

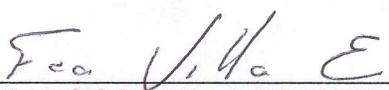
Ciudad Obregón, Sonora, a 30 de Mayo de 2014.

Instituto Tecnológico de Sonora
P r e s e n t e.

El que suscribe **FRANCISCO VILLA ESPINOZA**, por medio del presente manifiesto bajo protesta de decir verdad, que soy autor y titular de los derechos de propiedad intelectual tanto morales como patrimoniales, sobre la obra titulada: **“EVALUACIÓN DEL DISEÑO POR SURCOS CON RIGRAV CON GASTO DIFERENTE EN SUELOS ARCILLOSOS PARA UNA LONGITUD DE 691 M”**. en lo sucesivo **“LA OBRA”**, misma que constituye el trabajo de tesis que desarrolle para obtener el grado de **Ingeniero Civil** en ésta casa de estudios, y en tal carácter autorizo al Instituto Tecnológico de Sonora, en adelante **“EL INSTITUTO”**, para que efectúe la divulgación, publicación, comunicación pública, distribución y reproducción, así como la digitalización de la misma, con fines académicos o propios del objeto del Instituto, es decir, sin fines de lucro, por lo que la presente autorización la extiendo de forma gratuita.

Para efectos de lo anterior, EL INSTITUTO deberá reconocer en todo momento mi autoría y otorgarme el crédito correspondiente en todas las actividades mencionadas anteriormente de LA OBRA.

De igual forma, libero de toda responsabilidad a EL INSTITUTO por cualquier demanda o reclamación que se llegase a formular por cualquier persona, física o moral, que se considere con derechos sobre los resultados derivados de la presente autorización, o por cualquier violación a los derechos de autor y propiedad intelectual que cometa el suscrito frente a terceros con motivo de la presente autorización y del contenido mismo de la obra.



FRANCISCO VILLA ESPINOZA
(Nombre y firma del autor)



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA
Educar para Trascender

**“EVALUACIÓN DEL DISEÑO POR SURCOS CON RIGRAV
CON GASTO DIFERENTE EN SUELOS ARCILLOSOS
PARA UNA LONGITUD DE 691 M.”**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

FRANCISCO VILLA ESPINOZA

Junio de 2014

Cd. Obregón, Sonora

DEDICATORIAS

A Dios

Por haberme dado la dicha de existir y permitido culminar con éxito una meta en mi vida, por haber convertido un sueño anhelado en una realidad.

A mi madre

Patricia, por haberme dado la vida, por brindarme su apoyo incondicional, su cariño, amor, ternura, confianza, su educación, por nunca dejarme caer en los momentos más difíciles por más duros que fueron, para ti madre, mil gracias, TE AMO!

A mi padre

Francisco, por haber confiado en mí al haber elegido esta profesión, por haberme apoyado en el momento más difícil de mi vida y haberme brindado en todo momento su educación y templanza, haberme enseñado a enfrentar la vida con valor, para ti padre, mil gracias, TE AMO!

A mi hermana

Patricia Gpe., por haber estado siempre en los buenos y malos momentos de nuestra vida, por tu cariño y amor, gracias.

A mis sobrinitos

Manuel Gilberto y Kevin Alejandro, por el amor que me tienen y la compañía que me han brindado desde el momento de su llegada a la familia, por hacerme reír en los momentos difíciles.

A mis tíos y prima

Mona, Chuma y Diana, por haber estado conmigo en todo momento y haberme brindado su cariño, amor y cuidado incondicional, por haberse preocupado siempre por mí para seguir adelante, para ustedes, muchas gracias.

A mi familia

Por todo el apoyo brindado a lo largo de mi vida, por su cariño y aprecio, por haberme dado la mano en todo momento y nunca dejarme caer.

A mi novia

Melissa, por el amor y la compañía que me ha brindado desde el momento que llegó a mí vida, por haber estado en todos esos momentos tan difíciles que pasaron y alentarme a seguir adelante, para ti, muchas gracias, TE AMO!

A mis suegros

Francisco y Melky, por haberme apoyado a seguir adelante y haberme brindado su cariño y confianza, por hacerme sentir como un hijo en su familia, para ustedes, muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor: Dr. Luis Carlos Valdez Torres

Por haberme permitido participar en el proyecto y haber confiado en mí para la realización de este trabajo, por haberme tenido la paciencia y dedicación, gracias por su enseñanza, para usted, mis respetos, gracias.

A la maestra Gloria Isabel Bojórquez Morales

Por haber dedicado su tiempo y esfuerzo en la elaboración de este proyecto, por preocuparse, por sus consejos y enseñanzas brindadas para ser mejores en la vida.

A mis revisores

Mtra. Gloria Isabel Bojórquez Morales y al Dr. José Luis Minjares Lugo, por haber apoyado y participado en la revisión de este trabajo, por haber transmitido sus conocimientos y experiencia.

A la Ing. Bárbara Muñoz

Por haberme ayudado en la realización de este proyecto y por haberme brindado sus conocimientos.

Al personal del proyecto RIGRAT

Por su gran apoyo y conocimientos, por su amabilidad y disponibilidad otorgada en la realización de este proyecto.

Al productor Alejandro Carlos Valenzuela Terminel

Por haber prestado su parcela, por haber permitido llevar a cabo el trabajo experimental.

A mis compañeros y amigos

En especial a los Ing. Jesús Alejandro López Núñez, Ing. Mario Alonso Flores, Ing. Jesús Alberto Angulo Armenta, Ing. Iris Denisse Zazueta Gastelum, Ing. Oscar Maviel Fierro, Ing. Sara Irasema Ochoa Cauticio, Cesar Esteban Ayala Castro y a mis demás compañeros de la carrera, por todo lo vivido a lo largo de la carrera, por su gran ayuda y compañerismo, por todos los momentos de diversión y estrés de la escuela, gracias.

A los de la oficina

Kore, Karen, Elisa, Arlet, Oscar y todos los demás, por su gran amistad y apoyo brindado.

ÍNDICE GENERAL

	Página
DEDICATORIAS.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Antecedentes.....	11
1.2. Planteamiento del problema.....	14
1.3. Objetivos.....	16
1.4. Justificación.....	16
1.5. Limitaciones del estudio.....	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. El agua.....	18
2.1.1. Disponibilidad para la humanidad.....	19
2.1.2. Disponibilidad para la agricultura.....	20
2.1.3. Importancia en el uso.....	21
2.2. Importancia de la aplicación del agua en la agricultura.....	22
2.2.1. La agricultura en el Valle del Yaqui.....	23
2.2.2. Eficiencia de aplicación del agua en la parcela.....	24
2.3. Riego por superficie.....	25
2.3.1. Tipos de riego por superficie.....	28
2.3.1.1. Riego por melgas.....	29
2.3.1.2. Riego por surcos.....	30
2.3.2. Funcionamiento eficiente del riego por gravedad...	31
2.3.2.1. Diseño de riego.....	32
2.3.2.2. Manejo del agua en el riego.....	34
2.3.2.3. Programación de riego.....	35
2.4. Diseño del riego con el software RIGRAV.....	36
2.4.1. Funcionamiento de RIGRAV.....	37

2.4.2. Aplicación de RIGRAV en diseños de sistemas de riego	42
2.4.3. Ventajas de RIGRAV.....	42
2.4.4. Productos obtenidos con RIGRAV.....	43
2.4.5. Evaluación de los productos en campo.....	45
2.5. Diseño con gasto diferente en surcos.....	47
CAPÍTULO III. MÉTODO.....	50
3.1. Tipo de investigación.....	50
3.2. Ubicación del objeto.....	50
3.3. Preparación del terreno.....	51
3.4. Siembra.....	51
3.5. Diseño experimental.....	51
3.6. Descripción de los tratamientos.....	52
3.7. Variables a evaluar.....	53
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	56
4.1. Lámina de riego requerida.....	56
4.2. Lámina de riego aplicada.....	57
4.3. Lámina de riego infiltrada.....	57
4.4. Eficiencia de aplicación.....	58
4.5. Coeficiente de uniformidad.....	59
4.6. Resultados con el diseño de riego con RIGRAV.....	59
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
5.1. Conclusiones.....	62
5.2. Recomendaciones.....	63
REFERENCIAS.....	64
ANEXOS.....	68
APÉNDICES.....	69
GLOSARIO DE FOTOS.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Nombre	Página
1.	Población Total 1950 – 2010.....	12
2.	Distribución del agua en el planeta.....	20
3.	Disponibilidad hídrica del Rio Yaqui.....	23
4.	Métodos de riego.....	26
5.	Riego por inundación.....	26
6.	Fases del riego por superficie.....	28
7.	RIGRAV.....	36
8.	Ventana principal del programa RIGRAV.....	39
9.	Opciones del menú principal desplegable.....	39
10.	Forma de introducir nuevos datos de diseño.....	40
11.	Barra de edición y exploración de datos para diseño.....	41
12.	Descripción de la barra de edición y exploración.....	42
13.	Gráfica del final de la fase de avance.....	43
14.	Resultados tabulares de la simulación de la fase de riego....	44
15.	Visualización previa de la impresión de los resultados de la simulación.....	44
16.	Ubicación Parcela Josefa López Matus.....	51
17.	Parcela demostrativa.....	52
18.	Prueba de avance.....	52
19.	Resultados para 2 lps.....	61
20.	Resultados para 4 lps.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Nombre	Página
1.	Parámetros medios de la ecuación de Green y Ampt.....	38
2.	Factor de agotamiento permisible crítico (Fap) de la humedad disponible en el estrato de suelo.....	47
3.	Las constantes de humedad del suelo.....	47
4.	Máxima longitud de riego para surcos y corrugaciones en grupos de textura del suelo.....	49
5.	Tratamientos evaluados.....	51
6.	Lámina requerida según la textura.....	57
7.	Resultados de las láminas de riego aplicadas.....	57
8.	Humedades máximas y láminas infiltradas a dos profundidades.....	58
9.	Láminas infiltradas totales para cada gasto aplicado.....	58
10.	Eficiencia aplicada.....	58
11.	Coefficiente d uniformidad para cada estrato y cada gasto aplicado.....	59
12.	Propiedades físicas del suelo.....	60
13.	Datos generales.....	60

RESUMEN

A nivel mundial, el principal uso del agua es en la agricultura. México ocupa el octavo lugar en extracciones de agua para diferentes usos: agrícola, doméstico, industrial, entre otros. Actualmente, a nivel nacional, el aprovechamiento del agua se considera deficiente, ya que no se tiene un buen uso en el área de la agricultura, debido a que se desperdician grandes volúmenes al aplicarlo con los sistemas de riego. Debido a esta problemática, es necesario buscar alternativas que permitan eficientar el aprovechamiento de dicho recurso, y una de ellas es el diseñar el método de riego ajustado a las propiedades del suelo, y la topografía del terreno. En base a lo anterior se planteo hacer un estudio de comparación diseñado por RIGRAV y la evaluación de campo. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: el simulador RIGRAV estimó una lámina de 15.05 cm en promedio, mientras que en campo se aplicó 27.73 cm, presentándose una diferencia de 12.68 cm, la eficiencia de aplicación con RIGRAV y en campo fueron de 59.75 y 38.36 % respectivamente y el coeficiente de uniformidad arriba de 90% tanto en RIGRAV como en campo con resultado bueno, por lo tanto se recomienda, dentro de los más importante es que las longitudes de riego no sean muy largas, hace falta más asesoría a los regadores sobre el manejo del agua en la parcela y hacer un buen trazo y acabado de los surcos.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El incremento que se ha dado en la población mundial, ha tenido un gran impacto en la demanda de los recursos naturales sustentables para el ser humano, debido a que los ha ido agotando poco a poco al paso de los años, por lo cual los ha aprovechado al máximo esos recursos pero sin hacer algo para incorporarlos de nuevo al planeta.

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2011), durante los últimos 60 años, la población en México ha crecido cinco veces. En 1950 había 25.8 millones de personas, en 2010 hay 112.3 millones de personas, como se muestra en la Figura 1. De 2005 a 2010, la población se incremento en 9 millones de habitantes, lo que representa un crecimiento por año de 1 por ciento (INEGI, 2011).

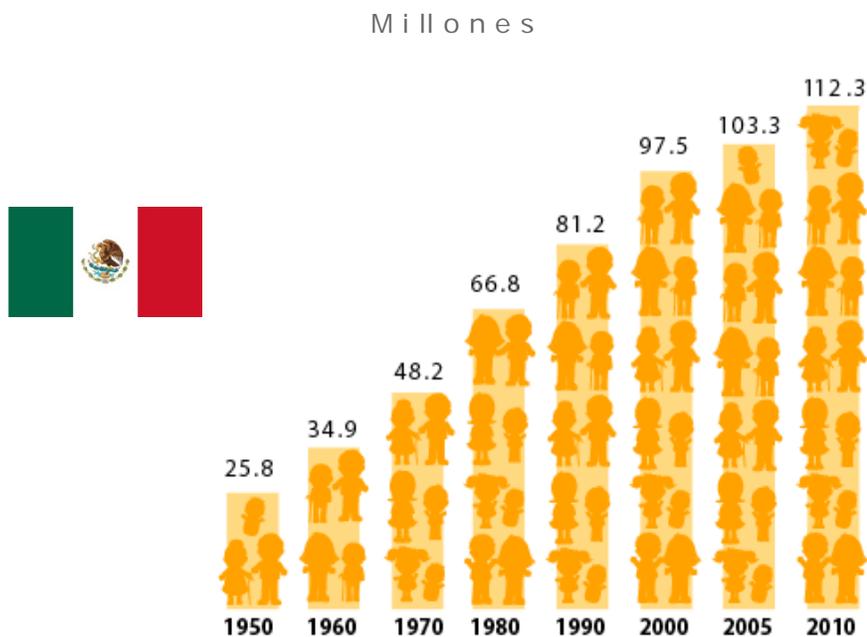


Figura 1. *Población Total 1950 – 2010*
Fuente: INEGI (2010).

Así mismo, el INEGI (2011) hace constar que de la población total a nivel nacional en México de 112,336,538 habitantes a 2010, Sonora se encuentra con un 2.4% de la población total con 2,662,480 habitantes.

Tomando en cuenta y relacionando el crecimiento apresurado de la población con el uso de los recursos naturales, y como se mencionó con anterioridad, que se han ido agotando poco a poco, se ha podido percibir que el recurso que más se ha explotado y no se le ha dado el uso correcto, es el agua, que sin duda es un elemento que es vital para la vida humana, ya que sin él, no podría haber existencia alguna debido a que todo sobre la tierra es dependiente de este recurso. La disponibilidad promedio anual del agua mundial es aproximadamente de 1.386 millones de Km³, de los cuales el 97.5% es de agua salada que se encuentra en mares y océanos, el 2.5% restante es de agua dulce y que de ese mínimo porcentaje el 70% no es de consumo humano ya que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo. De la pequeña porción que queda para consumo humano se encuentra en lagos, ríos, humedad del suelo y depósitos subterráneos relativamente poco profundos (CONAGUA, 2011).

