

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

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

El que suscribe JESÚS ALBERTO ANGULO ARMENTA, 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: **“COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA APLICACIÓN DEL AGUA CON FLUJO INTERMITENTE Y CONTINUO EN MELGAS”**. 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.

JESÚS A. ANGULO A.

JESÚS ALBERTO ANGULO ARMENTA

(Nombre y firma del autor)



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA**  
Educar para Trascender

**“COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA APLICACIÓN  
DEL AGUA CON FLUJO INTERMITENTE Y CONTINUO EN  
MELGAS.”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL.**

**PRESENTA:**

**JESÚS ALBERTO ANGULO ARMENTA.**

Junio de 2014

Cd. Obregón, Sonora

## *Dedicatorias.*

*A Dios por haberme dado la oportunidad de llegar a este punto tan importante de mi vida, por haberme dado la salud y fuerza necesaria en los momentos más complicados a lo largo de todos estos años.*

*A mis padres Cecilia y Alfredo porque sin ellos nada de esto hubiera sido posible. Gracias mamá por cada sacrificio que hiciste para que yo pudiera seguir estudiando, por ser ese pilar importante en mi vida, por motivarme y decirme siempre "vamos hijo tú puedes", por siempre creer en mí, por tus cuidados, por todo tu amor y paciencia, por todo eso y mucho más, todo esto es por ti mamá.*

*A mamá Lili por siempre darme palabras de aliento, por tus cuidados, tus sabios consejos, por todo tu amor, por apoyarme en todo momento, bajo cualquier circunstancia y que siempre estuviste allí, ya fuera lo emocional o lo económico. A ti papá Chuy que ya no estás aquí, sé que desde el cielo estas muy orgulloso de mi, daría lo que fuera porque estuvieras aquí y poder compartir este momento tan importante en mi vida contigo.*

*A ti hermano que espero poder ser un gran ejemplo para ti, por estar junto a mí a pesar de las peleas y todo momento adverso, espero estés muy orgulloso de mi.*

*A mi tíos Dora y Luis ustedes mis segundos padres, que tantas cosas hemos vividos juntos, situaciones difíciles y buenas, momentos únicos en mi vida, ustedes que siempre me han apoyado, querido y cuidado, ustedes que fueron pilares importantes para que yo esté en este momento.*

*A mis tíos Nohemí y Humberto por siempre creer en mí, por brindarme siempre su apoyo incondicional bajo cualquier situación, por sus consejos y por sus palabras siempre tan directas pero a la vez llenas de mucha verdad, las cuales siempre fueron para que yo diera el cien por ciento en todo lo que hiciera, por siempre tener fe en mí.*

*A mis primos Daniel, David, Beto, Paulina, Marcela por siempre estar al pendiente de mí, por brindarme todo ese cariño y apoyo incondicional, porque fueron partícipes de muchos de mis logros.*

*A ti Ana Luis por ser más que mi prima una hermana, por ser mi cómplice de muchas aventuras, por esas lágrimas y risas compartidas, por tu cariño, por tu confianza, por tu apoyo brindado siempre en las buenas y las malas.*

## *Agradecimientos.*

*Primeramente quiero darle las gracias a mi asesor al Dr. Luis Carlos Valdez Torres, por su apoyo a lo largo de estos meses, por su tiempo y gran disposición hacia conmigo en todo momento, por sus enseñanzas, por su apoyo no sólo en la realización de este trabajo sino también en la materia que lleve con él, sin duda es una excelente persona que ha dejado huella en mi carrera.*

*A mis amigos René, Adrián "el Magda", Manuel Gutiérrez, que tantas experiencias vivimos juntos buenas y malas, pero eso si siempre unidos, porque siempre buscábamos el más mínimo pretexto para reunirnos y festejar, por todo lo aprendido juntos y por ser como mis hermanos. A ti, Susana, por ser una excelente amiga, por apoyarme siempre, por tu confianza, por tu discreción al guardarme tantos secretos, gracias de nuevo a ti mejor amiga. A ti, Karla Navarro, por dejarme ser más que un compañero de carrera, por ser una gran amiga y apoyarme cuando te necesite. A ti, Ana María, por ser una gran amiga y una gran maestra la cual siempre me brindo su mano y a todos aquellos que no menciono pero que sin ustedes todo esto etapa no hubiera sido la misma.*

*A mi maestra y revisora de seminario Mtra. Gloria Isabel Bojórquez Morales, por su paciencia y ayuda a lo largo de estos meses, por esos jalones de orejas, por no dejarnos flojear y decirnos siempre "muchachos yo sé que me van a soñar este fin de semana, pero tenemos que trabajar duro si queremos terminar en tiempo y forma", por cambiarme de nombre constantemente "Antonio esto, Antonio lo otro, no maestra soy Jesús*

*Alberto", por sus consejos y por ser participe del cierre de este capítulo tan maravilloso de mi vida.*

*A la Mtra. Guadalupe Ayón, por andarnos apurando siempre en todo y por ver que siempre estuviera todo bien para nosotros, por su buena disposición siempre a la hora de ir a buscarla a su oficina, por ser siempre tan atenta y siempre dar lo mejor para nosotros.*

*A todos mis maestros que a lo largo de la carrera se esforzaron por enseñarnos siempre lo mejor, por ser parte de mi formación profesional y por ser además excelentes amigos, por todo eso muchas gracias.*

## ÍNDICE GENERAL.

Dedicatorias.....	ii
Agradecimientos.....	iv
Índice General.....	vi
Índice de Figuras.....	vii
Índice de Tablas.....	viii
Resumen.....	ix
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
1.1. Antecedentes.....	10
1.2. Planteamiento del problema.....	13
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1. Objetivo general.....	14
1.3.2. Objetivos específicos.....	14
1.4. Justificación.....	15
1.5. Limitaciones del estudio.....	15
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
2.1. Situación actual del agua.....	16
2.1.1. Disponibilidad del agua.....	17
2.1.2. Usos del agua.....	17
2.1.3. Factores que originan el mal uso del agua.....	18
2.2. El riego.....	19
2.2.1. Sistema de riego.....	20
2.2.2. Métodos de riego.....	20
2.3. Aspectos básicos del riego por gravedad.....	21
2.3.1. Ventajas y desventajas del riego por gravedad.....	21
2.3.2. Descripción del riego por gravedad.....	22
2.4. Clasificación de los métodos de riego por gravedad.....	22
2.4.1. Riego por surcos.....	23
2.4.2. Riego por melgas.....	23
2.4.3. Aplicación del agua en la melga.....	25
<b>CAPÍTULO III. MÉTODO.....</b>	<b>28</b>
3.1. Tipo de Investigación.....	28
3.2. Ubicación del objeto de estudio.....	29
3.3. Participantes.....	29
3.4. Materiales y equipo.....	30
3.5. Procedimiento.....	30
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
4.1. Lámina de riego aplicada.....	36
4.2. Coeficiente de uniformidad.....	37
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>39</b>
5.1. Conclusiones.....	39
5.2. Recomendaciones.....	40
Referencias.....	41
Anexos.....	44
Apéndices.....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. <i>Usos del agua por sector de actividad en el 2006</i> .....	18
Figura 2. <i>Parcela Rosalino Choqui Moroyoqui</i> .....	29
Figura 3. <i>Trazo de curvas de nivel</i> .....	31
Figura 4a. <i>Instalación de contras</i> .....	31
Figura 4b. <i>Funcionamiento de contra</i> .....	31
Figura 5. <i>Instalación de compuerta</i> .....	32
Figura 6a. <i>Flujo continuo</i> .....	33
Figura 6b. <i>Flujo intermitente</i> .....	33
Figura 6c. <i>Flujo intermitente</i> .....	33
Figura 7. <i>Muestreo de suelo con barrena</i> .....	34
Figura 8. <i>Curva de avance de riego</i> .....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Lámina de riego aplicada en tratamiento 1 y 2</i> .....	36
Tabla 2. <i>Coeficiente de uniformidad por tratamiento</i> .....	38

