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. 417-420 pp.
- Montemayor T., J. A., H. Aguirre A., M. Fortis H., J. Olague R., J. C. Rodríguez R. J. A. Chavira G., R. Aldaco N., S. R. Bravo S., A. Huerta R. y L. Galindo G. 2006. Uso del agua en la alfalfa con riego subsuperficial II. Memoria de la XVIII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. 168-173 pp.
- Neufeld J. 2001. Water conservation with subsurface drip irrigation. Drought Symposium sponsored by Senator Larry Craig Collage of Southern Idaho. USA.
- Olague R.,J., J.A. Montemayor T., S. R. Bravo S., M. Fortis H., R. A. Aldaco N., E. Ruíz C. 2006. Características

- agronómicas y calidad del maíz forrajero con riego subsuperficial. *Técnica Pecuaria*. 44(3): 351-357.
- Peña P., E. 1997. Tecnificación del riego presurizado: en Manual para el diseño de riego de zonas pequeñas. Comisión Nacional del Agua (CNA) e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 1-100 pp.
- Phene, C. 1999. Producción de alfalfa con riego por goteo. Memorias del Primer Simposium Internacional de Irrigación y Nutrición Vegetal. León Guanajuato, México. 75-83 pp.
- Rivera G., M. C. Orona I., C. Sánchez I., R. Macías I., S. Martínez J. Y A. Estrada A. 2001. Obtención de una función de producción del agua para el cultivo de alfalfa mediante riego por goteo subsuperficial (cintilla de goteo) en la Región Lagunera. Memorias del XI Congreso Nacional de Irrigación (ANEI). Guanajuato. Guanajuato México. 165-168 pp.
- Rivera G., M. y J. Estrada A. 2002. Producción de alfalfa mediante riego por goteo subterráneo (dos años de evaluación). Memorias del XXXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Torreón Coah. México.
- Rivera G., M. y J. A. Estrada, I. C. Orona y G. C. González. 2004. Funciones de producción hídricas para la alfalfa (*Medicago sativa*) en riego por goteo subsuperficial o subterráneo. Memorias de la XVI Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. 642-646 pp.
- S.C.S. 1997. Requerimientos de agua para riego. In: Requerimientos de agua para riego. Manual de Ingeniería Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Capitulo 2 parte 623. Traducción

realizada por el personal de la CNA y el Colegio de Postgraduados de Chapingo

Somohano M., D. 2003. Sistema de goteo con cinta enterrada para la producción e forrajes. ENGALEC. Torreón, Coah. México.



Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria, Centros de Investigación Regional y Campos Experimentales



-  Sede de Centro de Investigación Regional
-  Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
-  Campo Experimental

Comité Editorial del CENID-RASPA

Presidente: Dr. José Antonio Cueto Wong

Secretario: Dr. Miguel A. Velásquez Valle

Vocales: Dr. Juan Estrada Ávalos
M. C. Miguel Rivera González

Revisores Técnicos

M. C. Abel Román López

Dr. Ernesto Catalán Valencia

Edición y diseño:

L. D. G. Leticia Jara Ramírez

La presente publicación se terminó de imprimir en Diciembre de 2010 en los talleres del Grupo Colorama, Adolfo Aymes No. 50 Cd. Industrial, Torreón, Coahuila. C.P. 27000
Tel (871)7506500

Su tiraje consta de 500 ejemplares

**CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
DISCIPLINARIA RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-
ATMÓSFERA**