En el siglo XX, mientras la población mundial se triplicó, las extracciones de agua se sextuplicaron. Esta situación aumentó el grado de presión sobre los recursos hídricos a nivel mundial y siendo México el octavo lugar en extracciones de agua para diferentes usos, como agrícola, doméstico, industrial, entre otros. El principal uso del recurso hídrico a nivel mundial, es agrícola, con el 76.7% de la extracción total que es de 80.6 Km³/año, informa la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2008, citado por CONAGUA, 2011).

Cabe mencionar que en México de igual manera que a nivel mundial, el principal uso del agua es agrícola y que esto se refiere al uso del agua para riego de cultivos en parcelas. Según la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2009, citado por CONAGUA, 2010) dice que anualmente en México la superficie de cosecha oscila entre 17 y 21 millones de hectáreas por año, así mismo los Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP y SAGARPA, 2007, citado por CONAGUA, 2010) manifiesta que en el año 2007 se calculó un rendimiento del agua destinada para la agricultura de riego fue de 27.3 toneladas por hectáreas.

Actualmente, a nivel nacional, el aprovechamiento del agua ha sido deficiente, ya que no se tiene en cuenta o no se le quiere dar la importancia necesaria al buen uso en la eficiencia del agua, porque desde el momento se toma el agua, o bien, es conducida y hasta la aplicación, se desperdicia demasiada agua. El Instituto Internacional para el Manejo del Agua (IWMI por sus siglas en inglés) manifestó en un informe sobre el panorama global del agua hasta el año 2025 que el desarrollo del agua es la base de la seguridad alimentaria, el sustento de los pueblos, el crecimiento industrial y la sostenibilidad ambiental en todo el mundo y que en 1995 se extrajeron 3,906 Km³ de agua para dichos fines, se ha proyectado que para el 2025 la extracción de agua para diversos usos (doméstico, industrial y ganadero) habrá aumentado en al menos un 50 por ciento. Esto limitará gravemente la extracción de agua para riego, que aumentará solamente un 4 por ciento, lo que restringirá a su vez la producción de alimentos, debido a que en la actualidad, en

todo el mundo se riegan unos 250 millones de hectáreas, casi 5 veces más que a comienzos del siglo XX. Por estos hechos es la inquietud de la implementación de nuevas técnicas para una buena eficiencia en el uso del recurso hídrico por el motivo de que para los próximos años se espera una gran escases de agua y una mayor demanda de los recursos dependientes del líquido vital (IWMI, 2002).

Se trata de crear nuevas técnicas para obtener una mejor eficiencia del agua al momento del riego en la aplicación en la parcela sin que el cultivo sufra un estrés hídrico y se vea afectado debido a que el principal problema es la falta de una guía o capacitación a quien hace el trabajo de cómo hacer la aplicación del riego para el cultivo.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2010) informa que los principales problemas que enfrentan los productores agrícolas en las áreas de riego por gravedad en México y en el mundo, es la baja eficiencia y deficiente uniformidad con que se aplica en agua. El primero repercute en la sustentabilidad del recurso y el segundo impacta en forma negativa en el desarrollo de los cultivos y por los tanto los ingresos del productor.

1.2. Planteamiento del problema

Como es de saberse la gran demanda que se tiene del agua es demasiada y que va en aumento cada vez más, en el Valle del Yaqui se detectó una gran deficiencia en el uso del agua, ya que la eficiencia oscila entre el 36 y 37%, manifestó el IMTA (2010) que en el riego por gravedad la eficiencia de conducción en promedio a nivel nacional varía de 45 a 60% y el de aplicación es del orden de 60% aproximadamente y que si se multiplican las eficiencias en conducción y en aplicación, da una eficiencia nacional neta de lo ya antes mencionado, por lo tanto se puede deducir que debido a lo anterior no se tiene conciencia sobre el uso correcto o sobre el valor que se le debe de dar a este recurso.

Según el Distrito de Riego del Rio Yaqui (2014) entre los años de 1953 hasta 1988 se llegó a tener una superficie de riego total de 220, 000 has., hoy en la actualidad son alrededor de 233, 000 has físicas y de las cuales 220, 000 están disponibles para riego con agua rodada y por medio de pozos.

Pero debido a que prácticamente la superficie de riego es muy grande, entonces la demanda del agua lo es de igual manera, desperdiciándose más del 50% del recurso hídrico y que se puede notar evidentemente con lo antes citado por el IMTA en el año 2010 con lo que respecta a la eficiencia en el uso del agua.

Como es de notarse la ineficiencia en el uso del agua en conducción y aplicación a nivel parcelario y que es causado por qué no hay una cultura o una debida importancia al tener un buen diseño de un sistema de riego y que por medio de este se tenga la eficiencia necesaria requerida para el cultivo y así poder tener un ahorro del agua, según De la Peña y Llerena (2001) manifiesta que según el tipo de textura, la pendiente y la lamina aplicada se diseña la longitud de surcos y que mientras su clasificación, para una lamina de 10 cm con textura fina y una pendiente entre 0.25 y 0.5% la longitud del surco oscila entre los 300 y 450 m siendo estos datos las longitudes mayores que se proponen para un buen diseño y así poder tener la eficiencia requerida y una uniformidad en el riego adecuada.

Debido a que en la explotación agrícola no se hacen diseños de riego y que se ajustan a las dimensiones de los terrenos, se hace la siguiente pregunta, ¿Con el diseño de riego por RIGRAV se podrá mejorar el aprovechamiento del agua ajustándose a las condiciones del productor?

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el diseño del riego por surcos con RIGRAV para gasto diferente en una longitud de 691 m de largo para trigo en el Distrito 018 en las Colonias Yaquis.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar la lamina de riego por gasto de aplicación.
- Determinar la eficiencia de aplicación en el riego.
- Determinar la uniformidad del riego.
- Comparar el diseño del sistema de riego en el software RIGRAV contra lo obtenido en campo al momento de evaluar el diseño.

1.4. Justificación

En México, debido al acelerado crecimiento de la población, y el desarrollo de sus diversas actividades productivas, no se han considerado los límites potenciales de sus recursos hidráulicos, tanto de fuentes superficiales como subterráneas. El empleo de estos recursos se ha llevado a cabo sin tomar en cuenta un manejo eficiente. Hoy en día, este crecimiento poblacional y económico ejerce mayor presión sobre las reservas de agua en el país, a tal grado, que los volúmenes demandados son mayores que los suministrados, (Reyes y Quintero, 2009).

Debido a esta problemática del uso eficiente del agua es necesario proporcionar alternativas que permitan operar de manera eficiente el recurso, es así como se propuso la aplicación de la técnica de riego por gravedad en surcos mediante el gasto diferente y hacer una comparación del comportamiento del riego con la ayuda del software RIGRAV y que así poder demostrar al productor y hacerle las recomendaciones pertinentes sobre la mayor eficiencia del agua y mejor cultivo y

que se verá reflejado tanto en el apoyo y concientización del uso del recurso hídrico como en la parte económica correspondiente.

De ser implementada esta técnica se pronostica una mejor distribución del riego, la cual trata de demostrar que para grandes longitudes es mejor colocar dos sifones (tubo de conducción del agua canal-surco) por surco que solamente un sifón, según el IMTA (2010) aquí en el Valle del Yaqui se han encontrado distancias muy grandes que regar con un solo canal de dotación de agua y así provocando un tiempo de tardanza de riego muy larga y una mayor infiltración del agua y mayor desperdicio ya que según De La Peña y Llerena (2001) citan algunas recomendaciones en distancias máximas de riego, las cuales dependen de la textura del suelo, y para suelos arcillosos con pendientes suaves van de los 300 a los 400 m y las que se han encontrado fueron de 600m a 700m y bajo esas circunstancias es de suma importancia hacer un estudio comparativo sobre el manejo del agua con flujo diferente, aplicando el agua al cultivo por medio de surcos con un sifón y con dos sifones.

1.5. Limitaciones del estudio

Las limitaciones que se tuvieron en el presente estudio fue el haber tenido un trazo de la parcela ya propuesto por el productor, el cual fue hecho por el método tradicional y no un diseño hecho específico para dicho estudio, en donde éste se ajustó a las condiciones del mismo productor, éste afectó al momento de llevar a cabo la prueba de avance del riego ya que al inicio de los surcos no estaba bien definido el trazo y el agua no avanzaba en dirección de éstos como debió haber pasado. Otra limitación fue que el trigo se sembró tanto en el lomo del surco como en el fondo de éste y afectó de tal manera que el agua fue obstruida y tardaba más en avanzar. La prueba se realizó hasta máximo las 6 de la tarde ya que en el lugar existía mucha delincuencia y no se podía permanecer por más tiempo debido a ese motivo, también afectó en la obtención de resultados ya que no se tomaron los tiempos hasta que se terminó el riego.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. El agua

El agua, del mismo modo que constituye el líquido más abundante en la Tierra, da lugar al recurso natural más importante y la base de toda forma de vida. Sin duda alguna, el líquido vital es parte esencial de los seres vivos: hombre, animal y vegetal, cuyos cuerpos se componen de aproximadamente un 72% del recurso hídrico. La vida ha usado el agua como medio de disolución y transporte de los elementos y sus combinaciones, necesarias para el desarrollo de los organismos. El agua abunda en la tierra, es fundamental en la producción de alimentos, en el crecimiento y vida de las plantas, en el buen vivir del hombre, en la cría de animales, en la industria, en la construcción, en el movimiento y mantenimiento de máquinas, en la extinción de incendios, en el control de las heladas, en el aseo general del hombre, en fin, en todo lo que rodea al mismo (Prieto, 2004).

2.1.1. Disponibilidad de agua para la humanidad

El agua como líquido vital para la humanidad, es el elemento esencial para la subsistencia de la ésta, ya que todo sobre el planeta tierra es dependiente de este recurso hídrico; fábricas, automóviles, plantas, animales, etc., éstos por mencionar algunos ejemplos de materia dependiente del líquido.

Toda el agua que utiliza la humanidad procede de la precipitación del vapor acuoso de la atmósfera en forma de lluvia, granizo o nieve y escarcha, recolectada en una de las diversas etapas que recorre dicho líquido para volver a formar el vapor acuoso, por la evaporación del agua de ríos, suelo, estanques, lagos, mar y vegetación (Prieto, 2004).

Este mismo autor afirma que en el planeta hay la misma cantidad de agua que hace millones de años atrás, y la cantidad de ésta en una región depende de su almacenamiento y mantenimiento según su área boscosa, imponiendo una regulación y conservación más racional de las reservas de agua, desde el momento de la recolección, pasando por su consumo en ciudades y campos, hasta una adecuada y rigurosa purificación de los afluentes residuales. La abundancia de agua y su buen uso señala el nivel de vida y desarrollo de un pueblo, debido a esta situación es necesario estudiar y resolver el problema del manejo y preservación del recurso hídrico ya que para el siglo XXI va a ser el problema ambiental y político más decisivo que enfrentará la humanidad. El problema de la escasez del agua debe conducir al hombre a estudiar y desarrollar técnicas que permitan manipular el ciclo del agua en la naturaleza, para que la disponibilidad del agua aumente lo mismo que las crecientes demandas de recursos hídricos.

En la superficie terrestre del planeta abunda el agua, pero sólo una mínima parte es apta para el uso y consumo de los seres vivos. El agua dulce, además de ser escasa, se encuentra desigualmente distribuida, por lo que hay lugares de la

superficie terrestre que dispone de ella sin problemas y otros, como las zonas desérticas, que padecen carestía de agua y que, por desgracia, cada vez están más extendidas. Sin embargo, aunque más de las tres cuartas partes de la superficie terrestre, o bien, un 97% de esta, está cubierta de agua, sólo es dulce una cantidad inferior al 3%, y de ésta, más de sus tres cuartas partes se encuentran heladas (congeladas) en los polos y glaciares. De la restante, el 99% se localiza bajo tierra (aguas subterráneas) y solo un 1% en la superficie (escorrentía superficial), en la Figura 2 se puede observar dicha distribución. Por tanto, sólo una centésima parte del total del líquido vital está disponible para la vida terrestre (Gavidia y Rueda, 2014).

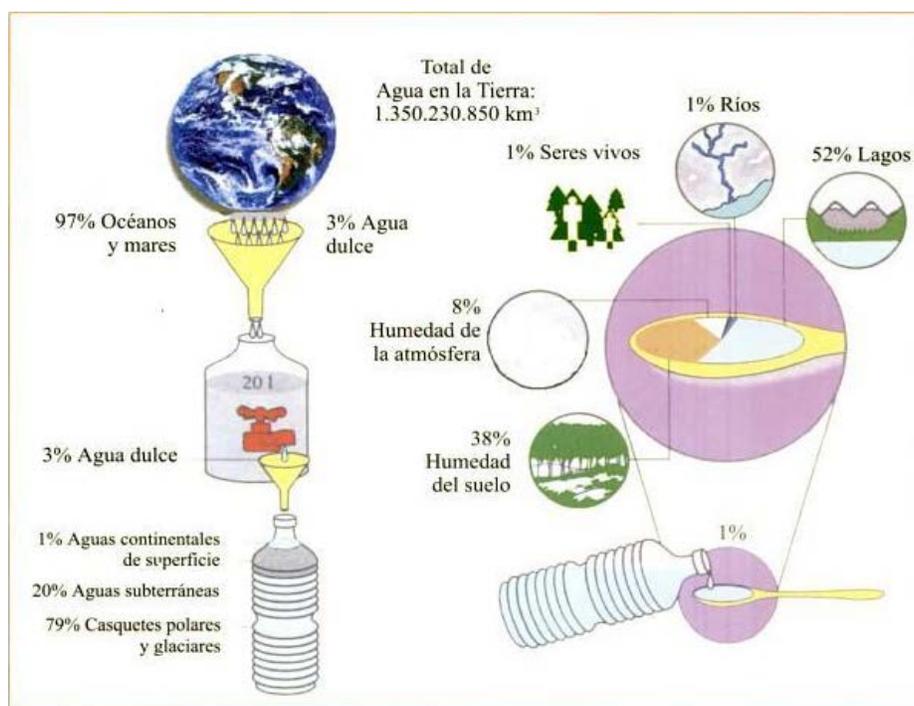


Figura 2. *Distribución del agua en el planeta.*

Fuente: Gavidia y Rueda (2014).