## Resumen.

La presente investigación se realizó en el Distrito 018 de las Comunidades Yaquis, en el poblado de Huirivis, en el municipio de Guaymas, Sonora, en la parcela Rosalino Choqui Moroyoqui en la cual se sembró trigo de variedad Cirno en el ciclo otoño-invierno 2013-14. Tiene como objetivo comparar el ahorro de agua en la aplicación de flujo continuo e intermitente en melgas. Se aplicaron 3 tratamientos los cuales constaron para el primero de aplicación de flujo continuo y para el segundo y tercero de flujo con intermitencias a cada 50 metros. Las variables a medir fueron; lámina de riego aplicada y coeficiente de uniformidad, obteniendo además la curva de avance del riego para flujo continuo e intermitente. Para la obtención de la lámina de riego aplicada se consideró el gasto de la melga, tiempo de riego y área regada para cada tratamiento. En el caso del flujo continuo la lámina aplicada fue de 28.74 cm, mientras que para el flujo intermitente fue de 17.09 cm. Lo anterior indica que con el riego intermitente se logró un ahorro de 11.65 cm, que es equivalente a un ahorro del 40.53%. El coeficiente de uniformidad que se obtuvo con flujo continuo fue de 86% y con flujo intermitente fue de 92%, lo cual califica al riego por intermitencias como bueno.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes.**

El agua es un recurso natural que puede agotarse, cubre las dos terceras partes del globo, pero en su mayoría es agua salada. El agua dulce existe en una proporción mucho menor y es un recurso natural que debe cuidarse ya que como todos los recursos de la Tierra se agotan.

Según Herrera y Vázquez, (2013) el tema del agua es prioritario y urgente, la variación de las condiciones climáticas y la recurrencia de las sequías, aunado a la necesidad de incrementar la producción de alimentos, el aumento de la demanda de agua para uso urbano e industrial, son factores que determinan atender y/o resolver de manera integral las limitantes y problemas tales como:

- El agua no se percibe como un elemento estratégico y los bajos precios del agua dan sensación de abundancia.
- Se sigue ampliando la brecha entre necesidades y disponibilidad de agua.
- Insuficiencia de recursos ha limitado la inversión en infraestructura hídrica necesarias para garantizar la sustentabilidad de las actividades productivas.

Así mismo, Herrera y Vázquez, (2013) en la actualidad la importancia del recurso agua es cada vez más relevante en el mundo, tal situación obliga a definir estrategias para hacer un uso sostenible del recurso en los diferentes sectores, tales como el agrícola, pecuario, industrial y doméstico, la mayor demanda se concentra en el uso agrícola con el 75% del volumen disponible.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, s.f.), hace mención que la agricultura es, con diferencia, el mayor consumidor de agua, representa el 70% de las extracciones de agua, llegando incluso al 90% en algunas regiones. Aproximadamente el 20% del agua utilizada en el mundo procede de fuentes de agua subterráneas (renovables o no) y esta proporción está aumentando con rapidez, especialmente en regiones secas.

En México el uso del agua para la agricultura representa el 77%, se distribuye en las áreas de los Distritos de Riego y las Unidades de Riego, resultando una superficie total de riego de 6.46 millones de hectáreas (Herrera y Vázquez, 2013).

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2014) señala que de los 6.46 millones de hectáreas de la superficie de riego en México el 90% utiliza el sistema de riego por gravedad.

El riego por gravedad es el método más conocido y utilizado en México, el uso del mismo está asociado a bajas eficiencias en el uso del agua (del 40 a 60%), debido a que se presentan grandes consumos de agua tanto en surcos o melgas de

grandes longitudes y pérdidas por escurrimientos al final. Para lograr eficiencias aceptables se desarrollaron conceptos como “pendiente cero” y manejo de surcos cortos, riego intermitente, utilizando tuberías con compuertas o aplicaciones de agua con sifones (Vuelvas, 2014).

La agricultura en Sonora es la actividad de mayor importancia en el estado, el Valle del Yaqui es una de las principales regiones agrícolas en el sur del estado el cual es reconocido por su gran modernidad en materia de agricultura. A pesar de ello, se presentan grandes desperdicios de agua a la hora de efectuar los riegos, a causa de las condiciones de la infraestructura, tipo de suelo, pero principalmente al factor humano, siendo este último el que origina el mal manejo al momento de efectuar los riegos (Caje.me, s.f.).

Vuelvas (2014) menciona en el tema de manejo del agua en la agricultura interviene un gran número de factores que son solamente una parte del sistema agua-suelo-planta-clima, el cual determina el éxito o fracaso de un cultivo. Este mismo autor comenta que las pérdidas por infiltración en canales y regaderas durante la conducción del agua ocurren por la falta de revestimiento de los canales, lo que ocasiona pérdidas del 40% aproximadamente, que significa tener menor volumen de agua disponible en la parcela. Lo anterior ocasiona mayor tiempo de operación de los equipos para aplicar la lámina de riego necesaria. Por otra parte, las pérdidas por percolación y escurrimiento ocurren porque generalmente se carece de un diseño del riego y los terrenos están desnivelados. Este tipo de pérdidas se pueden disminuir haciendo un buen diseño del riego.

En 1979 los Drs. Glen Stringham, Jack Keller y Alvin Bishop introdujeron la técnica de regar por pulsos, concebido como un medio para lograr el avance del frente de agua más rápido en unidades largas, para luego establecer un tiempo promedio de aplicación de agua que minimice el escurrimiento al pie “aumento de la eficiencia” (Romay, Génova, Salgado y Zabala, 2014).

Actualmente se está llevando a cabo el proyecto Riego por Gravedad Tecnificado (RIGRAT) el cual tiene como uno de los principales objetivos el hacer un uso más racional del agua de riego en las parcelas e incrementar la eficiencia a nivel parcelario (Hernández et.al, 2013).

Por tal motivo en el presente estudio tiene como finalidad buscar una nueva alternativa para optimizar un uso racional del agua y una mejor eficiencia.

## **1.2 Planteamiento del Problema.**

El Valle del Yaqui es una de las principales regiones agrícolas de México, se encuentra en el sur del Estado de Sonora. Cuenta con una extensión territorial de aproximadamente de 233 700 hectáreas, dicho Valle es reconocido por su gran modernidad en materia de agricultura; a pesar de ello, se presentan grandes desperdicios de agua a la hora de efectuar los riegos, lo cual afecta el desarrollo del cultivo, lo anterior exige buscar alternativas para lograr la eficiencia de riego y con ello mermar la problemática de la falta de agua (caje.me, s.f.).

Recientemente la problemática del agua por la cual atraviesan los Distritos de Riego 041 y 018 en el Valle del Yaqui es crítica, ocasionada por la poca disponibilidad de este vital líquido con que se cuenta. Cabe mencionar que no solo la sequía por la cual atraviesa Sonora es una de las principales causas, sino también las condiciones de la Infraestructura Hidroagrícola y al pésimo estado en el que se encuentra la red de canales los cuales hacen que el aprovechamiento y conducción del agua sea deficiente (Anónimo, 2005).

Otro factor que se debe tomar muy en cuenta es el mal manejo que se da a la poca agua disponible por parte de los regadores al momento de llevar a cabo los riegos en los cultivos, siendo en la mayoría de los casos originados por el mal manejo de los sistemas de riego implementados, ocasionando grandes pérdidas de agua, por lo tanto una mala aplicación de la misma y una baja producción de

siembra. En la mayoría de los casos la falta de conocimiento y poca conciencia por parte de los productores hace mayor el problema.