DR. JOSÉ ANTONIO CUETO WONG

Director

ING. ARMANDO ESTRADA GONZÁLEZ

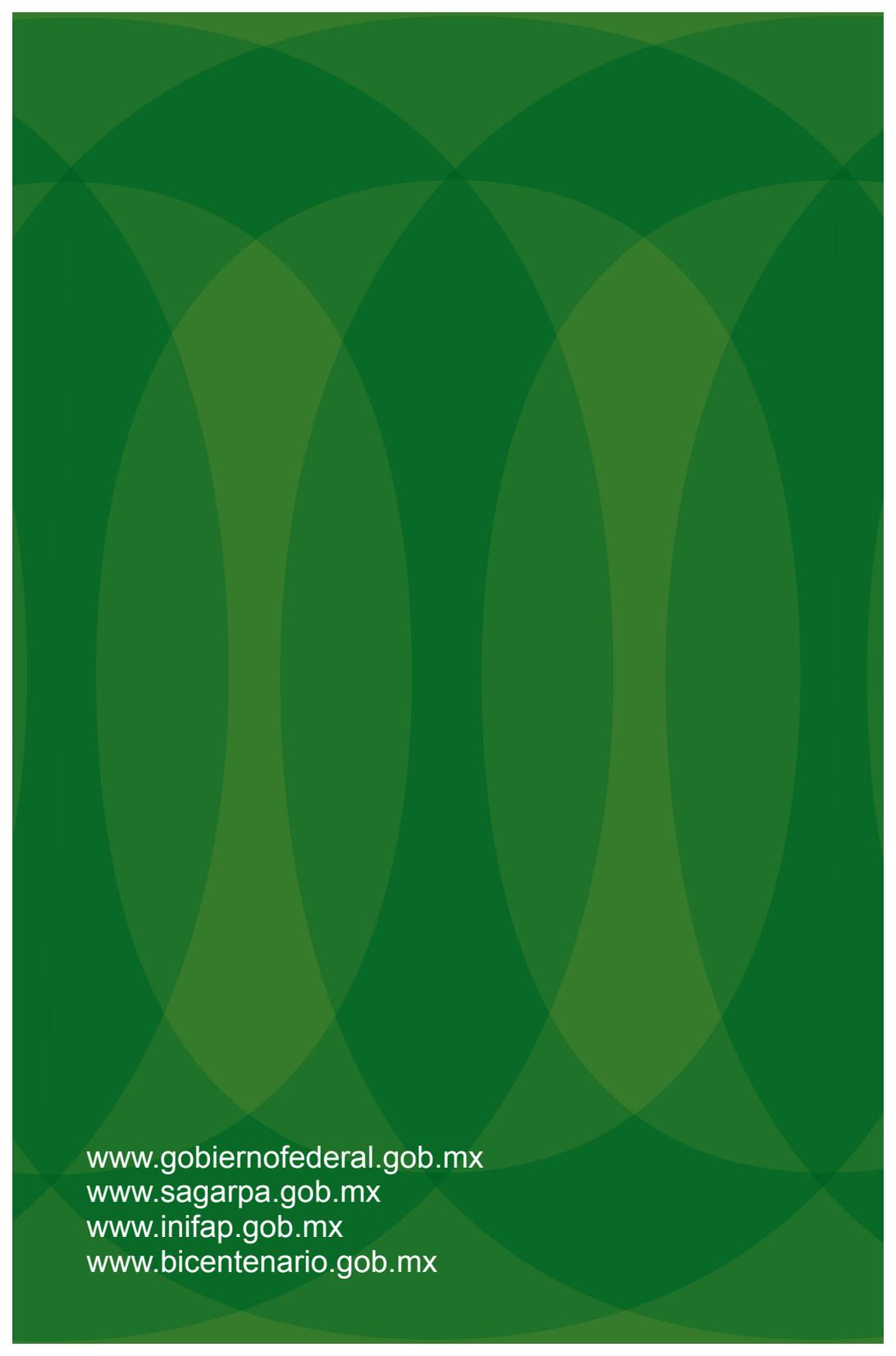
Jefe de Operación

LIC. FLOR CARINA ESPINOZA DELGADILLO

Jefe Administrativo

PERSONAL INVESTIGADOR

Investigador	Red de Investigación e Innovación
Catalán Valencia Ernesto Alonso	Modelaje
Cerano Paredes Julián	Servicios Ambientales
Constante García Vicenta	Servicios Ambientales
Estrada Ávalos Juan	Agua y Suelo
González Barrios José Luis	Agua y Suelo
González Cervantes Guillermo	Agua y Suelo
Inzunza Ibarra Marco Antonio	Agua y Suelo
Macías Rodríguez Hilario	Agua y Suelo
Muñoz Villalobos Jesús Arcadio	Agua y Suelo
Potisek Talavera María del Carmen	Agua y Suelo
Rivera González Miguel	Agua y Suelo
Trucíos Caciano Ramón	Agua y Suelo
Valenzuela Núñez Luis Manuel	Servicios Ambientales
Velásquez Valle Miguel Agustín	Modelaje
Villa Castorena María Magdalena	Agua y suelo
Villanueva Díaz José	Servicios Ambientales



www.gobiernofederal.gob.mx
www.sagarpa.gob.mx
www.inifap.gob.mx
www.bicentenario.gob.mx