2.1.2. Disponibilidad de agua para la agricultura

Dentro de las actividades y necesidades del ser humano por subsistir, sin duda alguna, se encuentra la agricultura, una actividad que es considerada como uno de los eventos con más trascendencia en la vida humana, y que al paso de los

años ha podido ir evolucionando y llegando a ser una de las actividades más importantes a nivel mundial.

Según Bhatia y Falkenmark (1992) citado por la FAO (2014), la competencia entre la agricultura, la industria y las ciudades por los limitados suministros de agua ya está restringiendo las actividades de desarrollo en muchos países. A manera que las poblaciones se expandan y las economías crezcan, la competencia por este escaso recurso se intensificará, y con ella, también los conflictos entre los que usan el agua. A primera vista, la mayoría de los problemas hídricos no parecen estar directamente relacionados con el sector agrícola. Sin embargo, este sector es, con mucho, el que absorbe la mayor cantidad de agua a nivel mundial. Más de las dos terceras partes del agua extraída de los ríos, lagos y acuíferos del mundo se utilizan para el riego. Ante el aumento de la competencia, los conflictos, la escasez, el desperdicio, la utilización excesiva y la degradación de los recursos hídricos, los responsables de las políticas están volviendo cada vez más la vista hacia la agricultura como la válvula de seguridad del sistema.

De la cantidad total de agua dulce disponible para la humanidad, la FAO (2014) afirma que el principal uso del agua a nivel mundial es en el sector agrícola, con aproximadamente un 70% del 1% del total de recurso hídrico disponible.

2.1.3. Importancia en el uso del agua

El agua, un elemento indispensable para la vida humana, pero que no se tiene el verdadero valor sobre su importancia en el uso, ya que se tiene en algunos lugares en gran abundancia, siendo éstos donde no se tiene dicha importancia sobre el recurso hídrico, pero en otros como en las zonas desérticas la escasez del agua es muy notoria y es en estos lugares donde se anhela lo que en las zonas de abundancia se desperdicia.

Los problemas que las industrias, las grandes urbes y en general la actividad humana han generado, son cambios radicales en los ecosistemas, tales como: la

pérdida de la cubierta vegetal que ocasiona erosión, producción de gases contaminantes y residuos sólidos, entre muchos otros. Parte de esas afectaciones tienen relación con la crisis del líquido vital. Para un manejo más eficiente del recurso hídrico es necesario inculcar una cultura social que comprenda el problema. Estudiar desde temprana edad el agua, favorece la creación de segmentos sociales comprometidos con el uso de un recurso difícil de distribuir a toda la población.

El agua tiene un ciclo natural que ha sido desequilibrado por la actividad del hombre hacia ésta. Para contrarrestar este impacto, es necesario estudiarlo y aplicar métodos con el objetivo de recuperar el equilibrio ocasionado. Si no se toman acciones, según datos de diferentes organizaciones internacionales, en las próximas décadas el problema será irremediable en cuestión de la cantidad de disponibilidad de agua para la humanidad.

2.2. Importancia de la aplicación del agua en la agricultura

Las condiciones climatológicas que predominan en las zonas de clima árido y semiárido; limitan notablemente a la agricultura de temporal, debido a una precipitación pluvial, escasa y mal distribuida en el tiempo. Esta situación climatológica prevaleciente en estas zonas, hace que en su mayor parte el riego; sea necesario y en algunos casos indispensable. Es por ello que desde la antigüedad, las civilizaciones que se desarrollaron en estas áreas, construyeron grandes sistemas de riego (Rendón et al, 1993).

Según la FAO (2002), afirma que alrededor del mundo, la utilización del agua y su gestión han sido un factor esencial para elevar la productividad de la agricultura y asegurar una producción previsible. El recurso hídrico es esencial para aprovechar el potencial de la tierra y para permitir que las variedades mejoradas tanto de plantas como de animales utilicen indudablemente los demás factores de producción que elevan los rendimientos.

Si se habla de la cantidad de terreno disponible para la agricultura, México se delimita con un territorio nacional de 198 millones de hectáreas, de las cuales 145 millones están dedicadas a la actividad agropecuaria. Cerca de 30 millones de hectáreas son tierras de cultivo y 115 millones son de agostadero. Además, los bosques y selvas cubren 45.5 millones de hectáreas (SAGARPA, 2007, citado por la FAO, 2009).

A nivel global, las precipitaciones del líquido vital proporcionan cerca del 90% del agua utilizada para los cultivos. A pesar de que sólo el 10% de la cantidad total de agua, este representa la cantidad utilizada en la agricultura, el riego requiere el 70% de toda el agua dulce destinada al consumo humano (Consejo Consultivo del Agua, A. C., 2006).

2.2.1 La agricultura en el Valle del Yaqui

El Valle del Yaqui es una de las principales regiones agrícolas de México y se encuentra localizado en el sur del Estado de Sonora, México, delimitado entre la Sierra Madre Occidental y el Mar de Cortés, al norte se ubica Ciudad Obregón, y al sur colinda con el Valle del Río Mayo. El principal Río del Estado, el río Yaqui, cruza por la zona oeste del valle (ver Figura 3).

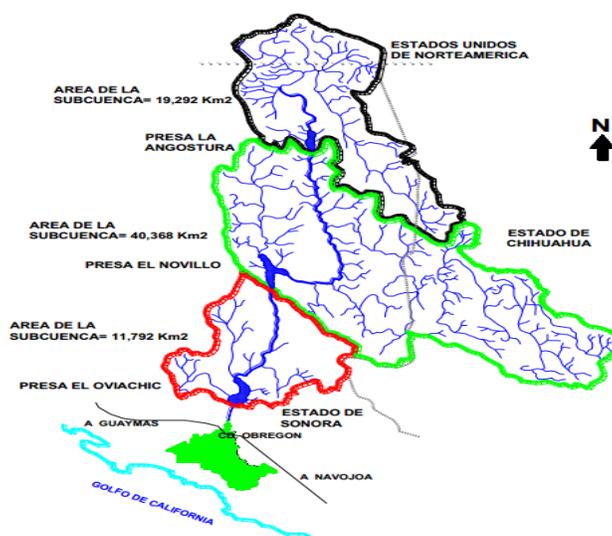


Figura 3. Disponibilidad hídrica del Río Yaqui.

Fuente: De la Peña (2003).

El territorio que abarca el Valle del Yaqui es aproximadamente de 450 000 hectáreas. Gran parte del éste es utilizado para la siembra de trigo, el cual es el principal cultivo de la región; sin embargo importantes cantidades de diversas oleaginosas, algodón y hortalizas se producen actualmente en el valle y que es uno de los mayores productores de productos agrícolas en todo el estado de Sonora.

Hombres visionarios transformaron el terreno virgen que encontraron con gran potencial, aprovechando la abundancia de agua y la fertilidad del suelo proporcionada por el Río Yaqui, abrieron canales de riego, roturaron tierras para el cultivo y así empezaron con la actividad. Estos primeros habitantes, soñaban construir un emporio agrícola, sembraron las primeras semillas y recogieron las cosechas iniciales de lo que posteriormente se conocería en todo el país como el Granero de México, en virtud de los grandes índices de producción del grano dorado: el trigo.

El Valle del Yaqui se construyó y se dividió en una enorme cuadrícula por medio de calles rectas de norte a sur y de oriente a poniente, donde las primeras fueron numeradas con nones y, las segundas, son pares (Caje.me, 2014).

2.2.2. Eficiencia de aplicación del agua en la parcela

En el sector agrícola, el principal recurso utilizado es el agua, para obtenerlo generalmente se tiene que afrontar ciertas dificultades que van desde la gestión hasta la aplicación misma al suelo, en donde se encontraron agricultores con una gran gama de caracteres con respecto a dichas dificultades: cultura, usos y costumbres, que generalmente utilizan el agua sin ningún tipo de responsabilidad ambiental y/o social, desconocen de la exigencia hídrica del cultivo, usan agua en exceso, incrementando así, el empantanamiento y salinización de suelos (Walac, 2010).

Según De la Peña y Llerena (2001), mencionan que durante vario tiempo se ha aplicado el agua a los terrenos en forma empírica, basándose únicamente en la práctica que el propio agricultor ha adquirido a través de los años como experiencia. Este método arrastra en lo general, la aplicación de volúmenes de agua en exceso o sobre riegos que ocasionan efectos perjudiciales al suelo y a las plantas, especialmente cuando se utilizan métodos de riego superficiales que por naturaleza son ineficientes. Además, los volúmenes de agua que así se pierden disminuyen la superficie factible de siembra, por lo que es importante establecer programas y estrategias cuya finalidad sea el incremento en la eficiencia en el uso y manejo del agua de riego para salvar importantes volúmenes de agua que actualmente se desperdician en los riegos.

La eficiencia de aplicación del riego es el división entre la cantidad de agua que queda disponible en la zonas de raíces de los cultivos (útil, con fines de evapotranspiración para los cultivos), y la cantidad de agua aplicada al campo regado (ecuación 1), (Hernández et al, 2013).

$$Ea = \frac{Wu}{Wa} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

Ea: Eficiencia de aplicación del riego (%).

Wu: Cantidad de agua útil (m³ o m³/m²).

Wa: Cantidad de agua aplicada (m³ o m³/m²).

2.3. Riego por superficie

El riego por superficie es un sistema de riego en donde el agua avanza y sigue un sentido guiado por la pendiente del terreno o bien, por gravedad (ver Figura 4 y 5), utilizándose la superficie del suelo agrícola como parte del sistema de distribución del agua. El caudal disminuye a medida que el agua avanza por la parcela regada, debido a su infiltración en el suelo (Fuentes, 1998).



Figura 4. *Métodos de Riego.*

Fuente: AGROGNOMOS (2008).



Figura 5. *Riego por inundación.*

Fuente: hydroenv.com (2014).

Uno de los métodos de riego más utilizados en América Latina es el riego por gravedad, en razón de las condiciones socioeconómicas imperantes en dicha región, según Rendón et. al. (1993), afirma que en México existen 5.7 millones de hectáreas dedicadas a la agricultura bajo riego, y de estas, más del 92% se riegan por gravedad.

Fuentes (1998) manifiesta que para que la lámina de agua infiltrada se distribuya lo más uniformemente posible a lo largo de la parcela es necesario diseñar y manejar el riego de tal manera que haya un equilibrio entre los procesos de avance e infiltración del agua. La geometría de la superficie del suelo (forma y tamaño de las parcelas, pendiente del terreno, rugosidad) determina la escorrentía, mientras que las características físicas del suelo (textura, estructura, porosidad) condicionan la infiltración. El empleo eficiente del agua requiere que su aportación y distribución se logre sin que se produzcan pérdidas excesivas por escorrentía y percolación.

El riego por superficie debe limitarse a terrenos con pendientes suaves y con suelos relativamente profundos, ya que de otra forma habría que realizar obras costosas de movimiento de tierras, con el inconveniente añadido de dejar ha descubierto capas de subsuelo. Otra limitación de este sistema de riego es la dificultad de aplicar dosis bajas, necesarias en ocasiones, con estas condiciones,

el riego por superficie ofrece la ventaja, con respecto a otros sistemas de riego, de muy bajo costo de instalación y conservación.

Este mismo autor asegura que desde que el agua entra en el surco, una parte de su volumen avanza por éstos y el resto va infiltrando simultáneamente a lo largo del mismo, debido a que el proceso del riego por superficie suele ser sumamente complejo, conviene, según Fuentes (1998), dividir el tiempo de riego en distintas fases separadas por momentos:

- *Momento de inicio del riego (Ma_1)*: Es cuando el agua comienza a entrar al surco.
- *Momento de avance (Ma_2)*: Es cuando el agua cubre todo el surco o llega al final del éste.
- *Momento de corte (Mc)*: Es cuando deja de entrar agua en el surco.
- *Momento de vaciado (Mv_1)*: Es cuando en la parte inicial del surco se ha infiltrado toda el agua.
- *Momento de receso (Mv_2)*: Es cuando en la parte final del surco se ha infiltrado toda el agua.

Fuentes (1998), manifiesta que las fases delimitadas por estos momentos son las siguientes (ver Figura 6):

- *Fase de avance*: Comprendida entre el momento de avance y el momento de inicio del riego.
- *Fase de receso*: Comprendida entre el momento de receso y el momento de vaciado.

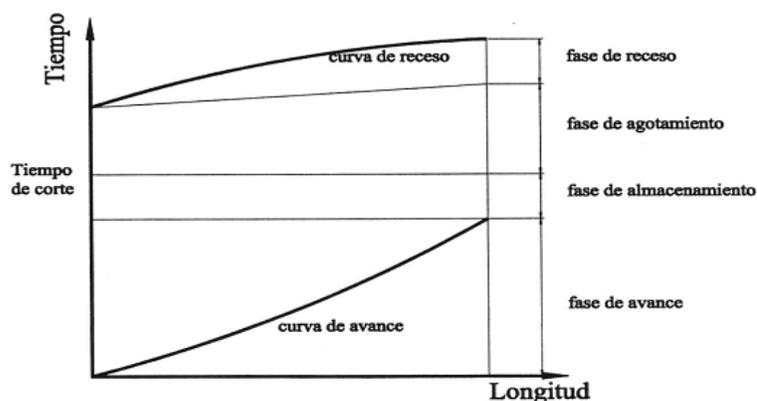


Figura 6. Fases del riego por superficie.

Fuente: Jensen (1980).

2.3.1. Tipos de riego por superficie (Riego por gravedad)

Según Fuentes (1998), el riego por superficie se puede llevar a cabo de dos maneras:

- *Riego a manta*: El agua moja toda la superficie del suelo, así mismo este riego admite dos tipos:
 - *Riego por escurrimiento o por fajas*: Las unidades de riego, ya sean canteros, tablares, amelgas o fajas, tienen una ligera pendiente longitudinal que facilita el avance del agua.
 - *Riego por inundación o por estanques*: Los canteros o tablares, generalmente de forma rectangular o cuadrada, están bordeados de un dique o caballón que impide la salida del agua.

- *Riego por surcos*: El agua fluye por surcos paralelos infiltrándose por el fondo y costados de los mismos, pero sin que la superficie del suelo quede mojada en su totalidad. Los surcos pueden ser con pendiente cero (en surcos cortos) o con pendiente distinta de cero (en surcos largos). Con respecto a otras modalidades de riego por gravedad, el riego por surcos exige mayores necesidades de mano de obra. Además ésta debe ser muy bien experimentada, ya que se tiene que aplicar el agua de forma que se consiga una buena uniformidad en la distribución y una buena eficiencia en la aplicación del agua.