En la actualidad la eficiencia del uso del agua a nivel parcelario es muy baja (aproximadamente igual a 50%) debido a un mal diseño, produciéndose pérdidas de agua que no es aprovechada por los cultivos. Una parte de esta agua se pierde por escurrimiento superficial (coleos) que generalmente se colecta en la red de drenaje y otra por percolación profunda que alimenta el manto freático, lo que ocasiona su elevación produciendo serios problemas de drenaje en muchas zonas de riego. Es evidente que con un buen diseño del riego por melgas se podría aumentar la eficiencia del uso del agua a nivel parcelario (Rendón, 1993).

Según P&R (2009), el porcentaje de ahorro de agua con riego intermitente va desde el 30% hasta un 50 % de ahorro. Por lo que se plantea la siguiente pregunta, ¿Aplicando el riego con flujo intermitente en melgas se podrá obtener un ahorro de agua de cuando menos 30% o más?

### **1.3 Objetivo.**

#### **1.3.1. Objetivo general.**

Comparar el ahorro de agua en la aplicación de flujo continuo e intermitente en melgas, en las comunidades yaquis.

#### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- Evaluar lámina de riego aplicada y uniformidad de distribución del agua.
- Obtener las curvas de avance con flujo continuo e intermitente en el riego por melgas.

#### **1.4 Justificación.**

El presente estudio tiene como finalidad encontrar una alternativa para lograr un uso eficiente en la aplicación del agua en la parcela. La cual se puede lograr con la técnica de riego intermitente en melgas sin afectar el rendimiento por hectárea.

Es importante y necesario que se diseñe un sistema de riego apropiado a las condiciones del lugar considerando factores como clima y topografía del mismo. Los sistemas de riego además deben de ser tecnificados para obtener mejores resultados.

Con la presente investigación se podrá crear conciencia en los productores y regadores sobre la importancia que tiene el buen uso y manejo del agua en sus cultivos. Además, implementando estas técnicas se proporcionará asistencia técnica adecuada a los agricultores y se capacitará a los técnicos.

Teniendo un buen manejo y uso del agua en los sistemas de riego implementados se obtendrá un ahorro considerable de agua, incrementando la superficie de siembra y una mayor producción, por lo tanto se requerirá de más jornaleros en el campo generando más empleos.

#### **1.5 Limitaciones del Estudio.**

La topografía del terreno fue una de las principales limitantes a la hora de realizar los riegos, ya que se encontraron altos en el terreno, lo cual hacía que el avance del agua fuera lento, haciendo que el tiempo de riego aumentara.

Debido a que la parcela no cuenta con la seguridad adecuada, era necesario realizar las pruebas de día, evitando quedarse de noche en el sitio.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Situación actual del agua.**

El agua es un recurso vital para la vida y soporte del desarrollo económico y social de cualquier país del mundo, fundamentalmente para los ecosistemas y requisitos para la sustentabilidad del medio ambiente y su biodiversidad. La distribución natural del agua en el ámbito mundial y regional es desigual mientras en algunos lugares es abundante, en otras es escasa o inexistente.

En México, el desperdicio, la falta de pago por el servicio, la contaminación del recurso, su inadecuada utilización y deficiente administración, además de la presión poblacional, han dado lugar a que la nación se encuentre entre los países con una disponibilidad de agua promedio baja, ubicándose en el lugar 81 a nivel mundial (INEGI, 2008).

### **2.1.1. Disponibilidad del agua.**

En México existe una disponibilidad natural promedio de 465 mil 137 hectómetros cúbicos (hm<sup>3</sup>) de agua al año (cifra de 2008), ubicándolo en el mundo como uno de los países con disponibilidad baja, resultando crítico en años de precipitación escasa. Así mismo, existen alrededor de 653 cuerpos de agua subterránea o acuíferos; de los cuales, 104 están sometidos a sobreexplotación; del total se extrae más de 60% del agua subterránea destinada para todos los usos (CONAGUA, 2008).

El crecimiento poblacional y el desarrollo económico que presenta Sonora genera una situación de presión sobre el recurso agua y en algunas zonas la demanda es superior a la disponibilidad del recurso. Esta situación deriva en la vulnerabilidad de las cuencas y eso conlleva a una inseguridad hídrica, en Sonora se consume alrededor de 200 millones de metros cúbicos de agua por año, siendo el principal usuario del recurso el sector agrícola que requiere el 96% de ese volumen (Agencias, 2013).

### **2.1.2. Usos del agua.**

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, s.f.), hace mención que la agricultura es, con diferencia, el mayor consumidor de agua, representa el 70% de las extracciones de agua, llegando incluso al 90% en algunas regiones. Aproximadamente el 20% del agua utilizada en el mundo procede de fuentes de agua subterráneas (renovables o no) y esta proporción está aumentando con rapidez, especialmente en regiones secas.

En México el uso del agua para la agricultura representa el 77%, se distribuye en las áreas de los Distritos de Riego y las Unidades de Riego, resultando una superficie total de riego de 6.46 millones de hectáreas (Herrera y Vázquez, 2013).

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2008) señala que en 2006, la extracción de agua ascendió a 77 mil 300 hm<sup>3</sup>, el 63.3% de ésta es de origen superficial y 36.7% de fuentes subterráneas. De la extracción total de agua, más de tres cuartas partes se destinaron al uso agropecuario (76.82%), 13.89 para uso público y 9.29% a la industria, dicha distribución se muestra en la Figura 1.

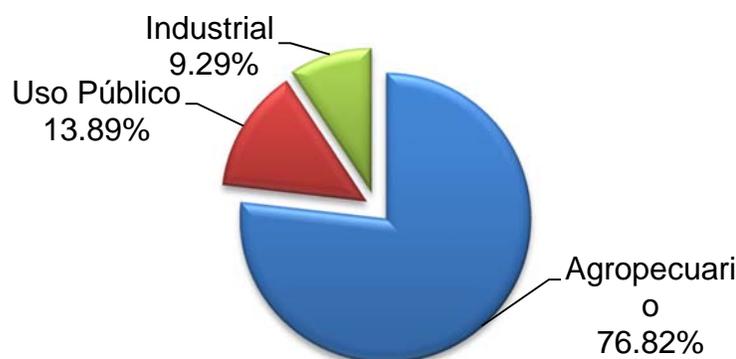


Figura 1. Usos del agua por sector de actividad en el 2006

Fuente: INEGI, 2008, citado por CONAGUA (2008).

Según la Comisión Estatal del Agua (CEA, s.f.) en Sonora el mayor consumidor de agua es la agricultura, el 92.5% se utiliza para riego; siguiendo el uso público-urbano con un 5.7%; los otros usos como el industrial, pecuario y turístico representan un porcentaje del 1.8. Considerando lo anterior la superficie regable en los distintos Distritos de Riego del Estado se estima en alrededor de 493,334 ha. Esta superficie está integrada por los distritos de riego 014 Río Colorado (BC Norte y Sonora), 018 Colonias Yaquis, 037 Altar-Pitiquito-Caborca, 038 Río Mayo, 041 Río Yaqui, 051 Costa de Hermosillo, 076 Valle del Carrizo–Fuerte Mayo (Sinaloa y Sonora), y 084 Guaymas.

### 2.1.3. Factores que originan el mal uso del agua.

Las razones por las cuales el agua sufre alteraciones y se contamina son varias,

principalmente están los desechos químicos y petroleros, los domésticos, los agrícolas, los ganaderos, entre otros.

La agricultura es en gran parte responsable del agotamiento del agua subterránea disponible y de 70% de su contaminación. Las grandes plantaciones de cereales del mundo consumen agua subterránea a un ritmo insostenible. Debido a la sobreexplotación, la reserva de agua subterránea está disminuyendo a un ritmo cercano a 6 km<sup>3</sup> por año (INEGI, 2008).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2014), las prácticas de riego y el escaso drenaje han conducido a la salinización de aproximadamente 10% de las tierras irrigadas del mundo (30 millones de hectáreas de los 255 millones hectáreas de tierra irrigadas).

## **2.2. El riego.**

Según Isralsen y Hansen (1981); citado por Ortiz (2000), el riego es la aplicación artificial de agua al terreno con la finalidad de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo, el cual tiene los siguientes objetivos:

- Proporcionar la humedad necesaria a los cultivos para su desarrollo.
- Prevenir las cosechas contra sequías.
- Mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo del planeta.
- Disminuir la presencia de sales en el suelo.

Por otra parte Winther y Vipond (1979), definen el riego como una operación agrícola, que sirve para satisfacer las necesidades de agua de las plantas.

Lozada (1988); citado por Ortiz (2000), menciona que el riego contribuye a modificar las circunstancias naturales (suelo y clima) que rodean al desarrollo de

los cultivos. Las condiciones físicas y biológicas del suelo y cultivo afectan al movimiento, retención y utilización del agua; debido a esto el riego tiene una relación directa con otras ciencias agronómicas que analizan y mejoran ese medio natural.

### **2.2.1. Sistema de Riego.**

Un sistema de riego es un conjunto de estructuras, que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas. Consta de una serie de componentes, sin embargo, cabe mencionar que el conjunto de componentes dependerá de si se trata de riego superficial, por aspersion, o por goteo.

### **2.2.2. Métodos de Riego.**

Los métodos de riego se clasifican de acuerdo a la forma de aplicación del agua a la parcela, esto puede ser a presión por tuberías o por gravedad siguiendo el desnivel del terreno (De la Peña, 1987; citado por Ortiz ,2000).

Santa Ocalla y Valero (1993); citado por Ortiz (2000), clasifican los métodos de riego de la siguiente forma: riegos superficiales (surcos y melgas), por aspersion (estacionario y móvil) y riegos localizados o microirrigación (goteo, Microaspersion y exudación). De igual manera mencionan que los riegos superficiales tienen dos características básicas de los demás métodos: una es que solamente necesita que el agua llegue a la parcela por gravedad y la segunda es que se utiliza la superficie del terreno como parte del sistema de distribución.

Encino et al. (1995); citado por Ortiz (2000), mencionan que para que un riego superficial el agua se aplica sobre la superficie del suelo, en la parte más alta del terreno para que esta se mueva por efecto de gravedad.

### **2.3. Aspectos básicos del riego por gravedad.**

El riego por gravedad, de origen ancestral, pero de gran vigencia por la predominante extensión territorial con cultivos que se riegan en México y en el mundo, demanda suposición, potenciado por el conocimiento científico y los desarrollos tecnológicos producto de las últimas dos décadas del siglo pasado y los 13 años del siglo presente.

Hoy en día, un mejor entendimiento de las relaciones entre el agua, suelo, planta, clima y el hombre, aunado a la mayor disponibilidad de equipos y tecnologías para la nivelación de tierras (de control láser y GPS), la disponibilidad de modelos matemáticos para la simulación del riego por gravedad, la medición y entrega volumétrica del agua y la programación del riego en tiempo real con el apoyo de estaciones meteorológicas automatizadas, lo que hace posible tecnificar el riego por gravedad (Hernández et al. 2013).

#### **2.3.1. Ventajas y desventajas del riego por gravedad.**

Hernández et al. (2013), menciona que las ventajas que favorecen el uso del riego por gravedad son:

- Es aplicable a casi todos los cultivos.
- Permite alcanzar eficiencias de riego altas con un buen diseño y manejo.
- No exige alta calidad del agua.
- No es afectado por el viento.
- Permite aplicar cantidades de agua grandes en poco tiempo.

Las desventajas que suelen limitar su uso son:

- Requiere suelos de textura media a arcillosa y no es aplicable a suelos arenosos (ligeros).

- Requiere suelos profundos, con alta capacidad de almacenamiento de agua y sin mucha variabilidad.
- Requiere nivelación de precisión.

### **2.3.2. Descripción del riego por gravedad.**

Hernández et al. (2013) señala que el riego por gravedad consiste en el aporte de agua en la cabecera de un canal o cauce inclinado construido en la parcela, como una melga o un surco, con la finalidad de aprovechar el campo gravitacional para proporcionar la cantidad necesaria de agua para el desarrollo óptimo de las plantas cultivadas.

El riego por gravedad se practica en diversas modalidades de operación, que es conveniente conocer, porque tiene una gran influencia en el diseño apropiado. A su vez es importante conocer las variantes que se practican en cuanto a la geometría de las unidades del terreno que se riegan individualmente (melgas y surcos, con pendiente o sin pendiente).

### **2.4. Clasificación de los métodos de riego por gravedad.**

De la Peña y Llerena (2001) manifiestan que los métodos de riegos superficiales o por gravedad se dividen en dos grupos: métodos de riego por inundación total; en donde el agua se aplica a la superficie del suelo y se regular por medio de bordos y regaderas, dentro de este método se puede encontrar la modalidad de melgas. El otro método es el de métodos de riego por inundación parcial; donde el agua solamente cubre parte del terreno, esta se conduce y aplica mediante pequeños canales, cauces o zanjas las cuales son paralelos construidos en el suelo los cuales se denominan surcos.

### **2.4.1. Riego por Surcos.**

El riego por surcos es utilizado en muchos tipos de cultivos, principalmente en los que siembran en hileras, como las gramíneas de porte alto, como el maíz, el sorgo y la caña de azúcar; así como mucho otros, tales como el algodón, la papa y prácticamente todas las hortalizas.

Los surcos son canales pequeños, de diversas formas (secciones transversales), a los que se introducen caudales de agua pequeños en la cabecera (extremo alto del surco). Así, el agua escurre por gravedad o por carga hidráulica hacia el pie de la parcela (extremo bajo del surco, a medida que se infiltra en el suelo a través de su perímetro mojado en forma radial (vertical y lateralmente), provocando solamente una inundación parcial de la superficie de cultivo (Hernández et al., 2013).

### **2.4.2. Riego por Melgas.**

López (s.f.), señala que una melga es una franja de terreno, generalmente de forma rectangular, delimitada por dos bordos longitudinales paralelos y dos bordos transversales. Tiene una pendiente longitudinal que coincide con la dirección del riego, y una transversal que es nula o muy pequeña (generalmente menor de 0.1%), además están limitadas aguas arriba por la regadera o tubería de abastecimiento, y aguas abajo por una zanja de desagüe. El agua de riego se introduce aguas arriba y por un gradiente de energía se mueve hacia aguas abajo y se infiltra en el suelo.

El objetivo del riego por melgas es aplicar la lámina de riego, calculada previamente, de manera uniforme a lo largo de la melga; lo cual puede realizarse siempre y cuando las pendientes sean uniformes y además la transversal sea nula o muy pequeña, lo cual se logra nivelando o emparejando el terreno. La dirección

del riego se selecciona haciéndola coincidir con la dirección de la máxima pendiente.

Para la pendiente longitudinal de la melga se elige la pendiente natural del terreno, pues modificarla implica aumentar el volumen de tierra por moverse y, por lo tanto, los costos de nivelación, además de que se aumenta la profundidad de los cortes, lo cual no es recomendable desde el punto de vista agronómico, ya que se elimina la capa fértil del suelo. El rango de pendientes recomendadas en la práctica, de 0.05 a 0.5%, no influye significativamente en el diseño.

La longitud es un submúltiplo del lado de la parcela que coincide con la dirección del riego. En la práctica los productores prefieren melgas largas, por lo que generalmente la longitud es igual a la longitud del lado de la parcela que coincide con la dirección del riego. Sin embargo, para obtener altas eficiencias no se recomiendan longitudes mayores a 400 metros.

Con base en lo anterior se puede definir que la dirección, la pendiente y la longitud son parámetros de diseño, puesto que no se pueden seleccionar libremente. En el caso del riego por melgas las variables de diseño son el ancho y el gasto de riego.