2.3.1.1. Riego por melgas

Una melga es una franja de terreno, la cual está delimitada por dos bordos paralelos a través de los cuales el agua de riego avanza. Al aplicar el caudal de riego en una melga se produce un escurrimiento superficial y otro subterráneo. A manera de simplificación ambos escurrimientos se consideran unidimensionales, uno horizontal y el otro vertical respectivamente (Rendón et al, 1993).

Adaptación: De la Peña y Llerena (2001), afirman que este método es ideal para regar todo tipo de cultivos que cubren el terreno totalmente y que no reciben labores de cultivo, con excepción del arroz o cualquier otro que crezca con agua estancada. Se suelen regar por este método los cereales menores o granos pequeños y los pastos y también se puede usar para viñedos y huertos de frutales.

Se pueden usar en la mayor parte de los suelos, aunque se adapta mejor en aquellos de textura media o pesada con velocidad de infiltración del agua de "baja a moderada", por lo que no es aconsejable para suelos de textura de arena gruesa; tampoco se recomiendan en aquellos donde la infiltración es muy lenta por requerir de un tiempo mayor para la infiltración y por lo tanto por ese motivo se puede aumentar los desperdicios superficiales.

Características importantes: La mano de obra requerida para este método es baja y se puede lograr una buena eficiencia de riego si los bordos y regaderas se diseñan y construyen de la manera correcta. El ancho de las fajas se proyecta de tal manera que pueda desplazarse adecuadamente la maquinaria en la siembra y su recolección. Debe tenerse cuidado cuando se presenta una pendiente fuerte transversal, pues entre bordos no se debe sobrepasar un desnivel de 7.5 cm para evitar que el agua se recargue sobre el bordo más bajo.

Limitaciones: Este punto debe de ser muy cuidado ya que la topografía debe ser relativamente plana y los suelos suficientemente profundos para poder llevar a

cabo una nivelación satisfactoria. Los suelos que forman costra después del riego, pueden ocasionar que las cosechas sufran daños en sus primeras fases de desarrollo. Cuando a lo largo de una melga se presentan dos diferentes grados de la pendiente, es difícil regular el gasto de agua para lograr un mojado y percolación uniforme en toda su longitud. No se recomienda aplicar este método en terrenos que presenten pendientes mayores de 3 m por 100 m porque se pueden provocar fuertes erosiones, canalizaciones dentro de la melga y el arrastre de la semilla.

Eficiencia del método: Estos métodos de riego presentan por naturaleza deficiencias en la aplicación del agua, que está íntimamente relacionado con la pendiente y el tipo textural del suelo. Así, a mayor pendiente menor eficiencia y a mayor contenido de arenas, y por lo tanto mayor infiltración, también se tiene menor eficiencia (De la Peña y Llerena, 2001).

2.3.1.2. Riego por surcos

De la Peña y Llerena (2001), manifiestan que este método de riego consiste en canales pequeños que tienen una pendiente continua casi uniforme en la dirección del riego. Se realizan entre cada dos líneas de plantas salvo el caso de siembras hechas en camellones, en el que se encuentran a los lados de cada par de dos líneas de siembra.

El agua que escurre por los surcos tiene que cumplir lo siguiente: penetrar en el suelo y difundirse lateralmente para regar las áreas comprendidas entre ellos. El tiempo que debe avanzar o recorrer dependerá de la cantidad de agua que se necesite para reponer la zona ocupada por las raíces, de la velocidad de infiltración en el suelo y de la rapidez con que se desplaza el agua lateralmente.

En la mayoría de los casos, el gasto de riego inicial debe ser mucho mayor que el que corresponde a la velocidad de infiltración básica para lograr un avance rápido y una eficiencia adecuada, pero cuando el agua se acerca al extremo de los

surcos debe recortarse al gasto o cortar el agua para evitar una pérdida excesiva por escurrimiento o estancamiento.

Adaptación: Este método de riego puede usarse para el riego de todos los terrenos sembrados con cultivos en hileras que requieran limpia del mismo y debe usarse con gran precaución, cuando se trate de suelos que tengan una alta concentración de sales solubles para evitar que éstas se acumulen en las partes altas de los bordos.

Características importantes: Si se le da un buen manejo al agua, la eficiencia del riego en campo puede ser elevada. En las áreas donde es necesario el drenaje superficial, se pueden utilizar los mismos surcos para evacuar rápidamente el escurrimiento producido por las lluvias.

Limitaciones: La necesidad de mano de obra para el riego es alta, ya que para lograr una distribución uniforme del agua y tener un desperdicio mínimo, es necesario regular cuidadosamente el caudal derivado a cada surco. Los terrenos tienen que estar bien nivelados y deben establecerse dispositivos para coleccionar y evacuar el escurrimiento superficial (De la Peña y Llerena, 2001).

2.3.2. Funcionamiento eficiente del riego por gravedad

La terminología utilizada para describir el comportamiento del riego incluye frecuentemente los términos “eficiencia” y “uniformidad”, que son utilizados con mucha ambigüedad y con distintos significados por distintos autores.

Lamentablemente no existe ningún parámetro que por sí solo sea suficiente para describir el comportamiento del riego, por lo que siempre se valoran varios indicadores a la vez (Faci y Playan, 2014).

Conceptualmente, este mismo autor afirma que, la idoneidad de un riego depende de:

- El incremento del agua almacenada en la zona radicular del cultivo producido por el riego.
- Las pérdidas por percolación profunda.
- Las pérdidas por escorrentía superficial (desagüe).
- La uniformidad de la lámina infiltrada.
- El déficit de humedad en el suelo después del riego.

2.3.2.1 Diseño de riego

Según la Hernández et al (2013), manifiesta que la situación actual en el mundo con respecto a la disponibilidad de agua corresponde a un panorama de escasez, sobreexplotación y contaminación de éste recurso, de tal forma que en muchos países, desde hace más de una década, se le considera un factor limitante del desarrollo sostenible. Lo anterior plantea buscar alternativas para aumentar la eficiencia del uso del agua, buscando impactar en aquellos aspectos donde el efecto del rescate del recurso, tanto en cantidad como en calidad, sea el mayor posible.

Antes de incursionar en el uso de las herramientas para el análisis y diseño del riego por gravedad, es conveniente revisar los enfoques de diseño, en el contexto de su evolución histórica, de la disponibilidad de información y el tipo de diseño requerido (Hernández et al, 2013).

Los enfoques de diseño y análisis pueden variar dependiendo si se trata de un diseño preliminar (etapa de planeación y construcción de la infraestructura), o de un diseño detallado, el cual puede ser libre o condicionado.

Este mismo autor hace mención de la variedad de enfoques de diseño y análisis del riego por gravedad, por ejemplo:

- La mayor o menor información disponible sobre el terreno o necesidades del cultivo.
- La existencia o no de infraestructura de riego y su estado, así como la disponibilidad de agua (posibilidad de realizar pruebas de riego).
- La existencia o no de una sistematización de los predios en campo (incluyendo la posibilidad de que ya se tengan construidas las melgas o surcos).

De una manera general, el problema de diseño de un método de riego por gravedad (melgas o surcos), consiste en:

1. En cuanto al terreno, elegir la dirección de riego, lo cual implica definir o adoptar una pendiente en el sentido del riego.
2. Determinar la geometría de las melgas o surcos.
3. Definir el gasto a aplicar.
4. Definir el tiempo de riego (tiempo de aplicación).

Para poder llevar a cabo un diseño completo, se requiere conocer los siguientes datos:

1. Lámina de riego de diseño.
2. Tipo de suelo (Textura e infiltración. Función de infiltración acumulada e infiltración básica).
3. Plano del predio (Geometría y pendientes generales).
4. Caudal disponible en regadera.
5. Caudal máximo no erosivo.

Las variables involucradas y responsables del resultado final del riego (caracterizado por las eficiencias obtenidas) son:

1. Lámina de riego por aplicar.
2. Longitud y ancho de melga o surco.

3. Tipo de suelo (características de infiltración).
4. Pendiente en el sentido del riego.
5. Gasto.
6. Tiempo de aplicación.
7. Resistencia al flujo.

Las variables se pueden clasificar como:

- Parámetros de diseño
 - Lámina de riego.
 - Infiltración.
 - Pendiente.
 - Longitud de surco o melga.
 - Rugosidad (Resistencia al flujo).

- Variables de diseño
 - Ancho (dentro de ciertos límites prácticos).
 - Caudal.
 - Tiempo de riego.

En la mayoría de los casos, según la Hernández et. al. (2013) el objetivo del diseño del riego por gravedad puede enunciarse así:

“Maximizar la eficiencia de aplicación, con una eficiencia de aplicación del requerimiento del 100% (o suficientemente alta), una alta uniformidad; y sin riesgo de erosionar al suelo” (p. 15).

2.3.2.2 Manejo del agua en el riego

Al momento de la captación del agua que es conducida por el canal de riego, los cuales van directos a dotar a las parcelas, inicia el procedimiento de regado a las mismas, o bien, se empieza con el proceso del manejo del riego en la parcela y

que éste dependerá de las características y necesidades del terreno-cultivo-productor, de cómo se haga el diseño o de no contar con uno, de la manera tradicional que el regador tenga para llevar a cabo el riego.

Según De la Peña y Llerena (2001), existen cuatro formas de aplicación de agua en el riego o formas de manejo del agua para aplicársele al cultivo. Como se mencionó en puntos anteriores, Rendón et al (1993) por medio del segundo Curso Internacional de Sistemas de Riego menciona que uno de los métodos de riego más utilizados en América Latina es el riego por superficie o gravedad con más del 92%.

2.3.2.3 Programación de riego

Dentro del funcionamiento en la eficiencia del riego entra la programación del riego, que tiene por finalidad el ahorro de agua y de energía y a la vez obtener la producción, tratando de dar una respuesta a las siguientes preguntas:

- Cuándo se debe regar.
- Cuánta cantidad de agua se debe aplicar en cada riego.
- Cuánto tiempo se debe aplicar el agua en cada riego.

Para dar solución o poder atacar a las dos primeras preguntas hay que tener en cuenta las necesidades hídricas del cultivo y las características del suelo en cuanto a su capacidad para retener el agua. Para contestar a la tercera pregunta hay que conocer la velocidad de infiltración del agua en el suelo (Fuentes, 1998).

Dentro de la programación de riego, se debe tomar en cuenta la planeación de los mismos, ya que dicha planeación es un balance hídrico entre los volúmenes de agua que se estima disponible y los volúmenes necesarios para satisfacer las demandas de agua en el área de riego.

Según la Hernández et al (2013) manifiesta que el programa de riego se calcula en base a un balance agroclimático, donde se hace involucrar la capacidad de almacenamiento del suelo y los requerimientos de riego, estableciendo algunas condiciones de operación, a través de definir los puntos críticos de riego de manera general o por etapas fenológicas.

2.4. Diseño de riego con el Software RIGRAV

Según Rendón et al (2014), el diseño del riego por gravedad consiste en la selección de la longitud, el ancho de la melga o el espaciamiento del surco y la pendiente longitudinal, así como la dirección y el caudal de riego y que éstos factores a su vez hagan distribuir uniformemente la lámina de riego previamente calculada.

Este mismo autor afirma que uno de los objetivos del riego por gravedad es aplicar la lámina de riego, calculada previamente, de manera uniforme a lo largo de la melga o del surco.

El programa de cómputo RIGRAV (ver Figura 7), es una herramienta que favorece y apoya al diseño de sistemas de riego por gravedad (melgas y surcos) (Hernández et al, 2013).

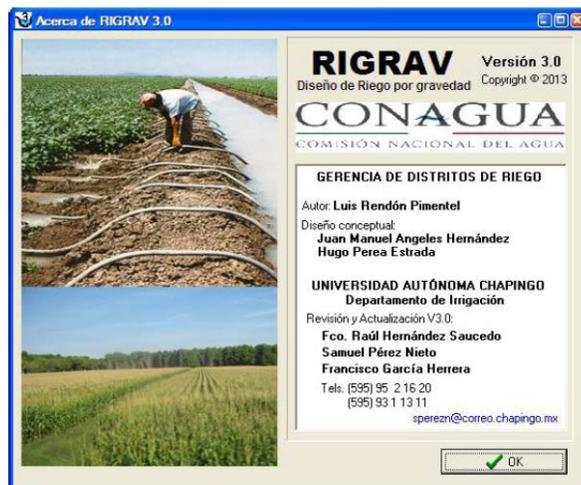


Figura 7. RIGRAV.

Fuente: Hernández et al (2013).

Así mismo la Hernández et al (2013), asegura que el programa esta basado en el modelo hidrológico, en conjunto con el modelo de infiltración de Green y Ampt, lo que le confiere capacidad para simular diferentes condiciones de humedad inicial.

Con el modelo numérico de las ecuaciones de Lewis y Milne y Green y Ampt, se determina el gasto óptimo definido como aquel con el que se obtiene la mayor eficiencia de aplicación, manteniendo valores elevados de la eficiencia del requerimiento de riego y de la uniformidad (Coeficiente de Uniformidad de Christiansen, CU_c).

2.4.1. Funcionamiento de RIGRAV

Según Rendón et al (2013), para poder utilizar el simulador RIGRAV es necesario conocer el coeficiente de rugosidad y la pendiente longitudinal del terreno, así como la función de infiltración. El coeficiente de rugosidad de Manning oscila entre 0.02 y 0.04 s/m para un suelo sin cultivo. Sin embargo, el modelo es poco sensible a los errores de su selección. Para llevar a cabo el diseño puede suponerse un valor conservador de 0.03 s/m como promedio.

En cuanto a la pendiente longitudinal del terreno, estos mismos autores han observado en pruebas de riego y en el riego de parcelas comerciales, que las pendientes que se encuentran entre los 0.05% y 0.5%, no tienen mucha influencia en el diseño del riego por gravedad.

Según los datos necesarios que se tienen que capturar en el simulador son los parámetros de la función de infiltración de Green y Ampt y pueden estimarse a partir de la información de textura del suelo (ver Tabla 1).

Tabla 1. *Parámetros medios de la ecuación de Green y Ampt.*

TEXTURA DEL SUELO	PARÁMETROS			
	θ_0	θ_s	hf	Ks
	cm ³ /cm ³		cm	cm/h
Arcilla	0.36	0.49	140.26	0.05
Arcilla limosa	0.32	0.48	100.16	0.05
Franco arcillo limoso	0.26	0.49	60.12	0.15
Franco arcilloso	0.25	0.48	36.00	0.40
Arcilla arenosa	0.25	0.42	25.72	0.50
Limo	0.14	0.50	30.56	0.80
Franco	0.20	0.46	20.04	1.50
Franco limoso	0.17	0.55	30.07	1.00
Franco arcillo arenoso	0.18	0.42	35.61	2.00
Franco arenoso	0.16	0.46	10.00	2.90

Fuente: Hernández et al (2013).

Hernández et al (2013), por medio del curso de capacitación para el proyecto RIGRAT, el software RIGRAV en versión 3.0, presenta la información requerida para capturar al momento de la ejecución del diseño y el funcionamiento de sus herramientas:

La información necesaria se divide en dos partes, en la primera se introducen las propiedades físicas del suelo y en la segunda son los datos generales de la parcela.

→ Interface gráfica

La Figura 8, muestra la ventana principal del simulador **RIGRAV**, la cual está integrada por las siguientes secciones:

1. Menú principal.
2. Barra de herramientas.
3. Área de datos: (3a) Propiedades físicas y (3b) Datos generales.
4. Resumen de resultados.
5. Acceso a la base de datos de propiedades físicas del suelo.
6. Ingresar tiempo de impresión en avance.

7. Barra de edición y exploración de datos de diseño.

8. Creación y edición de registros de datos.

9. Creación y edición de registros de resultados.

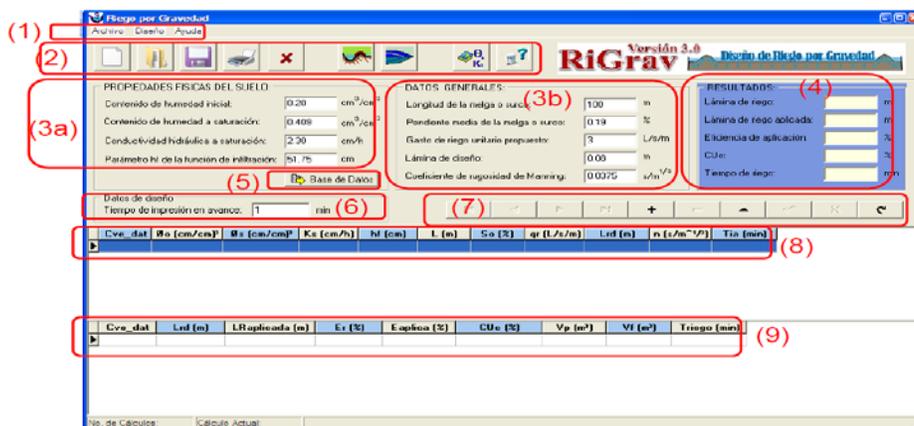


Figura 8. Ventana principal del programa RIGRAV.

Fuente: Hernández et al (2013).

→ Información desde una base de datos

RIGRAV como cualquier otro software, contiene una base de datos en la cual se encuentra la información de las propiedades del suelo con base en la textura del suelo y acceder a ella, como herramienta para apoyarse en cualquier simulación.

→ Menú principal y barra de herramientas

La Figura 9 muestra las opciones disponibles del menú principal:



Figura 9. Opciones del menú principal desplegable.

Fuente: Hernández et al (2013).

A continuación se describen las funciones de las herramientas de acceso rápido, que cuando las seleccionas aparece su función por realizar:

- | | | | |
|---|----------------------|---|---|
|  | Crear archivo nuevo. |  | Realiza cálculos del diseño del riego por gravedad. Inmediatamente se activa la sección de resumen de resultados. |
|  | Abrir archivo. |  | Despliega las gráficas de las fases de: avance, almacenamiento, consumo y recesión. |
|  | Guardar archivo. |  | Descripción de variables. |
|  | Imprimir diseño. |  | Ayuda general. |
|  | Salir de RIGRAV 3.0. | | |

→ Área de datos y resultados

El área de datos  se encuentra en la parte central izquierda de la pantalla principal, permitiéndole al usuario introducir datos para el diseño y a su vez ver resultados. Para introducir datos para un nuevo diseño, simplemente bastará con colocar las propiedades físicas del suelo de forma manual o mediante la selección de éstas con el botón *Base de Datos*, el cual contiene una tabla con las propiedades físicas en función de la textura del suelo (ver Figura 10).

PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO: Contenido de humedad inicial: <input type="text" value="0.20"/> cm^3/cm^3 Contenido de humedad a saturación: <input type="text" value="0.409"/> cm^3/cm^3 Conductividad hidráulica a saturación: <input type="text" value="2.30"/> cm/h Parámetro k_f de la función de infiltración: <input type="text" value="51.75"/> cm <input type="button" value="Base de Datos"/>	DATOS GENERALES: Longitud de la melga o suico: <input type="text" value="100"/> m Pendiente media de la melga o suico: <input type="text" value="0.19"/> % Gasto de riego unitario propuesto: <input type="text" value="3"/> $\text{L}/\text{s}/\text{m}$ Lámina de diseño: <input type="text" value="0.08"/> m Coeficiente de rugosidad de Manning: <input type="text" value="0.0375"/> $\text{s}/\text{m}^{1/3}$	RESULTADOS: Lámina de riego: <input type="text"/> m Lámina de riego aplicada: <input type="text"/> m Eficiencia de aplicación: <input type="text"/> % CUc: <input type="text"/> % Tiempo de riego: <input type="text"/> min
---	--	--

Figura 10. Forma de introducir nuevos datos de diseño.

Fuente: Hernández et al (2013).

La plantilla de captura, del segundo grupo de datos, permite ingresar: longitud de la melga o surco, pendiente media de la melga o surco, gasto de riego unitario propuesto, lámina de diseño y coeficiente de rugosidad de Manning.

En la parte derecha, se encuentra con un fondo más oscuro, el área de resultados: lámina de riego (de diseño o neta), lámina de riego aplicada (lámina bruta), eficiencia de aplicación, coeficiente de uniformidad de Christiansen y tiempo de riego.

Base de Datos. Desde este puerto, el usuario se le permite seleccionar los parámetros mediante la textura del suelo, ya que ésta el software lo proporciona. A continuación se explica la simbología utilizada:

θ_0 : Humedad inicial (cm³/cm³)

θ_s : Humedad a saturación (cm³/cm³)

H_f : Parámetro de la función de infiltración (cm)

K_s : Conductividad hidráulica a saturación (cm/h)

→ Barra de edición y exploración de datos de diseño

Por facilidad de operación, RIGRAV 3.0 trabaja con los últimos datos proporcionados por el usuario, mismos que se almacenan en una base de datos, la cual permite agregar nuevos registros mediante la barra de edición y exploración de datos (ver Figura 11).



Figura 11. Barra de edición y exploración de datos para diseño.

Fuente: Hernández et al (2013).

En la Figura 12 se describen los iconos de la barra de edición y exploración de datos para diseño:

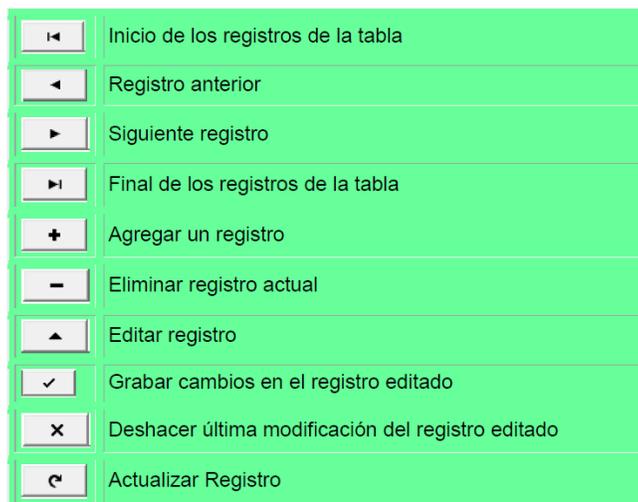


Figura 12. Descripción de la barra de edición y exploración.

Fuente: Hernández et al (2013).

2.4.2. Aplicación de RIGRAV en diseños de sistemas de riego

2.4.3. Ventajas de RIGRAV

Según Hernández et al (2013) por medio de la explicación del funcionamiento del software, manifiesta que éste, es un programa amigable con el usuario, ya que puede interactuar a través de una barra de menú desplegable o a través de los accesos rápidos de la barra de herramientas, con los que se pueden ejecutar las tareas más importantes de manera ágil y directa. El ingreso de datos puede ser a través del teclado o desde una base de datos y tiene capacidad para editar fácilmente los valores que ingresa.

A su vez, permite realizar las tareas básicas de despliegue de resultados, en forma resumida o detallada, en pantalla o en forma impresa, así como el despliegue de gráficas y exportación de datos y resultados, con lo cual es muy fácil realizar reportes técnicos de los diseños.

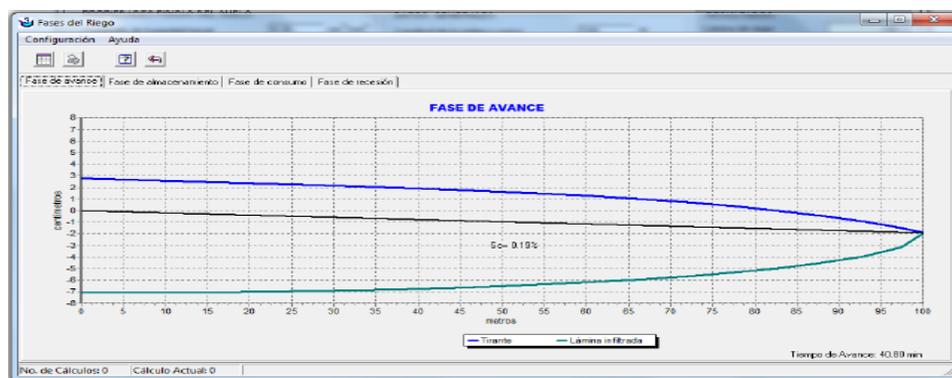
Según el IMTA (2014), el programa de cómputo funciona de manera normal en los rangos de valores de las propiedades físicas del suelo y los datos generales del riego. Sin embargo, el trabajar con uno o más parámetros en los valores extremos indicados puede traer problemas en la ejecución del RIGRAV.

2.4.4. Productos obtenidos con RIGRAV

A continuación se presenta la página principal que muestra el software al momento de la ejecución, así como un resumen de sus resultados:

→ Resumen de resultados

Después de haber introducido todos los datos necesarios para el diseño y la corrida, por medio del icono  se realizan los cálculos de las fases de riego y se muestran en la sección de resultados. Una vez realizados los cálculos, se pueden ver las gráficas de las fases de riego. En la Figura 13 se muestra la fase de avance y en la parte inferior derecha el tiempo en que se alcanza el final de la melga o surco.



Fuente: Hernández et al (2013).

Si se desea imprimir la corrida, se presiona el icono  y se despliega la pantalla de impresión, la cual permite imprimir las gráficas de las fases de riego, ya sea por separado o todas en una página, permitiendo también elegir la orientación de la página (horizontal o vertical).

Al pulsar el botón , se pueden ver los resultados de cada una de las fases de riego (ver Figura 14).

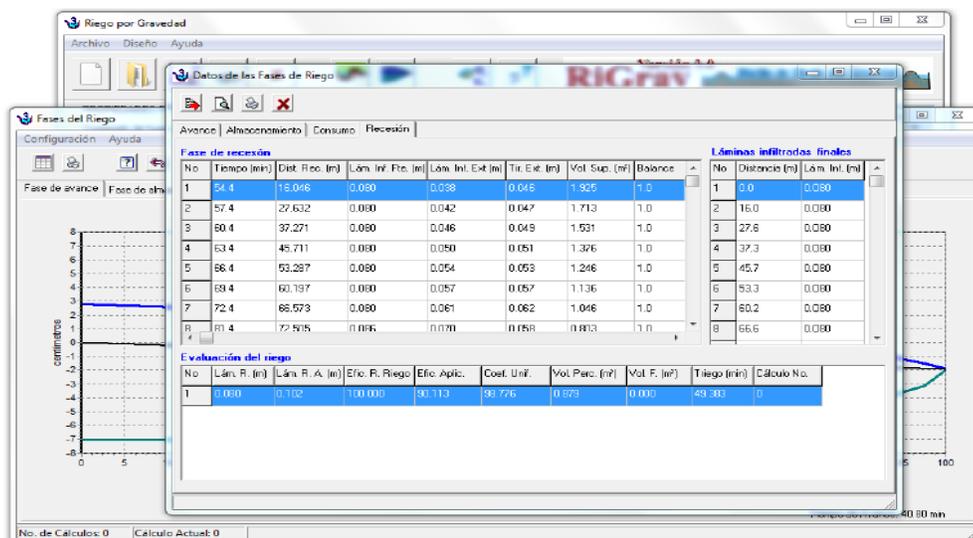


Figura 14. Resultados tabulares de la simulación de la fase de riego.

Fuente: Hernández et al (2013).

A continuación se muestra la tabla de resultados arrojados por el simulador RIGRAV (ver Figura 15):

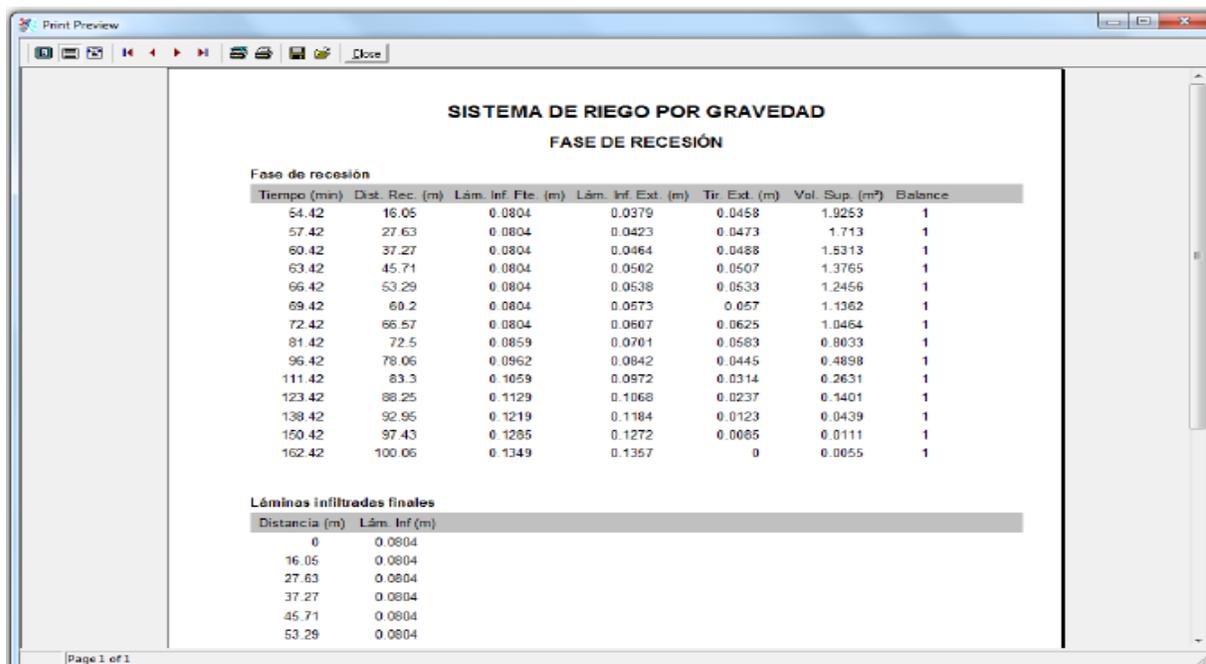


Figura 15. Visualización previa de la impresión de los resultados de la simulación.