Se indica que las fases que se pueden encontrar en el riego por melgas son:

- A) Avance: Desde el inicio del riego hasta que el frente de avance llega al extremo de la melga.
- B) Almacenamiento: Cuando el agua llega al extremo de la melga y hasta que se corta el agua en la entrada de la melga.
- C) Consumo: Esta fase se inicia cuando se corta el agua de riego y termina cuando se infiltra toda el agua a la entrada de la melga.
- D) Recesión: Desde el momento en que se infiltra toda el agua a la entrada y hasta que desaparece toda el agua en la melga.

Rendón (1993), menciona que en la actualidad la eficiencia del uso del agua a nivel parcelario es muy baja (aproximadamente igual a 50%) debido a un mal diseño, produciéndose pérdidas de agua que no es aprovechada por los cultivos. Una parte de esta agua se pierde por escurrimiento superficial (coleos) que generalmente se colecta en la red de drenaje y otra por percolación profunda que alimenta el manto freático, lo que ocasiona su elevación produciendo serios problemas de drenaje en muchas zonas de riego.

Cabe mencionar que con un buen diseño del riego por melgas se podría aumentar la eficiencia del uso del agua a nivel parcelario, lo que permitiría rescatar volúmenes de agua que podrían ser utilizados para aumentar la superficie de riego o de segundos cultivos.

### **2.4.3. Aplicación del agua en la melga.**

La aplicación de agua en riego con melgas es de flujo continuo, lo que ocasiona grandes pérdidas de agua en la parcela, bajo este contexto se plantea como alternativa el riego intermitente para eficientar el uso del agua.

El sistema de riego intermitente es una técnica que fue desarrollada en Estados Unidos para el control del agua de riego. Su origen se debió a la necesidad del gobierno de proveer a los agricultores de un medio económico y eficaz que permita un ahorro del agua y su manejo en suelos salinos. Esta metodología fue perfeccionada a principios de la década de los 80 y fue conocida como SurgeFlow (Apailla y Huachos, 2008; citado por Lugo ,2012).

La técnica de regar por pulsos consiste en aplicar un caudal determinado de agua de manera intermitente a surcos o melgas (con o sin pendiente), a través de una sucesión de entregas y cortes de agua llamados ciclos. Este método fue originalmente concebido como un medio para lograr el avance del frente de agua más rápido en unidades largas, para luego establecer un tiempo promedio de

aplicación de agua que minimice el escurrimiento al pie (aumento de la eficiencia) (Romay, et al., 2014).

A pesar de que en la actualidad dicha metodología de riego ya es conocida en todo el mundo, es importante señalar que los criterios para su diseño, sus rangos de aplicación práctica, así como sus ventajas y desventajas respecto a otros métodos aun no están correctamente definidos (Cáceres, 1999; citado por Lugo, 2012).

La explicación del fenómeno del riego intermitente se debe a que entre un pulso y otro ocasiona un disgregamiento de terrones, un reacomodo de partículas y una migración de sedimentos. Durante el proceso de recesión, la estructura del suelo se altera, los terrones se disuelven parcialmente, las partículas se acomodan y forman una sedimentación que origina el aislamiento de la superficie.

Aunque el flujo se suspenda en consecuencia la infiltración superficial también, las partículas de arcilla contenidas en el suelo humedecido continúan expandiéndose, tanto el agua como el suelo en contacto con la atmósfera captan aire por atracción capilar y bloquean las pequeñas superficies de los poros de suelo.

El proceso se repite en cada ciclo durante el tiempo de desagüe y, por lo tanto durante los próximos suministros de agua se va reduciendo la infiltración y la resistencia a la rugosidad de la superficie del suelo, consiguiendo que el flujo circule con rapidez y se consiga un avance mayor y una mejor uniformidad en el riego (Carbajal, 2004; citado por Lugo, 2012).

Rodríguez et al. (2013) con el objetivo de evaluar la efectividad del riego intermitente y compararlo con de flujo continuo asociado al cultivo de la cebolla, en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado (Nitisolródico-éutrico) determinó: la lámina de escurrimiento, las pérdidas de suelo y la eficiencia de aplicación en el área efectiva de cada tratamiento. El experimento se realizó con un diseño en franja

que obedece a la naturaleza del estudio, con dos tratamientos de 15 surcos cada uno con la presencia de un testigo. Los resultados indican que la mayor lámina escurrida como promedio la alcanzó el tratamiento de flujo continuo con pérdidas de 2,87 L·m<sup>-2</sup> que supera 2,7 veces al tratamiento de riego intermitente 1,01 L·m<sup>-2</sup> regados. Las mayores pérdidas de suelo por escorrentía la alcanzó el tratamiento testigo que supera 4,9 veces al testigo con pérdidas de 24,6 kg/riego existiendo diferencias significativas entre los dos tratamientos en ese momento y bajo esas condiciones. El riego intermitente permite aumentar la eficiencia del riego de aplicación en un 23% con un 77,2% del volumen de agua aplicado por el tratamiento testigo. Con la técnica de riego intermitente se puede mejorar los indicadores técnicos y productivos de la actividad del riego superficial.

Debido a la baja disponibilidad de agua la cual tiende a agudizarse por los efectos del cambio climático, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2013) ha desarrollado tecnología orientada a mejorar la eficiencia del riego parcelario, que permite reducir los volúmenes de agua aplicados sin menoscabo del rendimiento de los cultivos. Tal es el caso del riego intermitente con sifones. Mediante este sistema en parcelas demostrativas del Módulo de Riego V-2, Angostura, del D.R. 010 Culiacán-Humaya en Sinaloa, se han obtenido ahorros de entre 30 y 40% en los volúmenes de agua aplicados en comparación con los métodos tradicionales, gracias a que disminuyen los tiempos de riego.

Por tal motivo y en base a las investigaciones existentes se desea realizar un estudio similar en el cual se hará una comparación de riego intermitente contra flujo continuo en melgas, con la finalidad de mejorar el uso y manejo del agua para lograr obtener una buena eficiencia en el riego, de igual manera una mayor producción.

## **CAPÍTULO III. MÉTODO**

### **3.1 .Tipo de Investigación.**

El presente trabajo de investigación es de tipo evaluativa, con un diseño de campo y un enfoque cuantitativo debido a que utiliza recolección de datos, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. Siendo además de corte transversal, ya que esta investigación estudia fenómenos en un momento del tiempo, es decir, en una fecha determinada. Se realizó una comparación entre el método convencional en el riego por melgas contra la alternativa de flujo intermitente (Hernández et al, 2010).

### 3.2. Ubicación del objeto de estudio.

La zona de estudio se encuentra ubicada en el Distrito 018 de las Comunidades Yaquis, en el poblado de Huirivis, en el municipio de Guaymas, Sonora. La parcela en la cual se realizó a la investigación lleva por nombre Rosalino Choqui Moroyoqui, con una superficie aproximada de 5 hectáreas, la cual se presenta en la Figura 2. En dicha parcela se sembró trigo de variedad Cirno en el ciclo otoño-invierno 2013-14.



Figura 2. Parcela Rosalino Choqui Moroyoqui.

Fuente: Google maps, 2014.

### 3.3. Participantes.

Durante el inicio y desarrollo de la investigación participaron:

- Asesor técnico: Responsable de analizar los datos y resultados obtenidos en campo, así como de las revisiones y correcciones del trabajo de tesis.
- Técnico: Persona a cargo de la parcela demostrativa en la cual se realizó el trabajo de investigación, así como de la supervisión de los trabajos que se efectuaron, recopilación de información, interpretación de datos y aplicación del riego.

- Regador: Persona responsable del manejo del agua durante el tiempo que duro el riego, desde su comienzo hasta la terminación del mismo.
- Tesista: Persona que llevó a cabo la investigación y responsable que efectuó las pruebas, muestreos y recopilación de información requeridos durante el trabajo de investigación y desarrollo de los riegos, la cual posteriormente se registro y analizó.