Fuente: Hernández et al (2013).

2.4.5. Evaluación de los productos en campo

Indudablemente, el nuevo cambio que se dio de sistemas de riego por gravedad a sistemas de riego presurizado, fue una estrategia impactante, y ha de reconocerse el impulso que se le ha dado y se le sigue dando en el país a los sistemas de riego en cuanto a la eficiencia del agua utilizada. La realidad indica, sin embargo, que el riego por gravedad es y continuará siendo, el principal método de aplicar el agua de riego.

Se justifica así, la búsqueda y planteamiento de opciones para mejorar la eficiencia y efectividad del riego por gravedad (Hernández et al, 2013).

Este mismo autor, manifiesta que la tecnificación del riego por gravedad debe partir de seleccionar aquellos predios que reúnan las condiciones que favorecen la adopción de alguna de las variantes de este método de riego, lo cual las pruebas de campo permitirán hacer dicha selección. Las medidas para mejorar la eficiencia y efectividad del riego en un predio determinado, pueden ser sugeridas por un técnico experto en el tema, tal vez con una simple inspección del terreno y de la observación de un evento de riego. Pero, ayudará mucho en esta tarea, el contar con un procedimiento y herramienta de análisis, que permita cuantitativa y objetivamente, valorar la calidad de algún riego de los que cotidianamente se practican en ese predio.

La evaluación de una prueba de riego puede realizarse con algunos datos de campo que por medio de este proceso se pueden obtener relativamente fácil, enseguida se explica cómo:

→ Datos necesarios para la evaluación

● Datos geométricos de la melga o surco.

Es necesario conocer la longitud y el ancho de melga, en el caso de los surcos se requiere conocer la longitud y espaciamiento de los mismos. Estos datos se pueden obtener con estación total o con alguna cinta.

- **Datos de manejo del riego**

Es preciso calcular la lámina de riego de diseño, medir el caudal suministrado durante el riego y registrar la hora de inicio y de término del riego. La lámina de riego de diseño (lámina neta), que debe aplicarse al suelo en la zona de raíces de los cultivos, se calcula con la ecuación 2.

$$L_{rd} = P_r (\theta_{cc} - \theta_0) \quad (2)$$

Dónde P_r es la profundidad de las raíces; θ_{cc} y θ_0 son los contenidos volumétricos de humedad del suelo a capacidad de campo e inicial, respectivamente. El valor de θ_0 debe ser mayor o igual que θ_{pmp} , donde θ_{pmp} es el contenido volumétrico de humedad a punto de marchitamiento permanente, pero por lo general $\theta_0 > \theta_{pmp}$ para no estresar al cultivo. Dicho valor depende del tipo de cultivo (ecuación 3).

$$\theta_0 = \theta_{pmp} + (1 - F_{ap}) (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \quad (3)$$

Donde F_{ap} es el factor de agotamiento permisible del cultivo en cuestión y como referencia se pueden tomar los valores mostrados en la Tabla 2.

Los valores de θ_{cc} y θ_{pmp} se deben determinar en campo o en laboratorio a partir de muestras de suelo que se obtienen en la zona de estudio. En la Tabla 3 se muestran ciertos valores para estos parámetros si es el caso de que no se dispone de dicha información para hacer el cálculo.

La cantidad del agua o bien, el gasto que se entrega a la(s) melga(s) o surco(s) para ser evaluados, debe hacerse con la mayor precisión posible, con algún dispositivo aforador, ya que los resultados y conclusiones de la evaluación son muy sensibles a este dato, el cual además debe garantizarse que se mantenga constante durante todo el tiempo de suministro. El momento en que inicia y se corta el suministro del caudal debe registrarse con un reloj, o mejor aún, con un cronómetro.

Tabla 2. Factor de agotamiento permisible crítico (F_{ap}) de la humedad disponible en el estrato de suelo.

PRODUCTORES DE MATERIA VERDE			
Alfalfa	0.50	Chicharo	0.50
Apio	0.25	Pastizales	0.50
Lechuga	0.25	Tabaco	0.50
Caña de azúcar	0.25	Col, Coliflor, Brócoli	0.25
PRODUCTORES DE RAIZ			
Cebolla y Betabel	0.25	Remolacha	0.25
Zanahoria	0.25		
PRODUCTORES DE FRUTA			
Cítricos	0.50	Vid	0.20
Fresa	0.25	Jitomate	0.50
Plátano	0.50		
PRODUCTORES DE GRANO			
Maíz	0.75	Sorgo	0.75
Cereales de invierno	0.80		
PRODUCTORES DE SEMILLA			
Alfalfa	0.80	Zanahoria	0.90
Cebolla	0.80	Forrajes	0.75

Fuente: Hernández et al (2013).

Tabla 3. Las constantes de humedad del suelo.

TEXTURA DEL SUELO	θ_{cc}	θ_{pmp}
	cm³/cm³	
Franco arenoso	0.190	0.100
Franco	0.250	0.130
Franco limoso	0.275	0.125
Limo	0.275	0.100
Franco arcillo arenoso	0.250	0.150
Franco arcilloso	0.340	0.190
Franco arcillo limoso	0.375	0.200
Arcilla arenosa	0.325	0.225
Arcilla limosa	0.425	0.275
Arcilla	0.460	0.350

Fuente: Fuentes (1997).

2.5. Diseño con gasto diferente en surcos

El riego por surcos es un métodos de riego por superficie, en donde De la Peña y Llerena (2001) citan que dicho método consiste en aplicar el agua sobre el suelo desde la cabecera de la parcela y a su vez ésta avanza y escurre por efectos de

gravedad por toda la superficie, donde una parte remoja la superficie del suelo mientras que la otra penetra al mismo según la velocidad de infiltración y la pendiente del terreno.

Fuentes (1998) manifiesta que el riego por surcos es aconsejable aplicarse a cultivos sensibles al exceso de agua en el pie del tallo y para aquellos que se siembren en hileras, De la Peña y Llerena (2001) también hacen referencia y afirma que este método se adapta preferentemente a terrenos con pendientes suaves y suelos relativamente profundos, debido a las afirmaciones de estos dos autores es necesario la aplicación de técnicas bajo criterios de diseños eficientes que aumenten o mantengan la misma producción y el uso del agua ya que en dicho riego se produce un mayor porcentaje de pérdidas de agua.

Rendón et al (1993) cita que en el diseño del riego por gravedad en surcos se encuentran algunas reglas para el manejo del agua al momento de la aplicación en la parcela para obtener una mayor eficiencia, siendo éstas, la relación de la cantidad de agua que se desea aplicar y la cantidad de agua aplicada a la parcela, expresándose así como la lámina de riego.

Dentro de las formas de manejar el agua en la parcela, como lo es el riego intermitente, riego por melga con portañuelas, riego automatizado, etc., se encuentra también el riego con gasto diferente, siendo ésta un técnica que busca un mejoramiento en la eficiencia de aplicación del agua en la parcela y una reducción en las láminas de riego, normalmente se coloca un sifón por surco, mientras que en la técnica del gasto diferente se colocan dos sifones por surco, ya que las longitudes que se han encontrado han sido muy grandes, lo cual no es recomendable para este tipo de riego, De la Peña y Llerena (2001) recomiendan longitudes máximas, las cuales se ajustan a las condiciones del Valle del Yaqui y que dependen de la textura del suelo, la lamina mínima por aplicar y la pendiente (ver Tabla 4).

Tabla 4. *Máxima longitud de riego para surcos y corrugaciones en grupos de textura del suelo.*

Pendiente (%)	Gasto (lps)	Tipo de Texturas																	
		Fina			Moderadament Fina			Medias			Moderadament Gruesas			Gruesas			Muy Gruesas		
		Lámina por aplicar																	
		10.0	7.5	5.0	10.0	7.5	5.0	10.0	7.5	5.0	10.0	7.5	5.0	10.0	7.5	5.0	10.0	7.5	5.0
0.25	2.52	457	388	320	396	359	289	350	297	251	281	243	198	213	182	152	99	83	68
0.50	1.26	304	266	220	274	243	198	236	206	167	190	167	137	144	121	99	65	53	45
0.75	0.84	243	213	175	213	182	152	190	160	129	152	129	106	114	199	65	53	45	38
1.0	0.63	205	182	144	182	160	129	160	137	114	129	106	91	99	83	53	45	38	30
1.5	0.42	167	144	114	152	129	106	129	114	91	106	91	76	76	68	45	38	30	
2.0	0.32	144	121	99	121	106	91	106	91	76	91	76	60	68	60	38	30	30	
2.5	0.25	129	106	91	114	91	76	99	83	68	76	68	53	60	53	30	30		
3.0	0.21	114	99	83	106	83	60	91	76	60	68	60	45	53	45	30			
4.0	0.16	99	83	68	91	76	60	76	60	53	60	53	45	45	38				
5.0	0.13	83	76	60	76	68	53	68	53	45	53	45	38	38	30				
6.0	0.11	76	68	53	68	60	45	60	53	38	45	45	38	38	30				
7.0	0.09	68	60	45	60	53	45	53	45	38	45	45	38	30	30				
8.0	0.08	68	60	45	60	53	38	53	45	38	38	38	0	30					

Fuente: De la Peña y Llerena (2001).

Sin embargo, estos mismos autores afirman que es de suma importancia adaptarse a las dimensiones de la parcela de diseño, para que pueda haber congruencia con los resultados que se deseen obtener.

CAPÍTULO III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

El presente trabajo es de carácter evaluativo ya que la recolección de datos de la investigación son cuantitativos, donde la información se puede clasificar como una variable, la cual depende en su totalidad del comportamiento de la misma, teniendo así un diseño de tipo transversal por las pruebas realizadas en un periodo de tiempo determinado (Hernández et al, 2010).

3.2. Ubicación del objeto

El estudio se llevó a cabo en el Distrito 018 de las Colonias Yaquis localizado en el poblado de Vícam, Sonora, municipio de Guaymas, lugar donde se ubica la parcela demostrativa Josefa López Matus (ver Figura 16) de la sección 6 del mismo distrito, con una superficie de siembra aproximadamente de 12 hectáreas.



Figura 16. Ubicación Parcela Josefa López Matus.

Fuente: Google earth (2014).

3.3. Preparación del terreno

El suelo que predomina en el campo es de textura arcillosa el cual se preparó con maquinaria agrícola, con un diseño en surcos de 80 cm de ancho y 691 m de largo, con una regadera al inicio de la parcela y una pendiente de 0.15%.

3.4. Siembra

Ésta se realizó con maquinaria agrícola, en la cual se sembró trigo de variedad Cirno C 2008 el 29 de noviembre del 2013 en el ciclo agrícola 2013-14 con una densidad de siembra de 150 kg/ha.

3.5. Diseño experimental

Los tratamientos evaluados son dos diseños de riego con RIGRAV, de 2 y 4 lps por surco en la longitud de 691m. La distribución de ellos es con parcelas anidadas con 5 repeticiones que la representan los 5 surcos centrales (ver Tabla 5).

Tabla 5. *Tratamientos evaluados*

No.	Tratamiento
1	Gasto con 2 lps
2	Gasto con 4 lps

Se determinó el área de la parcela, obteniendo aproximadamente 120000 m² (12ha), donde sus medidas son de 180 m de ancho por 691 m de largo (ver Figura 17).

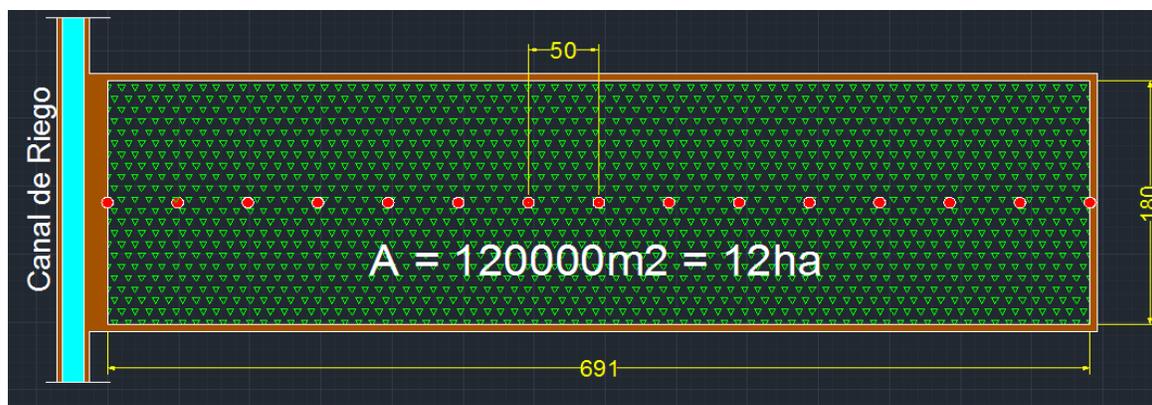


Figura 17. Parcela demostrativa.
Fuente: Elaboración propia.

3.6. Descripción de los tratamientos

En el primer tratamiento se aplicó a 5 surcos un gasto de 2 lps, para el segundo tratamiento se aplicó un gasto de 4 lps. Se evaluó el avance del agua a lo largo del riego, registrando el tiempo que tardó en llegar a cada punto marcado en la parcela (ver Figura 18).

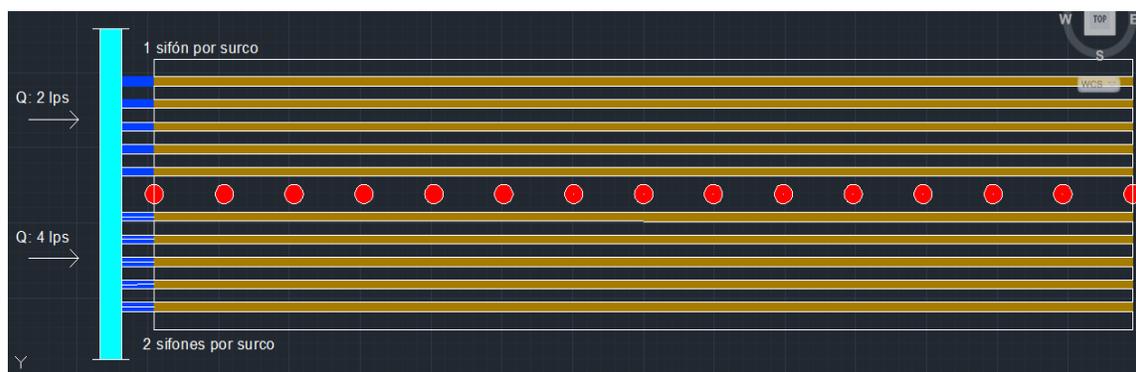


Figura 18. Prueba de avance.
Fuente: Elaboración propia.

3.7. Variables a evaluar

- **Lámina requerida**

Según la textura obtenida del suelo de la parcela, con las formulas 5 y 6 se determinaron los parámetros capacidad de campo (Cc) y punto de marchitez permanente (Pmp) consecutivamente, para la densidad aparente (Da) y la profundidad radical (Pr), esta ultima dependiendo del tipo de cultivo (Trigo), el cálculo se realizo mediante la fórmula 4.

$$Lr = \frac{Cc - Pmp}{100} \times Da \times Pr \quad (4)$$

Donde:

Lr: Lámina de riego requerida.

Cc: Capacidad de campo.

Pmp: Punto de marchitez permanente.

Da: Densidad aparente.

Pr: Profundidad radical.

$$Cc = 0.48Ac + 0.162L + 0.023Ar + 2.62 \quad (5)$$

$$Pmp = 0.302Ac + 0.102L + 0.0147Ar \quad (6)$$

Donde:

Cc: Capacidad de campo.

Ac: Porcentaje de Arcilla.

L: Porcentaje de Limo.

Ar: Porcentaje de Arena.

• Lámina aplicada

Se aforó el canal y los sifones (Fórmula 7 y 8) para obtener el gasto de aplicación, el cual se multiplico por el tiempo de riego y se dividió entre el área del surco (Fórmula 9) para obtener la lámina aplicada.

$$Q = VA \rightarrow \text{Canal}$$

$$Q = CA\sqrt{2gh} \rightarrow \text{Sifón} \quad (7 \text{ y } 8)$$

$$Lr = \frac{Q \times t}{A} \quad (9)$$

Donde:

Lr: Lámina de riego aplicada.

Q: Gasto aplicado.

t: Tiempo de riego.

A: Área del surco.

V: Velocidad, es multiplicada por 0.85, debido a que se toma en la superficie.

g: Gravedad.

h: Carga hidráulica.

C: Factor (0.64)

• Lámina infiltrada

Se realizaron muestreos de suelo antes y después del riego para determinar humedades y mediante la fórmula 10 se calculó.

$$Lr = \frac{Hdr - Har}{100} \times Da \times Pr \quad (10)$$

Donde:

Lr: Lámina de riego infiltrada.

Hdr: Humedad después del riego.

Har: Humedad antes del riego.

Da: Densidad aparente.

Pr: Profundidad radical.

- **Eficiencia de aplicación**

Se dividió la cantidad de agua útil (Lámina infiltrada) entre la cantidad de agua aplicada (Lámina de aplicación) y se multiplico por cien.

- **Coeficiente de uniformidad**

Se muestreo antes y después del riego en los 14 puntos marcados de la parcela a dos profundidades para calcular las láminas infiltradas (Fórmula 9) de cada punto por medio de las humedades, dichos muestreos se hicieron en un surco con gasto de 2 lps y en otro con 4 lps, el coeficiente se calculo mediante la fórmula 11.

$$CUc = \left(1 - \frac{(\sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|)}{N\bar{x}} \right) \times 100 \quad (11)$$

Donde:

CUc: Coeficiente de uniformidad de Christiansen.

N: Numero de muestras.

x_i : Lámina de cada punto.

\bar{x} : Lámina promedio.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el tercer riego de auxilio.

4.1. Lámina de riego requerida

Para la variable lámina requerida, el resultado obtenido se muestra en la Tabla 6, donde se hizo un análisis de la textura para obtener los porcentajes de partículas de suelo y en base a esto se determinó las constantes de humedad, y con la densidad aparente y profundidad radical se calculó la lámina de agua requerida por el cultivo. Los parámetros C_c y P_{mp} fueron calculados con la fórmula 5 y 6, para la D_a y P_r ver Anexo 1.

Tabla 6. Lámina requerida según la textura.

Suelo	0 - 30	30 - 60	Da (g/cm ³)	Pr (cm)	Cc (%)	Pmp (%)	Lámina req. (cm)
	%	%					
Arena	7.92	10.28	1.3	60	38.61	22.64	12.45
Limo	26.36	26.25					
Arcilla	65.72	63.72					

4.2. Lámina de riego aplicada

Para esta variable, los resultados se muestran en la Tabla 7, para la obtención de éstos se determinó el gasto de aplicación por sifón (ver Apéndice A), el tiempo de riego total y el área del surco.

Tabla 7. Resultados de las láminas de riego aplicadas.

Gasto aplicado	Tiempo de riego	Área del surco	Lámina aplicada
Lps	hr	m ²	cm
2	21.2	552.92	27.60
4	10.7	552.92	27.86

En los resultados mostrados en la Tabla 7, se aprecia la diferencia de las láminas para los dos gastos aplicado de 0.26 cm; por otro lado se observa que para el gasto mayor se obtuvo la lámina mayor, lo cual demuestra que en efecto se aplicó mayor gasto, ocasionado mayor desperdicio al final de los surcos.

Al observar los tiempos de aplicación, se encontró un ahorro significativo de 10.9 hrs para el gasto de 4 lps, esto debido a que a mayor gasto mayor avance, por lo tanto el riego resulto ser más rápido.

4.3. Lámina de riego infiltrada

Para la variable lámina infiltrada, se calculó a dos profundidades y para un gasto de 2 lps y otra para 4 lps, en la Tabla 8 se muestran los resultados, tomando valores de humedades más altos (ver Apéndice B) en relación a los puntos muestreados a lo largo de la parcela.

Tabla 8. Humedades máximas y láminas infiltradas a dos profundidades.

Humedades	0 - 30	30 - 60	Da (g/cm ³)	Pr (cm)	Lámina infiltr. a los 30 cm (cm)		Lámina infiltr. a los 60 cm (cm)	
	%	%			1 sifón	2 sifones	1 sifón	2 sifones
Antes	24.27	29.10	1.3	30 y 60	1 sifón	2 sifones	1 sifón	2 sifones
Desp. 1 sifón	40.59	35.67			6.36	5.78	5.12	4.01
Desp. 2 sifones	39.11	34.25						

Tabla 9. Láminas infiltradas totales para cada gasto aplicado.

Lámina total infiltrada con 1 sifón (cm)	11.48
Lámina total infiltrada con 2 sifones (cm)	9.79

La Tabla 9 muestra las láminas totales infiltradas de cada gasto aplicado, en donde se observa claramente la diferencia de 1.69 cm entre ellas, esto significa que a mayor gasto aplicado el avance es más rápido; pero la infiltración es menor, lo que ocasiona mayor desperdicios de agua.

4.4. Eficiencia de aplicación

Para esta variable, los resultados se muestran en la Tabla 10, donde intervinieron las 3 láminas obtenidas en los puntos anteriores.

Tabla 10. Eficiencia aplicada.

Lámina requerida	Láminas aplicada		Láminas infiltrada		Ef. aplicada	
	cm		cm		%	
	1 sifón	2 sifones	1 sifón	2 sifones	1 sifón	2 sifones
cm	1 sifón	2 sifones	1 sifón	2 sifones	41.59	35.13
12.45	27.60	27.86	11.48	9.79		

Los resultados obtenidos en el estudio concuerdan con los citados por el IMTA (2010) donde mencionan que la eficiencia de aplicación oscila entre el 30 y 40 %, sin embargo estos resultados se consideran muy bajos.

4.5. Coeficiente de uniformidad

El resultado de ésta variable se muestra en la Tabla 11, en la cual, por medio de las humedades obtenidas en los 14 puntos marcados de la parcela, se calcularon las láminas correspondientes de cada uno y se obtuvo un promedio de éstas para determinar el coeficiente de uniformidad de cada estrato de suelo (0 - 30 y 30 - 60) (ver Apéndice C).

Tabla 11. *Coeficientes de uniformidad por cada estrato y para cada gasto aplicado.*

Gasto (lps)	Coeficiente (%)	
	0 – 30 cm	30 – 60 cm
2	94.93	95.53
4	93.47	94.44

Los resultados obtenidos son adecuados, porque se logra una buena distribución del agua en la parcela. Estos resultados según Christiansen citado por Hernández et al (2013) se consideran como buenos ya que el rango aceptable es de 90 a 100% (ver Anexo 1).

4.6. Resultados con el diseño de riego con RIGRAV

Se realizó la corrida en el software RIGRAV para comparar los datos obtenido en campo, introduciendo al software datos tomados de la parcela (ver Tabla 12 y 13) y obteniendo los siguientes resultados mostrados en las Figuras 19 y 20.

- Datos obtenidos de la parcela:

Tabla 12. *Propiedades físicas del suelo.*

PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO	
Contenido de humedad inicial	0.16-0.26 cm ³ /cm ³
Contenido de humedad a saturación	0.49 cm ³ /cm ³
Conductividad hidráulica a saturación	0.05 cm/h
Parámetro hf de la función de infiltración	100 cm

Tabla 13. *Datos generales.*

DATOS GENERALES	
Longitud de la melga o surco	300 m- 691.15 m
Pendiente media de la melga o surco	0.15%
Gasto de riego unitario propuesto	2-4l/s
Lamina de diseño	0.12 m
Coefficiente de rugosidad de Manning	0.10-0.25

- **Resultados arrojados:**

RESULTADOS:		
Lámina de riego:	0.122	m
Lámina de riego aplicada:	0.1512	m
Eficiencia de aplicación:	62.8	%
CUc:	99.5	%
Tiempo de riego:	782.0	min

Figura 19. Resultados para 2 lps.

RESULTADOS:		
Lámina de riego:	0.122	m
Lámina de riego aplicada:	0.1499	m
Eficiencia de aplicación:	56.7	%
CUc:	99.0	%
Tiempo de riego:	391.0	min

Figura 20. Resultados para 4 lps.

Los resultados arrojados por el software RIGRAV, en comparación con lo obtenido en campo, resultaron ser muy diferentes, debido a que el programa simula en condiciones ideales y lo que se hace en la realidad es diferente, lo que más afecta al momento del riego es la aplicación a la parcela (regador), esta persona corta el riego o lo continua desperdiciando agua, y por lo tanto, hay más lámina aplicada o infiltrada según sea el gasto aplicado.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La evaluación de la eficiencia obtenida con el diseño de riego por surcos con RIGRAV resultó ser mayor que la obtenida en campo con 59.75 y 38.36 % respectivamente, esto se debe a que la simulación de RIGRAV hace el diseño para condiciones ideales, mientras que en campo se encuentran dificultades al momento de la aplicación de riego; mal acabado de los surcos que ocasiona desborde de ellos, siembra en fondo, variación de niveles de agua en los canales, entre otras.

El simulador RIGRAV estima una lámina de 15.05 cm, mientras que la aplicación en campo fue de 27.73 cm, presentándose una diferencia de 12.68 cm, la cual se debe a al mal manejo del agua por desconocimiento o falta de conciencia por parte del regador.

El coeficiente de uniformidad, fue bueno, ya que lo obtenido tanto en campo como en RIGRAV resultaron ser porcentajes arriba de 90%.

5.1. Recomendaciones

Una de las recomendaciones es la de llevar a cabo un buen trazo o buen acabo de los surcos para que el agua tome el curso correcto y no se desborde al momento de la aplicación del agua.

Forma correcta de realizar la siembra del cultivo, para poder obtener resultados más favorables y satisfactorios en la evaluación de los riegos, lo cual ayudaría a que el agua tenga mejor avance.

Se recomienda a las personas encargadas del manejo del agua en la parcela (regador) se les brinde asesoría por parte del área técnica, la cual es la encargada de evaluar el riego, por el motivo que éstas personas por desconocimiento hagan un mal uso y se desperdicien grandes volúmenes de agua.

REFERENCIAS

- AGROGNOMOS. *Métodos de Riego*. Recuperado el 13 de Marzo del 2014 de <http://agrogrupo2.wordpress.com/2008/04/03/metodos-de-riego/>
- Caje.me (s.f.). *La Historia del Valle del Yaqui*. Recuperado el 12 de Marzo del 2014 de <http://caje.me/historia/65-valle-del-yaqui>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2010). *Estadísticas del Agua en México. Capítulo 3 Usos del Agua* pág. (66). Recuperado el 13 de Febrero del 2014 de http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Capitulo_3.pdf
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2011). *Estadísticas del Agua en México. Capítulo 8 Agua en el Mundo* pág. (115). Recuperado el 08 de Febrero del 2014 de http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/SINA/Capitulo_8.pdf
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2011). *Estadísticas del Agua en México. Capítulo 8 Agua en el Mundo* pág. (119). Recuperado el 12 de Febrero del 2014 de http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/SINA/Capitulo_8.pdf
- Consejo Consultivo del Agua, A.C. 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo (2006). *El agua, una responsabilidad compartida*. Recuperado el 15 de Marzo del 2014 de <http://www.aguas.org.mx/sitio/03b01.html>
- De La Peña, I. (2003). Administrar-Conservar y Mantener el Distrito de Riego del Rio Yaqui. *Consideraciones Técnicas para Operar*. Recuperado el 16 de Marzo del 2014 de <http://www.drnyaqui.org.mx/Resumen%20BID-Dela%20Pe%C3%B1a%20ABR-03.pdf>
- De la Peña, I. y Llerena, F. (2001). *Manual del uso y manejo del agua de riego* (3ra. edición). La Conchita, Texcoco, Estado de México: Futura S.A.