### **3.4. Materiales y equipo.**

A lo largo de la investigación se llevaron a cabo diversas mediciones, por lo que fue necesario el apoyo de diferentes materiales y equipos que se detallan a continuación:

- Cinta métrica.
- Pala.
- Barrena.
- Cronómetro.
- Compuerta rectangular.
- Báscula.

### **3.5. Procedimiento.**

#### **1. Caracterización de la parcela de estudio.**

La parcela tiene un suelo franco arcillo limoso, cuenta con una pendiente de 2%, la preparación de terreno se hizo dando doble rastreo y tabloneo. Posteriormente se realizó el trazo de riego por curvas a nivel utilizando un sistema satelital Green Star, de John Deere (ver Figura 3). Después se aplicó el riego de presiembra, se borraron las curvas y se formaron las melgas de 18 metros de ancho por 300 metros de largo, utilizándose una superficie aproximada de 4.8 ha.



Figura 3. *Trazo de curvas de nivel.*

## 2. Preparación de melgas para aplicación del riego.

- **Instalación de contras en el terreno:**

Se construyeron contras a cada 30 metros a lo largo de las melgas sobre los bordos como se muestra en la Figura 4a. Esto con el fin de que a la hora de efectuarse el riego, el nivel del agua comenzara a distribuirse en la melga como se ilustra en la Figura 4b.



Figura 4a. *Instalación de contra.*



Figura 4b. *Funcionamiento de contra.*

- **Colocación de estacas.**

Las estacas se colocaron a cada 50 metros a lo largo de la melga, con la finalidad de identificar los puntos estratégicos en los cuales se realizarían los cortes de agua para aplicar los tratamientos 2 y 3 (riego intermitente) y poder ver el avance del riego mediante elaboración de la curva de avance.

- **Instalación de compuerta.**

Para poder tener un mejor manejo al momento de aplicar las intermitencias de riego tanto en melga 1 y 2 fue necesario instalar compuertas rectangulares (ver Figura 5), facilitando los cortes de agua.



Figura 5. *Instalación de compuerta.*

### **3. Tratamientos y su distribución en campo.**

Se evaluaron 3 tratamientos el primero aplicando flujo continuo a la melga que se denominó como testigo, para el segundo y tercer tratamiento consto de la aplicación de flujo intermitente, aplicando intermitencia a cada 50 metros a lo largo de las melgas (ver Figuras 6a, 6b, 6c).

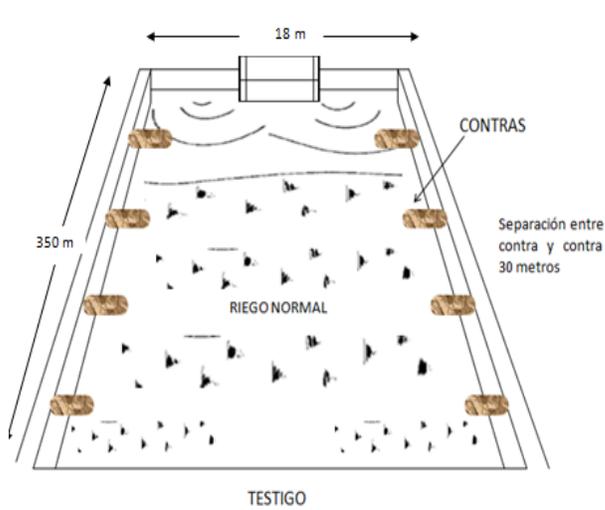


Figura 6a. *Flujo continuo.*

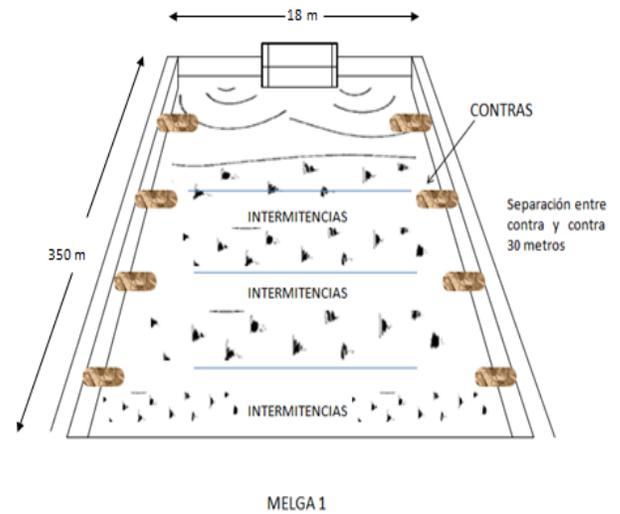


Figura 6b. *Flujo intermitente.*

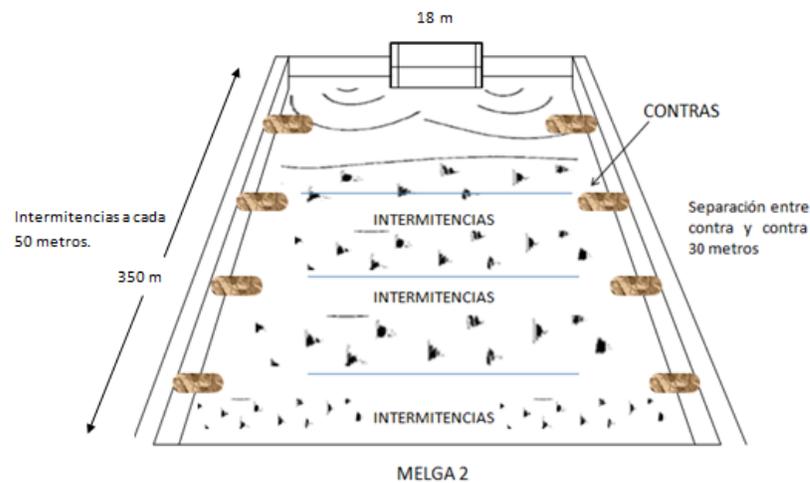


Figura 6c. *Flujo intermitente.*

#### 4. Variables a medir.

- **Coficiente de Uniformidad.**

Se tomaron muestras de suelo antes y después de cada riego (ver Figura 7), para determinar el contenido de humedad existente mediante la ecuación 1, expresada a continuación:

$$Ps = \left( \frac{Psh - Pss}{Pss} \right) \times 100 = \left( \frac{Pa}{Pss} \right) \times 100 \text{ Ec. (1)}$$

En donde:

- Ps = Porcentaje de humedad con respecto al peso de suelo seco, en %.
- Psh= Peso del suelo húmedo, en gr.
- Pss= Peso del suelo seco, en gr.
- Pa= Peso del agua, en gr.



Figura 7. Muestreo de suelo con barrena.

De igual manera en base a estos muestreos se pudo determinar el coeficiente de uniformidad (ver ecuación 2).

$$CUc = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |Xi - X1|}{N X} \right) 100 \quad \text{Ec. (2).}$$

Donde;

- CUc= Coeficiente de Uniformidad de Christiansen, en %.
- Xi= Lámina de agua infiltrada en el i-ésimo punto a lo largo de la melga,  $m^3/m^2$ .
- $i = 1, 2, 3, \dots$

- N= Núm. de puntos igualmente representativos donde se conoce la LR de agua infiltrada.
  - X= Lámina de agua infiltrada promedio a lo largo de la melga, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.
- **Lámina de riego aplicada.**

Para llevar a cabo el cálculo de la lámina de riego aplicada la cual se obtiene con la ecuación 3. Primeramente, es necesario determinar el gasto que entra en la melga, el cual se obtuvo aforando la compuerta como vertedor rectangular sin contracciones aplicando la ecuación 7.

$$La = \frac{Qr \times Tr}{A} \quad \text{Ec. (3).}$$

Donde:

La = lámina aplicada

Q = gasto utilizado.

Tr= tiempo de riego.

A= área de superficie

$$Q = CLh^{1.5} \text{Ec. (7).}$$

## CAPÍTULO IV.RESULTADOS

### 4.1. Lámina de riego aplicada.

Para la obtención de la lámina de riego aplicada se consideró el gasto de la melga, tiempo de riego y el área regada para cada tratamiento (ver Apéndice A). En la Tabla 1 se puede observar que la lámina aplicada en la intermitencia (melga 1) fue de 17.09 cm, mientras que para el flujo continuo (testigo) fue de 28.74 cm. Lo cual indica que con el riego intermite se logra un ahorro de 11.65 cm, que equivale a un ahorro del 40.53%. Lo cual coincide con (P&R, 2009), donde se cita que con intermitencia permite un ahorro del 30 al 50%.

Tabla 1. Lámina de riego aplicada en tratamiento 1 y 2.

TESTIGO (Flujo continuo)			Melga 1 (Flujo intermitente)		
LRapl=	28.74	cm	LRapl=	17.09	Cm

El ahorro de agua alcanzado con flujo intermitente se logra debido al avance más rápido a lo largo de la melga (ver Figura 8), la cual se debe a que los tiempos de flujo las arcillas del suelo se expanden y sellan el suelo. Lo anterior concuerda con (Carbajal, 2004; citado por Lugo, 2012) donde cita que al expandirse las arcillas se va reduciendo la infiltración, consiguiendo que el flujo circule con rapidez y se consiga un mayor avance.

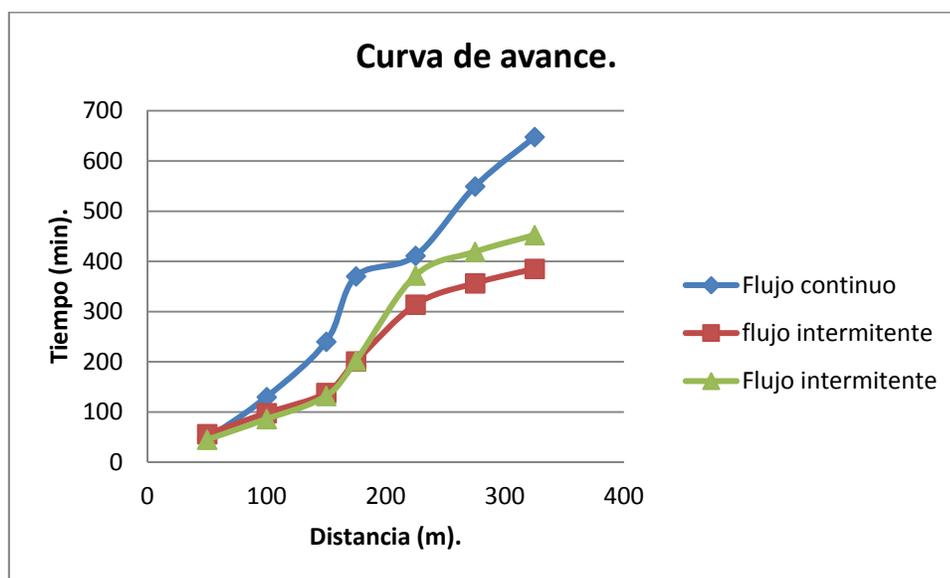


Figura 8. Curva de avance de riego.

#### 4.2. Coeficiente de uniformidad.

El coeficiente de uniformidad obtenido en flujo continuo fue de 86%, que se considera como satisfactorio, mientras que en flujo intermitente fue de 92% que se clasifica como bueno (ver Apéndice B y Tabla 2). Esta clasificación indica que el flujo intermitente se logró una mejor distribución en la parcela comparado con flujo continuo (ver Anexo 1).

Tabla 2. *Coefficiente de uniformidad por tratamiento.*

Testigo (flujo continuo)			Melga 1(flujo intermitente)		
Profundidad (cm)	Coefficiente de uniformidad	Promedio	Profundidad (cm)	Coefficiente de uniformidad	Promedio
0-30	84%	<b>86%</b>	0-30	93%	<b>92%</b>
30-60	87%		30-60	91%	

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones.**

La aplicación de flujo intermitente en melga permite un ahorro de agua del 40.53% comparado con flujo continuo, debido a que la fase de avance fue más rápido en el flujo intermitente.

La distribución del agua en parcela fue mejor con flujo intermitente comparado con flujo continuo como lo demuestra el coeficiente de uniformidad obtenido en cada tratamiento, con 92% y 86% respectivamente.

En cuanto a tiempo de riego, mientras se regaba una melga con flujo continuo se estaban regando dos melgas con flujo intermitente, esto quiere decir, que con la aplicación de intermitencias en el riego se tuvo el doble de superficie regada en un tiempo mucho más corto.

## **5.2. Recomendaciones.**

Los resultados alcanzados se afectaron por la topografía del terreno, por lo que se recomienda tener el terreno perfectamente nivelado.

La aplicación del riego intermitente con un sistema automatizado permitiría un mejor manejo y con del agua utilizada.

Es necesario mantener el gasto en la regadera para lograr una aplicación del riego eficiente.

## Referencias.

Agencias (2013). Demanda supera disponibilidad de agua en Sonora: CONAGUA.

Anónimo (2005), Valle del Yaqui. Recuperado: 21 de febrero del 2014 de <http://www.xeu.com.mx/blogs/post.cfm?id=183>

Caje.me (s.f.) Valle del Yaqui. Recuperado: 21 de febrero del 2014 de <http://caje.me/historia/65-valle-del-yaqui>

Comisión Estatal del Agua (s.f.) El agua en Sonora. Recuperado: 3 de marzo del 2014 de <http://www.ceasonora.gob.mx/cultura/agua/Default.html>

Comisión Nacional del Agua (2008). Programa nacional Hídrico. Recuperado: 2 de marzo del 2014 de [www.conagua.gob.mx/CONAGUA08/Contenido/...PNH\\_05-08.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA08/Contenido/...PNH_05-08.pdf)

De la Peña, I y Llerena, F. (2001). Manual del Uso y Manejo del Agua de Riego (3ra. Ed.) Estado de México, Ed. Futura S.A.

Google maps (2014). <https://www.google.com.mx/maps/place/Potam,+SON/@27.6722914,-110.4571749,662m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x86c9b3cb5532383d:0xc97fda58a56880cf>

Hernández Fco., Martínez R., Fuentes C., Pérez S., Rendón L., Ojeda W., Fabián H., Rojas F., Chávez C., García F., Carrillo M., Angeles V. (2013). Diseño, Implementación y Seguimiento del riego por Gravedad. Chapingo, México: CONAGUA.

Herrera, L. Francisco J., Vázquez, A. Artemio (2013) "Acciones de FIRA para la Modernización de las Áreas de Riego en México" 2013. Recuperado: 19 de febrero del 2014, de <http://www.iiec.unam.mx/sites/www.iiec.unam.mx/files/Ponencia%20Francisco%20Herrera.pdf>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2013). Comité de Técnico de Normalización Nacional de Sistemas y Equipos de Riego. Recuperado: 21 de febrero del 2014 de [http://www.imta.gob.mx/cotennser/index.php?option=com\\_content&view=article&id=44&Itemid=55](http://www.imta.gob.mx/cotennser/index.php?option=com_content&view=article&id=44&Itemid=55)

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2013). Tecnologías de riego parcelario para reducción de volúmenes e incremento de productividad. Recuperado el 21 de abril del 2014 de [http://atl.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6591:tecnologias-de-riego-parcelario-para-reduccion-de-volumenes-e-incremento-de-productividad&catid=171:proyectos-imta&Itemid=863](http://atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=6591:tecnologias-de-riego-parcelario-para-reduccion-de-volumenes-e-incremento-de-productividad&catid=171:proyectos-imta&Itemid=863)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2008) Estadísticas a propósito del día mundial del agua. México. Recuperado: 3 de marzo del 2014 de [cuentame.inegi.gob.mx/monografias/informacion/.../relieve.aspx?...08](http://cuentame.inegi.gob.mx/monografias/informacion/.../relieve.aspx?...08)

López J. (s.f.). Facultad de Agronomía. Riego por melgas. Recuperado: 28 de febrero del 2014 de [http://calificaciones.weebly.com/uploads/1/0/6/5/10652/unidad\\_vii.pdf](http://calificaciones.weebly.com/uploads/1/0/6/5/10652/unidad_vii.pdf)

Lugo, L. (2012). Respuesta de sorgo a riegos alternados y flujo intermitente en suelos arcillosos del Valle del Yaqui. Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Son.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (s.f.). El agua en un mundo en constante cambio. Recuperado: 21 de febrero del 2014 de [http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/wwap\\_WWD\\_R3\\_Facts\\_and\\_Figures\\_SP.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/wwap_WWD_R3_Facts_and_Figures_SP.pdf)

Ortiz, J. (2000). Funcionamiento y Evaluación de un Sistema de Riego por Microaspersión en el Valle del Yaqui. Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Son.