- Distrito de Riego del Rio Yaqui (s.f.). *Historia. Antecedentes*. Recuperado el 16 de Febrero del 2014 de <http://www.drnyaqui.org.mx/historia.html>
- Faci, J. y Playan, E. (s.f.). *Principios Básicos del Riego por Superficie*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Recuperado el 20 de Marzo del 2014 de http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1994_10-11.pdf
- Fuentes, J. (1998). *Técnicas de riego* (3era. edición). Madrid: Mundi-Prensa, S.A.
- Gavidia, V. y Rueda, J. (s.f.). *¡El Agua!*. Recuperado el 03 de Marzo del 2014 de http://books.google.com.mx/books?id=p1jYCAi0QucC&pg=PA31&dq=distribucion+del+agua+en+el+planeta&hl=es&sa=X&ei=-FcOU_zRjPtl0AS-vYG4DQ&ved=0CDAQ6AEwAQ#v=onepage&q=distribucion%20del%20agua%20en%20el%20planeta&f=false
- Hernández, F., Martínez, R., Elizondo, Fuentes, C., Pérez, P., Rendón, L., Ojeda, W., Antonio H., Rojas, F., Chávez, C., García, F., Carrillo, M. y Ángeles, V. (2013). Curso de capacitación. *Diseño, implementación y seguimiento del riego por gravedad*. Chapingo, México: UACH- Unidad de Servicios Profesionales y Transferencia de Tecnología en Ingeniería Agrícola.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación* (5ta. edición). México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. DE C.V.
- hydroenv.com. *Riego por inundación*. Recuperado el 13 de marzo del 2014 de http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=112
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2010). *Riego por gravedad*. Recuperado el 17 de Marzo del 2014 de <http://www.cofupro.org.mx/cofupro/images/contenidoweb/indice/publicaciones-nayarit/FOLLETOS%20Y%20MANUALES/FOLLETOS%20IMTA%202009/folleto%20%20RiegoGravedad.pdf>

- Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI, 2011). *Estadísticas Sociodemográficas. Población Total según sexo 1950 – 2005*. Recuperado el 06 de Febrero del 2014 de <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx?tema=P>
- Jensen (1980). Riego por superficie. *Fases del riego por superficie*. Recuperado el 22 de Marzo del 2014 de http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%208.Riego%20por%20superficie/page_08.htm
- Mark W. Rosegrant, Ximing Cai y Sarah A. Cline (2002). Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias Washington, D.C., EE.UU. Instituto Internacional para el Manejo del Agua. *Una Visión 2020 para la Alimentación, la Agricultura y el Medio Ambiente*. Recuperado el 12 de Febrero del 2014 de <http://www.ifpri.org/sites/default/files/pubs/spanish/pubs/fpr/pr14sp.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, s.f). *Los problemas del agua y la agricultura*. Recuperado el 05 de Marzo del 2014 de <http://www.fao.org/docrep/003/t0800s/t0800s09.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2002). *El Agua y la Agricultura*. Recuperado el 12 de Marzo del 2014 de <http://www.fao.org/WorldFoodSummit/sideevents/papers/Y6899S.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2009). *La FAO en México. Más de 60 años de cooperación* pág. (36). Recuperado el 13 de Marzo del 2014 de http://www.fao.org.mx/documentos/Libro_FAO.pdf
- Prieto, C. (2004). *El agua: sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación* (2da. edición). Bogotá: Eco Ediciones. Recuperado el 27 de Febrero del 2014 de <http://books.google.com.mx/books?id=9c-Bjue-cBsC&printsec=frontcover&dq=el+agua+Prieto,+2004&hl=es&sa=X&ei=Q8hqU5bxMKmc8gG8g4DYDg&ved=0CCwQ6AEwAA#v=onepage&q=el%20agua%20Prieto%2C%202004&f=false>
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (s.f.). *Agua en el planeta*. Recuperado el 10 de Marzo del 2014 de http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_content&view=section&id=5&Itemid=300003

- Rendón, L., Fuentes, C. y Magaña, G. (s.f.). *Diseño del riego por gravedad*. Recuperado el 21 de Marzo del 2014 de <http://es.scribd.com/doc/208462761/DISENO-DE-RIEGO-POR-GRAVEDAD>
- Rendón, L., Martínez, R. y Hernández, R. (1993). *II Curso Internacional de Sistemas de Riego (Volumen IV)*. Chapingo, México: Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma de Chapingo.
- Reyes, A. y Quintero, M. (2009). Problemática del agua en los distritos de riego por bombeo del estado de sonora. *Revista Digital Universitaria* pág. (4). Recuperado el 20 de Febrero del 2014 de <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num8/art51/art51.pdf>
- Walac (2010). *Eficiencia de aplicación del agua en el riego*. Recuperado el 22 de Marzo del 2014 de <http://walac.wordpress.com/2010/05/22/eficiencia-de-aplicacion-del-agua-de-riego/>

ANEXO 1. Densidad aparente, Profundidad radical y Coeficiente de Christiansen.

Densidad aparente

TEXTURA	RANGO	PROMEDIO
	<i>Da</i> (g/cm ³)	
Arenosa	1.50 - 1.80	1.65
Migajón (franco)	1.30 - 1.50	1.40
Arcilloso	1.00 - 1.30	1.15
Orgánico	0.70 - 1.00	0.85

Profundidad radical

TIPO DE SUELO	PROFUNDIDAD	CULTIVOS RECOMENDADOS
	(cm)	
Delgado	0 - 30	Hortalizas
Somero	30 - 60	Cereales, frijol
Moderadamente profundo	60 - 120	Maíz, Sorgo
Profundo	más de 120	Alfalfa y frutales

Clasificación del coeficiente de uniformidad según Christiansen

PARÁMETRO	CLASIFICACIÓN DEL RIEGO RESULTANTE		
	MALO	SATISFACTORIO	BUENO
Eficiencia de aplicación, %	< 60	60 a 75	> 75
Eficiencia de aplicación del requerimiento, %	<80	80 a 90	> 90
Coef. de uniformidad de Christiansen, %	<80	80 a 90	> 90

APÉNDICE A. Cálculo del gasto en regadera y sifones.

→ Aforo de la regadera:

$$L_t = 10 \text{ m}$$

$$x_1 = 1.50 \text{ m}$$

$$x_2 = 1.15 \text{ m}$$

$$x_3 = 1.3 \text{ m}$$

Promedio:	1.317	m
-----------	-------	---

$$y_1 = 0.52 \text{ m}$$

$$y_2 = 0.49 \text{ m}$$

$$y_3 = 0.52 \text{ m}$$

Promedio:	0.51	m
-----------	------	---

Tiempos:

$$t_1 = 31.22 \text{ seg}$$

$$t_2 = 31.26 \text{ seg}$$

$$t_3 = 29.33 \text{ seg}$$

Promedio:	30.603	seg
-----------	--------	-----

Área: *Parabola* *Triangulo*
 $\frac{2}{3}*(xy)$ $(xy)/2$

$$A_1 = 0.52 \quad 0.39 \quad \text{m}^2$$

$$A_2 = 0.38 \quad 0.28 \quad \text{m}^2$$

$$A_3 = 0.45 \quad 0.34 \quad \text{m}^2$$

Promedio:	0.448778	0.336583	m ²
-----------	----------	----------	----------------

Promedio:	0.392681	m ²
-----------	----------	----------------

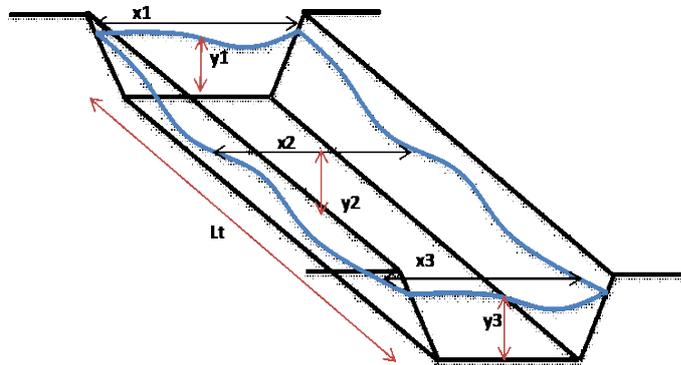
Velocidad:

$$V_1 = 0.272 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 0.272 \text{ m/s}$$

$$V_3 = 0.290 \text{ m/s}$$

Promedio:	0.278	m/s
-----------	-------	-----



Cálculo del gasto de la regadera

$$Q = 0.1092 \text{ lps}$$

$$Q = 109.16 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del gasto por sifón

Según el gasto de la regadera y número de sifones:

$$\text{No. sifones} = 57$$

$$Q = 1.915 \text{ lps}$$

$$Q \text{ aprox.} = 2.0 \text{ lps}$$

Nota = Debido a que el nivel de la regadera varía, el gasto por sifón no es exacto de 2 lps, por lo tanto se aproxima y para este proyecto se tomo como 2 lps.

Cálculo del gasto por sifón

Según la fórmula y carga hidráulica de la regadera:

$$C \text{ (factor)} = 0.62$$

$$h = 0.13 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$A = 0.0020 \text{ m}^2$$

$$Q = 2.0 \text{ lps}$$

APÉNDICE B. Humedades de los 2 estratos considerados.

Humedades del estrato 0 – 30 cm

Humedades 0 - 30 cm				
#	DISTANCIA	Antes	Despues	
		Humedad	Hum. 1 Sifón	Hum. 2 Sifones
	m	%	%	%
1	0	27,083	30,696	26,889
2	50	22,917	36,603	33,263
3	100	23,529	36,081	32,487
4	150	20,000	36,646	34,925
5	200	23,529	37,037	35,352
6	250	12,281	35,714	32,423
7	300	25,000	38,783	35,072
8	350	23,333	35,988	33,712
9	400	27,778	40,599	30,000
10	450	25,000	39,005	33,775
11	500	26,923	34,513	28,509
12	550	28,205	35,246	32,573
13	600	25,641	39,503	33,526
14	650	28,571	39,048	39,113
15	691,15	24,324	0	0

Humedades del estrato 30 – 60 cm

Humedades 30 - 60 cm				
#	DISTANCIA	Antes	Despues	
		Humedad	Hum. 1 Sifón	Hum. 2 Sifones
	m	%	%	%
1	0	33,333	37,753	27,994
2	50	29,167	33,733	30,809
3	100	28,947	31,043	31,000
4	150	28,070	31,836	32,852
5	200	32,143	32,033	33,840
6	250	30,303	32,962	28,081
7	300	28,571	32,779	34,254
8	350	28,125	32,068	32,781
9	400	27,273	33,259	29,173
10	450	29,412	31,604	29,286
11	500	28,358	30,531	28,509
12	550	27,273	32,979	30,087
13	600	29,687	35,678	30,508
14	650	26,786	35,449	29,532
15	691,15	28,205	0	0

APÉNDICE C. Láminas aplicadas y Coeficientes de uniformidad de cada estrato.

Láminas de cada punto en la parcela y Coeficiente de uniformidad en el estrato 0 – 30 cm

0 - 30 cm												
#	DISTANCIA	Antes	Despues		Da	Pr	Lámina	Lámina	$ X_i - \bar{X} $	$ X_i - \bar{X} $	Coeficiente de Uniformidad	
		Humedad	Hum. 1 Sifón	Hum. 2 Sifones			1 Sifón	2 Sifones	1 Sifón	2 Sifones	1 Sifón	2 Sifones
		m	%	%			%	g/cm ³	m	cm	cm	1 Sifón
1	0	27,083	30,696	26,889	1,3	0,30	11,866	10,381	2,399	2,384	94,937	93,472
2	50	22,917	36,603	33,263	1,3	0,30	14,186	12,883	0,079	0,119		
3	100	23,529	36,081	32,487	1,3	0,30	13,980	12,578	0,285	0,186		
4	150	20,000	36,646	34,925	1,3	0,30	14,214	13,543	0,051	0,778		
5	200	23,529	37,037	35,352	1,3	0,30	14,353	13,695	0,088	0,931		
6	250	12,281	35,714	32,423	1,3	0,30	13,881	12,597	0,384	0,168		
7	300	25,000	38,783	35,072	1,3	0,30	15,028	13,581	0,763	0,816		
8	350	23,333	35,988	33,712	1,3	0,30	13,944	13,057	0,320	0,292		
9	400	27,778	40,599	30,000	1,3	0,30	15,725	11,592	1,461	1,173		
10	450	25,000	39,005	33,775	1,3	0,30	15,115	13,075	0,850	0,310		
11	500	26,923	34,513	28,509	1,3	0,30	13,355	11,013	0,909	1,751		
12	550	28,205	35,246	32,573	1,3	0,30	13,636	12,594	0,629	0,171		
13	600	25,641	39,503	33,526	1,3	0,30	15,306	12,975	1,041	0,210		
14	650	28,571	39,048	39,113	1,3	0,30	15,117	15,143	0,852	2,378		
15	691,15	24,324	0	0	0	0	0	0	0	0		
N		24,271	36,819				Promedio	Promedio	Σ	Σ		
14							14,265	12,765	10,112	11,667		

Láminas de cada punto en la parcela y Coeficiente de uniformidad en el estrato 30 – 60 cm

30 - 60 cm												
#	DISTANCIA	Antes	Despues		Da	Pr	Lámina	Lámina	Xi - X̄	Xi - X̄	Coeficiente de Uniformidad	
		Humedad	Hum. 1 Sifón	Hum. 2 Sifones			1 Sifón	2 Sifones	1 Sifón	2 Sifones	1 Sifón	2 Sifones
		m	%	%			%	g/cm ³	m	cm	cm	1 Sifón
1	0	33,333	37,753	27,994	1,3	0,60	29,187	21,575	3,579	2,083	95,538	94,442
2	50	29,167	33,733	30,809	1,3	0,60	26,084	23,803	0,476	0,145		
3	100	28,947	31,043	31,000	1,3	0,60	23,987	23,954	1,621	0,296		
4	150	28,070	31,836	32,852	1,3	0,60	24,613	25,406	0,995	1,748		
5	200	32,143	32,033	33,840	1,3	0,60	24,735	26,145	0,873	2,487		
6	250	30,303	32,962	28,081	1,3	0,60	25,474	21,667	0,134	1,991		
7	300	28,571	32,779	34,254	1,3	0,60	25,345	26,495	0,263	2,837		
8	350	28,125	32,068	32,781	1,3	0,60	24,794	25,350	0,814	1,692		
9	400	27,273	33,259	29,173	1,3	0,60	25,730	22,542	0,122	1,116		
10	450	29,412	31,604	29,286	1,3	0,60	24,422	22,613	1,186	1,045		
11	500	28,358	30,531	28,509	1,3	0,60	23,593	22,016	2,015	1,642		
12	550	27,273	32,979	30,087	1,3	0,60	25,511	23,255	0,097	0,403		
13	600	29,687	35,678	30,508	1,3	0,60	27,597	23,565	1,989	0,093		
14	650	26,786	35,449	29,532	1,3	0,60	27,441	22,826	1,833	0,832		
15	691,15	28,205	0	0	0	0	0	0	0	0		
N		29,103	33,122				Promedio	Promedio	Σ	Σ		
14							25,608	23,658	15,998	18,409		

GLOSARIO DE FOTOS



Parcela Josefa López Matus



Cartel de RIGRAT (Descripción del proyecto)



Aplicación del gasto a la parcela



Prueba de riego (Aplicando sifón)



Canal de riego



Muestreo de suelo