P&R. (2009). Tecnificación del riego, sistema de pulsos de baja presión. P&R Argentina S.A. Provincia de Buenos Aires.

Rendón L. (1993) II Curso internacional de sistemas de riego. Riego por melgas. Chapingo, México.

Rodríguez M, Santana M., Brown O., De la Paz F. (2013) Riego por surco con caudal intermitente asociado al cultivo de la cebolla y su eficiencia en las pérdidas de suelo y agua por escorrentía. Pp – 50.

Romay, L. Génova, H. Salgado, S.M. Zabala (2014) Recomendaciones para mejorar la eficiencia en el riego discontinuo programando la válvula automática. Riego y drenaje, Facultad de agronomía de Buenos Aires, Av. San Martín 4453.

Vuelvas C. (2014). Métodos de riego en trigo. Recuperado: 24 de febrero del 2014 de <http://www.agrosintesis.com/component/content/article/49-front-page/223-metodos-de-riego-en-trigo?fontstyle=f-larger>

## Anexos.

### Anexo 1. *Calidad del riego resultante en base a sus parámetros de eficiencia y uniformidad.*

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

## Apéndices.

### Apéndice A. Cálculo lámina de riego aplicada.

2do. Riego de Auxilio		
Distancia (m)	Tiempo (min)	
	Testigo	Melga 1
50	46	56
100	130	98
150	240.3	138
175	370.3	201
225	411.3	314
275	549.57	356.58
325	647.97	385.28

TESTIGO (Flujo continuo)			Melga 1 (Flujo intermitente)		
Q=	0.04325	m <sup>3</sup> /s	Q=	0.04325	m <sup>3</sup> /s
Tr=	38878.2	s	Tr=	23116.8	s
L=	325	m	L=	325	m
a=	18	m	a=	18	m
Área melga:	5850	m <sup>2</sup>	Área melga:	5850	m <sup>2</sup>

Apéndice B. *Obtención de Coeficiente de Uniformidad.*

No. M.	Profundidad (cm)	PSH+P.Bol(gr)	P. Bolsa (gr)	PSH (gr)	PSS+PF (gr)	P.F. (gr)	PSS (gr)	Cont. de H. (%)
1	0-30	78.1	1.7	76.4	132	72	60	27.33
	30-60	47	1.9	45.1	110	72	38	18.68
2	0-30	80.3	1.8	78.5	134	72	62	26.61
	30-60	57.7	1.7	56	118	70	48	16.67
3	0-30	46.9	1.7	45.2	108	70	38	18.95
	30-60	65.9	1.8	64.1	114	62	52	23.27
4	0-30	64.9	1.6	63.3	126	74	52	21.73
	30-60	46.7	1.8	44.9	106	68	38	18.16
5	0-30	58.1	1.5	56.6	122	74	48	17.92
	30-60	56.6	1.7	54.9	114	70	44	24.77
6	0-30	51.2	1.6	49.6	114	72	42	18.10
	30-60	52.9	1.6	51.3	112	70	42	22.14

Melga 1 (Intermitente).								
No. M.	Profundidad (cm)	PSH+P.F (gr)	P. Frasco (gr)	PSH (gr)	PSS+PF (gr)	P. Frasco (gr)	PSS (gr)	Cont. de H. (%)
1	0-30	136.7	75.1	61.6	121.1	75.1	46	33.91
	30-60	128.3	75.6	52.7	114.5	75.6	38.9	35.48
2	0-30	117	73	44	105.4	73	32.4	35.80
	30-60	125.5	74.8	50.7	111.5	74.8	36.7	38.15
3	0-30	133.1	66.8	66.3	116.6	66.8	49.8	33.13
	30-60	140.9	74.6	66.3	123	74.6	48.4	36.98
4	0-30	138.2	73.8	64.4	123.3	73.8	49.5	30.10
	30-60	129	75.9	53.1	117.1	75.9	41.2	28.88
5	0-30	136.6	73.5	63.1	122.2	73.5	48.7	29.57
	30-60	140.9	75.3	65.6	125.1	75.3	49.8	31.73
6	0-30	134.3	78.3	56	121.6	78.3	43.3	29.33
	30-60	139.2	78.6	60.6	124.7	78.6	46.1	31.45

### TESTIGO.

Profundidad (cm)	Cont. de H. (%)	$\bar{x}_i - \bar{x}$	$\bar{x}_i - \bar{x}$	$N \cdot \bar{x}$	$\bar{x}_i - \bar{x} / N \cdot \bar{x}$	Coefficiente de uniformidad
0-30	27.33	5.557	5.557	130.64	0.1591141	84%
0-30	26.61	4.837	4.837			
0-30	18.95	-2.823	2.823			
0-30	21.73	-0.043	0.043			
0-30	17.92	-3.853	3.853			
0-30	18.1	-3.673	3.673			
	21.773		20.787			

Profundidad (cm)	Cont. de H. (%)	$\bar{x}_i - \bar{x}$	$\bar{x}_i - \bar{x}$	$N \cdot \bar{x}$	$\bar{x}_i - \bar{x} / N \cdot \bar{x}$	Coefficiente de uniformidad
30-60	18.68	-1.935	1.935	123.69	0.12540761	87%
30-60	16.67	-5.103	5.103			
30-60	23.27	1.497	1.497			
30-60	18.16	-3.613	3.613			
30-60	24.77	2.997	2.997			
30-60	22.14	0.367	0.367			
	20.615		15.512			

Profundidad (cm)	Coefficiente de uniformidad	Promedio
0-30	84%	86%
30-60	87%	

MELGA 1 (INTERMITENCIA)

Profundidad (cm)	Cont. de H. (%)	lxi- $\bar{x}$ l	lxi- $\bar{x}$ l	NxX	lxi- $\bar{x}$ l/NxX	Coefficiente de uniformidad
0-30	33.91	1.94	1.938	191.85	0.07218206	93%
0-30	35.80	3.83	3.828			
0-30	33.13	1.16	1.158			
0-30	30.10	-1.87	1.874			
0-30	29.57	-2.41	2.406			
0-30	29.33	-2.64	2.644			
	31.975		13.848			

Profundidad (cm)	Cont. de H. (%)	lxi- $\bar{x}$ l	lxi- $\bar{x}$ l	NxX	lxi- $\bar{x}$ l/NxX	Coefficiente de uniformidad
30-60	35.48	3.51	3.51	202.67	0.0915281	91%
30-60	38.15	6.18	6.18			
30-60	36.98	5.01	5.01			
30-60	28.88	-3.09	3.09			
30-60	31.73	-0.24	0.24			
30-60	31.45	-0.52	0.52			
	33.778		18.550			

Profundidad (cm)	Coefficiente de uniformidad	Promedio
0-30	93%	<b>92%</b>
30-60	91%	